

電力土木における情報化施工・ICT 活用に関する調査

報 告 書

平成29年3月

一般社団法人 日本建設業連合会
電 力 工 事 委 員 会

はじめに

近年、建設技能労働者の高齢化を背景として、建設現場の生産性向上による省人化を目的とした、3D マシンコントロールなどによる情報化施工、CIM(Construction Information Modeling/Management)による構造物の3次元モデルを使った設計・施工および維持管理、ドローンやロボットによる測量や構造物の点検・補修など、さまざまなICT(Information and Communication Technology：情報通信技術)関連の設計・施工・維持管理技術の導入や開発が進められています。

また、2015年11月より国土交通省では、これらICTの全面的な活用等の施策を建設現場に導入することによって、建設生産システム全体の生産性向上を図る取組みとして、「i-Construction」を推進しています。

このような情勢を踏まえて、電力工事委員会では、「電力土木における情報化施工・ICT活用」と題して、電力土木分野でのICT利活用を調査した報告書を発行することにいたしました。本書が電力土木施設の計画や建設工事、保守点検・補修工事に携わる土木技術者にとって参考に供することができれば幸いです。

なお、本書の出版の趣旨にご理解を賜り、数多くの貴重な資料をご提供いただいた各電力会社を始めとする関係者の皆様に深く感謝を申し上げますとともに、本書の取りまとめと執筆、編集作業に従事された技術部会ワーキンググループ委員の皆様にも厚く御礼申し上げます。

平成29年3月

一般社団法人 日本建設業連合会
電力工事委員会
委員長 小野俊雄

電力土木における情報化施工・ICT 活用に関する調査 報告書

目 次

はじめに

1. 背景	1
2. 各施設における ICT 活用技術の展開案	5
3. 造成・土工事における情報化施工技術	15
4. 施設建設における情報化施工技術	89
4.1 ダム・貯水池	91
4.1.1 コンクリートダム	97
4.1.2 フィルダム 他	136
4.1.3 環境保全	159
4.2 地下施設	167
4.2.1 地下空洞	177
4.2.2 山岳トンネル	199
4.2.3 シールドトンネル	295
4.3 港湾施設	319
4.3.1 調査・測量	323
4.3.2 浚渫	340
4.3.3 基礎	351
4.3.4 本体	364
4.3.5 航行安全	382
4.3.6 施工管理	387
5. その他の ICT 活用技術	397
5.1 点検・劣化診断	399
5.2 検査	405
5.3 運行管理	407
5.4 計測管理	414
5.5 廃棄物管理	450
5.6 環境配慮	455
6. 災害復旧・危険個所における ICT 活用事例	459
6.1 無人化施工	463
6.2 災害危険箇所関連技術	506
7. 保守・点検技術と維持管理 CIM への取組み	519
7.1 電力施設における保守・点検事例	519
7.1.1 アンケート結果	519
7.1.2 アンケートに基づくヒアリング結果	519
7.2 既存施設・構造物から取得されるデータの活用について	521
7.3 維持管理 CIM への展開について	524
8. まとめと展望	531

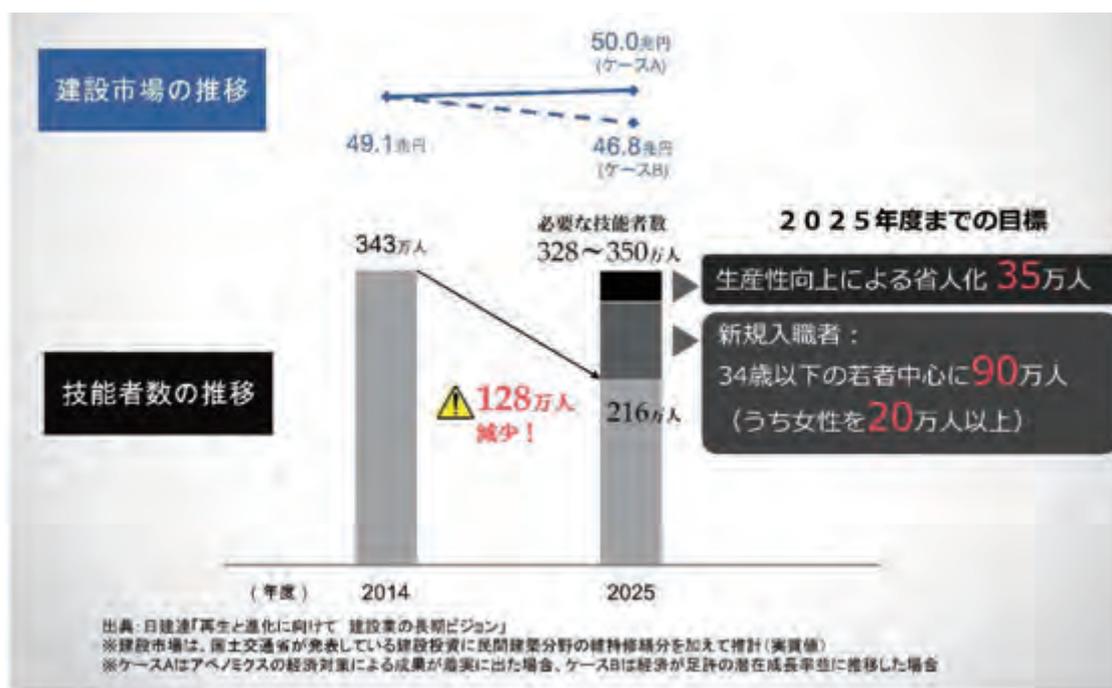
おわりに

1. 背景 ～ 今、情報化施工に期待すること ～

我が国では、高度経済成長期以降に整備したインフラが今後一斉に老朽化し、これらの膨大な数のインフラを長寿命化、また適切に更新する必要がある。このため、橋梁・トンネル等のインフラに関しては、国土交通省が平成 26 年 5 月に「国土交通省インフラ長寿命化計画」を策定し、点検・診断及び修繕・更新を実行し、インフラの安全性の向上と効率的な維持管理を推進している。具体的には橋長 2 m 以上の橋梁及び全てのトンネルにおいては 5 年に 1 回の近接目視による点検が義務づけられており、保守・点検業務の重要性は極めて高いと言える。

本報告書の対象とした電力施設は、土木だけでなく、電気や機械と一体となったシステムを運用するいわば複合施設であり、多様な土木施設が設置され、我が国の産業を支える重要な役割を担っている。その確実な運用には、電力施設の特性に応じた効率的な保守・点検業務を行うことが極めて重要である。

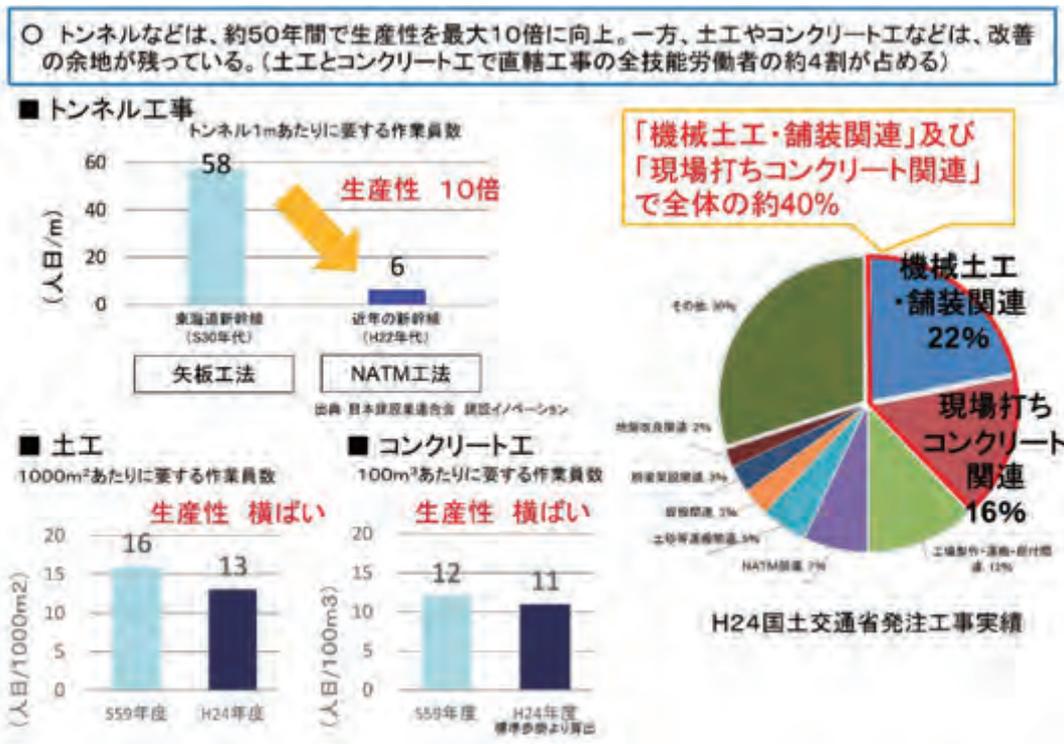
一方、建設技能労働者は他産業に比べ極端に高齢化している。日建連の推計によれば、2014 年度では 343 万人の技能労働者が 2025 年度には 216 万人と、この 10 年間に 128 万人の大量離職が発生する。入職者の 34 歳以下の若者は少子高齢化を背景に 90 万人であるとした場合、不足する 35 万人は「生産性向上」による省人化で対応することが求められている。(図-1 参照)



(出典 日建連ホームページ:http://www.nikkenren.com/sougou/pdf/ikusei/2016_1018_ikusei.pdf)

図-1 建設市場の見通しと世代交代目標

ところが、建設業はその「一品生産」の性格から、山岳トンネル工事のように約 50 年で生産性が 10 倍に向上した工種がある反面、生産性向上の遅れている分野(土工、コンクリート工)も存在している。従ってインフラの建設だけでなく、保守・点検においても省人化の必要性があり生産性向上を図ることが求められている。これを受けて日建連では「生産性向上推進要綱」を策定し、平成 28 年 9 月に安倍総理により開催された第 1 回未来投資会議では建設現場の生産性を 2025 年度までに 2 割向上させる方針が表明された。(図-2 参照)



(出典 国交省ホームページ: <http://www.mlit.go.jp/common/001127740.pdf>)

図-2 土木各工種における生産性向上の推移

以上より喫緊の課題である建設業の生産性向上に関してこの重要性から平成27年11月に国土交通省は建設現場の産業革命と銘打って「i-Construction」をプレス発表し、この取り組みを急速に推進している。更に、本年4月には土工への適用を目的とした新たな調査・測量・施工・検査・積算基準を導入し実工事に展開している。

「i-Construction」は、①ICTの全面的な活用、②規格の標準化、③施工時期の平準化の取り組みを総称しているが、この中で特に①では調査・測量～施工～検査のあらゆる建設生産プロセスにおいて情報通信技術(ICT)を全面的に導入し、3次元データを一貫して使用することにより全体最適化を目指す取り組みである。3次元データを効果的に利用するために必要な基準類は急速に整備され、実工事において検証されつつある。これによって、情報化施工で扱うデータは、これまでよりも容易に流通し、また、検査等に直接利用することも可能となり、さらなる効率化をもたらすものと考えられる。本取り組みは既に述べたように生産性向上の急がれる土工、コンクリート工で展開されているが、道路や浚渫など他の工種へも広がる状況にある。

一方、平成24年より始まったCIM(Construction Information Modeling/Management)の取り組みは、計画、調査・設計段階から施工・維持管理段階までの一連の建設生産システムの効率化を図るものであるが、その中でも、ICT(情報通信技術)を用い、施工時に得られたデータを供用後の維持管理にまで繋げ、次なるプロジェクトにも情報や知見を生かしインフラの全体最適化のサイクルを回すことが想定される。前述の「i-Construction」の流れと相まって、施工で得られた電子情報を、維持管理に直接役立てることが可能となる。『情報化施工』の取り組みは施工段階での有用技術であることに留まらず、インフラの全体最適化に大きく貢献するものと期待できる。(図-3 参照)

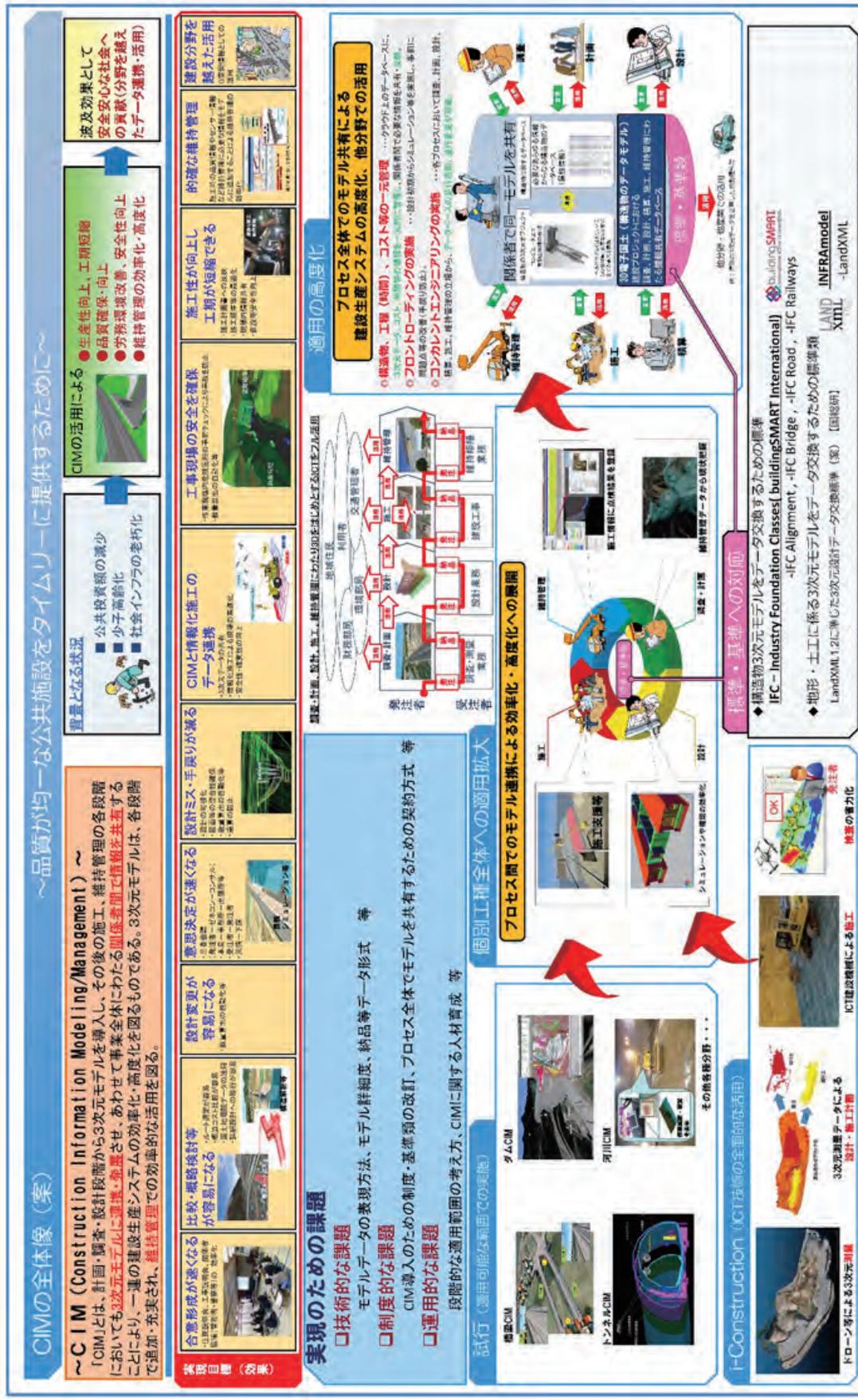


図-3 CIMの全体像(i-Constructionとの関係)

この他、生産性向上を実現する手段として「ロボット化」が挙げられる。我が国は自動車産業に代表されるように工場におけるロボット化が早くから進んでいる。しかしながら、対象物がベルトコンベア上に流れてくる工場と違い、建設現場ではロボット自らが対象物に移動することが求められる。また、作業環境も基本的に屋外であり、降雨や粉じんなどの厳しい環境下での確実な動作が要求されるなど技術的にも難易度は極めて高い。また、あわせてロボットを運用するための法整備(電波法、道路交通法など)や建設現場においては検査基準等の整備も求められている。ロボット化については、このような課題は多いものの、災害時や危険箇所における無人化施工技術、シールドトンネルの施工で用いられる自動制御技術など、現状においても適用する範囲や条件を絞り活用されている。今後、「CIM」や「i-Construction」によって建設現場のICT化が進み、ロボット化の適用範囲も広がっていくものと考えられる。

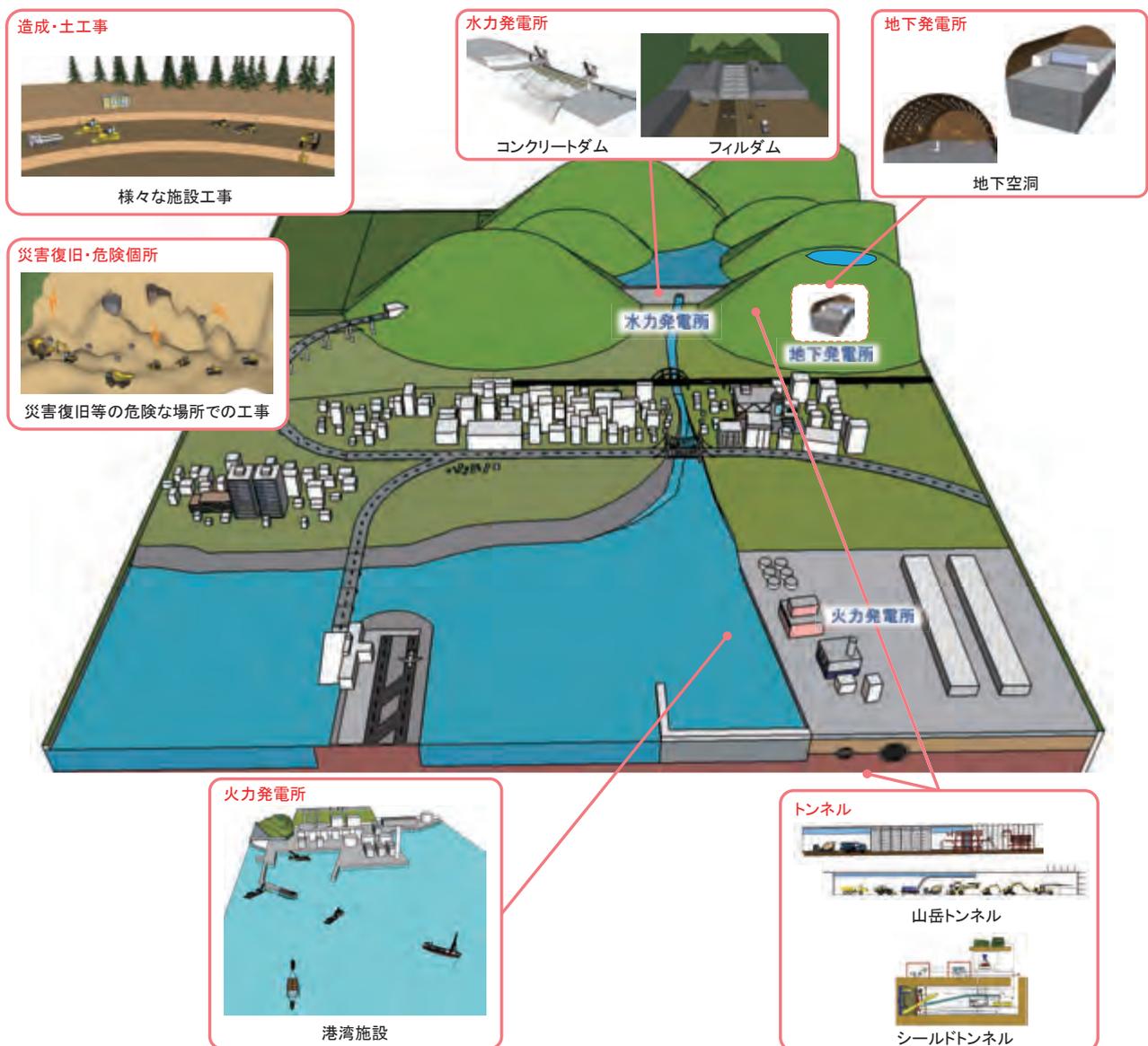
本報告書では、「CIM」、「i-Construction」時代を迎え、重要性を増している「情報化施工」や「ICT活用」にあらためて注目し、電力土木分野での利活用を中心に整理した。さらには、施設の管理者にとって目の前の課題となっている維持管理についても整理し、我々施工会社が、施工の効率化で培った「情報化施工」や「ICT活用」のノウハウが、補修や保守点検も含め、技術者の不足を解消するものとして提言する。

2. 各施設におけるICT活用技術の展開案

本章では現在建設現場で展開されている様々な ICT 技術と、また近未来での採用可能な技術も含め各電力施設での展開案を提案する。

なお第3章から第6章では、実際に建設現場で使用された ICT 技術や ICT 技術を帳票の形でまとめたが、これらの事例を本章の展開案と結び付けることによって、どのような場所で用いられる技術か、あるいはどのような施設を対象とした技術であるかが、わかりやすく参照できる表示とした。

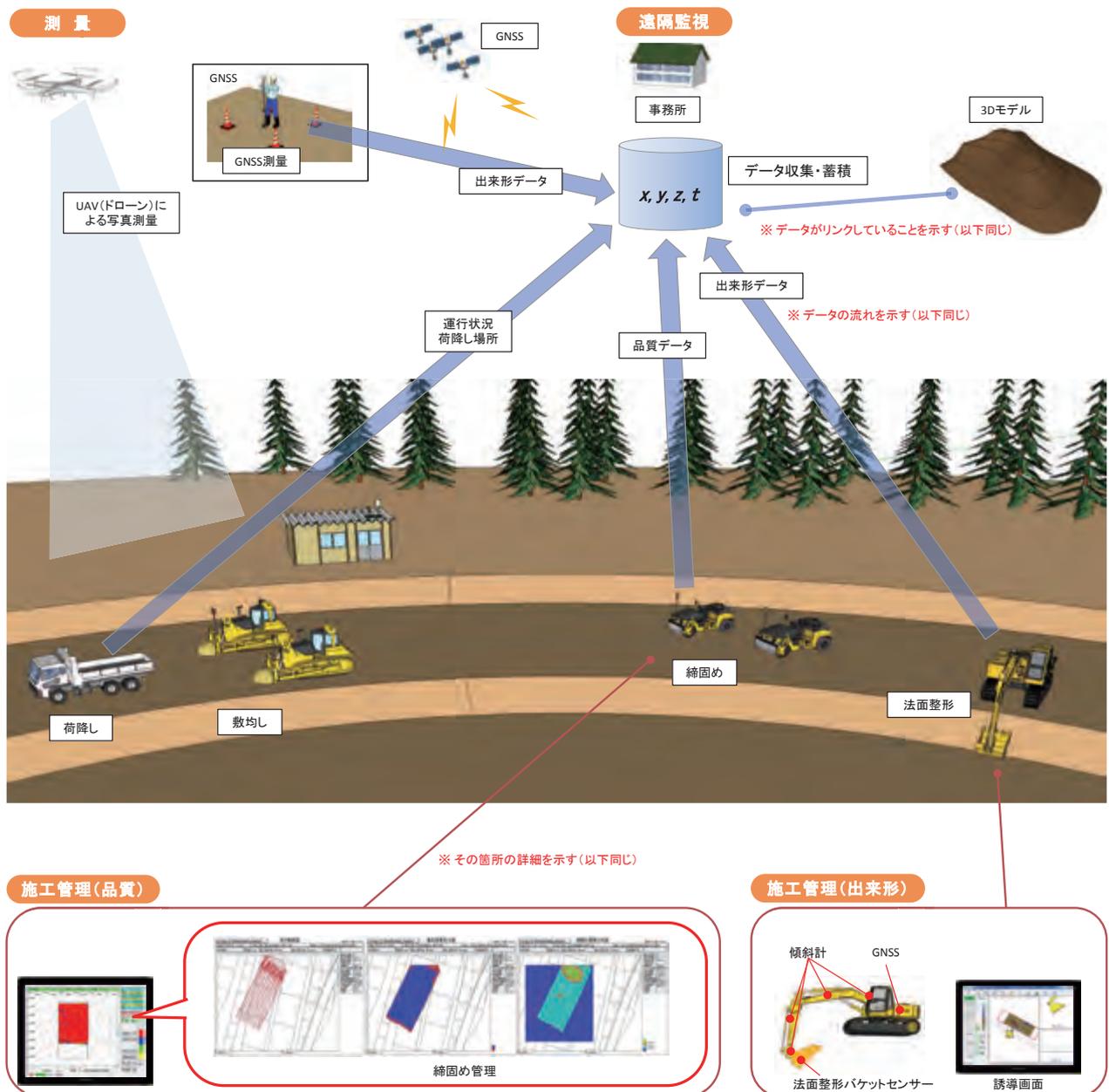
下図は、この後に示す各電力施設等への ICT の展開案に対して、どのような土木構造物（あるいは施工）が関連付いているかを表している。



電力施設建設の例

【造成・土工事】

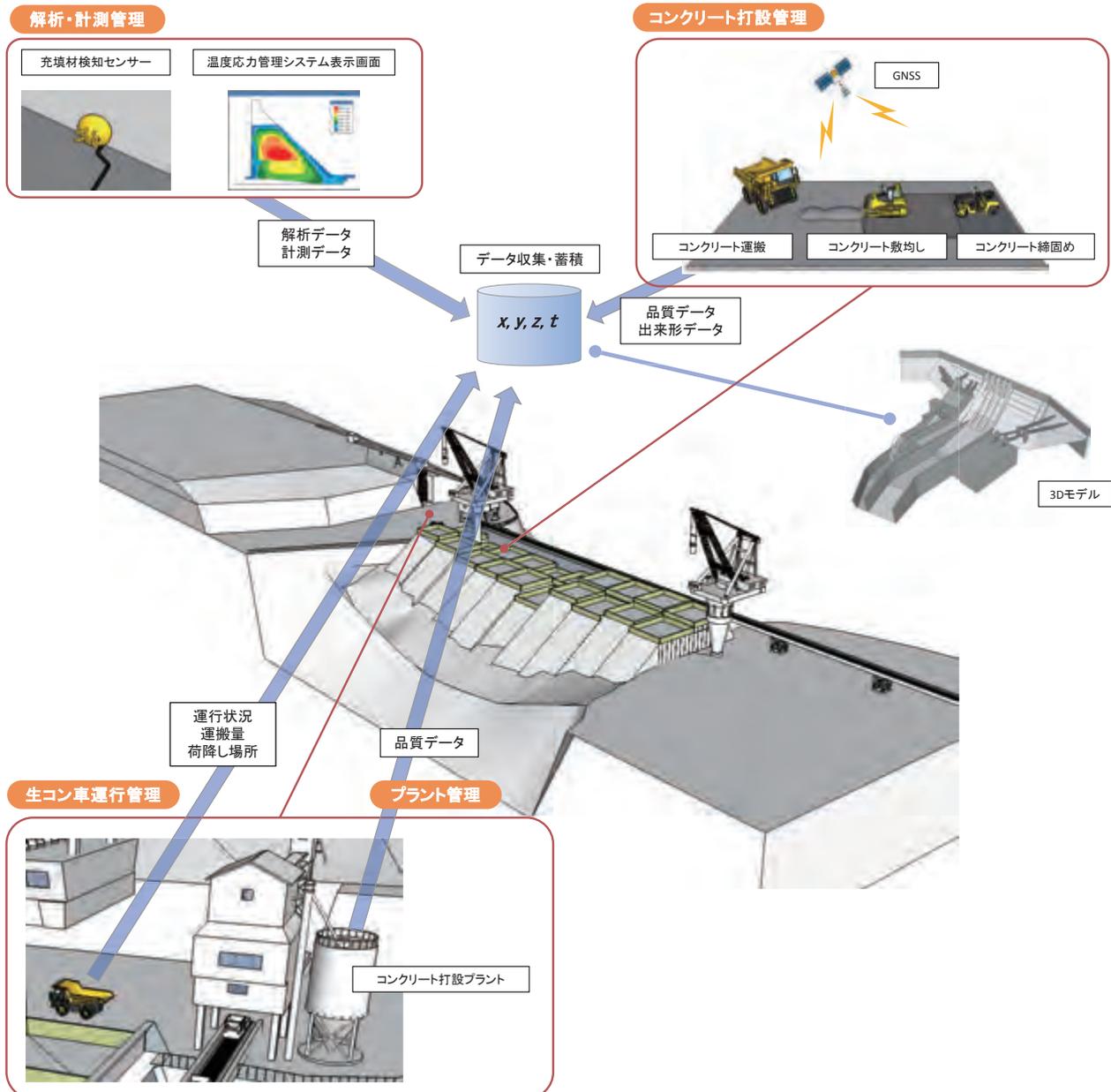
造成・土工事は、測量から施工（敷均し、締固め）、出来形管理の各段階において、ICT 技術が開発、運用されている。測量においてはドローン等の UAV (Unmanned Aerial Vehicle) を用いた技術の実績が増えており、測量作業の省力化と 3次元モデルの作成が迅速に行えるようになった。さらに、3次元モデルを利用して敷均し管理システムや締固め管理システム、土工管理システムを運用し、生産性及び品質の向上を実現しており、得られたデータの一元化をすることで、維持管理への情報としての活用も可能となる。また、ネットワーク技術などを利用した遠隔監視、ダンプ運行管理、環境監視も実用化している。



造成・土工事における ICT の展開例

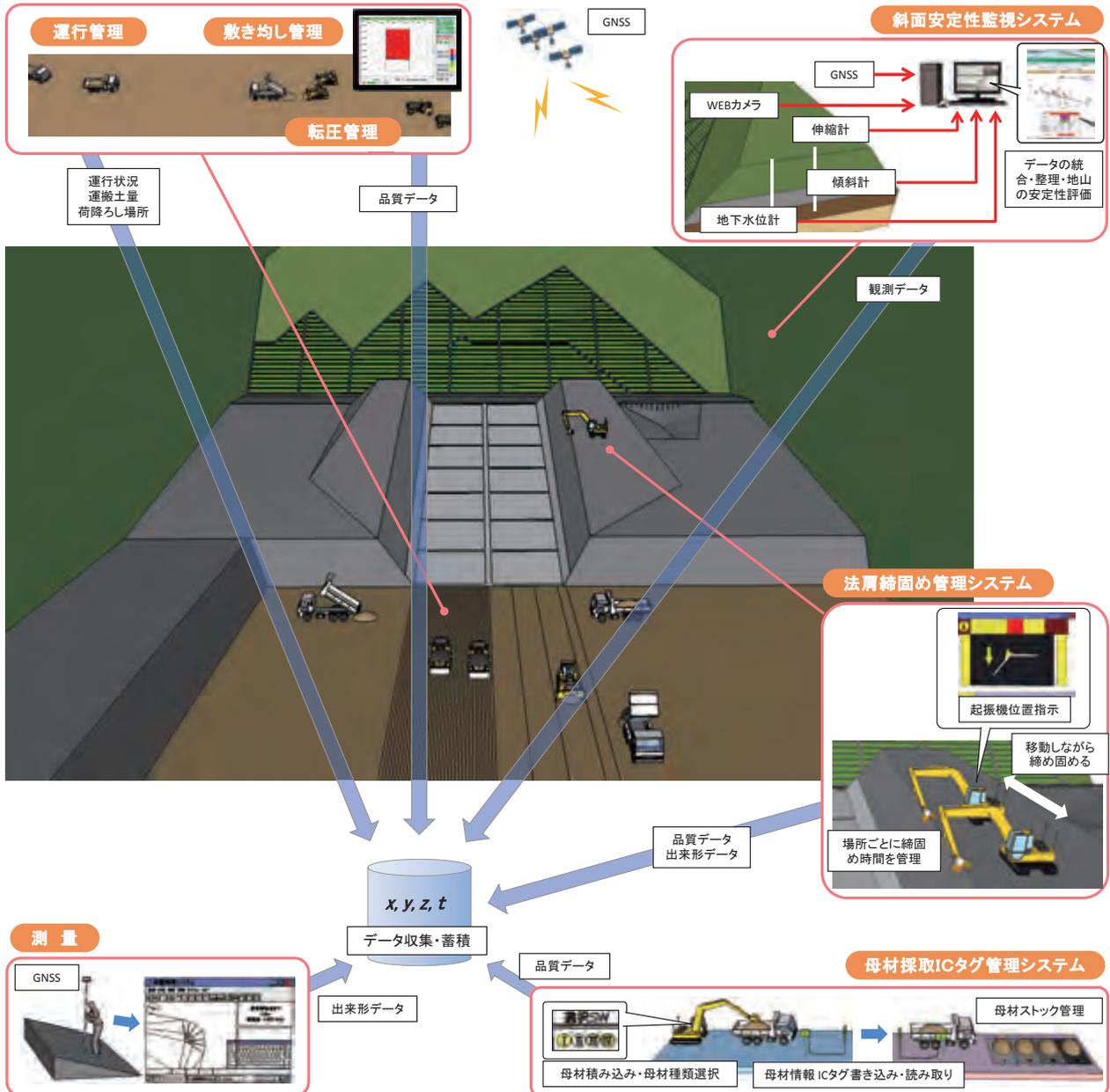
【ダム・貯水池】

ダムは、コンクリートダムとフィルダムに分類される。コンクリートダムは、コンクリート打設に関して ICT 技術が開発、運用されている。プラントでの骨材粒径判別システムや生コン車の運行管理システム、コンクリート打設時の撒き出しや転圧管理に自動化システムなどがあり、これらの施工過程をモニタリングできるシステムも開発されている。また、構造物を3次元モデル化して、施工情報を入力することで、トレーサビリティや運用後の維持管理に利用する事例も増えつつある。



コンクリートダムにおける ICT の展開例

フィルダムは、土や岩石の材料管理から、掘削、敷均し、締固め管理に、マシンコントロールやマシンガイダンス機能を利用した ICT 技術が開発、運用されている。さらに、3次元モデルに盛土材料のトレーサビリティや転圧管理などの品質データを付与して一元管理することで、維持管理に有用な情報として活用することができる。



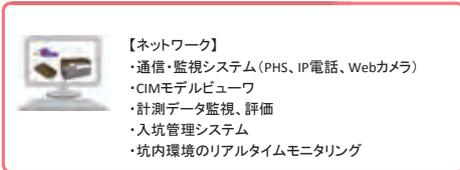
フィルダムにおける ICT の展開例

【地下施設】

■地下空洞

地下空洞は掘削断面積が 300m² を超えるようなものをいい、地下発電所や地下備蓄基地などの利用を目的として構築される。掘削断面が大きいことから空洞の変状予測や地質構造を可視化するシステムなど、安全に施工を進めるための ICT 技術が開発されている。また、3D レーザースキャナーによる掘削形状の計測システムやアンカー・ロックボルトに取り付けたセンサの計測データを転送し、発注者や現場事務所でリアルタイムに監視するネットワークシステムも実用化されている。

工程管理、施工打合せ、情報共有



観測データ

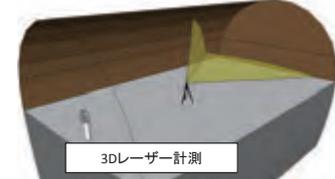
x, y, z, t

データ収集・蓄積

観測データ
解析データ
品質データ
出来形データ

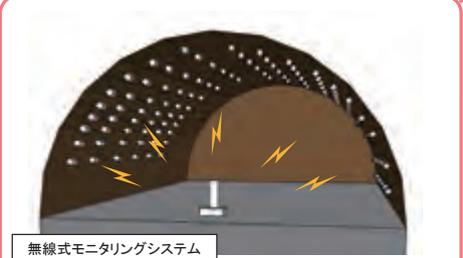
観測データ
解析データ
品質データ
出来形データ

地質構造、支保構造の可視化



- 【アーチ】
- ・変状計測、予想
 - ・キーブロック解析
 - ・切羽観察 (可視画像、熱画像、地質観察)
 - ・地質モデル解析
 - ・3Dレーザースキャナ計測

アンカー、ロックボルトのモニタリング

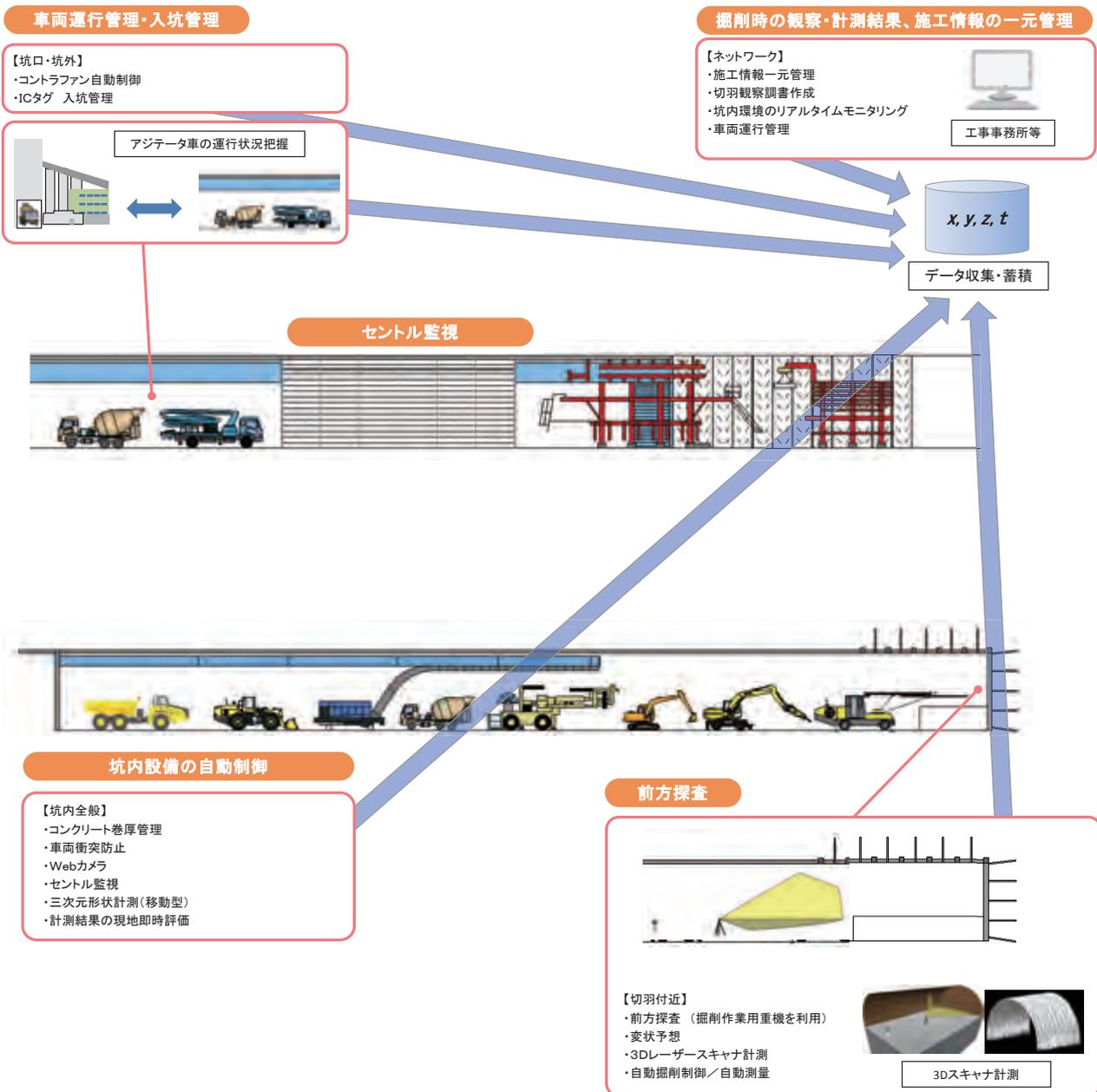


- 【壁下】
- ・湧水量測定
 - ・壁面観察 (可視画像、熱画像、地質観察)
 - ・地質モデル解析

地下空洞における ICT の展開例

■山岳トンネル

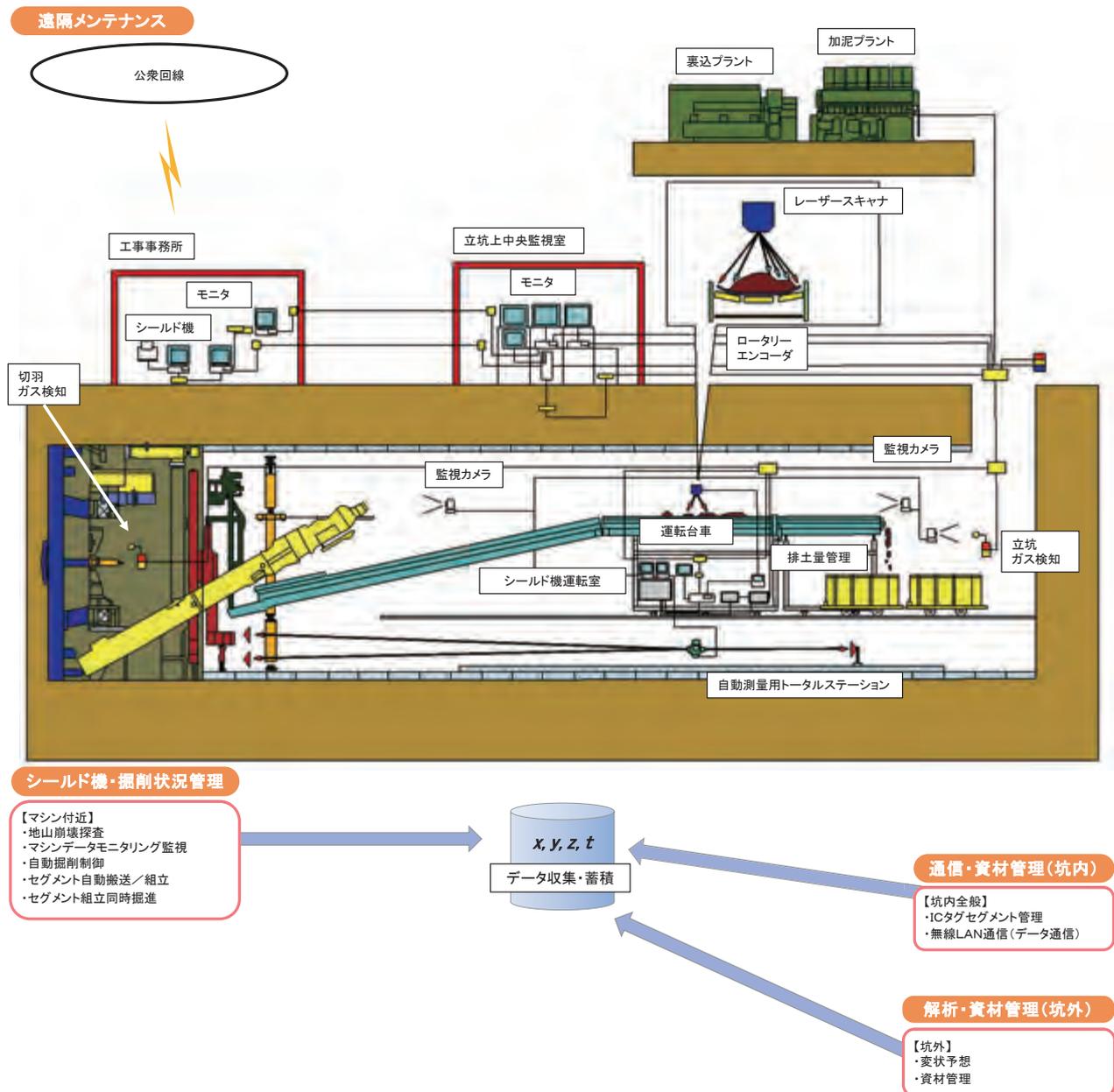
山岳トンネルは、建設工種のなかでも比較的省人化が進んでおり、作業工種全般で ICT 技術が活用されている。切羽付近では前方の地質状態を探索する技術が開発されており、削孔機械の削孔エネルギーや弾性波速度などをもとに探索している。また、レーザースキャナーを用いることで掘削後の形状やコンクリートの巻き立て厚を計測するシステムも実用化している。掘削作業では掘削機の自動制御や削孔位置をガイドするシステムが開発され、過酷な環境での作業を支援している。さらに、風速、温度といった坑内環境を計測して換気設備をコントロールするシステムやコンクリート打設の可視化システム、IC タグで車両や作業員の位置情報をモニタリングするネットワークシステムも利用されている。



山岳トンネルにおける ICT の展開例

■シールドトンネル

シールドトンネルは、遠隔監視・操作、自動化に関する ICT 技術が導入され、最も省人化、効率化が進んでいる建設工種であるといえる。シールドマシンには各所にセンサが装備され、計測データはネットワークで結ばれ一元管理されている。そのデータをもとに遠隔地からオペレーターがシールドマシンを操作することが一般的である。また、測量やセグメントの搬送・組立を自動で行うシステムが実用化され、少人数での施工が可能となっている。さらに、IC タグによるセグメント管理、資材管理などトレーサビリティのためのシステムも実用化されている。



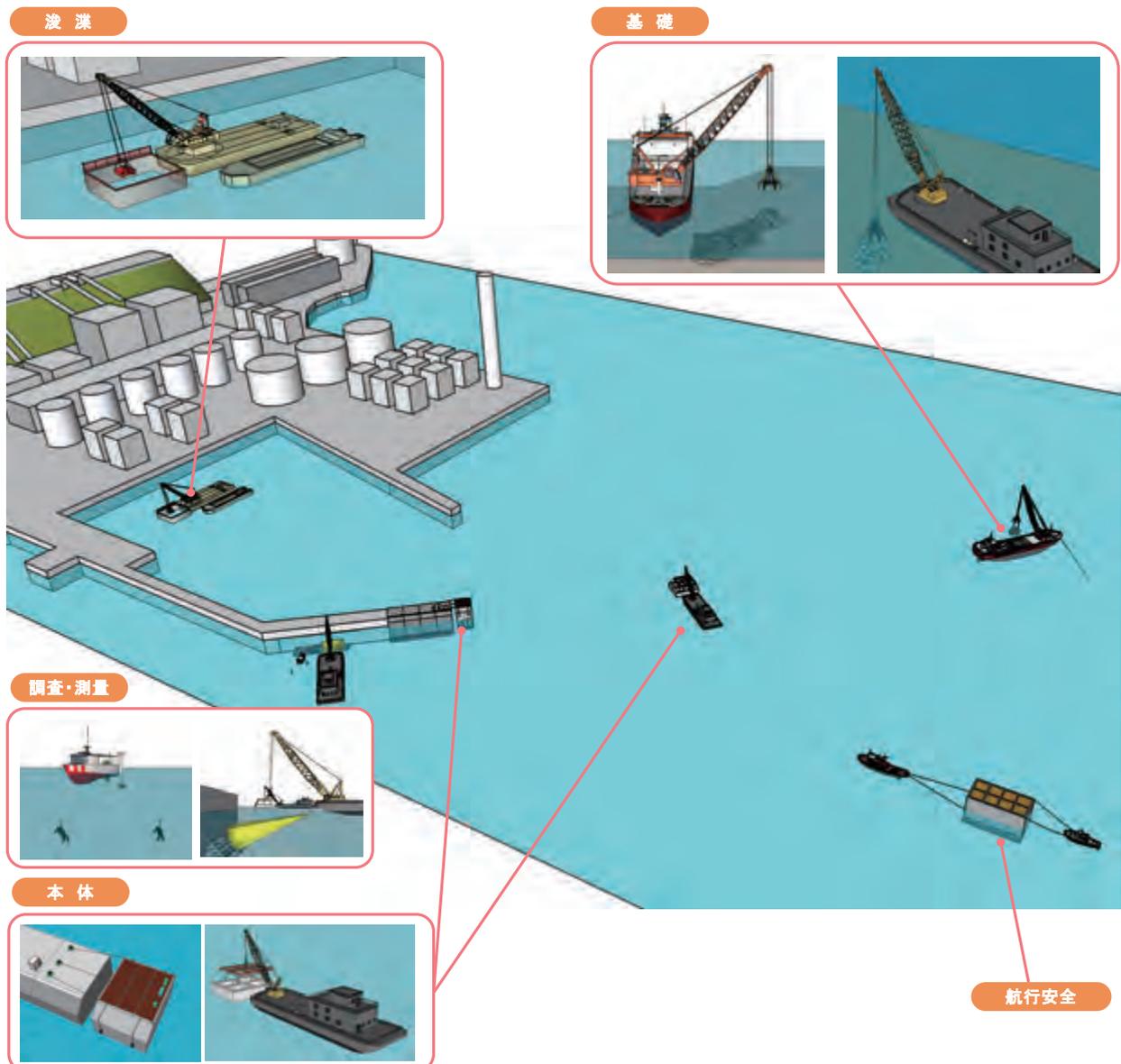
シールドトンネルにおける ICT の展開例

【港湾施設】

港湾工事は、陸上工事と違って、大型の作業船等を用いた海上作業や潜水士による海中作業が多く、位置出しや海底地形、海中構造物の出来形などが把握しにくい特徴がある。また、気象海象状況が稼働率に大きく影響するため、事前の施工計画と短時間での施工管理が要求される。

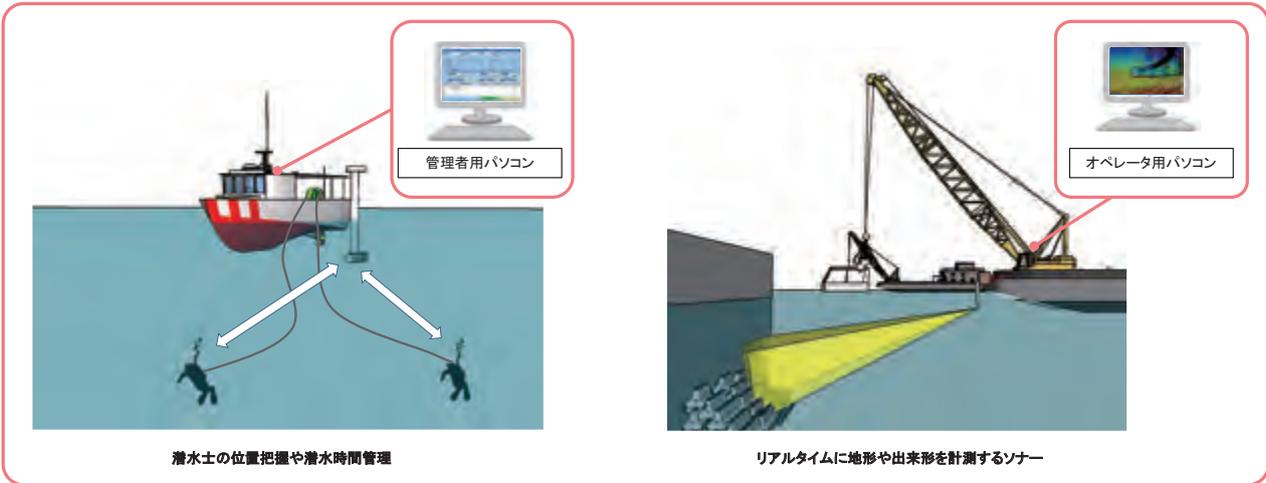
港湾・海洋工事における ICT 技術は、施工の効率化や精度向上だけでなく、作業の無人化すなわち、自動化や遠隔操作による安全性や環境保全等にも大きく貢献するツールである。

近年、各種港湾工事の効率性や精度向上を目的に、無人化や遠隔化による位置誘導システムや GNSS や ICT を装備した作業船による安全な運行管理システムなどが開発されている。測量については陸地～海上部は自動追尾式トータルステーション (TS) や、ドローンや 3D レーザースキャナーを用い、水中部はナローマルチビームなどを活用して、現況や海底地形面を三次元で精度よく見える化できる技術も普及してきている。



港湾施設における ICT の展開例

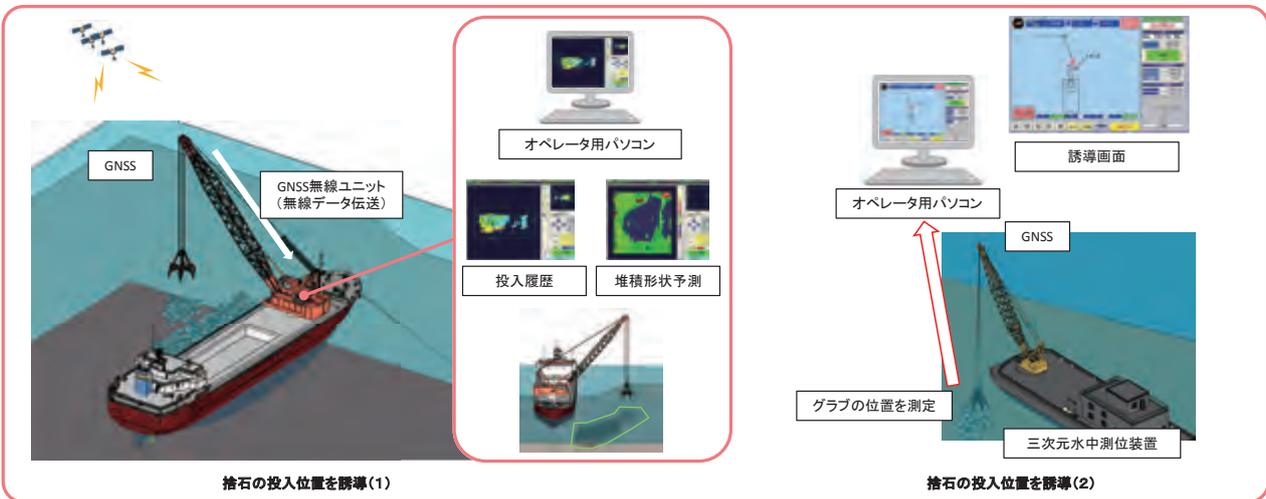
調査・測量



潜水士の位置把握や潜水時間管理

リアルタイムに地形や出来形を計測するソナー

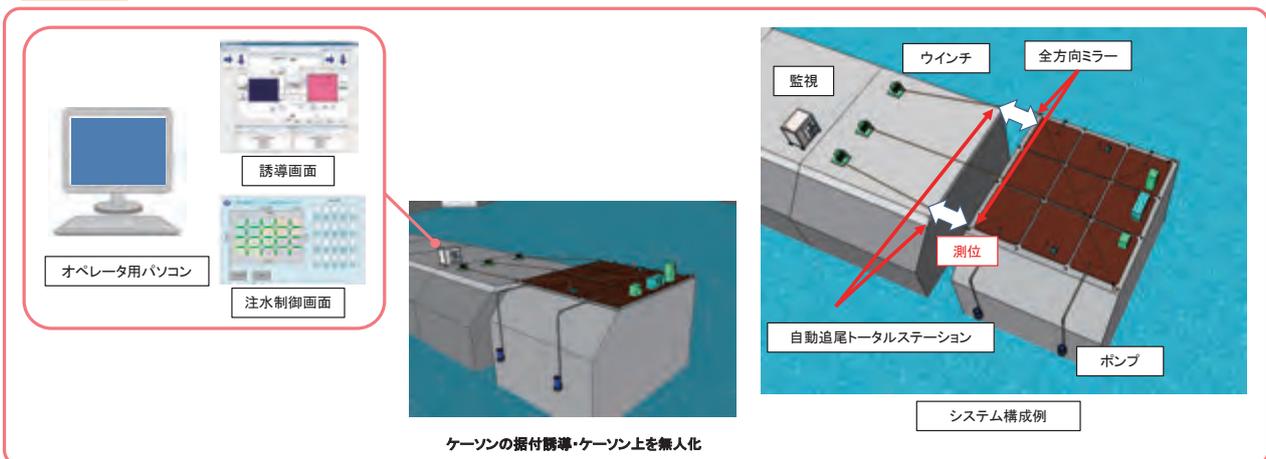
基礎



捨石の投入位置を誘導(1)

捨石の投入位置を誘導(2)

本体



ケーソンの据付誘導・ケーソン上を無人化

システム構成例

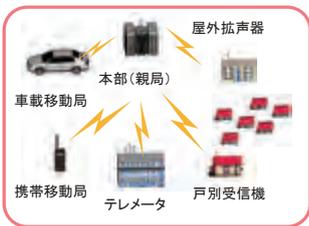
【災害復旧・危険箇所】

災害・危険箇所における ICT 技術は概して災害後の復旧が主体であり、インフラ等の建設とは工事の性質が大きく異なる。災害形態や発生場所は多岐にわたるが、共通課題として人が近づけない環境であることがあげられる。

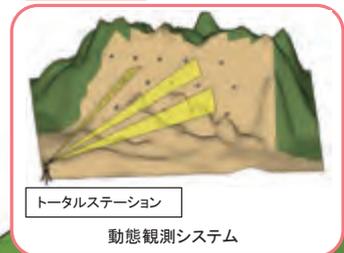
この課題は 1990 年 11 月に噴火した雲仙普賢岳の復興工事における無人化施工の技術開発により、一つの解決策が見出された。二次災害防止に使われた遠隔操作制御の技術は、今日も無人化施工の基盤技術として活用されている。

また ICT 技術の進歩から GNSS、画像処理、UAV、高速通信技術等を活用した情報処理は、高精度な調査や災害に対する情報共有の高速化を実現している。今後、多くの自治体が取り組みはじめた減災（情報）技術を活用し、災害・危険地でのより高度な情報化施工が望まれる。

自治体の減災技術



動態観測



被災地空撮・図面化



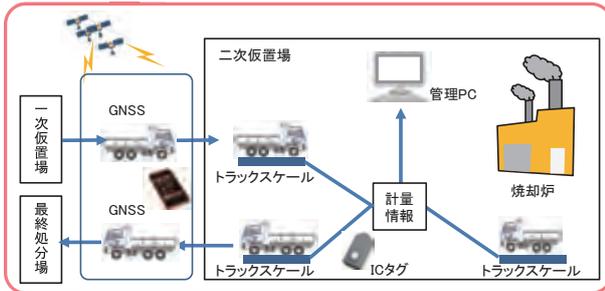
被災地マッピング



無人化施工技術



運行管理



災害復旧・危険箇所における ICT の展開例

3. 造成・土工事における情報化施工技術

造成・土工事にあって活用できる技術 23 編について調査シートに取りまとめた。

表 3 文献調査シート一覧 1/2 (造成・土工事)

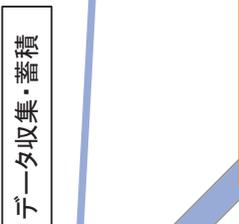
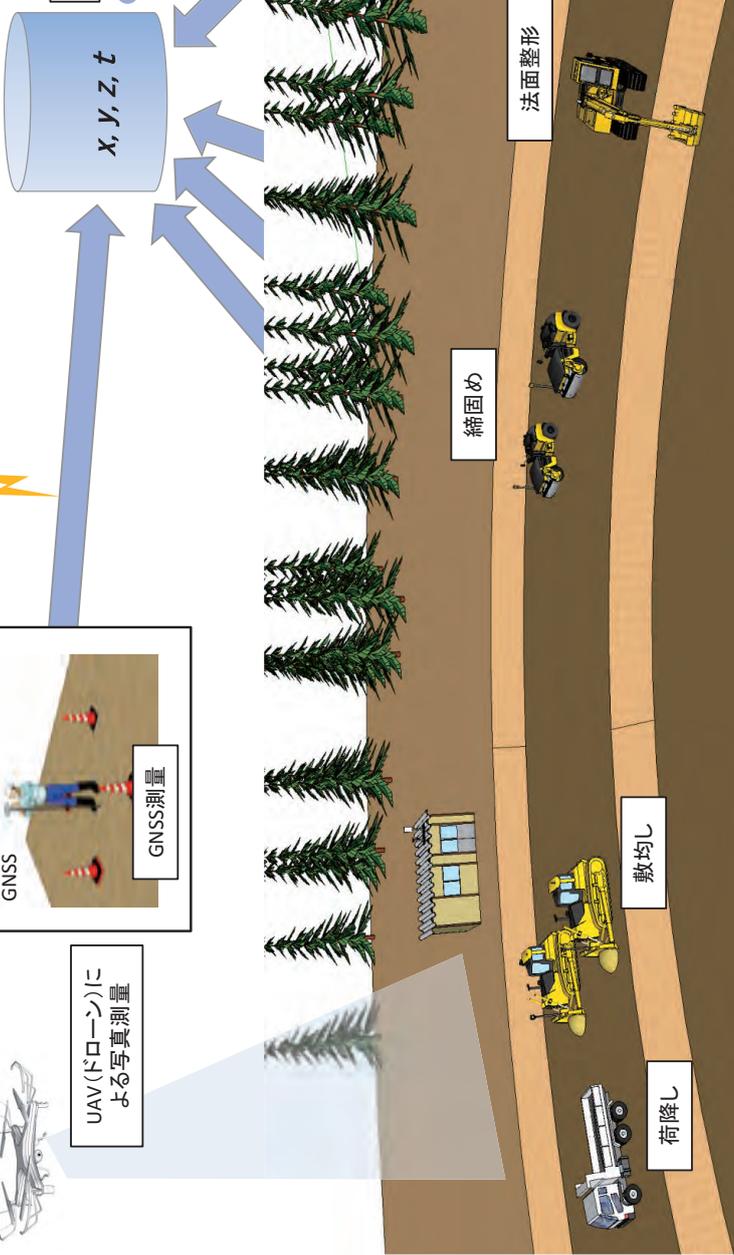
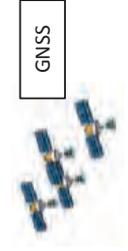
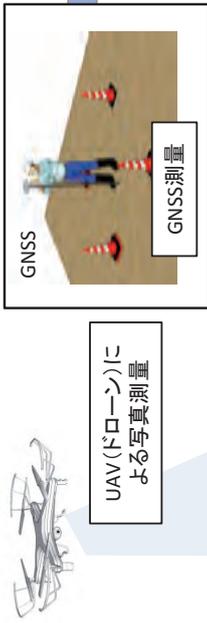
No.	技術名	工事名 (発注者)	キーワード
3-1	UAVを用いた土工事の現況測量	県立奈良病院建替整備事業 他 造成工事(奈良県)	UAV(無人航空機)、三次元写真測量、土量管理、ドローン
3-2	UAVを活用した土工管理システム	平成 25 年度町方地区整地工事((独)都市再生機構 岩手震災復興支援本部)	UAV(無人航空機)、GNSS 測量
3-3	ネットワーク型 RTK-GPS による盛土品質管理	摩当山トンネル工事(国土交通省東北地方整備局)	RTK-GNSS 測量、VRS
3-4	統合情報施工管理システム「ベルーガ・ネット」	2期空港島埋立工事(関西空港用地造成(株))	無線LAN、リアルタイム遠距離監視管理、双方向データ通信
3-5	IT 土工システム「ITeam」	ホンダ寄居新工場造成工事(本田技研工業(株))	締固め管理システム、大規模土工管理、土量バランス、3次元CAD
3-6	3D 土工事施工支援システム「Ni-CSS 3D」	新東名高速道路新城工事(中日本高速道路(株))	3D-CAD、GNSS・TS 出来形測量、3D スキャナ
3-7	ICT 土工管理システム	京極発電所新設工事のうち土木本工事(第4工区)(北海道電力(株))	RTK-GNSS 測量、3D-CAD 統合データベース
3-8	ICT による大規模浄化土壌対策	—	掘削管理システム、土壌洗浄処理
3-9	GPS 土工管理システム	第二東名高速道路小瀬戸工事(日本道路公団静岡建設局)	締固め管理システム
3-10	TS/GNSSを用いた盛土の締固め技術	袖ヶ浦都市計画事業袖ヶ浦市袖ヶ浦駅海側特定土地区画整理事業に係る造成本体工事他(袖ヶ浦市土地区画整理組合)	締固め管理
3-11	ブルドーザ造成管理システム	①東京国際空港 D 滑走路建設外工事(国土交通省関東地方整備局)②2期空港島埋立工事(造成その 5)③2期空港島埋立工事(二次揚土その 8)(②③関西国際空港用地造成(株))	GNSS 敷均し管理、マシンガイダンス
3-12	転圧管理システム	①東京国際空港D滑走路建設外工事(国土交通省関東地方整備局)②第二東名高速道路大淵工事(中日本高速道路(株))③2期空港島埋立工事(造成その 5)(関西国際空港用地造成(株))	GNSS 締固め管理、転圧回数管理、加速度計による面的管理
3-13	盛土施工管理システム	東京国際空港 B 平行誘導路用地造成等工事(国土交通省関東地方整備局)	TS・GNSS 締固め管理、転圧回数管理
3-14	GPS・地盤反力データを利用した盛土の自動締固め管理システム	圏央道牛久稻敷地区改良その 8(国土交通省関東地方整備局)	CCV(振動加速度応答値)、締固め管理
3-15	マシンガイダンス(バックホウ)技術	平成 21 年度 木曾川源緑排水機樋管改築工事(国土交通省中部地方整備局)	マシンガイダンス、丁張レス
3-16	のり面締固め管理システム	北海道横断自動車道塩谷工事(東日本高速道路(株))	GNSS マシンガイダンス、締固めエネルギー、バケットセンサ
3-17	ダンプ積載土量計測システム	—	デジタル写真測量、土量計測
3-18	ダンプ運行管理システム	大槌町浪板地区、吉里吉里地区、赤浜地区、安渡地区及び小枕・伸松地区他第 1 期工事(大槌町)	土質材料トレーサビリティ

表3 文献調査シート一覧 2/2 (造成・土工事)

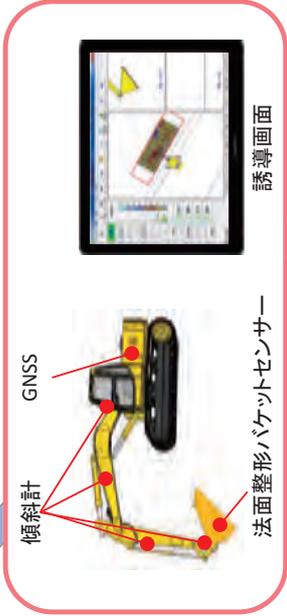
No.	技術名	工事名 (発注者)	キーワード
3-19	車両運行管理システム	①苅田沖土砂処分場(中工区)地盤改良工事②新若戸道路沈埋トンネル部(4・5号函)築造工事(①②国土交通省九州地方整備局)③第二東名高速道路大淵工事(中日本高速道路(株))	走行軌跡管理、積み下ろし履歴管理、車両速度 WEB 管理
3-20	建設重機アイドリング監視システム	常磐自動車道山元工事(東日本高速道路(株))	アイドリング監視システム、環境保全、見える化、エコ運転判定
3-21	長距離無線 LAN、携帯電話通信網等を利用した環境監視システム	①宮城県内国道トンネル②和歌山県内高速道路トンネル③④秋田県内国道トンネル	振動監視システム、粉塵監視システム、濁度監視システム、穿孔データ伝送システム
3-22	省燃費運転評価システム「Eco-Dash」	新名神高速道路 道場トンネル工事(西日本高速道路(株))	省燃費運転評価システム、エコドライブ車載機、OBD(On-Board Diagnostics)
3-23	情報化設計施工管理システム「TOMS」	①首都高速中央環状線 SJ46 工区(3)立坑工事②長久保工場用地取得造成事業敷地造成工事③アイランドシティ地区平成 12 年度外周護岸(B1・B2)築造工事④千代田区一、三番町付近再構築その2工事 No.1 両発進立坑	山留め管理、地盤の沈下安定管理、斜面安定管理、地下水管理

測量

- 3-1 UAVを用いた工事の現況測量 p19
- 3-2 UAVを活用した土工管理システム p22
- 3-3 ネットワーク型RTK-GPSによる盛土品質管理 p25

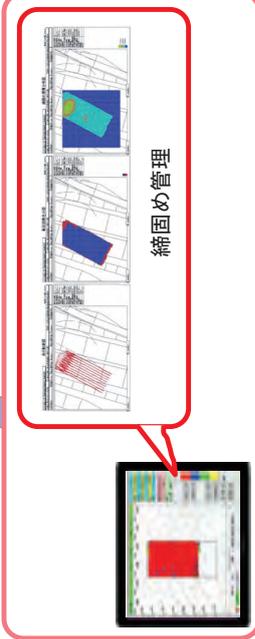


施工管理(出来形)



- 3-5 ITシステム「Team」 p32
- 3-6 3D土工工事施工支援システム「NI-CSS 3D」 p36
- 3-7 ICT土工管理システム p39
- 3-8 ICTによる大規模浄化土壌対策(3-8) p43

施工管理(品質)



- 3-9 GPS土工管理システム p47
- 3-10 TS/GNSSを用いた盛土の締固め技術 p50
- 3-11 ブルドーザ造成管理システム p52
- 3-12 転圧管理システム p54
- 3-13 盛土土工管理システム p56
- 3-14 GPS・地盤反力データを利用した盛土の自動締固め管理システム p60
- 3-15 マシンガイダンス(バックホウ)技術 p64
- 3-16 のり面締固め管理システム p66

運行管理

- 3-17 ダンプ積載土量計測システム p68
- 3-18 ダンプ運行管理システム p71
- 3-19 車両運行管理システム p74

環境監視

- 3-20 建設重機アイドリング監視システム p76
- 3-21 長距離無線LAN、携帯電話通信網等を利用した環境監視システム p79
- 3-22 省燃費運転システム「Eco-Dash」 p83
- 3-23 情報化設計施工管理システム「TOMS」 p86

- 3-4 統合情報施工管理システム「ベルーガー・ネット」 p28

3. 造成・土工における情報化施工技術

【造成・土工】

技術名	UAVを用いた土工の現況測量
番号	No. 3-1
発注者	奈良県
施設名	敷地造成
所在地	奈良県奈良市
工事名称	県立奈良病院建替整備事業 他 造成工事
施工期間	2013年10月～2015年12月
施工者	奥村・山上・森高特定建設工事共同企業体
キーワード	UAV（無人航空機）、三次元写真測量、土量管理、ドローン

(1) 概要

安価な UAV（無人航空機）による安定的な飛行技術の向上により、上空から小規模な範囲を比較的容易に撮影できるようになってきた。一方で、3D フォトメトリと呼ばれるマルチステレオ写真からの自動三次元データ生成技術が発達してきた。

これらの技術を用いて、県立奈良病院建替整備事業における造成現場において、マルチステレオ写真を撮影して三次元データ化し、二時点の差分解析を行い、局所的地形変化抽出の可能性を検証した事例である。



図-1 UAV（無人航空機）

(2) 技術詳細

1) UAVによる撮影

図-2に示すように、対象現場は東西方向が約470m、南北方向が約330mであり、粗造成の施工段階であった。

UAVはDJI社のS800EVO（6枚羽、ペイロード1.3kg）を使用し、UAVに市販カメラ（1,800万画素、約450g）を鉛直な向きに設置し、施工現場上空を約2.5時間の間隔で二回撮影を行った。

（10：00頃時点と12：30頃時点）



図-2 施工現場全域

また、撮影した二時点のデータの位置合わせのための基準点および三次元データの位置精度検証のための検証点（合計12点）を現場内に設置し、VRS-GNSS測量による観測を行った。撮影時の天候は曇りで、日照による日陰の影響が少ない写真を撮影した。

（二時点合わせて約1,100枚）



図-3 VRS-GNSSによる基準点測量

2) 三次元データ化

UAVを使用して撮影した写真を用いて、3Dフォトメトリシステムによる三次元データ化を行った。図-4はその三次元データのイメージである。この三次元データの検証点における誤差は10cm以内であった。

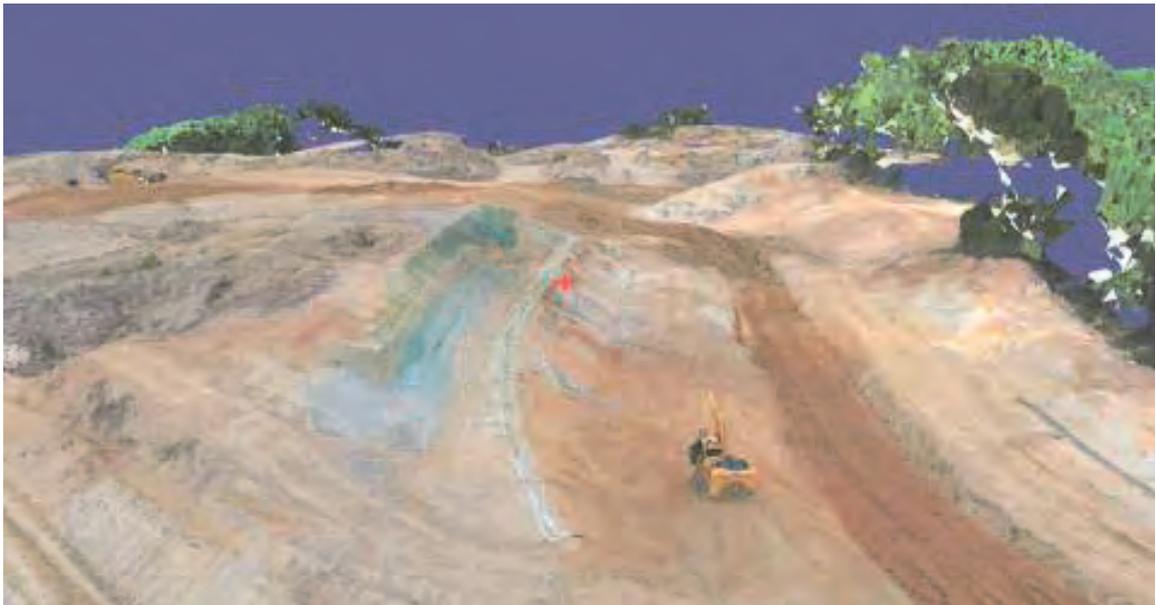


図-4 作成した三次元データのイメージ

(3) 結果

1) 差分解析結果

まず、二時点の三次元データからそれぞれのDSM（数値表層モデル）を作成した。図-5は二時点のDSMをそれぞれコンター表示したものである。次に、この二時点のDSMを用いて差分解析を行った。図-6はその一部を拡大表示したものであるが、二回の撮影の間の掘削作業による地形変化の様子をとらえることができた。この変化量から移動土量の算出が可能になると考えられる。

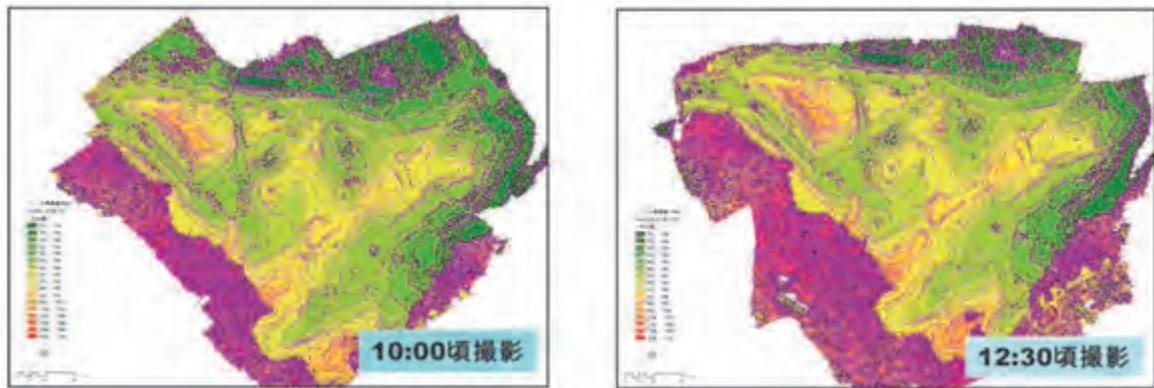


図-5 二時点の三次元データから作成した DSM（コンター表示）

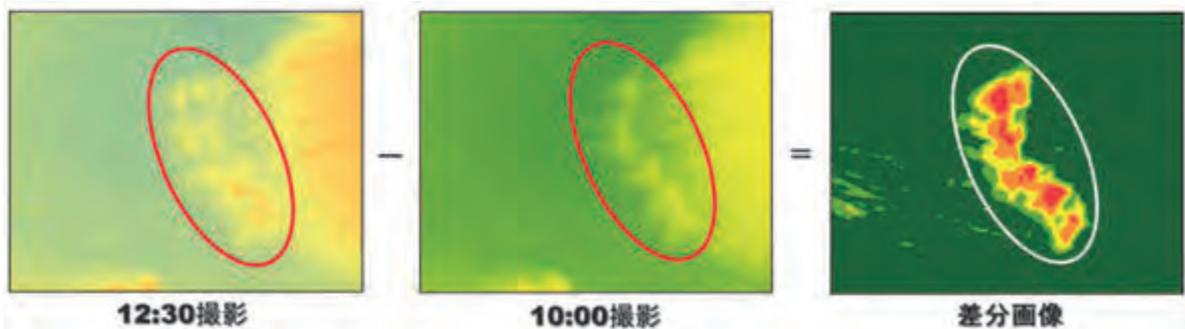


図-6 二時点の DSM の差分解析

2) 今後の課題

造成現場を対象に、UAV による二時点のマルチステレオ写真を用いて、3D フォトメトリ技術により三次元データ化し、DSM を作成して差分解析を行った。その結果、二時点の地形変化をとらえることができ、造成現場における土量計算への応用可能性を示すことができた。

今回は、実際の移動土量（トラックなどで運び出された量）を記録していなかったため、真の移動土量と算出土量との比較検討を行うことができなかったが、今後は、実際の移動土量を記録し、算出土量との比較を行う必要がある。

参考文献	土木学会第 70 回年次学術講演会：(株)奥村組 五十嵐善一他、VI-007 2015 年 9 月
備考	—

【造成・土工事】

技術名	UAV を活用した土工管理システム
番号	No. 3-2
発注者	(独)都市再生機構 岩手震災復興支援本部
施設名	—
所在地	岩手県上閉伊郡大槌町
工事名称	平成 25 年度町方地区整地工事
施工期間	2013 年 6 月～2017 年 6 月
施工者	前田・日本国土・日特・パスコ・応用地質大槌町町方地区震災復興事業共同企業体
キーワード	UAV（無人航空機）、GNSS 測量

(1) 概要

大槌町町方地区の整備工事では、調査、測量、設計及び施工の一体的なマネジメントを実施することで、大槌町震災復興事業の早期着手及び円滑な事業促進を図っている。そのなかで、工事の進捗状況を HP、インフォメーションセンターに表示して、地元の方に紹介するという取り組みを行っている。平成 25 年度町方地区整地工事の早期整備工事は、町方地区の 30ha の範囲を、他工区から搬入される盛土材料を用いて 2m のかさ上げを行うものである。この広域な施工エリアの造成工事において、UAV を用いた出来高測量を実施した。

(2) 技術詳細

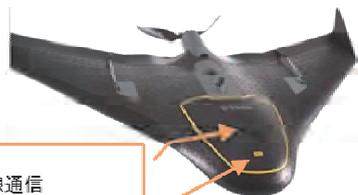
1) 技術の特徴

- ・ 小型無人飛行機を用いた、広範囲の無人出来高測量が可能となる。
- ・ 予め入力した飛行データに基づき、自動制御により測量を実施できる。
- ・ コントロールタブレットを用いて飛行計画データを作成できる。
- ・ 無線通信により機体の位置・高度・傾きなどのモニタリング可能である。
- ・ 測量データを専用のソフトウェアに読み込ませ、結果を 3D として出力される。

2) システムの詳細

広域な施工エリアの本造成工事において、無人出来高測量を実施するために、固定翼型の UAV である TRIMBLE UX-5 を無人測量機として採用した。機体本体には GPS、通信機器、バッテリー、デジタルカメラを搭載されており、専用のコントロールタブレットで飛行計画や飛行指示を行うことができる（図-1）。この無人機の飛行中に、搭載したデジタルカメラで施工エリア全体の画像を取得する。これらの画像は、専用ソフトウェアを用いて解析し、3 次元の点群データとして出力して施工土量の算出を行う。

◎TRIMBLE UX5 本体
固定翼タイプ



GPS
無線通信
制御用CPU
バッテリー
デジカメ搭載



対象地域を上空から
デジカメで連続撮影
する。

【寸法】
100cm×65cm×10cm
【重量】2.5kg
【飛行速度】80km/h
【航行時間】50分
【航行距離】60km
【限界風速】65km/h
【天候条件】雨、雷不可

◎コントロールタブレット

【通信】無線通信
(飛行中の位置を監視)

【地図】Google maps

【計画】エリアと風向き、航行高度
を指定すると飛行ルートは
自動設定される。



タブレット画面上で操作する。
飛行計画データの作成
機体の位置、高度、傾き等の
モニタリング

図-1 UAV を用いた無人出来高測量システム

(3) 結果

1) 画像の取得・解析

UAV を用いて施工エリアの無人出来高測量を実施した。対象となる 30ha の範囲を測量するためにかかる 1 回の飛行時間は約 40 分程度であった。解析にかかる時間は 5~8 時間であり、点群とオルソ補正を行った航空写真（オルソ画像）を出力することができる（図-2）。

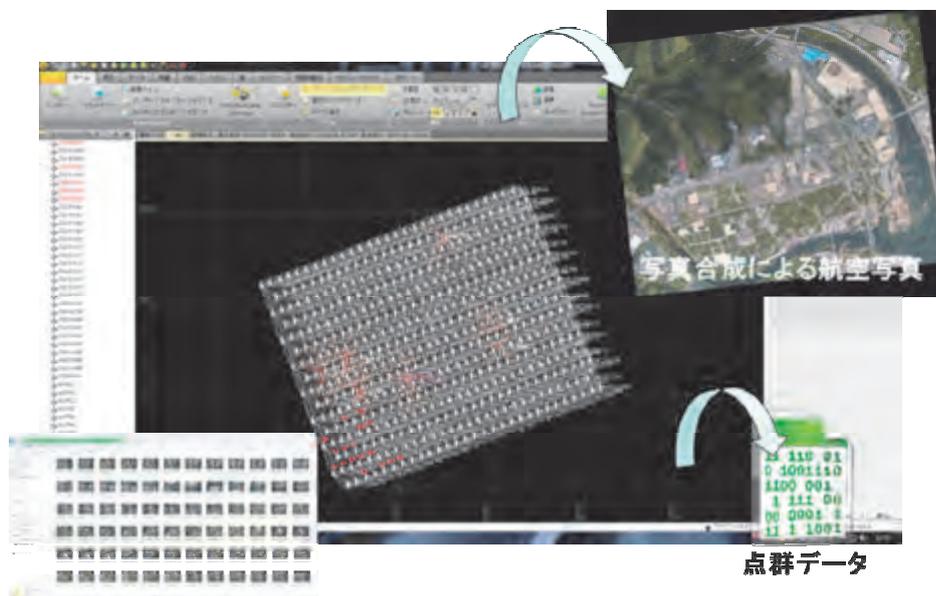


図-2 撮影した画像データの解析画面

2) 解析データの活用

解析結果として出力される点群やオルソ画像を、施工管理において以下のように活用した。なお本技術の測定精度は GNSS 測量と同程度である。

- 3D-CAD を用いて出来高を算出し、前月との差分をとることで、今月の出来高の算出の根拠として活用することができる。
- オルソ画像を用いて打ち合わせすることで広範囲の施工状況を正確に把握することに役立てられる。
- 点群、オルソ画像から図-3 に示すような 3D 表現が行え、幅広い関係者に現場状況を見える化できる。



図-3 UAV 出来高測定の3D出力例

参考文献	—
備考	—

技術名	ネットワーク型 RTK-GPS による盛土品質管理
番号	No. 3-3
発注者	国土交通省東北地方整備局
施設名	摩当山トンネル
所在地	秋田県北秋田市栄～大館市大子内地内
工事名称	摩当山トンネル工事
施工期間	2008年3月～2011年3月
施工者	ハザマ・西武特定建設工事共同企業体
キーワード	RTK-GNSS 測量、VRS

(1) 概要

ネットワーク型 RTK-GPS とは、複数の固定局の観測データを利用して、固定局と移動局の距離に関係なく、短距離基線の RTK-GPS と同等の精度を実現する測位方式である。複数の固定局のデータとして、国土地理院が運用し民間に開放している全国約 1,200 点の電子基準点網 (GEONET) の電子基準点リアルタイムデータを利用する。

VRS (Virtual Reference Station) とは「仮想基準点」と直訳される。その測位方法は、観測地点の GPS 測位情報 (単独測位値) を、携帯電話通信網を利用して配信事業者に送信し、配信事業者は国土地理院から提供される電子基準点データを元にその観測点近傍に仮想基準点を構築する。移動局ではこの仮想基準点に対する補正情報等を配信事業者から受信し、移動局観測データと補正情報から基線解析を行い、移動局座標を得るものである (図-1)。

測位機器は、観測点に配置されている GPS 受信機、GPS 受信機を制御するためのコントローラ、配信事業者との通信を可能とする通信モジュールで構成される (図-2)。



図-1 VRS-GPS のイメージ
(ジェノバ社HP)



図-2 VRS-GPS の機材構成

(2) 技術詳細

1) VRS-GPS を情報化施工に利用する際の問題点

VRS-GPS は、定点観測が主体の基準点測量の分野では近年活発に利用されているが、連続的に速度をもって移動する車両や船舶に搭載しての適用事例は少ない。その要因としては以下のような問題を含んでいるためであると考えられる。

①仮想基準点データは近隣の複数の電子基準点データから生成されるが、その位置は GPS 受信機を初期化した場所に規定される。初期化した位置が実際に施工する場所から大きく離れていた場合には、位置計測精度や座標再現性が劣化する恐れがある。

②専用回線ではない一般的な携帯電話通信網を利用して仮想基準点に関連した補正情報が配信されるため、通信状況や配信データ量によってはデータ遅延や不達が生じる可能性がある。このことにより、GPS 受信機には時間遅れに対応した RTK 演算機能が組み込まれているが、重機走行を考慮した正確な位置計測ができない可能性がある。

これらの問題点に関して、2つの実験を実施した。

2) 定点における初期化実験(実験 1)

静止時(定点観測)における VRS-GPS の特性を把握するために、仮想基準点の生成位置と初期化位置との距離(いわゆる基線長)、計測精度、初期化時間、衛星飛来状況についての相互関係を把握することを目的とした。

3) 移動観測実験(実験 2)

実験 1 の結果を踏まえて実験 2 では、従来型 RTK と VRS-GPS の各装置、データ比較のために自動追尾型 TS を移動体に搭載して走行させ、移動観測時の位置座標の比較を行った。VRS-GPS を用いた情報化施工システムにより盛土の品質管理が可能であるかどうかを確認することを目的とした。

(3) 結果

1) 定点における初期化実験(実験 1)

実験 1 では、静止画の VRS-GPS の初期化に関わる性能を、整合を取る電子基準点の組み合わせを変えることで検証した。その結果、仮想基準点の座標値が電子基準点の組み合わせによりシフトする現象が確認できた。仮想基準点は相対測位の基準点に相当するものであり、この点の座標がシフトすることは相対測位の結果として得られる重機位置座標にも影響を及ぼす。したがって、より正確な計測を行うためには、仮想基準点の位置を固定(指定)する必要がある。すなわち、工事の工期全体を通じて、同じ電子基準点の組み合わせにおいて仮想基準点を生成することが重要となる。この処置により、VRS-GPS は従来型 RTK と同等の精度が発揮できるものと考えられる。

2) 移動観測実験(実験 2)

実験 2 では、重機移動時の VRS-GPS の位置精度を TS や従来型 RTK と対比することで検証した。その結果、TS や従来型 RTK と対比することで検証した。その結果、TS と VRS-GPS および TS と従来型 RTK との 2 つの較差は 20mm 程度でほぼ同値であり、また VRS-GPS と従来型との

較差については、平面距離にして平均で 14mm であることが確認できた。このことから、国土交通省等発注者が制定する施工管理要領に記載のある、工区を 50cm 平方メッシュに区切って施工管理する盛土の情報化施工においては、十分な位置精度であると考えられる。

3) まとめ

以上のような重機の静止時および移動時を想定した 2 つの実験により、盛土品質管理システムの中核をなす位置決め手法として VRS-GPS の適用性が確認できた。これにより、VRS-GPS を位置決め手法のメニューに加え、道路中心線測量や土工事における杭の測設、重機に搭載しての敷均し管理・締固め管理に積極的に採用している。

参 考 文 献	建設の施工企画：(株)間組（現・(株)安藤・間）黒台昌弘他 日本建設機械化協会、No. 740、pp28～32、2011. 10
備 考	—

技術名	統合情報施工管理システム「ベルーガ・ネット」
番号	No. 3-4
発注者	関西空港用地造成(株)
施設名	—
所在地	—
工事名称	2期空港島埋立工事
施工期間	2006年2月～2006年10月
施工者	東亜建設工業(株)
キーワード	無線LAN、リアルタイム遠距離監視管理、双方向データ通信

(1) 概要

情報通信技術を利用し、施工重機と現場詰所や事務所をネットワーク接続する「統合情報施工管理システム(以下、ベルーガ・ネットと称す。)」を開発し実工事への適用を行っている。ベルーガ・ネットとは、情報通信技術を利用して施工重機や測量船、測量車と事務所間をネットワーク接続することにより、施工情報(平面位置・軌跡・速度・方位および計測データ等)をいつでもどこでもリアルタイムに把握できるトータル監視管理システムである。図-1に「ベルーガ・ネット」のイメージ図を示す。



図-1 統合情報施工管理システム
(ベルーガ・ネット)

関西国際空港2期空港島用地造成事業では、埋立工事の内、2次揚土工事は間接的に揚土された埋立材をホイールローダ、重ダンプトラックを用いて積込・運搬し、ブルドーザ・振動ローラにより敷き均し・転圧を行う層状転圧締固め工法により施工されていた。その二次揚土工事では、大量急速施工に対応するため広大な施工区域に多くの施工重機が稼働しており、施工・出来形・品質管理データ等の膨大な施工情報が日々蓄積される。そのため施工管理上、それら施工情報を迅速に取得し、整理・解析を行い、次工程に反映させることが施工管理上の重要な課題であった。また、既存の事務所間や事務所内データ通信技術と比べ、精密機械を施工重機のような常に移動を伴った、振動や粉塵等が発生する厳しい現場作業環境に長期的に適用することによる作動不良の早期発見や解消、データ送信の不確実性の解消を図ることが技術的な課題であった。そこで、これらの課題への対応として双方向通信機能を付加したシステムの開発を行い、現場運用を行った。

(2) 技術詳細

1) システムの機能

関西国際空港2期空港島用地造成事業に適用したケースのシステム各端末の詳細について

て以下に示す。本システムでの端末は、移動局（重機群）と基準局（現場詰所）から構成される。取得された施工情報は、移動局（重機群）から2秒毎に施工情報を自動送信され、基準局（現場詰所）にてリアルタイムに施工状況を把握することができる。

2) 移動局

① バギー測量車

広域的な測量を効率的に実施するため、機動性に富むバギー車にRTK-GPSを搭載したものである。図-2に測量車仕様およびシステムモニタ画面を示す。施工情報として工区域内における平面位置・測量軌跡・機体速度・測量時刻および地盤高等の取得を行う。

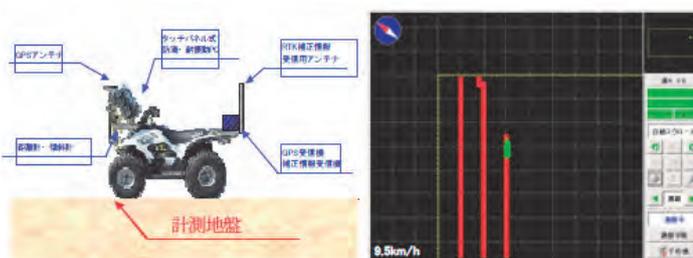


図-2 バギー測量システム

② ブルドーザ

排土板に設置したGPSにより、現在の地盤高と計画地盤高との差をリアルタイムに表示し造成を行う。図-3にブルドーザ仕様およびシステムモニタ画面を示す。施工情報として工区域内における平面位置・軌跡・機体速度・作業時刻および地盤高の取得を行う。



図-3 ブルドーザ造成支援システム

③ 振動ローラ

振動ローラに設置したGPSにより得られた位置情報をもとに、施工区域内における軌跡と転圧回数をリアルタイムに表示し転圧管理を行う。図-4に振動ローラ仕様およびシステムモニタ画面を示す。また、本工事では転圧地盤の剛性値を取得するための加速度計を振動ローラに搭載しており施工情報として取得する工区域内における平面位置・軌跡・速度・時間・転圧回数に加え加速度剛性データの取得も行っている。



図-4 振動ローラ転圧管理システム

3) 基準局

移動局から自動送信された施工データは、現場詰所（基準局）内のサーバPCに自動保存される。以下に基準局の特長を示す。

① 施工情報の表示

施工重機への各種設定項目（施工区域、施工地盤高等）や取得施工情報（施工位置、XYZ座標、速度、方位、進捗率、終了予定時刻等）をリアルタイムに表示することができる、

② 双方向データ通信

双方向データ通信機能により、各重機への各種設定（施工区域、測量箇所、施工地盤高、設計値、誘導位置等）を基準局で実施できる。また、走行路の確認や指示、予定変更等の情報を直接重機オペレータに送信すること（メッセージ送信機能）が可能である、双方向通信では、送信中にデータが途切れた場合、自動的に再受信を行うオート受信機能を備えている。

③ 軌跡再生機能

施工日・時刻を指定することにより、各重機の施工状況を再現することが可能である。

(3) 結果

1) 関西国際空港 2期空港島埋立工事（二次揚土その2）への適用

関西国際空港 2期空港島用地造成事業は、平成17年5月現在、埋立工事の最終段階である造成工事や二次揚土工事の施工が行われている。二次揚土工事とは、転圧締固め工法により均一性の高い地盤を層状に造成する工事であり、滑走路等主要施設の基礎地盤として必要な支持力を確保するため、非常に厳しい品質管理基準が定められている。統合情報化システムを適用した二次揚土(その2)工区においては、積込み運搬機械であるホイールローダおよび重ダンプトラックを除く振動ローラ（6台）、ブルドーザ（5台）、バギー測量車（2台）の計13台の施工機械をネットワーク上で統合し、リアルタイム通信管理を実施した。図-5にシステム運用状況を示す。



図-5 システム運用状況

データ通信は移動局と基準局との間に障害物（他施工重機等）がある場合に一時的にデータが途切れる現象が発生したが、データ送信状態を基準局モニタに表示させることにより、基準局からの再送信指示（双方向データ通信機能）により欠損データを再受信することができシステム運用上大きな障害とはならず、リアルタイムに施工情報を取得することが可能であった。また、情報の把握・確認がリアルタイムであるため、施工完了後に計測機器の作動不良等による計測データの欠損に遭遇することなく、確実な施工情報の管理を実施することが可能であった。また、リアルタイムな施工状況の把握による作業終了予定時刻の確認や重機への各種設定及びオペレータへの指示等が直接、遠隔で行える双方向データ通信機能により、効率的な重機計画および配置を実現することが可能となった。更に、従来施工重機で直

接行っていた各種設定作業やデータ収集作業を遠隔操作で行うことにより、重機と作業員との接触災害の防止や作業人員の削減および施工効率の向上を図ることも可能とした。

2) 関西国際空港 2 期基本施設試験舗装調査への適用

関西国際空港 2 期基本施設試験舗装調査とは、滑走路等の舗装構成を検討するため、航空機荷重を再現した原型荷重車を 24 時間体制で約 15,000 回周回させ、予め走行帯直下に設置した各種計測機器（沈下計、ひずみ計等）の走行による動態の調査を行なう試験である、本試験では実走行位置（管理位置）と計測機器設置位置との関係を詳細に把握することが重要であり、また、24 時間体制で試験を実施するため迅速なデータ解析を実施する必要があった。そのため無線 LAN や GPS を用いた統合情報化システムを適用した。図-6 にシステム運用状況を示す。本システムを適用した結果、リアルタイムなデータの表示や収録のために試験を中断させることなく、正確な管理位置の把握およびオペレータへの的確な指示が可能となった。また、欠損データがなく詳細な施工情報（走行位置、速度、周回等）を取得できたため、試験結果による舗装構造の評価に重要な情報を提供することができた。



図-6 システム運用状況

3) まとめ

開発した統合情報化システムを約 8 ヶ月間現場に適用した結果、耐震・耐塵型の機器を用いることによりシステム上の作動不良は確認されず、データ欠損等も発生しなかった、また本システムにより施工効率および安全性の向上、取得データの一元管理等様々な利点を確認することができた。ベルーガ・ネットは造成・土工のみならず、災害時における河川や港湾構造物の被災状況調査、沈船、水底支障物などの水中調査、海上土木施工における工事用船舶の高度な施工管理等のあらゆる分野に適用が可能である。

参考文献	統合情報化造成工事施工管理システムの開発—関西国際空港埋立工事（二次揚土その 2）での運用：東亜建設工業(株)藤山映、近畿地方整備局 管内技術発表会
備考	—

【造成・土工事】

技術名	IT 土工システム「ITeam」
番号	No. 3-5
発注者	本田技研工業(株)
施設名	敷地造成
所在地	埼玉県大里郡
工事名称	ホンダ寄居新工場造成工事
施工期間	1995年9月～1996年6月
施工者	清水建設(株)
キーワード	締固め管理システム、大規模土工管理、土量バランス、3次元CAD

(1) 概要

1) 施工条件

大規模盛土工事においては、従来の転圧管理手法により、広大な転圧エリアを点管理で乾燥密度を把握するRI（ラジオアイソトープ）や単に振動ローラの稼働時間を把握するタスクメータによる管理を適用した場合、大量の盛土量に対して測定頻度が増大し多大な労力がかかること、重ダンプや大型重機が輻輳する中での人的作業が発生するという安全性の問題が発生する。さらに、盛土の品質向上を図るために必要となる盛土エリア全域での締固め状態を確認する事が必要になるなど実務上の問題があった。これらの問題を解決するため施工エリア全域を管理でき、かつ効率的な品質管理が可能な手法としてGPSを用いた工法規定方式による盛土の品質管理を採用した。このシステムは、振動ローラにGPSを搭載し、盛土エリアの転圧回数、盛土の層厚およびローラの走行軌跡を管理するものである。本工事では、盛土の最盛期において最大で4台の振動ローラが同時に稼働し、すべての振動ローラにGPSを搭載し管理した。特に本システムは、振動ローラのキャビン内に取り付けられたノートパソコンのモニタ画面において規定の転圧回数に達した部分の色が変わるため、オペレータは自らモニタ画面を見ながら、転圧状況をリアルタイムで確認しながら施工ができるようになっている。なお、これらの転圧管理記録は1日の作業の終了時点で振動ローラのノートパソコンからメモリースティック等の記録メディアにより情報を読み込み、現場事務所のパソコンにて一括管理した。

2) 施工内容

本工事では、IT 土工システムとして第二東名伊佐布インターチェンジ工事他で実績のあるIT 土工システムをベースとし本工事の特性に合わせて新たに改良して導入した。図-3～6に本工事に採用したIT 土工システム「ITeam」の概要を示す。

ホンダ寄居新工場造成工事は、本田技研工業株式会社が国内において、約40年ぶりに4輪車の新工場を建設するもので、建設地の埼玉県寄居町は、県の西北部に位置し、首都圏に比較的近い距離にある。本工事の切盛土工事は、土量453万³m（盛土ベース）を準備工含めて、13ヶ月で施工し、建築工事に引渡しをするという当社でも過去に前例のない大規模かつ短工期の工事であった。この工事を進めるにあたり、急速盛土における工場基盤としての盛土の品

質を確保する事、大型重機使用による急速施工に対応した作業性と安全性を確保する事が大きな課題であった。

3) 図 面 (位置図、平面図、断面図、詳細図、写真等)



写真-1 工場掘削後全景



写真-2 工場掘削前全景

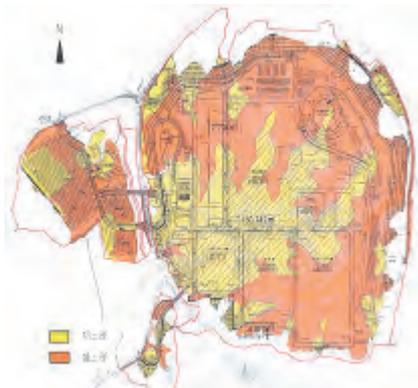


図-1 平面図

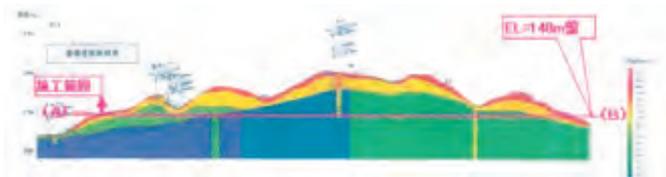


図-2 横断面図

(2) 技術詳細

1) 工法フロー



図-3 システム構成 (振動ローラ)

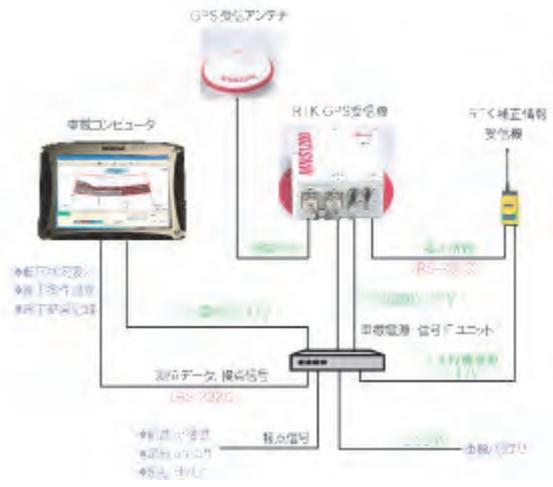


図-4 機器構成（重機搭載システム）



図-5 GPS 基地局構成

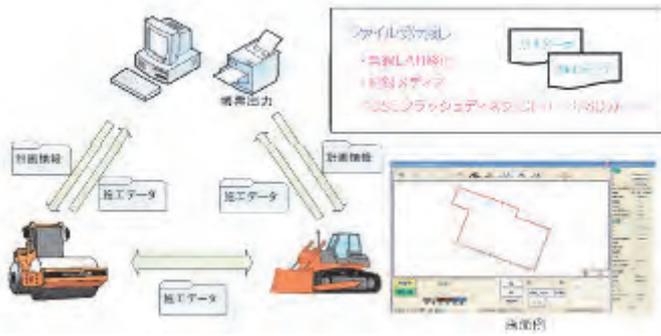


図-6 システムイメージ



写真-3 振動ローラ頂部に設置 GPS 受信アンテナと運転席の PC モニタ

2) 出力帳票

このようにGPSを搭載した振動ローラによる転圧管理は盛土全体の転圧面全ての管理を実現することができ、管理の精度が従来の手法に比べ飛躍的に向上した。図-7～9に出力帳票のサンプルを示す。

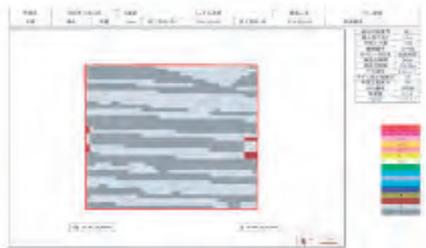


図-7 転圧回数色分布図

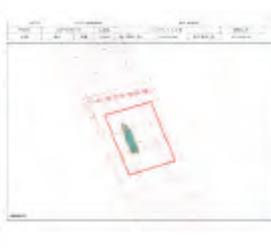


図-8 盛土管理図

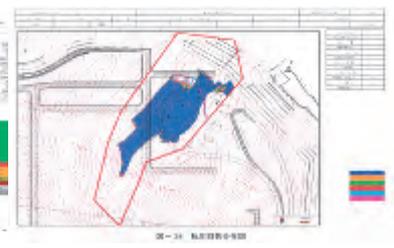


図-9 転圧回数分布図

3) 3次元CADによる土量管理

本工事は、切土・盛土で発生する土量を場内でバランスさせる設計であるため、当初設計段階で設定した、土量変化率=1.09の妥当性を早期に把握する必要がある。これは、本工事の盛土量が453万m³と大規模なため1%の変化率の誤差で約5万m³の土量の増減が発生することとなるためである。このため、GPSによる転圧管理システムにおいて取得した広範囲かつ高精度な振動ローラの走行軌跡データを主とした現況地形データを3次元CADシステム(Autodesk Civil 3D)でモデル化した。

現況地形データの測量方法は、振動ローラの走行軌跡データを利用した自動車(ローラ)測量と手持ち式GPSを利用したポイント測量の2種類がある。自動車(ローラ)測量は面的に測量したい時に適しており、設定により1秒~10秒間隔で自動的に測量データを取得することができる。また、ポイント測量は、ローラや自動車が入れない法肩・法尻の測量や重要なポイントを計測する場合に使用する。転圧管理に使用したローラの軌跡データでも測量データとして使用可能であるが、当現場においては精度の面から、現場の全休日を利用して、ローラ測量とポイント測量を一斉に実施した。

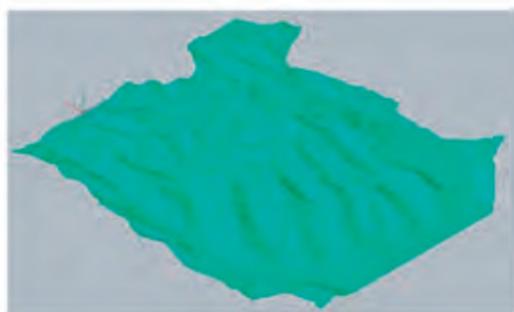


図-10 現地盤サーフェスモデル



図-11 第4回実測現況サーフェスモデル

(3) 結果

本工事は、平成19年9月21日に着工し、13ヶ月という短期間で453万m³の切盛土工事を完成させた。この間、当社でも前例のない日最大35,000m³、月最大765,000m³の盛土を行った。これらを施工するにあたり新技術を取り入れ、全社の土木技術を駆使し、協力業者と信頼関係を築きながら検討・改善を図り施工を進めた。

参考文献	2010 土木クォータリーVol.165、P22～、清水建設(株)
備考	—

【造成・土工事】

技術名	3D 土工事施工支援システム「Ni-CSS 3D」
番号	No. 3-6
発注者	中日本高速道路(株)
施設名	新東名高速道路
所在地	愛知県新城市八東穂～静岡県浜松市北区引佐町
工事名称	新東名高速道路新城工事
施工期間	2012年1月～2014年11月（2015年7月末で進捗97.4%）
施工者	西松建設(株)
キーワード	3D-CAD、GNSS・TS 出来形測量、3D スキャナ

(1) 概要

従来の施工では、平面図、縦断図、横断図などの 2D-CAD データを組み合わせ、現場と照らし合わせて施工を行っていた。しかしこれらの図面を用いる場合、決められた断面（側線）での管理は容易であるが、側線から離れた任意の位置での丁張（位置だし）や施工管理は容易ではなかった。一方で 3D-CAD を活用した施工支援では、データの一元管理ができ、任意位置での断面図を作成できる利点があるが、習熟に期間と経験を要する。

新東名高速道路新城工事は、新東名高速道路 浜松いなさ JCT～豊田東 JCT の 55km の区間のうち、（仮称）新城 IC と浜松いなさ JCT の 10km 区間の工事であり、土工事を主体にボックスカルバートや橋台 2 基の施工を行うものである。本工事の特徴としては工事範囲が広いこと、また、一部区間は切土箇所が高さ 60m を超す長大切土のり面の施工であることがあげられる。このような長大切土のり面の施工では、掘削土量が大きいためり面を安定させることが重要であり、したがって日々計測管理を行いながら施工する必要がある。そこで、容易な操作性を実現した、3D-CAD を利用した土工事施工支援・管理用システム「3D 土工事施工支援システム」を開発し、現場への導入を行った。

(2) 技術詳細

1) 技術の特徴

本技術は、3D-CAD ソフトに現場作業で必要となる測量支援、出来形管理、出来高（土量）管理の機能を集約した施工支援システムである。これらのソフトを用いることで、設計や測量（GNSS 測量や TS 測量）の 3 次元データの PC への取り込みと盛土・切土形状の 3 次元化が簡単にできるとともに、土量計算から帳票出力までの操作が簡易化できるため、現場での管理作業を効率化することができる。

2) システムの構成

本システムの構成を図-1 に示す。本システムは、既往の 3D-CAD ソフト（Civil 3D）に、測量支援機能、出来高管理（度量計算）機能、出来形管理機能という 3 つの機能を搭載したものである。これらの機能を用いて、施工支援、施工管理支援、設計支援、施工計画支援を行う。



図-1 3D 土木施工支援システムの構成

3) システムの特徴

本システムは 3D の設計データから丁張りした点の座標を算出・出力するとともに、測量データから 2次元モデルを作成し、日々の測量データを 3D-CAD で一元管理する（図-2、図-3）。3次元測量モデルから土量を算出して帳票出力する作業を簡易化し、効率的に出来高管理できる。具体的には、以下にあげる特徴をもつ。

- ・盛土工事の管理に必要な機能を一つに集約し、3D-CAD 上で簡単に操作できる。
- ・施工の進捗状況を、3次元的に把握できるため理解がしやすい。
- ・平均的断面法により土量を自動で計算し、帳票出力までの一連の作業が簡易化される。
- ・国交省のデータ交換基準に対応。市販TS出来高管理システムとの互換性もある。
- ・現場管理業務に必要な各機能を、1つのタブに集約・ユニット化して操作を容易化した。

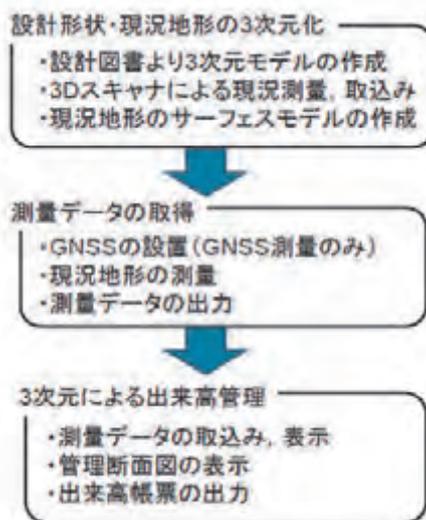


図-2 システムの運用フロー



図-3 測量点群データによる現状地形の3Dモデル

(3) 結果

1) 導入の結果

本システムを盛土工事現場へ運用することで、次に挙げる効果が得られた。

- ① 測量データの取り込みから帳票出力までの手順をシステム上で一括して行うことで、作業時間を短縮することができた。
- ② GNSS のワンマン測量を導入することで、測量人員の省力化を図り、作業時間を短縮することができた。
- ③ 3次元モデルで表示することで、全体の施工状況の把握が容易になった（図-4）。

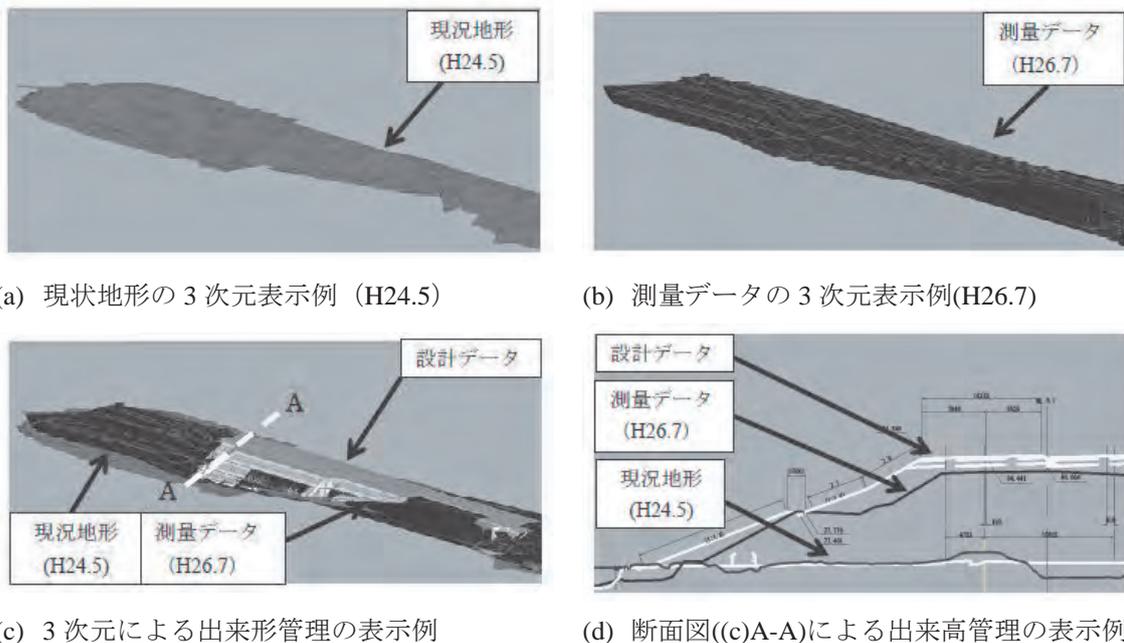


図-4 3D-CAD を用いた出来高管理

2) 今後の展開

測量データだけでは形状の十分な再現が難しく、境界線や小段ラインの設定を追加して入力する必要があり、操作性の高いシステムを構築する必要がある。

3) その他の適用事例

- ・ 200 万 m³ の盛土工：新東名高速道路猪名川東工事・猪名川中工事、発注者は西日本高速道路株式会社
- ・ 16,000 m³（ソイルセメントを含む）の盛土工：金沢東環御所トンネル（2期線）工事、発注者は国土交通省北陸地方整備局

参考文献	3D 情報化施工支援ツールの開発：西松建設(株) 原久純他、西松建設技報 Vol. 38 No. 10、2015 年
備考	—

技術名	ICT 土工管理システム
番号	No. 3-7
発注者	北海道電力(株)
施設名	京極発電所
所在地	北海道京極町
工事名称	京極発電所新設工事のうち土木本工事（第4工区）
施工期間	2001年3月～2014年9月
施工者	前田建設工業・西松建設・戸田建設・荒井共同企業体
キーワード	RTK-GNSS 測量、3D-CAD 統合データベース
<p>(1) 概要</p> <p>ロックフィルダムは、材料のゾーン境界が厳密に管理されており、施工においては施工厚さ・転圧回数などの管理が重要となる。また北海道のような豪雪地帯では、一年の中の施工可能期間が短く、効率的な施工が求められる。京極ダム新設工事は、京極町に建設する純揚水式発電所のうち、下部調整池として中央遮水壁型ロックフィルダム（京極ダム）を建造（堤体積 131.8 万 m³、堤高 54m）するものである。この施工において、ブルドーザおよびバックホウのマシンガイダンス技術、GNSS による締固め管理技術を導入し、それらを包括して管理する 3D データを基盤とした ICT 土工管理システムを構築・運用して、施工の合理化を行った。</p> <p>(2) 技術詳細</p> <p>1) 技術の特徴</p> <p>本技術を用いることで、堤体の 3D モデルから材料別の数量を迅速に算出できるため、短時間で複数のリフト計画を立案し比較検討することができる。また施工時には無線通信を使い施工指示データを重機に送信し、重機から施工結果を受信する。施工指示の例として、以下のようなものが挙げられる。オペレーターは、施工指示データや施工結果をモニターで管理しながら施工を行えるため、円滑に工事を進めることができる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ブルドーザの敷均し厚さの施工指示を与える。 ・バックホウのリップラップ整形形状の施工指示を与える。 ・GNSS 締固め管理により、転圧回数をカウントして施工指示を与える。 <p>2) システムの詳細</p> <p>本システムは、3D-CAD を基盤とした統合 DB により施工計画、施工、品質管理の合理化・高精度化することを目的に、統合 DB 上でデータ管理とブルドーザ・バックホウマシンガイダンスなどの運用管理を行うものである。統合 DB は現場内に構築された無線 LAN ネットワークを介して、施工によって得られた情報を逐次 DB に統合し、遠隔での施工状況確認や施工結果の帳票作成が可能である（図-1）。</p>	



図-1 ICT 土工管理システムの概図

3) 統合 DB システムの詳細

設計図面、基礎地盤の詳細な3次元測量結果から堤体と基礎地盤の境界が現実の形状と合致する3Dモデルを基盤として統合DBを構築した(図-2)。統合DBは3Dモデルと施工に必要な情報、および施工を進めていく中で取得される情報が連携し、施工指示データの抽出を行っている。また、堤体盛立のリフト計画は堤体3Dモデルから材料別の数量を迅速に算出できるため、短時間で複数のリフト計画を立案し比較検討することが可能であり、施工計画の高度化・効率化を図ることができる。

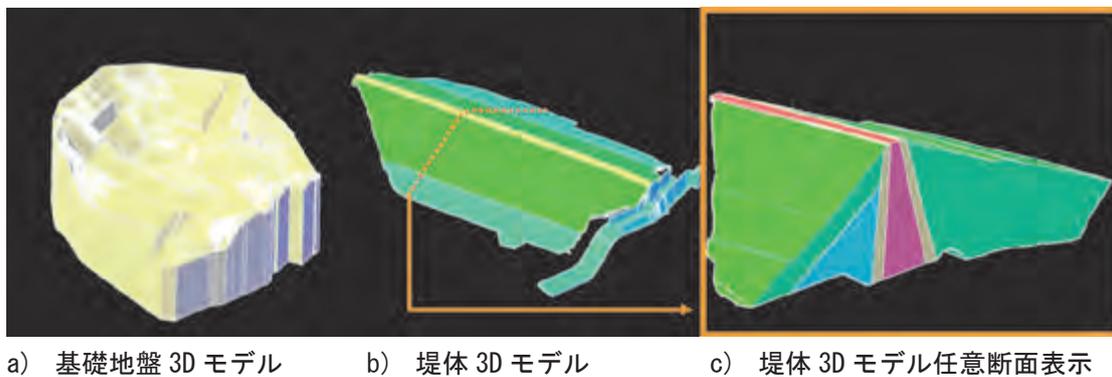


図-2 統合DBのベースとなる3D-CADデータ

(3) 結果

ICT 土工管理システムを導入することにより、施工精度、施工能力、安全性が向上された。以下に統合DB、ブルドーザマシンガイダンス、バックホウマシンガイダンス、GNSS 締固め管理システムの4つの項目別の導入効果を示す。

1) 統合DBの効果

- ① コア材のリフト計画が、短時間で複数案検討できた(図-3a)。

- ② ICT 施工の重機への施工指示データの作成が行えた（図-3b）。
- ③ 施工時に入手したデータは逐次統合 DB へ格納される。

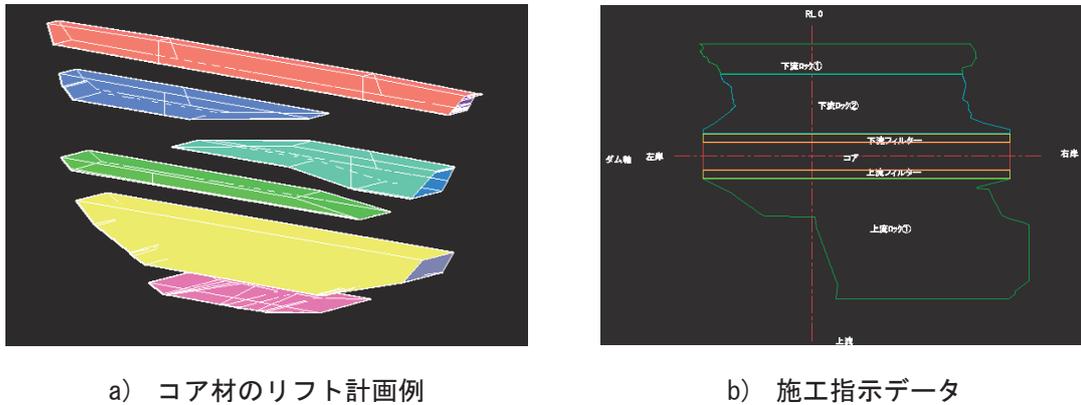


図-3 統合 DB システムの利用例

2) ブルドーザマシンガイダンスの効果

- ① 測量作業の待ち時間を軽減できる。
- ② 0.5m ピッチの高精細な施工指示（色・数値）ができる（図-4）。
- ③ 現場内の人員を削減できることで、安全性が向上する。
- ④ 従来施工と比較して、コア材の敷均し精度が向上する（図-5）。

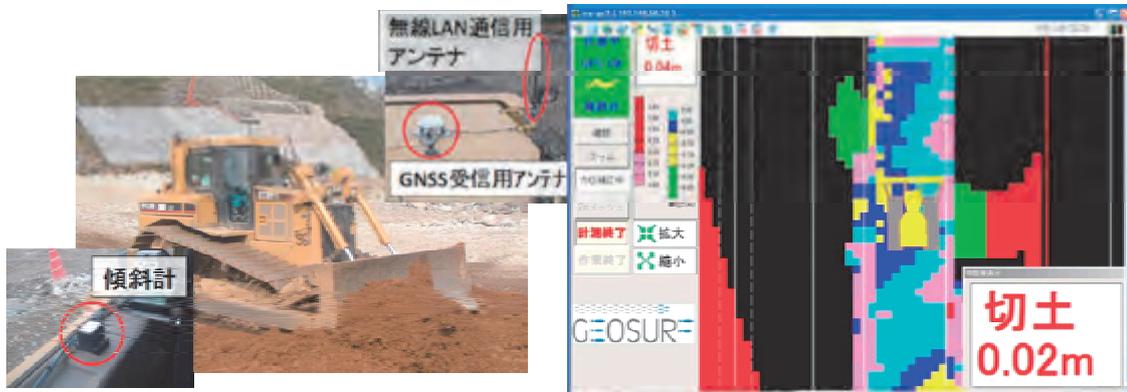


図-4 RTK-GNSS を用いたブルドーザの施工指示

3) バックホウマシンガイダンスの効果

- ① 測量作業の待ち時間を軽減できる。
- ② モニターで仕上がり確認ができるため（図-6）、作業効率と安全性が向上する。

4) GNSS 締固め管理システム・自動帳票作成システムの効果

- ① ゾーン境界、リフト境界などの締固めが確実に管理できる。
- ② 複数の重機、材料の締固め結果を自動で帳票出力できる。

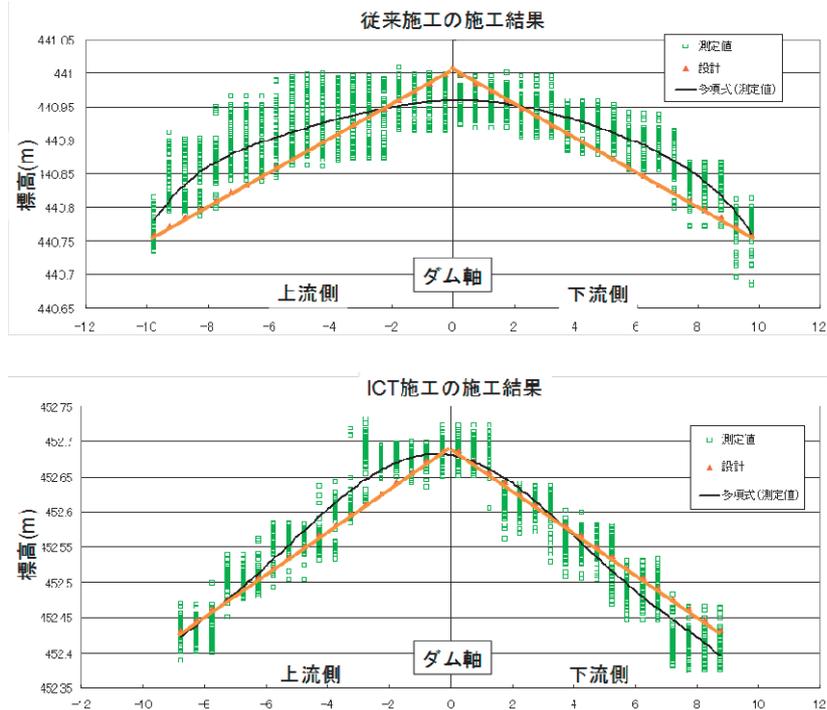


図-5 ブル敷均し精度の比較（上：従来施工、下：ICT 施工）



図-6 RTK-GNSS を用いたバックホウの施工指示

<p>参考文献</p>	<p>ロックフィルダム盛立における ICT 施工の定量評価 前田建設の ICT 土工管理システム：松尾健二、建設機械 Vol.50 No.10、p59-65、2014年10月</p>
<p>備考</p>	<p>—</p>

技術名	ICTによる大規模浄化土壌対策
番号	No. 3-8
発注者	—
施設名	敷地造成
所在地	大阪市内
工事名称	—
施工期間	2007年3月～2011年8月
施工者	(株)間組 (現・(株)安藤・間)
キーワード	掘削管理システム、土壌洗浄処理

(1) 概要

本工事の大規模浄化対策事例は、敷地面積約 21ha、総掘削土量 112 万 m³、88.6 万 m³ の汚染土壌を浄化する工事である。1 日最大 3,000m³ の汚染土壌を処理できる国内最大規模の大型土壌洗浄プラントによる土壌洗浄処理を基本として、洗浄に不適な汚染土壌は場外搬出処理とした。また、総土量 300 万 m³ を超える GIS と GPS を組み合わせた「掘削管理システム」を独自に開発、運用することとした。

(2) 技術詳細

1) 工事概要

対象地は、大阪市内の埋立地で、開発工事に先立ち土壌対策工事を行うものである。

浄化方法は主に現位置浄化技術の「土壌洗浄処理」とし、汚染の濃度が高いなどの洗浄に不適と判断された一部の汚染土壌については「場外搬出処理」を行う計画とした。表-1 に工事概要を示す。

2) 汚染概要

土壌汚染状況調査は、敷地全体の盛土層を対象に、100m²毎に重金属 9 物質の深度調査を実施し、2,181 地点のうち 2,102 地点において基準の超過が確認された (表-2)。基準を超過した主な物質としては、鉛、砒素、ふっ素であった。

3) 施工計画

① 掘削土の取り扱い

掘削土の取扱いフローを図-1 に示す。汚染土、非汚染土を区分して掘削し、さらに汚染土は洗浄処理するもの、洗浄に不適なため場外搬出するものに区分している。洗浄処理した土壌は 100m³ 毎以下に 1 回の頻度で該当する汚染物質について分析を行い、基準に適合していることを確認後に、非汚染土とともに埋戻しに使用した。また、土壌洗浄処理により汚染

表-1 工事概要

項目	概要
工事場所	大阪市内 (埋立地)
敷地面積	21.5ha (1期 9.7ha, 2期 11.8ha)
工事期間	2007年3月～2011年8月 (休止期間含む) 1期 2007年3月～2008年4月 2期 2008年4月～2011年8月
浄化方法	掘削除去 (現地土壌洗浄+場外搬出)
汚染状況	重金属 9 物質による土壌汚染 主な物質は鉛・砒素・ふっ素
掘削土量	112 万 m ³ (1期 56 万 m ³ , 2期 56 万 m ³)
汚染土量	88.6 万 m ³ (1期 44.5 万 m ³ , 2期 44.1 万 m ³)
土壌洗浄	66.0 万 m ³ (1期 40 万 m ³ , 2期 26 万 m ³)
場外搬出	16.5 万 m ³

物質濃縮された汚泥（脱水ケーキ）は、場外搬出処分とした。

② 土壌洗浄プラント

本工事で採用した土壌洗浄処理フローを図-2に示す。現地に設置した土壌洗浄プラントは、汚染土壌を洗浄水により洗浄・分級する土壌洗浄設備（ドラムウォッシャー、トロンメル、微砂回収装置、サイクロン）と、洗浄後に発生する濁水（有害物質が濃縮された土砂の細粒分を含む）を処理する水処理設備（濁水処理設備、汚泥脱水プレス）に大別される。

③ 掘削土の管理区分

掘削した土壌は16種類に区分して管理を行った（表-3）。洗浄対象土は4区分、場外搬出汚染土は、処理先が異なることや現場内での取り扱い方法が異なるなどの理由で11区分にして管理する必要があった。

4) 情報化施工技術（掘削管理システム）

本システムは、GISとGPSを組み合わせた情報化施工技術（建設ICT）である。

① 掘削計画システム

本システムは、職員が当日の掘削作業完了後に実施する掘削計画作成や掘削実績管理業務を支援するもので、表-4に示す仕様となっている。図-3には地盤情報表示例（掘削計画メイン画面）を示す。施工ヤードを立体的に表現するのではなく、平面図に縦断面図と横断面図を並列表示させ、また、1つの平面ブロックに対する深度方向の断面図を同一画面に表示することで擬似的な3次元表示を実現し、情報の見える化に対応している。

掘削計画を行う際には、図-4に示す画面をパソコンに表示させ、土壌洗浄設備の能力と掘削作業の進捗、使用可能な掘

表-2 土壌調査結果要

分析項目	超過地点数 /調査地点数	超過層数 /調査層数	最大値	基準値
鉛 (含有量)	28/2181	36/17308	5400mg/kg (36倍)	150mg/kg以下
ヒン (含有量)	1/2181	1/17308	690mg/kg (4.6倍)	150mg/kg以下
鉛 (溶出量)	1064/2181	1934/17308	29000mg/kg (190倍)	150mg/kg以下
砒素 (含有量)	36/2181	40/17308	8700mg/kg (58倍)	150mg/kg以下
ふっ素 (含有量)	233/2181	392/17308	34000mg/kg (85倍)	4000mg/kg以下
鉛 (溶出量)	55/2181	58/17308	2.4mg/L (240倍)	0.01mg/L以下
六価7#化合物 (溶出量)	39/2181	48/17308	5.0mg/L (100倍)	0.05mg/L以下
シアン化合物 (溶出量)	44/2181	60/17308	35mg/L (350倍)※1	検出されないこと
水銀 (溶出量)	73/2181	80/17308	0.018mg/L (36倍)	0.0005mg/L以下
ヒン (溶出量)	279/2181	383/17308	6.1mg/L (610倍)	0.01mg/L以下
鉛 (溶出量)	1292/2181	2415/17308	5.2mg/L (520倍)	0.01mg/L以下
砒素 (溶出量)	1798/2181	4829/17308	37mg/L (3700倍)	0.01mg/L以下
ふっ素 (溶出量)	1317/2181	2909/17308	22mg/L (28倍)	0.8mg/L以下
ほう素 (溶出量)	151/2181	214/17308	38mg/L (38倍)	1mg/L以下

※1：定量下限値の0.1で倍数を計算

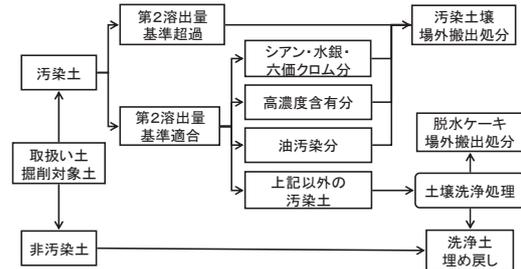


図-1 掘削土の取扱いフロー

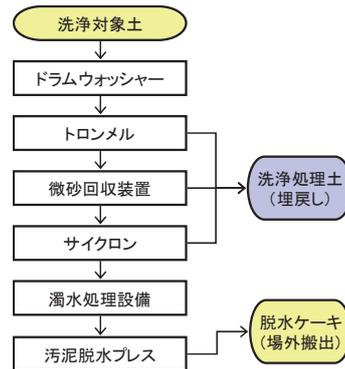


図-2 土壌洗浄処理フロー

表-3 掘削した土壌の管理区分

管理区分	汚染内容
汚染土 (土壌洗浄) 4区分	汚染土扱い
	含有基準超過
	溶出基準超過
	含有基準超過 + 溶出基準超過
汚染土 (場外搬出) 11区分	油汚染のみ
	油汚染 + 重金属等による汚染土壌扱い
	油汚染 + 含有量基準超過
	油汚染 + 溶出量基準超過
	油汚染 + 含有量基準超過 + 溶出量基準超過
	カドミウム、鉛、フッ素の高濃度含有分
	カドミウム、鉛、フッ素の高濃度含有分 + 溶出量基準超過
	シアン、水銀、六価クロムの溶出量基準超過
	シアン、水銀、六価クロムの溶出量基準超過 + 含有量基準超過
	第2溶出量基準超過
	第2溶出量基準超過 + 含有量基準超過
非汚染土	非汚染土

削機械を勘案して、「ブロックくずしゲーム」のような要領で翌日の掘削ブロックをマウスで選択確定させる。このようにして選定された掘削ブロックに付随する情報をデータベース内で自動集計することによって、処理レベル別土量集計表や掘削機械オペレータに掘削ブロック名を指示する作業指示書などを作成することができる。

② 掘削管理システム

本システムは、掘削機械の施工支援を目的として開発したもので、マシンガイダンスシステムと位置づけることができる。

土対法にしたがい、対象地盤を縦10m×横10m、深度方向に1m間隔でブロック分割した調査結果に基づき、掘削施工を実施している。

写真-1 中央には、多段での掘削状況を示す。

このように汚染土壌を薄くはぎ取りながら、丁寧に施工するためには、掘削機械の3次元的位置をリアルタイムで把握しておく必要がある。

そこで、本システムでは、RTK-GPSを中核にしてシステムを開発した。当工事では、1箇所にGPS基準局を設置し(写真-2)、6台のバックホウに移動体用GPSを搭載し(写真-3、4)、1人の作業員に測量用GPSを可搬させている。基準局からのRTK位置補正データの送信には、RTK方式運用に多用されてきた特定小電力無線よりも送信出力の大きい小エリア無線を用いてより確実な無線伝送を行っている。

③ 掘削計画システムで取り扱う情報(データ)

土壌汚染対策法に基づく土壌浄化工事を、効率的かつ経済的に遂行し、施工履歴をきちんと示すことができる情報を漏れなく記録するという観点から。本システムでは、表-5のような情報を保存し、閲覧できるデータベースを構築している。

表-4 掘削計画システムの概要

項目	内容
PC	汎用パソコン 1台 LAN非対応
OS	Windows XP
解析部	ハザマオリジナル
データベース	MS-Access
電子図面	現場平面図を番地化した10m区画図 全域：平面図・横断面図・縦断面図 各ブロック：断面図

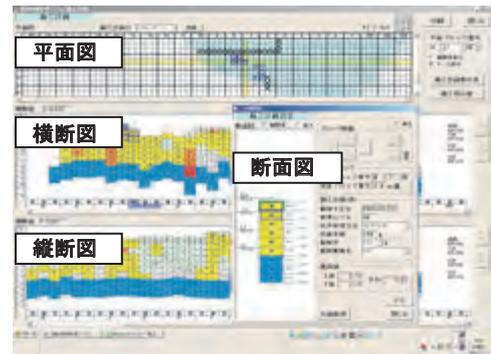


図-3 地盤情報表示例

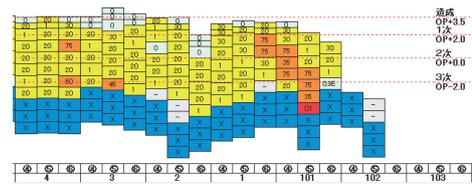


図-4 地盤情報表示例(拡大)



写真-1 掘削状況



写真-2 GPS基準局

(3) 結果

システムの導入効果として以下の3点が挙げられる。

- ・対象地盤の汚染状況把握や建設機械の最適配置などが迅速化され、掘削作業の最適化と施工管理の省力化が飛躍的に進むことが確認でき、その結果、品質向上と工程短縮において大きな効果を発揮できることが判明した。
- ・汚染土壌の掘削履歴や処理土のトレーサビリティが自動的に確保できることとなるため、品質証明の点においても優れたシステムといえる。図-5に、掘削実績情報や埋戻し実績情報をデータベースに登録する画面を例示する。
- ・建設機械オペレータはGPSを用いることで3次元的な自己位置把握が可能となったことにより、位置座標を基準に、事前に準備されたデータベースを参照することで、まさに今掘削している土壌の管理区分を瞬時に確認することができる。その区分はパソコン画面に表示されるため誤認することがなくなり、的確な次作業指示につながっている（どのヤードに運搬する土壌を掘削しているのかが一目瞭然となった）。



写真-3 掘削機械に搭載した GPS 基準局



写真-4 掘削機械（運転席内部）

表-5 データベースに保管している情報一覧

設計情報	施工(土工)情報	施工(土工)情報
平面ブロック番号	掘削日	埋戻日
深度ブロック番号	掘削日の天候	埋戻日の天候
ブロック座標値	掘削日の雨量	埋戻日の雨量
ブロック標高値	掘削ブロック(平面)	埋戻ブロック(平面)
処理レベル	掘削ブロック(深度)	埋戻ブロック(深度)
汚染濃度 (化学物質ごと)	洗浄処理方法	埋戻材料
	掘削率	転圧機械名
	掘削機械名	概算施工面積
	掘削機械稼働データ	施工基面高
		コン指教
		合否判定

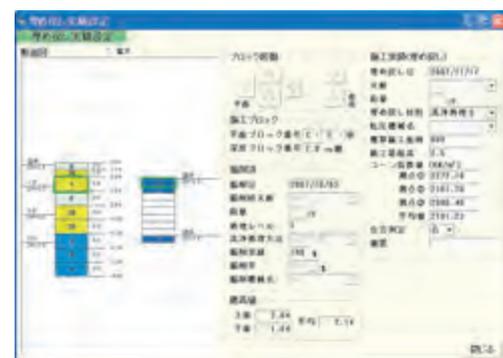


図-5 施工実績情報登録画面

参考文献	電力土木：(株)間組（現・(株)安藤・間）黒台昌弘他 電力土木技術協議会、No. 356、pp97～101、2011. 11
備考	—

技術名	GPS 土工管理システム
番号	No. 3-9
発注者	日本道路公団静岡建設局
施設名	第二東名高速道路・静岡サービスエリア
所在地	静岡県静岡市小瀬戸地区
工事名称	第二東名高速道路小瀬戸工事
施工期間	2000年6月～2004年9月
施工者	三井住友建設・吉田組共同企業体
キーワード	締固め管理システム

(1) 概要

第二東名高速道路静岡 SA 建設工事は静岡市小瀬戸地区に、本線および静岡サービスエリア（上り線）を施工するものであり、延長約 1330m、切・盛土工量約 240 万 m³ の大規模土工事である。表-1 が特記仕様書やモデル施工で決定された施工規定・仕様である。この大規模な造成工事をスピーディーかつ経済的に行うために、大型重機を用いた厚層締固めを行う工法が適用する必要がある。そこで本工事において、大規模造成工事を短期間かつ経済的に行うために、日本道路公団と共同研究で開発した「GPS を利用した土工管理システム（盛土締固め管理システム）」を大規模道路盛土の締固め管理に適用した。

表-1 施工規定・仕様

項目	内容
使用機械	300kN 級振動ローラ
施工管理	施工規定方式
盛土材料	細粒分混じり礫
転圧回数	8 回
仕上がり層厚	60cm

(2) 技術詳細

1) 技術の特徴

本技術は、盛土締固めに用いる振動ローラに GPS を搭載し、リアルタイムで締固め箇所・転圧回数・転圧層厚などを把握できる盛土の締固め管理システムを用いて、盛土の品質管理を行うものである。品質管理の合理化を推進する道路公団との共同研究のもと、様々な施工試験を行い、道路公団の求める技術基準を満たしていることを検証の上、今回の工事に当初から全面的に導入された。

2) システムの概要

本システムは、GPS 受信機を搭載した盛土の転圧重機（写真-1）の走行位置を、正確に捕捉することにより、走行状況、転圧回数をリアルタイムに把握し、高い鉛直精度から盛土の層厚を算出して、盛土の締固め状況を面の情報として使用者に提供するシステムである。本システムは図-1 に示すように基準局、移動局及び管理局から構成されている。RTK-GPS 測位方式の機器を使用して、平面精度 20 mm、鉛直精度 20 mm が確保できる。転圧重機の走行軌跡、転圧回数がリアルタイムで転圧重機内モニター画面上に表示され、同時に管理室モニタ

一で同じ内容を確認できる。



写真-1 GPS 受信機を搭載した盛土の転圧重機
(左から重機上の GPS アンテナ、運転席モニター、座席下の GPS 受信機)

3) 日常の作業の流れ

毎朝転圧作業の開始前に、専用のメモリーカードを重機パソコンに挿入し稼働させる。転圧の状況はリアルタイムに画面に表示されると同時に、施工記録データとしてメモリーカードに保存される。また転圧回数の不足箇所が画面で認められた場合には、その部分の追加転圧を実施する。そして一日の作業終了後に、施工記録が保存されたメモリーカードを回収する。このメモリーカードを事務所に持ち帰り、日本道路公団の帳票出力形式に対応した盛土管理票(図-2)や各種の管理帳票(図-3)を必要に応じて出力する。

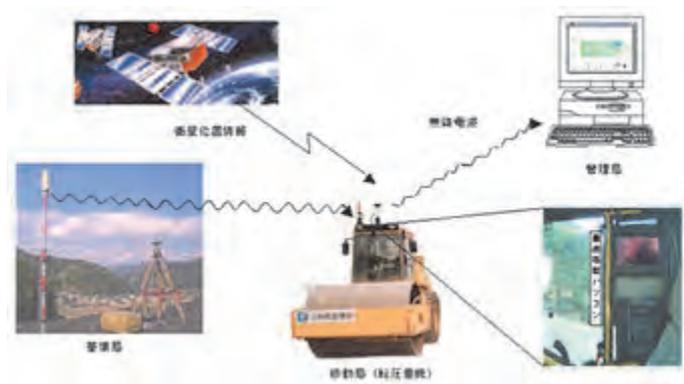


図-1 システムの構成

STA 000+00 LO

層数	施工日	盛土材料区分	転圧指示回数	一層土上り厚さ(cm)	計測高さ(m)	施工高さ(m)	施工厚さ(cm)	転圧実回数(回)	転圧実回数と転圧指示回数との差(回)	
1	2001.12.12	EL-10	3	80	57.354	56.922	22.3	3	0	
7	2001.12.11	EL-10	3	80	56.571	56.554	4.7	3	0	
4	2001.12.10	EL-10	3	80	56.251	56.211	5.3	3	0	
5	2001.12.06	EL-10	3	80	65.722	65.691	56.9	3	0	
4	2001.12.06	EL-10	3	80	65.388	65.122	41.9	3	0	
3	0層目は観測開始時点での地盤高さ				00	64.758	64.703	54.5	3	0
2	2001.12.03	EL-10	10	80	64.097	64.158	66.1	10	0	
1	2001.11.29	EL-10	10	80	64.097	64.158	66.1	10	0	
0	2001.11.29	-	-	-	64.097	64.158	66.1	0	0	

追加された層の分を記録

図-2 盛土管理票

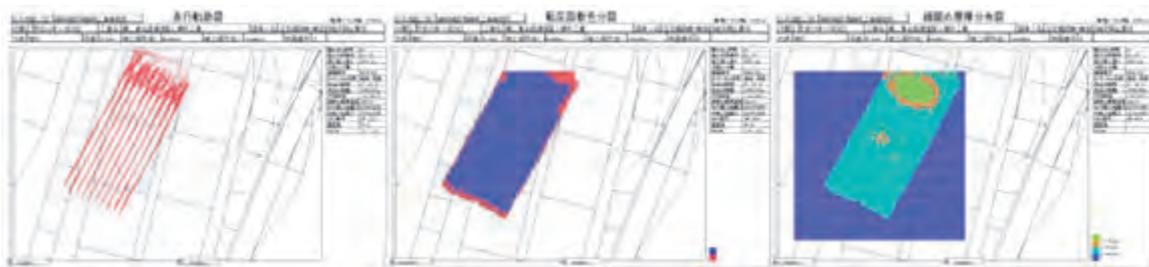


図-3 各種の管理帳票
(左から走行軌跡図、転圧回数色分け図、締固め層厚分布図)

(3) 結果

1) 導入の結果

- ①本システムは、報告の合理化および管理基準の明確化を目的として日本道路公団の新帳票出力形式（平成14年4月導入）に対応している。このシステムの導入により品質管理が迅速化され、また転圧管理の報告書作成にかかわる省力化が一段と向上した。
- ②従来の品質管理手法（RI式水分密度計による密度測定等）は、日々重機の転圧作業エリアにおいて計測員が長時間の測定作業を行う必要がある。本システムを導入することにより、GPSを用いる当システムでは、転圧作業エリアに人員が立ち入る必要が全く無くなり、作業安全面で極めて優れた方法であることを確認した。
- ③工事期間中に集中豪雨に見舞われ、周辺各地で斜面崩壊等の被害が生じたが、本工事区間で造成中の盛土には全く被害が発生することがなかった。したがって、工法によって十分な締固め品質が確保されていることを確認できた。
- ④過酷な天候においても安定した運用ができるよう、夏季炎天下の高温環境における機器の熱対策、過酷な振動下に置かれる機材の防振を考慮した設置、電子機器の防塵対策、システムの安定化・データ記憶媒体の強化などの各種改善対策を行った。

2) システム開発後の展開

本技術と、GPSによる三次元測量とCAD図面データの解析により出来形断面図作成、土量計算等を行う「道路土工管理システム」を統合（図-4、図-5）し、同工事に適用した。

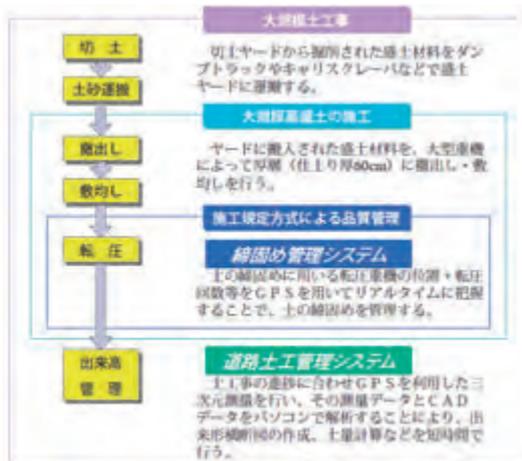


図-4 統合したシステムの運用フロー



図-5 統合したシステムの構成

<p>参考文献</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・道路土工トータル管理システムの現場への適用（その1）（その2）：住友建設(株) 黒川敏広他、VI-428、429 土木学会年次学術講演会講演概要集 Vol.57 No.6、2002年9月 ・プレス発表「GPS土工管理システムを用いた大規模造成工事が完成—第二東名高速道路静岡サービスエリア建設工事—」三井住友建設(株)、2004年5月25日 URL：http://www.smcon.co.jp/2004/0525854/
<p>備考</p>	<p>—</p>

技 術 名	TS/GNSS を用いた盛土の締固め技術
番 号	No. 3-10
発 注 者	袖ヶ浦市土地区画整理組合
施 設 名	敷地造成
所 在 地	千葉県袖ヶ浦市
工 事 名 称	袖ヶ浦都市計画事業袖ヶ浦市袖ヶ浦駅海側特定土地区画整理事業に係る 造成本体工事他
施 工 期 間	2011 年 7 月～2018 年 3 月
施 工 者	奥村組・竹中土木 業務代行共同企業体
キーワード	締固め管理

(1) 概 要

GNSS (Global Navigation Satellite Systems : GPS、GLONASS 等の総称) により転圧機械 (ブルドーザ) の位置情報を取得し締固め回数を面的に管理する技術を、袖ヶ浦市の土地区画整理事業における宅地造成工事 (盛土量約 66 万 m³) に採用し、その有用性を確認した事例である。

(2) 技術詳細

GNSS によって得られた重機 (転圧機械) の位置情報から、施工エリアにおける転圧機械の転圧回数・平面位置を車載モニタにリアルタイム表示することができ、オペレータはモニタを確認しながら施工することで、転圧不足箇所の無い確実な施工を行うことができる (図-1, 2)。また、施工履歴を自動記録し、締固め回数分布図や走行軌跡図等を出力できるため、施工管理要領で求められる管理帳票の作成が簡略化される (図-3)。



図-1 GNSS システム搭載ブルドーザ



図-2 車載 PC モニタ

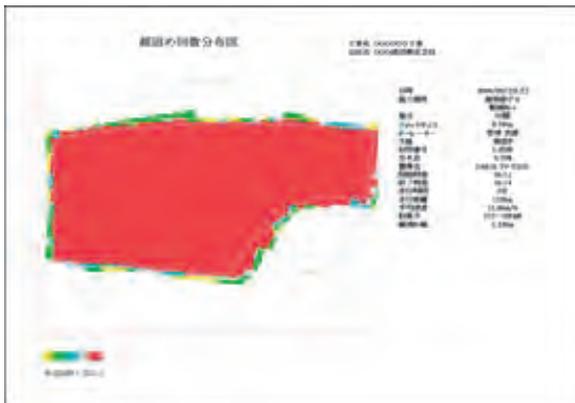


図-3 締固め回数分布図



図-4 GNSS (VRS 方式) 機器構成

本工事では、重機の位置情報を取得するための方式としてGNSS (VRS方式)を採用した(図-4)。本方式は、現場毎に設置が必要なGNSS基地局を基準点とするのではなく、国土地理院の電子基準点を利用して重機の位置を測定する方式であり、重機本体に搭載するGNSS受信機1台のみで実施できる。そのため、GNSS基地局を毎日設置・撤去する必要がないことに加え、TS(トータルステーション)方式の弱点であったTSと重機(プリズム)の見通しが利かない場所でも利用が可能である。

(3) 結果

- ・盛土施工範囲全エリアの転圧回数を面的に管理することができ、各層毎の盛土品質を確保することができる。
- ・GNSS (VRS) 方式を採用することにより、TS や GNSS 基地局等の機器を日々設置・撤去する手間を省力化できる。
- ・iPad 等の端末を用いて車載 PC 画面をリモート接続することで、リアルタイムに施工状況を確認できる(図-5)。



図-5 iPadによる施工管理

参考文献	テクニカルリーフレット：(株)奥村組
備考	—

【造成・土工事】

技術名	ブルドーザ造成管理システム
番号	No. 3-11
発注者	①国土交通省関東地方整備局②③関西国際空港用地造成(株)
施設名	—
所在地	—
工事名称	①東京国際空港D滑走路建設外工事②2期空港島埋立工事(造成その5) ③2期空港島埋立工事(二次揚土その8)
施工期間	① 2005年3月～2010年8月 ② 2006年2月～2006年10月 ③ 2005年2月～2006年1月
施工者	東亜建設工業(株)
キーワード	GNSS敷均し管理、マシンガイダンス

(1) 概要

ブルドーザー造成管理システムは、地盤高をオペレータに提供して、操作をサポートするマシンガイダンスシステムである。本システムを使用することにより従来の丁張り作業を減らすことが可能である。

(2) 技術詳細

ブルドーザー造成管理システムは、ブルドーザにRTK-GPSを搭載し、設計データを事前に入力する事で造成工事における仕上がり地盤高をブルドーザーのオペレータがリアルタイムに確認しながら施工することができるシステムである(写真-1、写真-2)。



写真-1 システム装備(外観)



写真-2 システム装備（運転席）

【適用分野】

- ・ 造成工事全般
- ・ 空港島造成工事

【適用条件】

- ・ 携帯等の電波状況および上空視界状況
- ・ 携帯電話を使用する場合、電波状況の確認
- ・ 無線LANを使用する場合、遮蔽物の有無

(3) 結 果

- ・ 現在の地盤高と計画地盤高との差をリアルタイム表示
- ・ 丁張り作業を減らし、作業効率と施工精度を向上
- ・ 施工位置及び地盤高を自動測量。出来形管理測量に要する時間を軽減し、コスト削減
- ・ 完全屋外仕様、防振対策済みユニット内に機器を収納

参 考 文 献	東亜建設工業(株)ホームページ「東亜の技術」（ブルーガ・ネットの関連技術）
備 考	—

技術名	転圧管理システム
番号	No. 3-12
発注者	①国土交通省関東地方整備局②中日本高速道路(株)③関西国際空港用地造成(株)
施設名	—
所在地	—
工事名称	①東京国際空港D滑走路建設外工事②第二東名高速道路大淵工事③2期空港島埋立工事（造成その5）
施工期間	① 2005年3月～2010年8月 ②2004年3月～2007年12月 ③ 2006年2月～2006年10月
施工者	東亜建設工業(株)
キーワード	GNSS 締固め管理、転圧回数管理、加速度計による面的管理

(1) 概要

転圧管理システムは、RTK-GPS によって得られた位置情報をもとに、施工区域内における振動ローラの転圧回数・平面位置をリアルタイムに把握できる。これにより、いままで手間のかかった盛土の締固め作業の管理を効率的かつ正確に行うことができる。

(2) 技術詳細

GPS によって得られた位置情報をもとに、施工区域内における振動ローラの転圧回数・平面位置をオペレータにリアルタイムに提供するだけでなく、同時に施工後の出来型データ（X、Y、Zデータ）の収集が自動で行っている。また目標回数に達しなかった未施工部分も『データ再生機能（JHフォーマット採用）』により施工の引き継ぎや継続が行える仕組みとなっているので、より効率的な転圧管理が可能である（写真-1）。



写真-1 システム装備

【適用分野】

- ・ 造成工事全般
- ・ 空港島造成工事

【適用条件】

- ・ 携帯等の電波状況および上空視界状況
- ・ 携帯電話を使用する場合、電波状況の確認
- ・ 無線LANを使用する場合、遮蔽物の有無

(3) 結 果

- ・ 施工環境を考慮した防振・防塵型システム
- ・ 振動ローラーの進行方向に追従するナビゲーション画面
- ・ GPS、振動ローラーの状態を常に監視、異状をいち早く伝達
- ・ タッチパネル採用によるイージーオペレーション
- ・ JHフォーマットでの記録、データ再現が可能
- ・ 加速度計による地盤剛性値を面的に評価可能

参 考 文 献	東亜建設工業(株)ホームページ「東亜の技術」(ベルーガ・ネットの関連技術)
備 考	—

技術名	盛土施工管理システム
番号	No. 3-13
発注者	国土交通省関東地方整備局
施設名	東京国際空港
所在地	東京都大田区羽田空港東京国際空港内
工事名称	東京国際空港 B 平行誘導路用地造成等工事
施工期間	2008年7月10日～2009年2月27日
施工者	東急建設(株)
キーワード	TS・GNSS 締固め管理、転圧回数管理

(1) 概要

自動追尾型トータルステーション（以降TS と呼ぶ）を用いた盛土施工管理システムを改良し、空港造成工事に適用した。新システムは複数機種のTS に対応可能で、オペレータと管理者のソフトを分割するなど作業の実情に合わせた使いやすいシステムとした。また、重機に搭載するパソコンには振動対策を施しトラブルを防いだ。さらに現場適用にあたっては、電波環境測定を行い通信妨害の有無を確認した。

(2) 技術詳細

1) 盛土施工管理システム構成

ハードウェアは、①事務所用PC、②締固め重機に搭載するプリズム、③プリズムを追尾するTS、④締固め重機に搭載するPC、⑤TSの計測データを車載PCに無線伝送するモデムから構成される（図-1）。ソフトウェアは、⑥締固め範囲等の設定を行うプロジェクト管理ソフト、⑦TSと通信し座標データを取り込む通信ソフト、⑧走行軌跡データを記録・画面表示する転圧管理ソフト、⑨記録した走行軌跡データから帳票作成を支援する帳票作成支援ソフトから構成される。仕様を表-1 に示す。



図-1 システム構成図

2) 特徴

- ① 通信ソフトと転圧管理ソフトを分離することで多機能かつ複数機種種のTS, GPS に対応可能。
- ② 転圧層・エリアの設定および帳票作成は作業所職員が事務所にて、締固め作業はオペレータが現場で行うため、ソフトを分割し使いやすくした。
- ③ 国土交通省「TS・GPS を用いた盛土の締固め情報化施工管理要領（案）」2) に準拠。

3) 現場適用方法

① 適用現場の土工詳細

掘削：土量43,400m³，面積50,100m²

盛土：土量53,300m³，面積50,590m²

造成平面図を図-2に示す。

② 試験盛土

現場において試験盛土を行い、締固め重機（表-2）により偶数回締固めてはRI法により締固め密度を測定し、必要な転圧回数を求めた（写真-1, 2）。その結果、転圧回数は6回と決まった。

表-2 締固め重機仕様

項目	仕様	備考
メーカー	キヤノンジャパン	
型式	D6R 30-S III	7対4
全長 (mm)	5,725	
全高 (mm)	3,425	
全幅 (mm)	3,490	履帯最外周
履帯長 (mm)	4,270	
履帯幅 (mm)	1,200	片側あたり

③ 機器の取付

締固め重機はレンタル機で直接の加工が困難だったため以下のようにして取り付けた。

- a) 追尾用のプリズムはベースを介し重機天井上部（外部）に荷締めバンドにて固定（写真-3）
- b) 通信用アンテナはベースを介し照明金物にボルト締め
- c) 上記アンテナ線は運転席窓を通したが窓締めができるようサッシ部のみフラットケーブルを使用（写真-4）
- d) 重機搭載PC は運転席の肘置き付近のスペースに設置でき、かつPC がはめ込めるように発泡樹脂板を加工して装着した（写真-5）。PC には衝撃や粉じんと比較的強いとされるタイプを選び、さらにハードディスクドライブを可動部のないソリッドステートドライブに

表-1 システム仕様

項目	型式・仕様等	備考
①事務所用PC	当仕様準拠	WinXP, Vista対応
②プリズム	全周プリズム	
③TS	TOPCON GTS-823A	他機種も対応可
④重機搭載PC	パナソニック スプレッドCF19等	HDDをSSDに換装
⑤通信用アンテナ	イーエス社 DLSSNET-R/T	2.4GHz特定小電力
⑥ソフトウェア管理ソフト	事務所PCに インストール	USBで車載PC へデータ送付
⑦通信ソフト	車載PCにインストール	他TS, GPSに対応
⑧転圧管理ソフト	車載PCにインストール	GPSにも対応可
⑨帳票作成支援ソフト	事務所PCに インストール	USBで車載PC からデータ送付

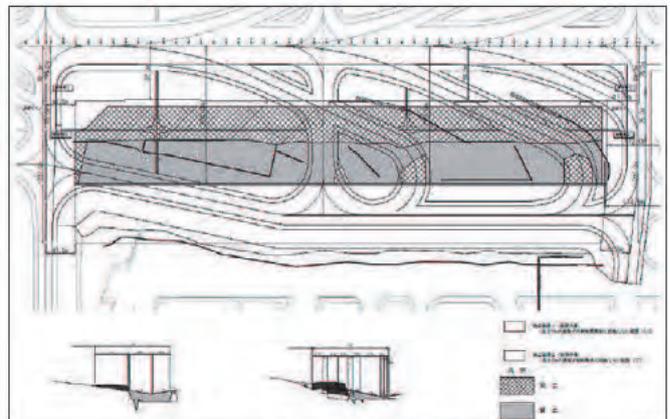


図-2 造成計画平面図



写真-1 試験盛土



写真-2 RI法による計測

換装した。

- e) 座標データ受信用モデムと電源用インバータはプラボックスに収納し運転席付近のバンドで固定した。



写真-3 プリズム



写真-4 アンテナ



写真-5 重機搭載 PC (運転席左)



写真-6 電波環境計測状況

④ 電波環境計測

データ伝送用のモデム (2.4GHz 帯特定小電力無線) が周囲の電波環境の影響を受けないか確認するため電波環境計測を行った。スペクトラムアナライザおよびホーンアンテナを用いた (写真-6)。その結果、2.120~2.168GHz 付近に3つのピークがみられた (図-3: 携帯電話の基地局と思われる) もののモデムの使用周波数 (2.412~2.484GHz) に影響を及ぼさないと考えられた。

⑤ 取扱指導

作業所職員とオペレータに取扱の指導を行った。

⑥ 運用

作業所は日々以下の手順で運用を行った。

- 当日締固める層・エリアの設定 (事務所PC)
- TSの設置
- 重機搭載PCの立ち上げと設定
- オペレータによる締固めとデータ収録
- 締固めた層・エリアのデータ保管と帳票作成

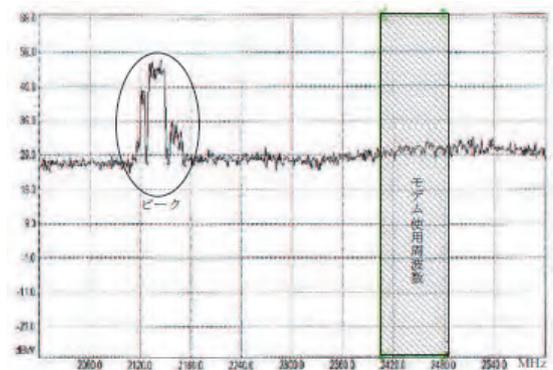


図-3 電波強度

⑦ 帳票類

本システムによる工法で作成・提出した帳票類（管理要領案で規定）は以下の通りである。

- a) 盛土管理図（各層ごとに作成し施工日ごとの施工範囲を示すもの）（図-4）
- b) 走行軌跡図・締固め回数分布図（施工日ごと）（図-5）
- c) 走行軌跡の座標データ（重機搭載PCに記録された電子データ）

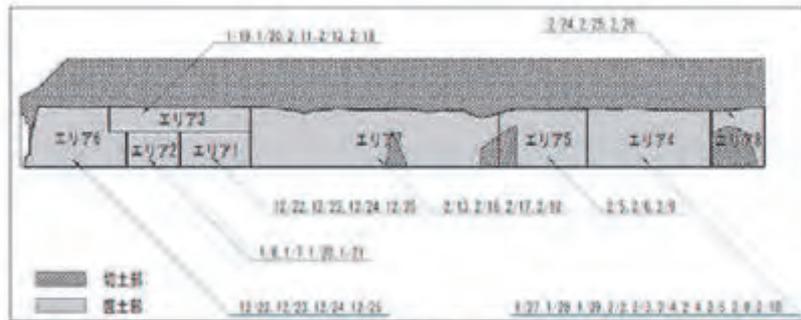


図-4 盛土管理図（例）

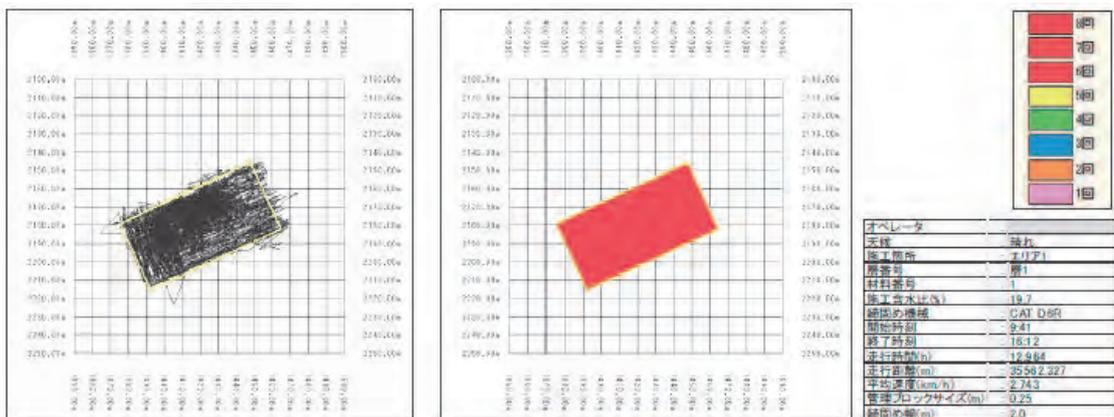


図-5 走行軌跡図および締固め回数分布図（例）

(3) 結果

- ・ブルドーザによる転圧では、管理メッシュサイズが0.25×0.25 (m) とローラ (同0.5×0.5 (m)) に比べて小さく、また2本の履帯間の設置しない領域は転圧にカウントされない（管理要領案規定）ため、効率よく締固めるのに慣れが必要であった。
- ・エリアを広く設定した際、PC の表示処理が追いつかない時があったが工事期間中に解決済み。
- ・転圧管理ソフトの仕上がりは概ねよいが、表示サイズや表示色の改善が望ましい。
- ・帳票作成が自動化できるとさらによい。
- ・情報化施工に不慣れなオペレータには専用のマニュアル整備を含め丁寧な教育が必要である。

参考文献	盛土施工管理システムの現場適用 自動トータルステーションを用いた情報化施工、上野隆雄・前田勝行・永島裕太、平成 21 年度 建設施工と建設機械シンポジウム論文集(一社)、日本建設機械化協会
備考	—

技術名	GPS・地盤反力データを利用した盛土の自動締固め管理システム
番号	No. 3-14
発注者	国土交通省関東地方整備局
施設名	圏央道
所在地	茨城県つくば市
工事名称	圏央道牛久稻敷地区改良その8
施工期間	2007年3月～2008年10月
施工者	(株)不動テトラ
キーワード	CCV（振動加速度応答値）、締固め管理

(1) 概要

我が国の盛土施工においては、盛土の品質向上への要請に呼応するように建設機械についても技術革新が進んでいる。これまで、道路土工―盛土工指針に基づき締固め作業及び締固め機械の選定を行っているが、この指針の運用から30年余りが経過しており、その間に締固め機械の規格・性能は大きく改善されている。こうした状況を踏まえ、土木研究所と民間企業にて「盛土施工手法及び品質管理向上技術に関する研究」を立ちあげて共同研究している。その中で、大型施工機械を用いた、CCV（振動加速度応答値）試験施工による路体盛土の品質管理を現場に適用した事例である。

(2) 技術詳細

1) システムの背景

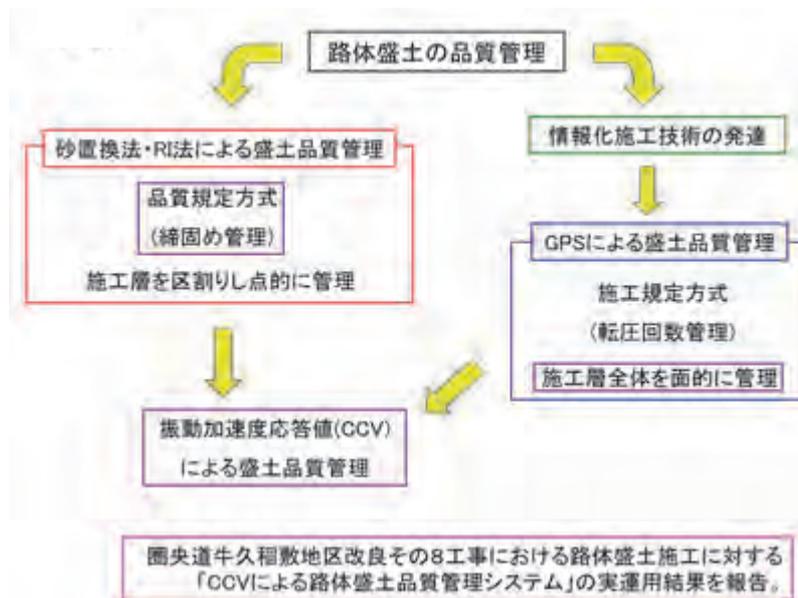


図-1 路体盛土品質管理の背景

2) CCV システムの概要と特徴

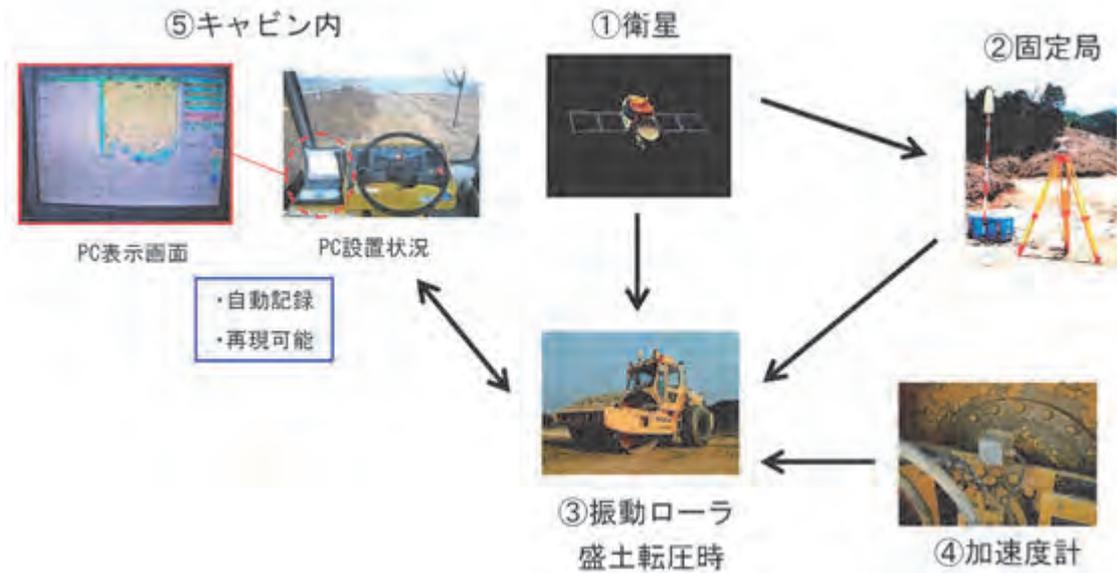


図-2 CCV システム概要

3) CCV の指標

■ CCV (Compaction Control Value) とは
振動ローラが地盤に与える振動を加速度計で計測し、その加速度波形の周波数分析により得られる指標

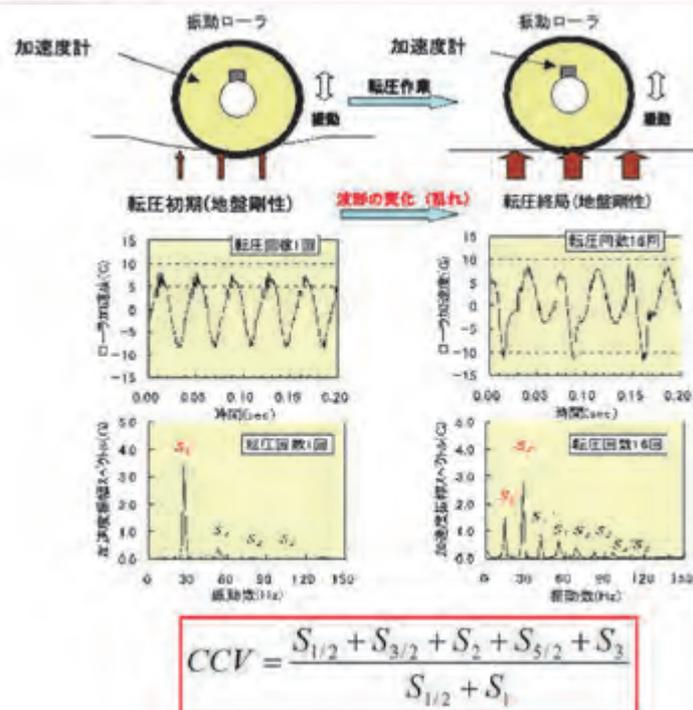


図-3 CCV システムの指標

4) CCV による路体盛土の品質管理手法

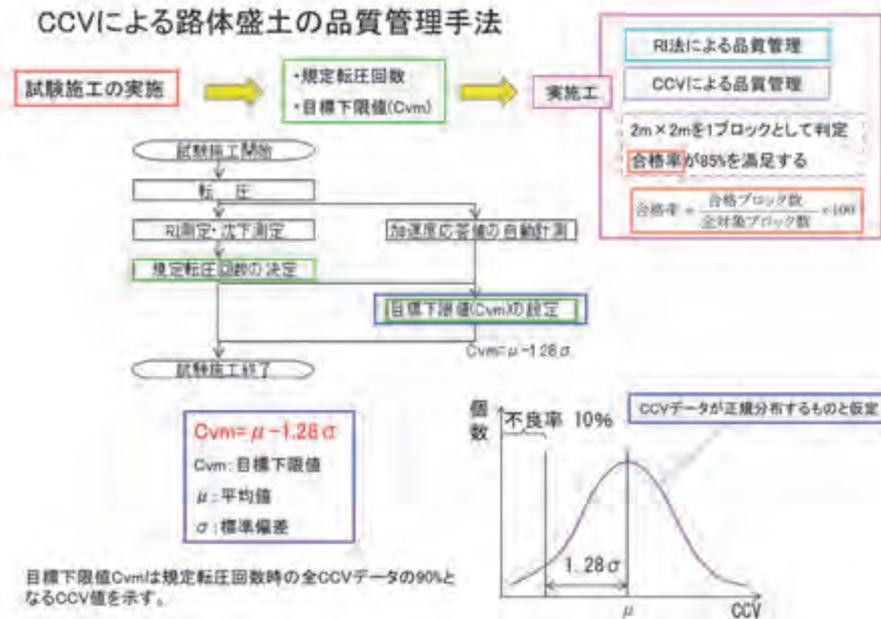


図-4 CCV による管理手法

5) 施工事例 「圏央道牛久稻敷地区改良工事その 8 工事」

① 工事概要

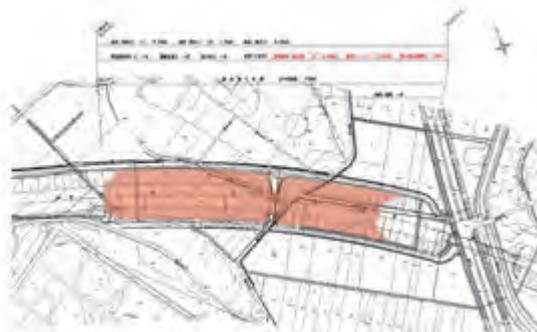


図-5 平面図

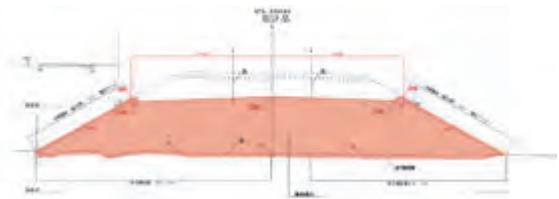


図-6 断面図

② 試験施工実施状況

実施結果(試験施工)

検査仕様 30mm
 検査項目 加圧定...11点
 沈下測定...15点
 CCV測定...施工エリア全体

盛土材料	最大乾燥密度 ρ_{dmax}	最適含水比 w_{opt}	管理手法
ローム	0.729	87.8	空気乾燥率(Va)管理
砂質土	1.621	17.0	締固め度(Dr)管理
改良土	1.050	54.6	空気乾燥率(Va)管理

図-7 試験施工

CCV測定表示画面

自動ローラ

キャビン内

PC表示画面

自動記録
再読み込み

図-8 CCV 測定表示画面

③ 試験施工実施結果

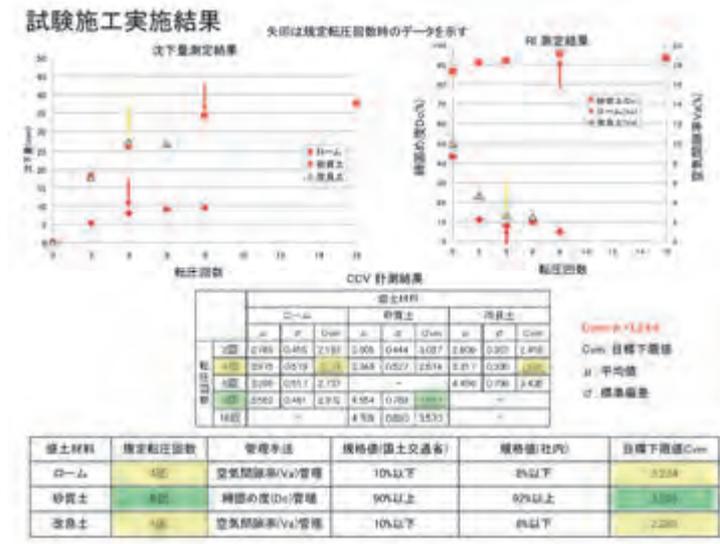


図-9 試験施工実施結果

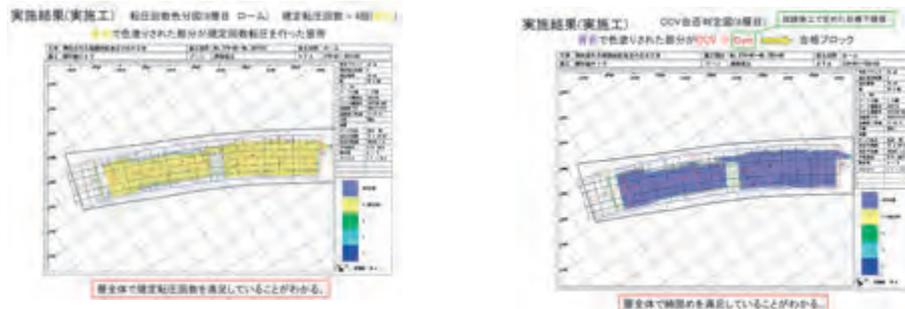


図-10 実施結果（転圧回数とCCV値）

(3) 結果

圏央道牛久稻敷地区改良その8工事における路体盛土施工に対する「CCVによる路体盛土品質管理システム」の運用により以下のことが確認できた。

- ・ CCV計測はRI測定と同等の品質管理が可能
- ・ RI測定に比べCCVはより綿密な品質管理が可能

今後の課題として、

- ・ 小・中規模の土工事では振動ローラの施工費、CCVシステムの管理費などコストが大きくなってしまふ。
- ・ CCVによる管理単独での管理基準が確立されていないので、RI法など従来の盛土品質管理との併用が必要となる。
- ・ 現状では手動によるブロックの数え上げで合格率を求めているため、プログラムの改善により、労力削減の必要があるものと考えられる。

参考文献	地質・地盤研究 G 施工技術 T、盛土施工の効率化と品質管理向上技術に関する研究②「振動加速度応答値 (CCV) による路対盛土の品質管理」 ：(株)不動テトラ 小林 純他
備考	—

技術名	マシンガイダンス（バックホウ）技術
番号	No. 3-15
発注者	国土交通省中部地方整備局
施設名	排水機樋管施設
所在地	三重県桑名郡木曾岬町
工事名称	平成 21 年度 木曾川源緑排水機樋管改築工事
施工期間	2010 年 1 月～2013 年 3 月
施工者	(株)奥村組
キーワード	マシンガイダンス、丁張レス

(1) 概要

河川堤防の法面掘削工事において、GNSS によるバックホウ本体の位置情報とチルトセンサによるバケット位置情報をリアルタイムに取得し、法面切り出し位置やバケットの位置をモニタに表示し、オペレータにガイダンス（バケット操作は手動）して施工した事例である。

(2) 技術詳細

現場内に GNSS 基地局を設け、バックホウ本体には GNSS アンテナ（2 箇所）を設置し、バックホウ本体の 3 次元座標位置情報を得る。また、バックホウのアーム等には、チルトセンサを取付け、バックホウ本体とバケット先端位置の相対位置関係を把握することで、バケット先端の 3 次元座標位置情報をリアルタイムに取得する。バックホウ車載 PC モニタに、3 次元設計データによる法面の切り出し位置、及び実際のバケット先端位置を表示させ、オペレータはモニタに表示されるガイダンスに従って掘削・法面整形作業を行う。



図-1 GNSS 基地局



図-2 GNSS アンテナ

(※丁張は施工精度確認用に設置したもの)



図-3 マシンガイダンス（バックホウ）機器構成



図-4 車載モニタ（ガイダンス）

(3) 結果

1) 技術の特長

- ・丁張なしで作業することができ、測量作業が軽減される
- ・均一で精度の高い施工が可能となり、熟練オペレーター不足に対応できる
- ・出来形確認や手元作業員を軽減することができ、重機稼働率と安全性が向上する

2) 技術の活用

掘削・法面整形工事（図-5）の他、バケットの位置が車載モニタでリアルタイムに確認できることから、目視ではバケット位置が確認できない浚渫工事（図-6）にも活用できる。



図-5 マシンガイダンスによる法面整形状況



図-6 浚渫工事への適用事例

参考文献	テクニカルリーフレット：(株)奥村組
備考	—

技術名	のり面締固め管理システム
番号	No. 3-16
発注者	東日本高速道路(株)
施設名	北海道横断自動車道
所在地	北海道小樽市塩谷4丁目
工事名称	北海道横断自動車道塩谷工事
施工期間	2013年4月～施工中
施工者	三井住友建設(株)
キーワード	GNSS マシンガイダンス、締固めエネルギー、バケットセンサ

(1) 概要

盛土のり面は、降雨の浸透や侵食を防ぎ、盛土本体の安定性を確保するために重要な箇所である。なかでも締固め作業は、強靱な構造物を施工するために重要な作業であるが、のり面部は盛土本体に比べ狭い箇所であるため、本体と同じ大型機械では施工できない。そのため、盛土本体と同レベルの品質管理方法が確立されていなかった。北海道横断自動車道塩谷工事は、JR 函館線塩谷駅の南側に新設する仮称・小樽西 IC を含む 3600m の本線を建設する工事である。切り・盛り土の総量は 190 万 m³ にのぼり、塩谷川に架かる橋梁などの下部も施工する。本工事において、盛土工事ののり面締固め作業を定量的な手法で管理し、さらに PC とデータの連携を行うことで、締固め管理の施工記録帳票の自動化するシステムの導入を行った。

(2) 技術詳細

1) 技術の特徴

バックホウのガイダンスシステムと GNSS 締固め管理システムを融合させ、振動バケットの稼働時間により、設定したメッシュの累積締固め時間を管理するシステムである。本システムを用いることで、運転席で締固め時間を確認でき、また設計との差異も表示されるためマシンガイダンスシステムとしての利用も可能である。

2) システムの構成

本システムは GEOSURF iCE (ジオサーフ社製) をカスタマイズし、バックホウマシンガイダンスシステムと GNSS 締固め管理システムを融合したものである。GNSS を搭載したバックホウ (図-1) により、バケットの位置を測定する。そしてのり面の締固めを行う振動バケットの稼働時間に応じて、運転席のモニター上の施工場所のメッシュの色が段階的に変化させることで、締固め時間を確認しながら作業することができる (図-2)。また、設計との差異も表示されるためマシンガイダンスシステムとしての利用もできる。締固め時間管理データや位置情報は蓄積されるため、のり面締固め管理帳票の自動作成が可能である。

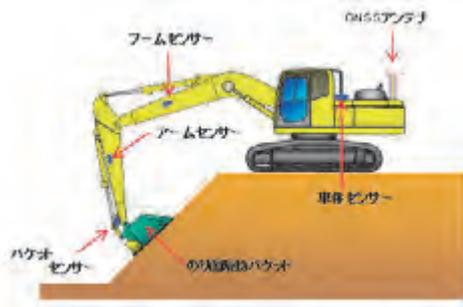


図-1 システム概要



図-2 モニターの表示例

(3) 結果

1) 導入の結果

本システムを東日本高速道路株式会社発注の北海道横断自動車道塩谷工事にて導入し、以下に記す有効性を確認した。

- ① 締固めエネルギーを定量的に評価することで、これまで管理方法が確立されていなかった盛土のり面の締固め管理ができる。
- ② 従来の振動ローラによる転圧管理システムと同様に、施工管理情報は運転席のモニターにリアルタイム表示される。このリアルタイム転圧管理により、施工ミスによる品質不良を未然に防止できる。

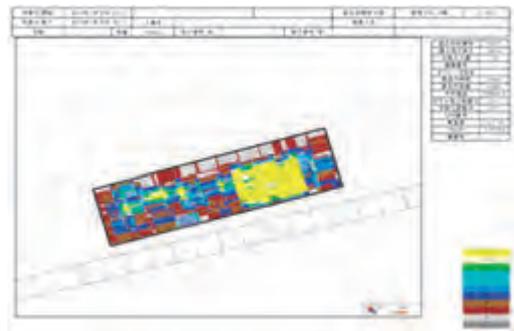


図-3 管理帳票の作成例

- ③ 事務所のPCとデータ連携し、のり面締固め管理の帳票（図-3）を自動作成できるため、品質管理帳票作成における省力化が図れる。
- ④ マシンガイダンスシステムとしての利用も可能である。

2) 今後の展開

本システムなどで得られる品質管理データを3Dモデル上で視覚的に管理できるシステムを構築し、盛土構造物の維持管理、長寿命化へ貢献したいと考えている。

<p>参考文献</p>	<p>のり面締固め管理システムを実用化 ―盛土のり面の品質管理の効率化― ー：三井住友建設(株)ホームページ、2014年12月 URL：http://www.smcon.co.jp/2014/121010101/</p>
<p>備考</p>	<p>ー</p>

技術名	ダンプ積載土量計測システム
番号	No. 3-17
発注者	—
施設名	敷地造成
所在地	—
工事名称	—
施工期間	—
施工者	鹿島建設(株)
キーワード	デジタル写真測量、土量計測

(1) 概要

近年のデジタルカメラやパソコンの高性能化、低価格化により、これらを利用したデジタル写真測量技術の各種計測への適用が活発に試みられている。デジタル写真測量技術は、面的な広がりを持つ計測対象を瞬間的に計測（撮影）することを可能とし、またカメラ出力を直接パソコンに入力し画像解析することで計測の自動化を図ることも可能となる。これらの特長を活かし、大規模土木工事における土量管理の効率化・高精度化を目的に、ダンプ等の車輻に積載された土砂体積（土量）の計測システムを開発した事例である。

(2) 技術詳細

計測原理イメージを図-1に示す。高精度に取り付け位置、角度が標定された2台のカメラで解析対象を同時に撮影し、各画像上で対象が写る位置（写真座標）を求める。三次元空間において対象点、レンズ中心、画像上に写る対象点が同一直線上に位置するという条件の基に、各カメラの位置、角度と、各画像上の写真座標から計測対象の三次元座標を解析する。ダンプに積載した土砂表面上の複数の点について、前述の方法により三次元座標を求めることで、土砂表面の詳細な三次元形状を得ることができる。

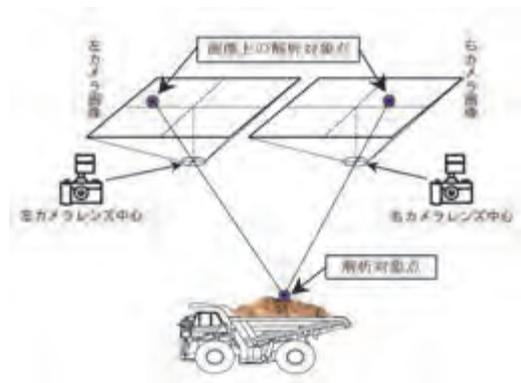


図-1 計測原理イメージ

この原理を応用し、図-2に示すプロセスにより土量計測を行う。センサが撮影位置へのダンプ進入を検出すると2台のカメラに同時に撮影信号を送信する。撮影された画像はLAN経由で解析用パソコンに転送され、前述の方法により土砂表面の三次元形状を解析する。その後データベースから呼び出されたダンプ荷台形状との位置合わせを行い、両者の差により土砂体積を計測する。

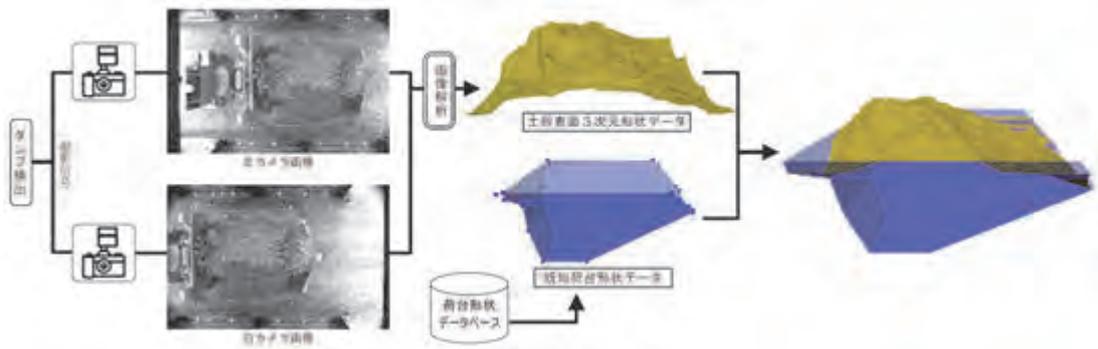


図-2 計測プロセス

本システムは以下の特長を有する。

- ・ 低速（約 10km/h 以下）において車輛を停止させることなく、速度・向きによらずに計測可能
- ・ 地上に設置した基準点を撮影・解析することで、カメラ取り付け位置・角度を自動補正
- ・ 撮影から土量算出まで全自動で処理

(3) 結果

1) 実証実験結果

本システムの有効性確認及び精度評価のため、実際のダンプを対象に実証実験を行った。計測状況を図-3 に、撮影仕様を図-4 に示す。山岳トンネル工事で使用されるズリ出しダンプ（全長 9.2m、全幅 3.3m、高さ 3.4m、平積み容量 15m³）を対象とし、5 km/h 程度の速度でカメラの下を走行させ計測を行った。カメラ位置角度の校正は架台下部に設置した基準点を用いた。土砂表面形状については、100mm 間隔の格子状に三次元位置を解析し形状を求めた。

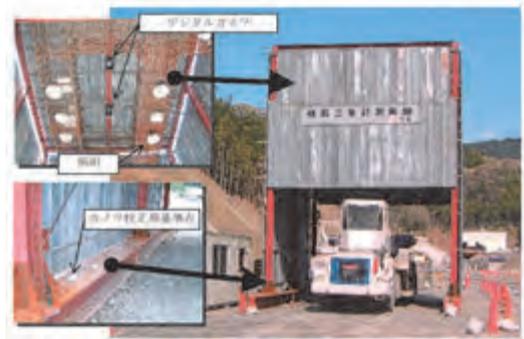


図-3 ダンプ計測状況

カメラ	200万画素デジタルカメラ (画素サイズ 11.6μm)
レンズ	焦点距離19mm、絞りF5.6
撮影距離	約3.5m
カメラ傾斜角度	2度
シャッター速度	1/500 sec

図-4 ダンプ撮影仕様

計測の結果、表面形状精度については、図-5 から算出される 1 画素分解精度が水平 5.3mm、標高 20.7mm なのに対し、誤差標準偏差水平 5mm、標高 12mm で計測することができた。また同一ダンプを 10 回走行させた際の計測再現性については、撮影画像内のダンプ位置は毎回異なるにもかかわらず、変動係数 0.38%と安定した計測を行うことができた。両検証結果から土量計測システムとしての十分な精度と安定性を実証することができた。

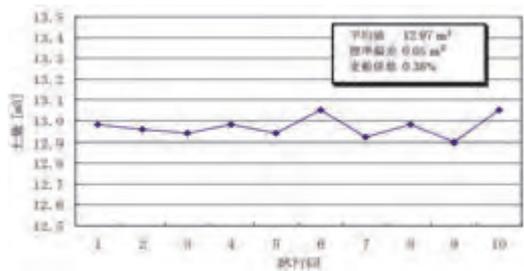


図-5 ダンプ繰り返し計測結果

2) 泥土圧シールド掘削土砂の計測実験

異なる土砂性状への適用性確認のため、泥土圧シールド工事においてズリ鋼車（全長 3.3m、全幅 1.3m、高さ 1.7m：平積み容量 7m³）に積まれた掘削土を対象に計測を行った。

計測状況を図-6 に、撮影仕様を図-7 に示す。土砂表面形状は 50mm 間隔の格子状に解析した。実験の簡易化のためズリ鋼車は停止させて計測を行った。計測精度評価としては、本システム計測値と、その後均した土砂表面までの深さをメジャーで計測した実測値とを比較した。また一部のズリ鋼車に対しては、均し後に再度本システムで計測を行い、均し前後での値の変化を比較した。計測結果を図-8 に示す。

計測の結果、本システムによる計測値とメジャーによる実測値はほぼ一致していた。また均し前後での本システムによる計測値の比較においても、均し後は 0.03～0.05m³（均し前計測値の 1%未満）減少しているが、均しの際の圧密を考慮するとほぼ同じ値と判断される。以上から異なる土砂性状においても本システムが安定して計測可能であることが確認できた。



図-6 ズリ鋼車計測状況

カメラ	260万画素デジタルカメラ (画素サイズ 11.8μm)
レンズ	焦点距離18mm、絞りF5.6
撮影距離	約3m
カメラ間距離	1m
シャッター速度	1/10 sec

図-7 ズリ鋼車撮影仕様

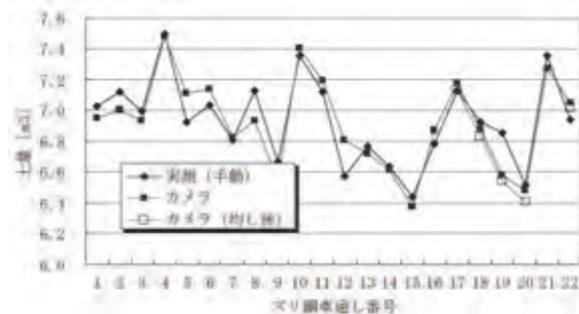


図-8 ズリ鋼車計測結果

3) 今後の展開

デジタル写真測量の応用による土量計測システムを開発し、全自動計測において良好な結果を得ることができた。今後は土運船の土量計測や造成工事における地形測量等への適用を図る予定である。

参考文献	土木学会第 58 回年次学術講演会：鹿島建設(株)、黒沼 出他、CS5-012 2003 年 9 月
備考	—

技術名	ダンプ運行管理システム
番号	No. 3-18
発注者	大槌町
施設名	宅地造成地
所在地	岩手県上開伊郡大槌町
工事名称	大槌町浪板地区、吉里吉里地区、赤浜地区、安渡地区及び小枕・伸松地区他第1期工事
施工期間	2013年9月～2017年3月
施工者	前田建設工業(株)・日本国土開発(株)・日特建設(株)共同企業体
キーワード	土質材料トレーサビリティ

(1) 概要

東日本大震災により津波被害を受けた震災復興事業として、生活環境を維持しながら高台に居住地を再編するための大規模造成工事が各地で進められている。宅地造成に使用する土質材料は、各採取場および仮置場から造成エリアに運搬される。しかし各造成エリアは散在しており、日々運搬材料や運搬経路が変化するという状況である。そのため、地質材料のトレーサビリティの確保が、工事のコスト・工程・品質に大きな役割を担うことになる。

大槌町浪板地区、吉里吉里地区、赤浜地区、安渡地区及び小枕・伸松地区他第1期工事は、浪板地区0.5ha、吉里吉里地区12.1ha、赤浜地区13.4ha、安渡地区8.4ha、小枕・伸松地区2.6haの計37haの整備（地盤改良工事・土工事・準備工事）を行うものである。施工内容としては、切土による高台移転を5か所、盛土による嵩上げ事業を3か所、現地発生土と他工区搬入土とのブレンドを2か所で行うものであり、土運搬管理が煩雑である（図-1）。そこで、1サイクルごとの積み込み場所、荷下ろし場所および運搬車両の3つの情報を一元管理する土運搬管理システムを構築・導入を行った。



図-1 積み込み場所、荷下ろし場所の分布例

(2) 技術詳細

1) 技術の特徴

- ・積み込み・荷卸しの場所の3次元座標を記録できる。
- ・荷卸し場でダンプアップした場所を記録するため、土構造物中の任意の位置の土質材料を把握することができる。
- ・土質材料の品質管理試験箇所の3次元座標や試験結果も結びつけることができる。
- ・将来の維持管理段階での原因究明や対策工法の検討に役立てられる。

2) システムの詳細

図-2 は本システムの概図である。本システムは以下に示すような流れで、施工現場での管理と現場事務所でのデータ集計を行う。

- ・施工現場では、土砂を積み込み・荷卸した時間や場所などの情報を、スマートフォンでクラウド上に登録する。また、盛り立て・仮置きなどを行った際にも、同様に登録を行う。これにより、現場作業所のクラウド上に、盛り立て場や採取地の3次元座標・時間などの情報が、土質材料運搬履歴として登録される。
- ・現場事務所では、日運搬量の集計、運搬サイクル管理、運搬距離の集計などの事務作業を、現場で登録してクラウド上に保管した施工データをもとに行うことができる。また、これらのデータから3連伝表の出力も可能である。

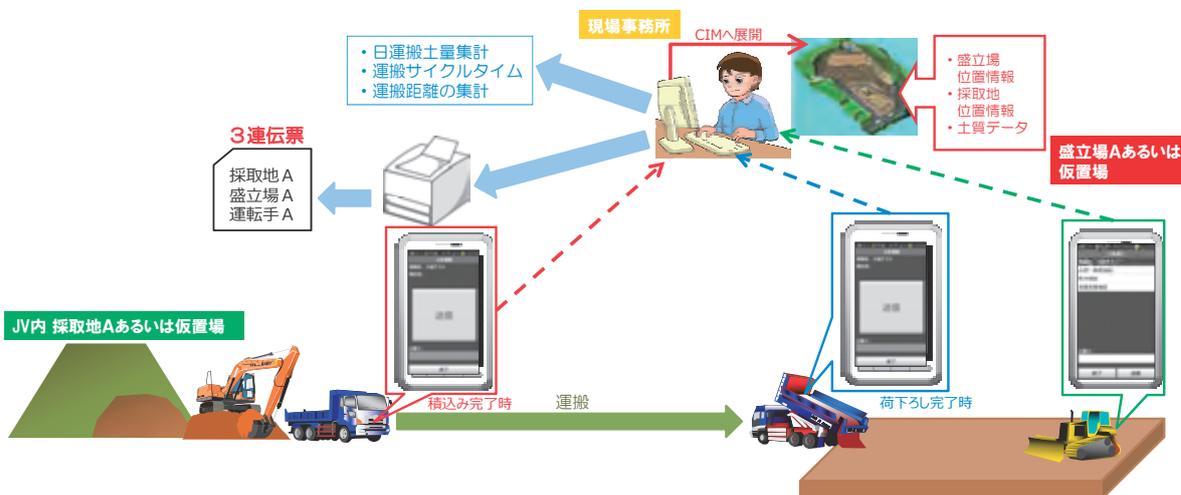


図-2 ICTを活用した土質材料のトレーサビリティ

(3) 結果

本システムを、土壌を運搬するダンプに搭載し(図-3)、システム導入の効果の検証を行った。以下に運用の結果と効果をまとめた。

- ・土質材料の採取・荷卸しの位置と時間、土量や運搬にかかる時間などの情報を、スマートフォンを用いた簡単な操作でクラウド上に登録することができる(図-4)。
- ・土質材料運搬履歴を用いて、施工管理や書類作成の作業を軽減することができる。
- ・将来の維持管理段階での補修箇所や補修時期の設定、災害等により損傷を受けた場合の原因究明や対策工法の検討に役立てられる。



図-3 ダンプへのシステム搭載状況

No.	作業種	移動種	移動種-開始時刻	移動種-終了時刻	作業種-開始時刻	作業種-終了時刻	作業種-移動距離	作業種-移動速度	作業種-移動時間	作業種-移動距離	作業種-移動速度
1 次給-01	土質作業ストローク	2015-01-26 00:33:17	2015-01-26 00:44:42	0:11	7.10	0:00	6.20	50.00			
2 次給-01	土質作業ストローク	2015-01-26 00:55:30	2015-01-26 00:59:40	0:04	4.95	0:07	13.33	50.00			
3 次給-01	土質作業ストローク	2015-01-26 00:57:06	2015-01-26 01:14:28	0:07	10.93	0:06	6.20	50.00			
4 次給-01	土質作業ストローク	2015-01-26 00:52:17	2015-01-26 00:27:57	0:06	14.80	0:06	11.80	50.00			
5 次給-01	土質作業ストローク	2015-01-26 00:04:25	2015-01-26 00:40:50	0:06	36.54	0:01	7.10	50.00			
6 次給-01	土質作業ストローク	2015-01-26 00:02:21	2015-01-26 00:53:50	0:01	48.29	0:07	15.93	50.00			
7 次給-01	土質作業ストローク	2015-01-26 00:03:35	2015-01-26 01:07:15	0:03	17.81	0:06	11.85	50.00			
8 次給-01	土質作業ストローク	2015-01-26 01:13:19	2015-01-26 01:22:21	0:05	20.54	0:07	8.00	50.00			
9 次給-01	土質作業ストローク	2015-01-26 01:20:00	2015-01-26 01:30:11	0:08	16.00	0:03	7.80	50.00			
10 次給-01	土質作業ストローク	2015-01-26 01:42:01	2015-01-26 01:02:30	1:21	25.97	0:05	4.15	50.00			
11 次給-01	土質作業ストローク	2015-01-26 00:00:01	2015-01-26 01:17:25	0:05	30.25	0:07	12.00	50.00			
12 次給-01	土質作業ストローク	2015-01-26 00:00:13	2015-01-26 00:10:00	0:09	12.00	0:05	3.00	50.00			

検索件数 104件

EXCEL出力

図-4 土質材料運搬履歴の管理画面

参考文献	第 50 回地盤工学研究発表会：前田建設工業(株) 安井利彰他 C-09、pp325～326、2015 年 9 月
備考	—

技術名	車両運行管理システム
番号	No. 3-19
発注者	①②国土交通省九州地方整備局③中日本高速道路(株)
施設名	—
所在地	—
工事名称	①苅田沖土砂処分場(中工区)地盤改良工事②新若戸道路沈埋トンネル部(4・5号函)築造工事③第二東名高速道路大淵工事
施工期間	① 2010年3月～2011年2月 ②2008年7月～2010年3月 ③ 2004年3月～2007年12月
施工者	東亜建設工業(株)
キーワード	走行軌跡管理、積み下ろし履歴管理、車両速度 WEB 管理

(1) 概要

車両運行管理システムは、簡易的な設備で車両の動体管理を行う事を目的として開発された、ネットワーク型工事用車両運行管理システムである。

(2) 技術詳細

車両には、スマホ、スピーカを簡易的に設置し、位置情報および速度を収録する。これらの情報から車両オペレータに対して、速度超過による警告や特定の場所(小学校・通学路・右折左折・合流地点など)で音声による注意喚起を行うことができる。取得されたデータはパケット通信網を介してサーバへ送信されるので、インターネット経由で全国どこでも閲覧が可能である(図-1)。



図-1 車両運行管理システム概要図

1) 適用分野

- ・現場ヤード内での走行軌跡管理
- ・積み下ろし履歴の管理
- ・車両速度管理
- ・音声ガイダンスによる安全管理

2) 適用条件

- ・事務所には、インターネット接続環境が必要

3) 留意事項

- ・WEB画面での閲覧の実現

(3) 結 果

- ・閲覧側はインターネット回線があれば全国どこでも閲覧可能
- ・サーバで管理している履歴データを利用して車両単位での帳票出力が可能
- ・車両内での速度の監視が可能（音声案内による警告）
- ・車両内でのエリア監視が可能（右折ポイント、一時停止などの音声案内）
- ・車載キットがあり、簡易的な取付けが可能

参 考 文 献	—
備 考	—

記入者	建設重機アイドリング監視システム
番号	No. 3-20
発注者	東日本高速道路(株)
施設名	常磐自動車道
所在地	宮城県亶理郡山元町
工事名称	常磐自動車道山元工事
施工期間	2011年1月12日～2014年3月26日
施工者	清水建設(株)
キーワード	アイドリング監視システム、環境保全、見える化、エコ運転判定
<p>(1) 概要</p> <p>常磐自動車道山元工事における実証試験では、定量的なエコ運転判定の評価結果をオペレータに示しながら環境教育を実施、その結果、オペレータは受講後、自ら進んでアイドリングを実施するようになった。顕著な効果が表れたオペレータの事例では、アイドリング時間が80分以上(106分→20分)短縮された日があることがシステムで確認できた。</p> <p>常磐自動車道は、関東地方と東北地方南部の太平洋沿いの主要都市を結ぶ総延長352kmの高速道路であり、現在は、常磐富岡IC～南相馬IC及び相馬IC～山元ICの56.0kmの区間が未開通で、本工事は山元IC側から5,811mの区間である。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・設計概要 <p>「建設重機アイドリング監視システム」開発概要</p> <p>昨今の建設現場では、環境教育の浸透によりCO₂発生量を抑制する様々な取り組みが展開されている。このため、さらなる抑制効果を上げるためには、地道な取り組みが欠かせない。当社はその一環として、建設重機のアイドリング状況を調査したところ、依然、改善の余地があることが判明し、アイドリングを抑制するシステム開発に取り組んだ。</p> <p>(2) 技術詳細</p> <p>1) システム概要</p> <p>主に造成工事に用いる建設重機のアイドリング防止を目的に、オペレータの環境保全貢献度を見える化する「建設重機アイドリング監視システム」を開発・実用化した。東日本高速道路(株)発注の常磐自動車道山元工事(宮城県亶理郡山元町)において、ブルドーザーとローラーに試験適用し、所定の性能を確認した。</p> <p>建設重機アイドリング監視システムは、建設重機に搭載するGPSと加速度センサ、エンジンのオン・オフを認識するセンサ、センシング情報を現場事務所のパソコンに送信する通信機器、アイドリング状態を検出するソフトウェアから構成される。建設重機の機種、メーカーを問わず設置可能である。</p> <p>システムは、日々の重機稼働時間、アイドリング時間から、アイドリング率、アイドリン</p>	

グ中の CO₂ 排出量を算出するとともに、オペレータのエコ運転の判定評価（100 点満点）を行い、環境保全貢献度を見える化にした。アイドリングの検出方法は非常にシンプルで、ソフトウェアでエンジンがオンの状態、GPS の位置情報により走行を停止している状態、加速度センサが感知する重機の振動が設定値以内にある状態を同時に確認して 30 秒が経過すると、アイドリング状態にあると判断した。

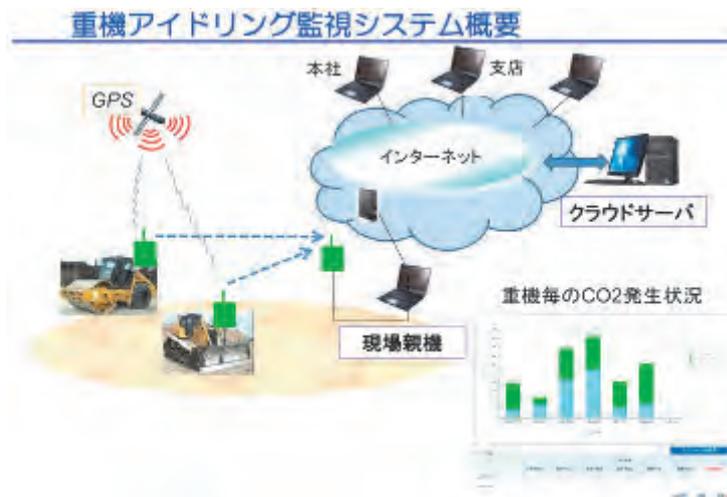


図-1 重機アイドリング監視システム概要

2) 工事規模

総延長 5,811m、インターチェンジ 1 箇所、切盛土工 約 105 万 m³、のり面工 約 171 千 m²、用・排水橋梁下部工 15 基

3) 工 法

エコ運転判定を踏まえた環境教育の効果（効果が顕著な事例）



図-2 重機アイドリング監視状況

(3) 結果

エコ運転判定を踏まえた環境教育の効果



図-3 日報による効果の確認



図-4 重機稼働時間

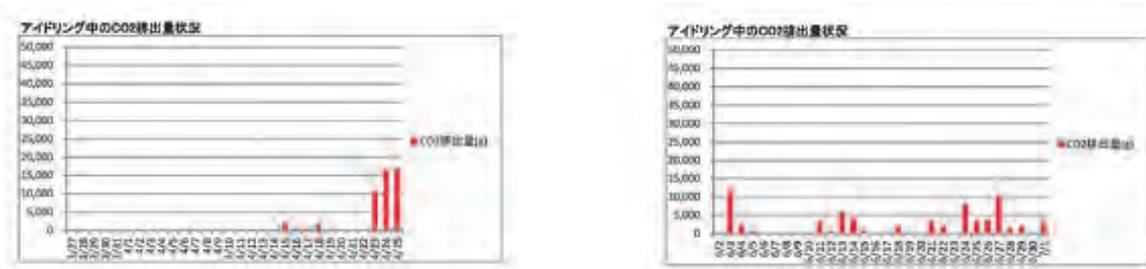


図-5 重機 CO₂ 排出量

参考文献	ケンプラッツホームページ -建設のアイドリング防止、清水建設がシステム開発-
備考	-

【造成・土工事】

技術名	長距離無線 LAN、携帯電話通信網等を利用した環境監視システム
番号	No. 3-21
発注者	—
施設名	—
所在地	—
工事名称	①宮城県内国道トンネル②和歌山県内高速道路トンネル③・④秋田県内国道トンネル
施工期間	—
施工者	東亜建設工業(株)
キーワード	振動監視システム、粉塵監視システム、濁度監視システム、穿孔データ伝送システム

(1) 概要

建設現場から発生する騒音・振動や粉塵、排水等の環境に配慮した施工管理が求められる中、従来の測定方法は、決められた頻度で計測員が計測点に張り付き、ペンレコーダやデータローガー、パソコン等にデータを記録し、事務所に持ち帰ってから評価・解析を行っていた。

上述の方法では、万一基準値を超過していたとしても相応の時間の遅れがあるため、迅速な対応が困難となる問題があった。しかし、リアルタイムに計測・管理するには、多くの人員を要するため、コストを抑制しながら確認できるシステムの開発が求められていた。また、陸上工事は一般に『地形が複雑』『起伏・高低差が大きい』『ヤードが広範囲』『車両・重機の輻輳』などの特徴を有する。

以上の点から情報の伝達には携帯電話や無線などが有効であるため、建設現場から発生する騒音・振動値や粉塵値、工事排水濁度を 24 時間連続計測し、無線 LAN を使用することで、数 km 離れた事務所まで伝送可能なシステムを構築した。

(2) 技術詳細

1) システムの概要

システムは、大別すると、環境管理項目に必要な各種センサー類とデータ変換装置、そしてデータを伝送するための通信装置および受信用の端末から構成される。

現場内で環境測定を実施するのに最適な箇所に計測器を設置する。取得される計測データを、アクセスポイントを経由させ、無線LANで数km離れた事務所まで伝送することでリアルタイムに一元管理を行うことが可能となる。また、各データをもとに迅速な解析を行うことで施工へのフィードバックを早期に行うことができる。

2) 長距離データ伝送試験

秋田県内のトンネル現場において、事務所と現場約4km間のデータ伝送試験を行った(写真-1)。指向性の特に強いアンテナを送信側とともに受信側にも設置し(写真-2)、それらを高精度に対向させることにより4kmの通信を可能とした。なお、この組合せによれば、実用上、最大7kmまで

の遠距離通信が可能であることを確認した。



写真-1 事務所からトンネル現場方向を望む



写真-2 受信側アンテナ（指向性）設置例

3) システム導入事例

① 環境振動監視システム（宮崎県内国道トンネル）

トンネル施工現場付近に牛舎（写真-3）があり、夜間に現場から発生する騒音値を45dB以下とする低騒音の工事を行っている。夜間でも生コンクリートを製造するバッチプラントには遮音効果の高い防音パネルで外装し、機器ごとにも防音対策を施した。牛舎の他、現場内数カ所に騒音・振動計を設置し、24時間リアルタイムで計測・監視するとともに、万一管理基準値を超えた場合には警報を発信するシステムを導入している（写真-4）。



写真-3 牛舎でも騒音値を計測・伝送

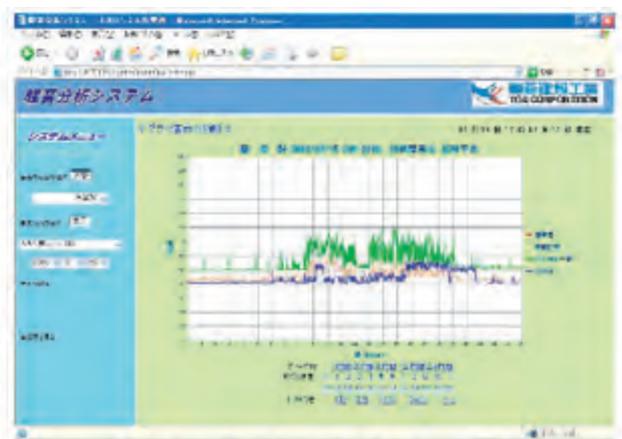


写真-4 騒音値計測データの一例

② 粉塵濃度監視システム（和歌山県内高速道路トンネル）

現場周辺は有名な梅の産地であり、その梅畑の中を施工するにあたり、工事により発生する粉塵飛散による悪影響が懸念されるとともに、近隣住民への騒音にも配慮する必要があった。これらの抑制対策を行うとともに、粉塵発生量および騒音・振動値を連続計測し（写真-5）、長距離無線LANにより事務所へと伝送して、発生状況の確認と基準値を超えた場合は迅速に対応できる体制を整えている（写真-6）。



写真-5 騒音・振動計、粉塵計測盤



写真-6 騒音・粉塵計測データ一例

③ 濁度監視システム（秋田県内国道トンネル）

現場周辺は『あきたこまち』などを生産する農業地帯であり、現場から発生する工事濁水を極力清浄化する必要がある。そのため濁水を高分子凝集材やPACなどの薬剤により、凝集沈殿させた後、急速砂ろ過装置を使用することにより、放流水の濁り（SS成分）を20mg/L以下とする濁水処理設備を導入している。処理水の濁度を放流前に計測し、管理基準値に適さない値であれば自動的に再処理するとともに、一連のデータと濁水の性状を確認するための動画データ（写真-7）を、4km離れた現場事務所まで長距離無線LANで伝送し、常時確実に管理している（写真-8）。



写真-7 濁水監視用WEBカメラ

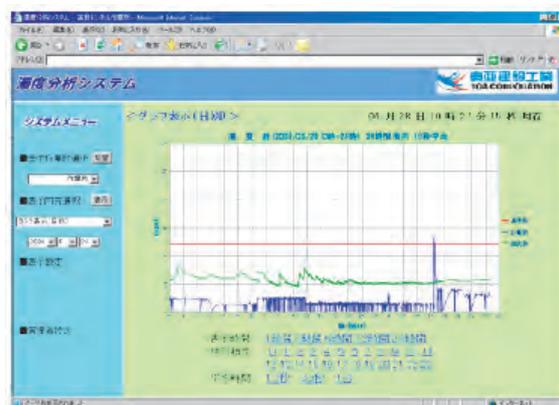


写真-8 濁度計測データ一例

④ 油圧ジャンボ 穿孔データ伝送システム（秋田県内国道トンネル）

NATMトンネルでは地山性状を的確に把握し、設計・施工にフィードバックすることが重要となるため、日常的に各種計測および切羽観察を実施し、施工管理に利用される。それと併用して、切羽前方の地山性状を予測するために油圧ジャンボ穿孔時の穿孔速度・打撃圧・回転圧・フィード圧を適宜計測し、無線LANで事務所までデータを転送している（写真-9、写真-10）。事務所では転送されたデータから不必要な部分をカットし、解析を行い、既施工区間との対比を行うことでより迅速な予測および地山評価を多角的に行うことが可能となる（図-1）。



写真-9 データ伝送用アンテナ（ジャンボ搭載）



写真-10 切羽監視用 WEB 画像

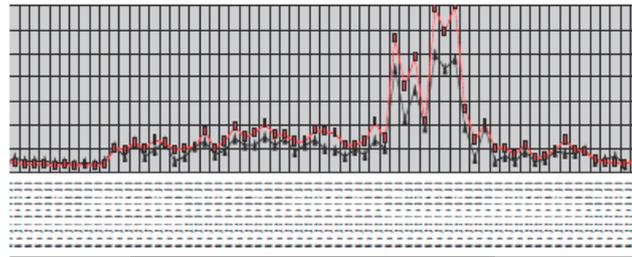


図-1 穿孔データグラフ例

(3) 結 果

時々刻々と状況が変化する工事現場においては、リアルタイムにその状況を集中管理して把握することは重要であり、その方法として無線LANを使用することはきわめて有用である。現場状況によっては、既設の電話回線などの有線と組み合わせることにより、立地条件に適したネットワークを利用することで、さらに長距離かつ高速通信にも対応できる。

<p>参 考 文 献</p>	<p>長距離無線 LAN を使った環境監視システム：東亜建設工業(株)松島弘樹・藤本正一・宮下広樹、平成 18 年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集(一社)、日本建設機械施工協会</p>
<p>備 考</p>	<p>—</p>

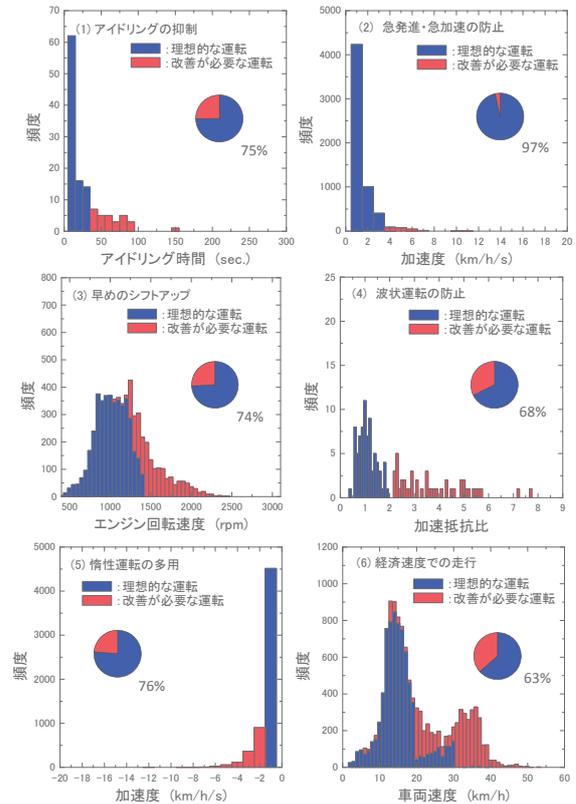
【造成・土工事】

技術名	省燃費運転評価システム「Eco-Dash」
番号	No. 3-22
発注者	西日本高速道路(株)
施設名	新名神高速道路
所在地	兵庫県神戸市北区道場町塩田
工事名称	新名神高速道路 道場トンネル工事
施工期間	2012年3月～2015年8月
施工者	前田建設工業(株)・(株)鴻池組特定建設工事共同企業体
キーワード	省燃費運転評価システム、エコドライブ車載機、OBD(On-Board Diagnostics)
<p>(1) 概要</p> <p>建設施工現場では、エネルギー使用量の7割弱をトラックや重機等が使用する軽油が占めている。そのため、省燃費運転の教育・指導による燃費向上が、CO₂削減に非常に効果的である。省燃費運転教育は、安価で手軽に実施することが可能であり、建設三団体が発行する省燃費運転マニュアルによれば、平均20～30%の高い燃費向上効果が得られると報告されている。このように省燃費運転教育は高い燃費向上効果が報告されているものの、教育を実施するだけでは、教育後の省燃費運転の実施状況や燃費向上効果を把握・評価することができないため、教育効果が持続しにくいといった問題も指摘されている。省燃費運転教育の効果を効率的かつ継続的に維持するためには、省燃費運転の実施状況や燃費向上効果を把握・評価し、適切な教育・指導を適宜実施する必要がある。</p> <p>以上の背景から、建設現場等のダンプトラックを対象とした省燃費運転評価システムを開発し、新名神高速道路道場トンネル工事に導入した。本工事は、延長約3km、切盛土量120万m³、橋台・橋脚約10基の施工を行うものである。該当現場において、継続した教育・評価を行うことのできる省燃費運転システムの導入を行った。</p> <p>(2) 技術詳細</p> <p>1) 技術の特徴</p> <p>省燃費運転評価システムEco-Dash(エコダッシュ)は、次に挙げる特徴を持つ。</p> <p>①ダンプトラックの車両速度とエンジン回転速度のデータのみから、運転状況や積荷状況、燃費等を分析することができる。</p> <p>②理想的な省燃費運転モデルと実燃費と比較した指標(省燃費運転達成率)を独自に定め、省燃費運転の実施状況を高い精度で評価する。</p> <p>③「省燃費運転達成率」は、ダンプトラックの車両性能や走行条件が考慮することで、ドライバーの省燃費運転技術のみを評価することが可能である。</p> <p>④測定には、スマートフォンとOBDボード装着型の車両走行データモニタリング機器を利用するため、重機間のシステムの載せ替えが容易である。そのため、従来のエコドライブ車載機に比べて、安価に導入することが可能である。</p>	

⑤測定で使用するスマートフォンには省燃費運転の簡易評価結果がリアルタイムで表示される。低い運転評価が継続した場合には、運転手に音声による注意喚起がなされる、リアルタイム注意喚起アプリケーションを導入している。

2) 教育フローの詳細

Eco-Dash を用いることで、車両運行速度とエンジン回転数から、(1)アイドリング、(2)急発進・急加速、(3)適切なシフトアップ、(4)波状運転の防止、(5)惰性運転の多用、(6)経済速度での走行という6項目の省燃費運転実施状況を判定することができる(図-1)。このシステムを図-2 にしめす省燃費運転教育に活用することで、省燃費運転教育の教育効果を“見える化”することができる。また同じフローを繰り返すことにより、継続的な教育を実施することができ、教育の効率化と継続性向上につながる。



(3) 結果

当現場の2名のダンプトラックのドライバー(運転歴20年以上)に教育フローの試験を行った。2名とも現場で発生する掘削土砂・トンネルずりを、約5km離れた盛土施工現場まで運搬する作業に従事しており、1日あたりの土砂運搬回数は平均12回である。以下に、本システムの運転評価、運転教育、教育の成果について記す。

1) 省燃費運転教育前の評価

図-3はドライバーAおよびBの省燃費運転技術を、Eco-Dashによって評価して総合評価点(省燃費運転達成率)として数値化した結果ある。総合評価点は6項目の判定から算出され、点数が高いほど燃費が良い。

2) 省燃費運転教育の実施

6項目の省燃費運転実施状況の結果を分析し、ドライバーの運転傾向に合わせた教

図-1 6項目の評価結果

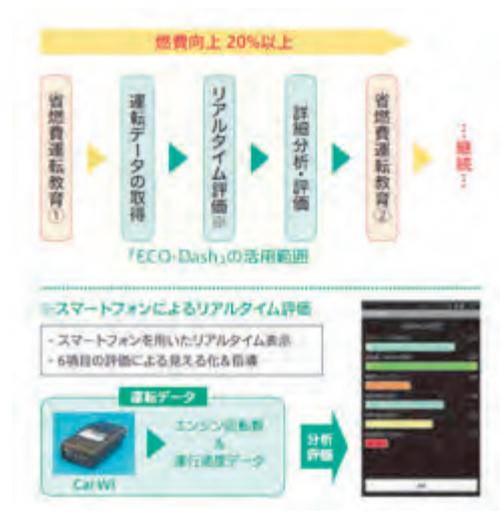


図-2 Eco-Dash を用いた省燃費運転教育評価システム

育を実施した。具体的な教育例としてドライバーA の場合、省燃費運転を実践できている比較的優良なドライバーであるが、「経済速度での走行」が他の項目と比べ点数が低いため、「エンジン回転速度 1200～1500rpm での一定速度走行」を心掛けるよう指導した。

3) 省燃費運転教育後の評価

図-4 は、省燃費運転教育後の省燃費運転評価の結果である。ドライバーA の総合評価点は 62.2 点であり、教育実施前と比較して約 4 点増加、燃費は約 3%向上した。また、ドライバーB は 56.3 点であり、教育実施前と比較すると約 8 点増加、燃費は約 7%向上した。

以上のように Eco-Dash では、教育前においても省燃費運転の実施状況を把握できるとともに、具体的な改善ポイントを教育・指導することで、評価点（省燃費運転達成率）や燃費が向上することを確認した。2名のドライバーからも、改善点が分かり易かったとの意見を頂いた。また教育後の評価を行うことで、省燃費運転評価システムの継続性を持たせることができる。

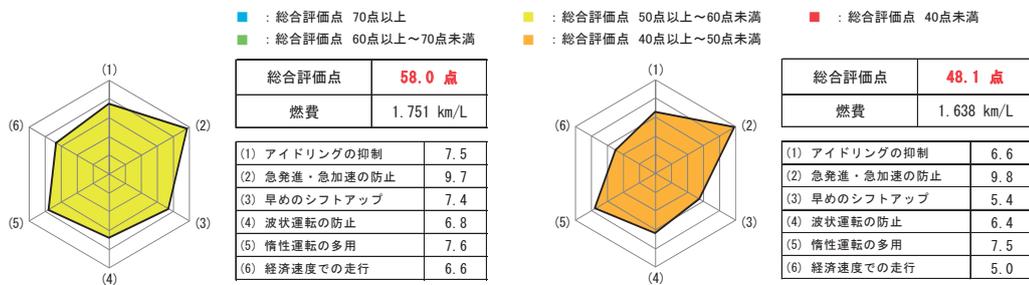


図-3 省燃費運転教育前の評価（左ドライバーA、右ドライバーB）

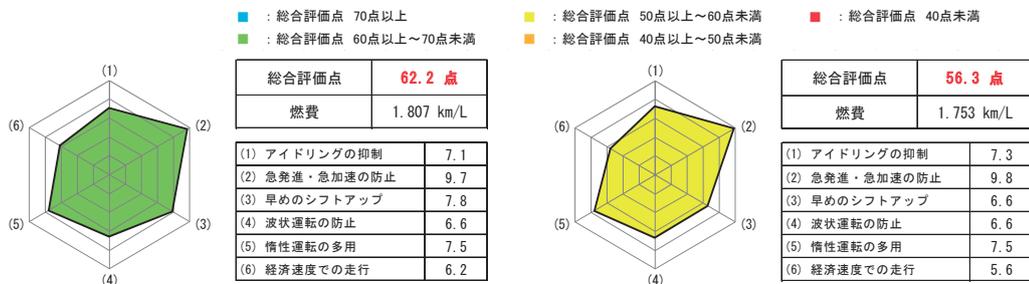


図-4 省燃費運転教育後の評価（左ドライバーA、右ドライバーB）

参考文献	<ul style="list-style-type: none"> ・土木学会論文集 F3（土木情報学）「車両速度とエンジン回転速度を用いたダンプトラックの省燃費運転評価手法の検討」：前田建設工業(株) 平田昌史他、Vol.68 No.1、p42-57、2012年7月 ・土木学会第70回年次学術講演会：前田建設工業(株) 平田昌史他 VII-054、2015年9月
備考	—

【造成・土工事】

技 術 名	情報化設計施工管理システム「TOMS」
番 号	No. 3-23
発 注 者	—
施 設 名	—
所 在 地	—
工 事 名 称	①首都高速中央環状線 SJ46 工区(3)立坑工事、②長久保工場用地取得造成事業敷地造成工事、③アイランドシティ地区平成 12 年度外周護岸 (B1・B2) 築造工事、④千代田区一、三番町付近再構築その 2 工事 No. 1 両発進立坑
施 工 期 間	—
施 工 者	東亜建設工業(株)
キーワード	山留め管理、地盤の沈下安定管理、斜面安定管理、地下水管理
<p>(1) 概 要</p> <p>近年の建設工事は大規模化・複雑化し、安全性の確保が重要となる一方、品質確保とコストダウンが求められている。このような状況の中、現場に計測を導入して地盤の変形等を観測しながら工事を行う情報化施工技術は、合理的な施工を行うために有用となる。</p> <p>(2) 技術詳細</p> <p>TOMS (Toa Monitoring System) は、土構造物を対象に情報化施工を効率的に行うシステムで、安全・高品質・低コストの施工を実現する。</p> <p>システムは、以下の5つのサブシステムで構成されている。</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 山留め管理システム (図-1、図-2) ② 地盤の沈下・安定管理システム ③ 地すべり・斜面崩壊管理システム (図-3) ④ 地下水管理システム ⑤ 計測ボーリング管理システム <p>(3) 結 果</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 幅広く対応：各種の計測方法、工事規模、施工条件に対応 ② 操作が簡単：計測データの入力（自動または手動）や解析等の操作が簡単 ③ 低コスト：パソコンを主体としたハードウェアシステムで低コスト ④ 日常安全管理機能：計測データと管理値を比較し、日々の工事安全性を確保 ⑤ 予測管理機能：計測データに基づいた逆解析・予測解析手法 ⑥ データベース機能：計測・解析データを蓄積し、工事の計画・設計・施工管理へ活用 	

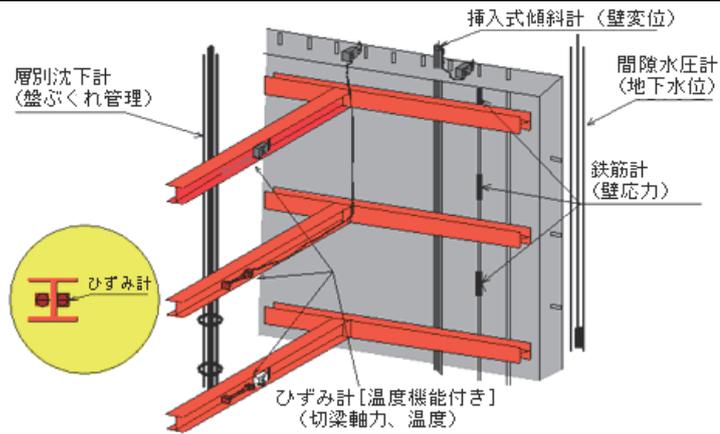


図-1 山留め管理システム—計測例

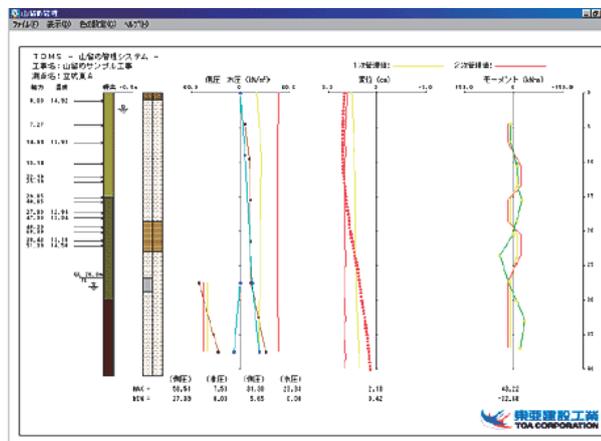


図-2 山留め管理システム—逆解析・予測解析例

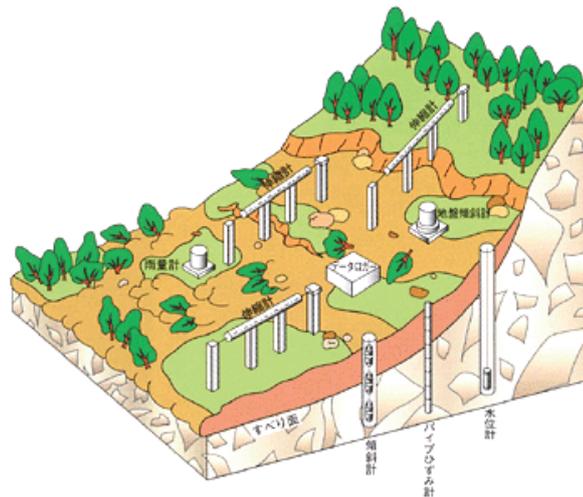


図-3 地すべり・斜面崩壊管理システム—計測器設置例

<p>参考文献</p>	<p>東亜建設工業(株)ホームページ「東亜の技術」 https://www.toa-const.co.jp/techno/civileng/surveying/m06/index.html</p>
<p>備考</p>	<p>—</p>

4. 施設建設における情報化施工技術

施設建設にあたって活用できる技術について、4.1～4.3に施設別に調査シートに取りまとめた。



4.1 ダム・貯水池

ダム・貯水池建設にあたってコンクリートダム、フィルダム 他、環境保全の3分類に分けた上で、活用できる技術20編について調査シートに取りまとめた。

表 4.1 文献調査シート一覧 1/2 (ダム・貯水池)

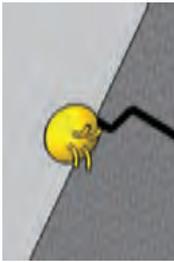
No.	分類	技術名	工事名 (発注者)	キーワード
4.1-1	コンクリートダム	A ⁴ CSEL「クワッドアクセル」	福岡県五ヶ山ダム堤体建設工事(福岡県五ヶ山ダム建設事務所)	自律型自動システム、転圧管理、撒き出し管理、タブレット端末
4.1-2	コンクリートダム	IT・CIM を活用した施工管理	鶴田ダム増設減勢工工事(国土交通省九州地方整備局)	CIM、タブレット端末
4.1-3	コンクリートダム	ダム用コンクリート運搬システム	綱木川ダム本体工事(山形県)	タワーベルコン、大量打設、ベルトコンベア運搬
4.1-4	コンクリートダム	ダムコンクリート情報化施工管理システム「DACCS」	大山ダム建設工事((独)水資源開発機構)	トレーサビリティ、リアルタイム打設情報管理
4.1-5	コンクリートダム	施工過程を可視化したリアルモニタリングシステム	赤松谷川 11 号床固工工事(国土交通省九州地方整備局)	モニタリングシステム、オペレータ支援、コンクリート打設管理、土工事運行管理、安全管理
4.1-6	コンクリートダム	GPS を搭載した運行管理、トータルステーションを使用した出来形管理システム	井手口川ダム(本体)建設工事(佐賀県)	車両運行管理システム、省人化、見える化、3D 出来形管理、TS スキャニング
4.1-7	コンクリートダム	コンクリート骨材粒径判別システム	切目川河川総合開発(切目川ダム本体工)工事(和歌山県)	骨材粒径判別、ステレオカメラ、超音波センサ、画像処理
4.1-8	コンクリートダム	RCCコンクリート運搬管理システム	赤松谷川9号床固工工事(国土交通省九州地方整備局)	運搬管理、ICタグ、GPS ロガー
4.1-9	コンクリートダム	IC タグを活用したダムコンクリート打設管理システム	野間川ダム本体工事(広島県)	ICタグ、トレーサビリティ
4.1-10	コンクリートダム	コンクリート打設管理システム	-	トレーサビリティ
4.1-11	コンクリートダム	継目グラウチング充填材検知システム	来島大橋下部工東工事(本州四国連絡橋公団)	継目グラウチング、充填管理、継目充填材、検知センサ
4.1-12	コンクリートダム	温度応力管理システム	円山川水系与布土川与布土ダム堤体建設工事(兵庫県但馬県民局養父土木事務所)	ひび割れ制御情報化システム
4.1-13	フィルダム 他	IT 施工管理システム	胆沢ダム堤体盛立工事(国土交通省東北地方整備局)	三次元ワンマン測量、締固め管理、マシンコントロール、マシンガイダンス
4.1-14	フィルダム 他	IT 施工管理システム	京極発電所新設工事のうち土木本工事(第1工区)(北海道電力(株))	三次元ダム設計施工支援システム、三次元ワンマン測量、締固め管理、マシンコントロール、マシンガイダンス
4.1-15	フィルダム 他	IT 土工管理システム	小丸川発電所工事上部ダム工事(九州電力(株))	三次元ダム設計施工支援システム、三次元ワンマン測量、締固め管理、ダンブトラックナビ、マシンコントロール

表 4.1 文献調査シート一覧 2/2 (ダム・貯水池)

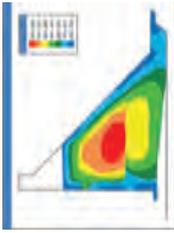
No.	分類	技術名	工事名 (発注者)	キーワード
4.1-16	フィルダム 他	締切り堤盛土工事における CIM の導入	大分川ダム締切堤工事(国土交通省九州地方整備局)	CIM、3D-CAD、施工シミュレーション、CCV
4.1-17	フィルダム 他	ダム ICT 施工総合管理システム「4D-DIS」	億首ダム(沖縄総合事務局開発建設部)	4D-DIS、締固め管理、端部法面締固め管理、CSG 材料トレースシステム
4.1-18	フィルダム 他	斜面計測監視 ICT システム「ハモニス」	宮川用水斎宮調整池建設工事(東海農政局)	斜面動態観測、地山安定性評価、Web システム
4.1-19	環境保全	スマートサイトシステム	新東名高速道路 鳳来トンネル工事(中日本高速道路(株))	省エネ監視、創エネ監視、エネルギーの見える化、CO ₂ 削減
4.1-20	環境保全	夜間工事照明影響評価システム	-	最適夜間照明計画、誘虫量、生態系食物連鎖、摂取カロリー量

解析・計測管理

充填材検知センサー



温度応力管理システム表示画面



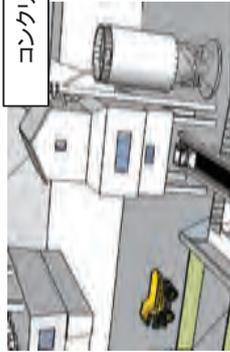
- 4.1-11 継目グラウチング充填材検知システム p128
- 4.1-12 温度応力管理システム p132

生コン車運行管理

- 4.1-8 RCCコンクリート運搬管理システム p121
- 4.1-9 ICタグを活用したダムコンクリート打設管理システム p124
- 4.1-10 コンクリート打設管理システム p126

プラント管理

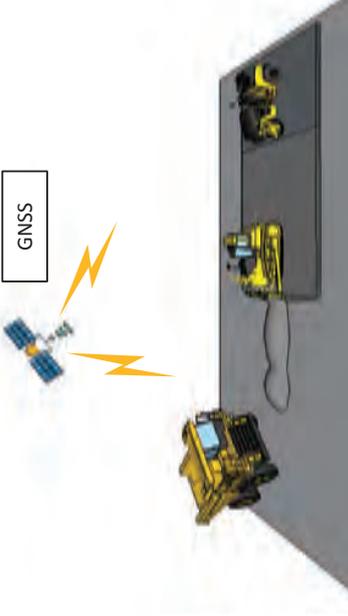
コンクリート打設プラント



- 4.1-7 コンクリート骨材粒径判別システム p118

コンクリート打設管理

GNSS



コンクリート敷均し

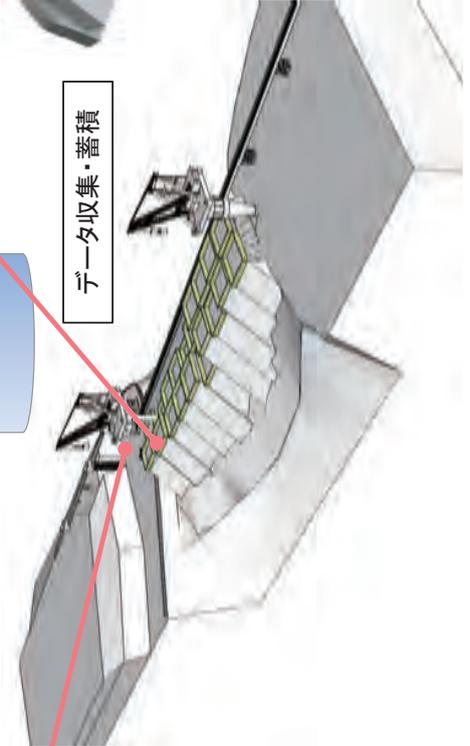
コンクリート運搬

コンクリート締固め

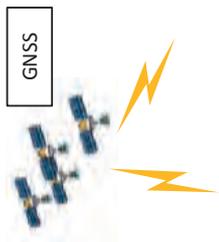
- 4.1-1 A⁴CSEL「クラウドアクセス」 p97
- 4.1-2 IT・CIMを活用した施工管理 p100
- 4.1-3 ダム用コンクリート運搬システム p104
- 4.1-4 ダムコンクリート情報化施工管理システム「DACCS」 p108
- 4.1-5 施工過程を可視化したリアルタイムモニタリングシステム p111
- 4.1-6 GPSを搭載した運行管理、トータルステーションを使用した出来形管理システム p114

x, y, z, t

データ収集・蓄積



3Dモデル



運行管理

敷き均し管理

転圧管理

4.1-13 IT施工管理システム p136
 4.1-14 IT施工管理システム p140
 4.1-15 IT施工管理システム p144
 4.1-16 締切り堤盛土工事におけるCIMの導入 p148
 4.1-17 ダムICT施工総合管理システム「4D-DIS」 p151

斜面安定性監視システム

GNSS

伸縮計

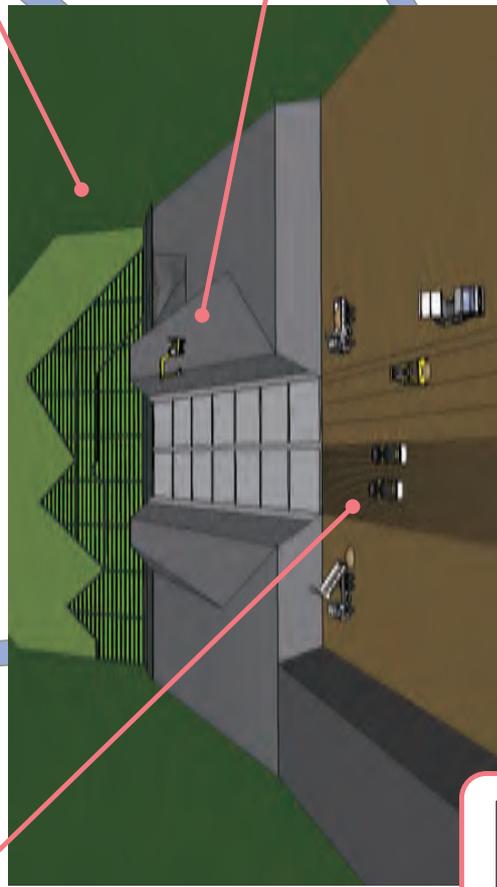
傾斜計

WEBカメラ

地下水位計

データの統合・整理・地山の安定性評価

4.1-18 斜面計測監視ICTシステム「ハモニス」 p155



法肩締め管理システム

起振機位置指示

移動しながら締め固める

場所ごとに締め固め時間を管理

測量

GNSS

環境保全

4.1-19 スマートサイトシステム p159
 4.1-20 夜間工事照明影響評価システム p163

母材採取ICタグ管理システム

母材積み込み・母材種類選択

母材情報ICタグ書き込み・読み取り

母材ストック管理

X, Y, Z, t

データ収集・蓄積

4.1.1 コンクリートダム

【ダム・貯水池／コンクリートダム】

技術名	A ⁴ CSEL「クラウドアクセル」
番号	No. 4. 1-1
発注者	福岡県五ヶ山ダム建設事務所
施設名	五ヶ山ダム
所在地	福岡県筑紫郡那珂川町大字五ヶ山
工事名称	福岡県五ヶ山ダム堤体建設工事
施工期間	2012年6月～2018年3月
施工者	鹿島・飛島・松本組共同企業体
キーワード	自律型自動システム、転圧管理、撒き出し管理、タブレット端末

(1) 概要

建設機械の自動化技術を核とした次世代の建設生産システム「A⁴CSEL」※（クラウドアクセル）の技術を実工事に適用した事例である。福岡県五ヶ山ダム堤体建設工事において、RCD コンクリートの振動ローラによる転圧作業を一部自動で行うとともに、ブルドーザの自動撒き出し作業の実証実験も併せて行い、高い施工精度を確認した。

従来のリモコン等による建設機械の遠隔操作とは異なり、人間がタブレット端末で複数の建設機械に予め指示を出すことにより、無人で自動運転を行うもので、振動ローラとブルドーザへの適用に成功した事例である。

※Automated/Autonomous/Advanced/Accelerated Construction system for Safety, Efficiency and Liability



図-1 「A⁴CSEL」の施エイメージ



図-2 五ヶ山ダムでの実施状況
(自動ブルドーザと自動振動ローラ)

建設業では、技能者の高齢化や若手就業者の減少等による熟練技能者の減少が喫緊の課題となっている。また、建設業は単品受注生産のため人の手による作業に多くを頼らざるを得ず、建設機械と近接する条件下での労働安全性の向上も大きな課題である。これらの課題に対し、機械が得意な単純な繰返し作業を自動化し、一方で機械が不得意な作業計画は人間が行うことをコンセプトとした、次世代の建設生産システムの実現を目指して研究開発を進めてきた。

(2) 技術詳細

「A⁴CSEL」(クワッドアクセル)は、①汎用建設機械の自動化技術、②施工状況に応じた運転を行う制御プログラム、③自律運転を可能とするための計測・認識技術で構成される。

① 自動化技術

専用の建設機械ではなく、汎用の建設機械にGNSS、ジャイロ、レーザスキャナなどの計測機器及び制御用PCを搭載することによって、自動運転を可能にしている点が特長である。

② 制御プログラム

施工条件の異なる、数多くの作業での熟練オペレータの操作データを収集・分析し、制御アルゴリズムに取り入れている。これにより、熟練オペレータと同等の精度を実現できる。

③ 計測・認識技術

リアルタイムでの自己位置・姿勢、周辺状況の計測結果から、障害物や走路安全性などを認識し、自動停止、再開などの機能を備えるなど、安全性を確保した自律運転を行う。

以上により、タブレット端末から作業内容を指示するだけで各機械が自律運転を行うため、少ない人数で複数の建設機械を操作することが可能になった。また、建設機械を自動化することにより、出来形データや機械データを取得することがこれまで以上に容易になり、3次元モデルに反映させることによって、3次元CADやCIMの推進にも貢献できる。

(3) 結果

1) 自律型自動振動ローラによる転圧作業の自動化

汎用の振動ローラを自動運転可能に改造し、五ヶ山ダムの現場でRCDコンクリートの転圧作業に初めて実適用した。本工事では、1人のオペレータが2台の自動振動ローラの操作を行い、直線走行、切り返し走行とも、誤差が±10cm以下であり、熟練オペレータと同等の施工精度を確保することに成功した。



図-3 自動化装備した振動ローラ



図-4 五ヶ山ダムでの稼働状況

2) 自律型自動ブルドーザによる撒き出し作業の自動化

コマツの ICT ブルドーザ D61PXi に自動化機器・装置を搭載した「自動ブルドーザ」を開発した。ブルドーザは、その作業内容や扱う材料が多岐にわたるため、走行やブレードの操作に高い熟練性が必要とされる建設機械であるが、本システムではまず撒き出し作業の自動化を目指し、熟練オペレータの実施工における操作データを取得・分析するとともに、走行経路やブレードの高さの違いによって、材料の広がり形状を予測するシミュレータを開発・適用した。通常の土砂を使った撒き出し作業に、この自動ブルドーザを十分適用できることを確認した後、五ヶ山ダム現場にて RCD コンクリートの撒き出し作業に適用する実証実験を行った。RCD コンクリートの撒き出しは、通常の土砂と比較して、その材料性能や撒き出し形状に対して厳しい基準があるため、より複雑な制御アルゴリズムが必要となったが、今回の実証実験の結果、熟練オペレータと同等の精度で撒き出し作業が行えることが確認でき、その有効性を実証できた。



図-5 自動ブルドーザのシステム構成



図-6 自動ブルドーザによる RCD コンクリート撒き出し作業状況

3) 今後の展開

建設業が抱える課題である熟練技能者の減少や作業員不足への対応、土木工事全般の生産性並びに安全性の向上に大きく貢献できるシステムとして、今後、適用機種を更に増やしていく方針である。

今回、振動ローラの転圧作業とブルドーザの撒き出し作業の自動化に成功したことにより、今後は大型ダンプや油圧ショベルを対象にした自動運転システムも確立させ、更に適用機種を拡大しながら、造成工事やダム工事などにおける一連の建設機械の自動化システムを完成させ、建設業の生産性向上、安全性向上に寄与していく。

参考文献	プレス発表「建設機械の自動化による次世代の建設生産システムを開発」 ：鹿島建設(株)、2015年5月14日
備考	—

【ダム・貯水池／コンクリートダム】

技術名	IT・CIMを活用した施工管理
番号	No. 4. 1-2
発注者	国土交通省九州地方整備局
施設名	鶴田ダム
所在地	鹿児島県薩摩郡さつま町
工事名称	鶴田ダム増設減勢工工事
施工期間	2011年4月～2015年3月
施工者	鹿島・西松共同企業体
キーワード	CIM、タブレット端末

(1) 概要

鹿児島県の鶴田ダム（国土交通省九州地方整備局）では、洪水による被害を軽減するために、洪水調節容量を最大 75,000 千 m³ から最大 98,000 千 m³ に増やす再開発事業に平成 19 年度より着手している。具体的には、①洪水を調節するための管を新たに 3 本増設、②増設した管から放流するための減勢工の増設、③現存する減勢工の改造、④発電のための取水管を 2 本付替、⑤増設減勢工を造るための地山掘削・法面工事、等の工事を行う。

この事業は、いくつかの施工業者に分割して発注されており、本工事では、主に①増設減勢工の構築（掘削～コンクリート打設）、②管設置後に設置された管と既設堤体との隙間を充填するコンクリートの打設、③右岸側の法面保護工事等を担当した。本工事の工種は、基礎掘削等のダム土工、減勢工などのコンクリート工、新設取水設備工に伴う既設コンクリート撤去工、コンクリート製造、濁水処理設備運転工など、多岐に亘っている。各工種が同時並行で進むため、所定の工程・品質を確保するためには、生産性の向上・業務の効率化が課題であり、この課題を解決するために、各管理に IT を活用した事例である。

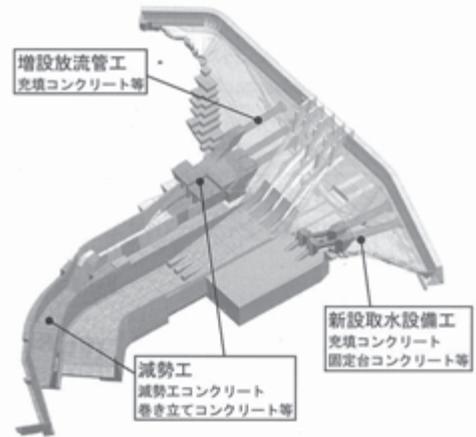


図-1 工事範囲の三次元モデル

(2) 技術詳細

1) IT・CIM を活用した施工計画

現場では PDCA サイクルを回すことで各管理を実施している。そのため、このサイクルの中で IT・CIM を活用することで、管理の生産性向上・効率化を図ることを検討した（図-2）。

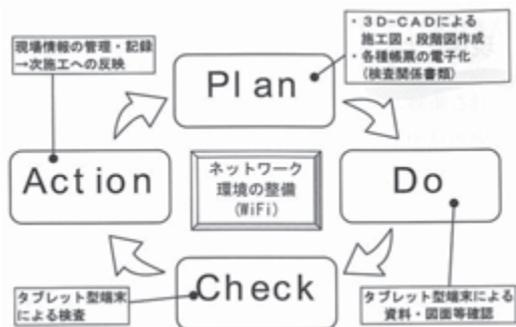


図-2 IT・CIM 活用における PDCA サイクル

現場近辺には事務用地が確保できず、本事務所～現場の距離は 12km 程度、連絡車で 20 分程度要したため、ダム天端の町有施設を間借りして詰所を設け、有線のネットワーク

環境を整備することで、現場に近い場所でも書類作成等の内業ができる環境を整備した。

ただし、現場が広いいため、例えば、減勢工から詰所に戻るだけでも 10 分程度の時間を要することから、現場での管理業務と書類作成等の内業を効率的に進めることが困難な状況であった。また、現場で IT を活用するためには、セキュリティ面も考慮して、現場独自でネットワーク環境を整備する必要があった。

現場内で IT を活用するために、現場のほぼ全域でネットワークが使用できるように Wi-Fi 環境を整備することとし、4 箇所 Wi-Fi アンテナを設置することで、概ね現場全域をカバーすることができた。現場内では「iPad」、 「TOUGHPAD」の 2 種類の端末を使用した。各端末の特徴と主な用途を図-3 に示す。また、2 種類の端末の主な使い分けを図-4 に示す。

名称	iPad	TOUGHPAD
外観		
仕様	第四世代、Wi-Fiモデル、32GB OS:iOS7.1 高さ:241.2mm, 幅:185.7mm, 厚さ:9.4mm 重量:652g	ワイヤレスWAN内蔵モデル、4GB OS:Windows7 高さ:270 mm, 幅:188 mm, 厚さ:19 mm 重量:1.1kg
特徴	○タッチパネルでの使用性が良好 ○比較的軽量で持ち運びが容易 ○比較的画面が大きいため、図面・資料等の確認が容易 ○効率的に業務が遂行できるアプリが豊富 ■Microsoft Officeの各ソフトとの互換性が不十分 ■防水仕様ではないため、別途専用ケースが必要	○通常使用PCとの互換性良好(基本OSが同じ) ○iPadと比較すると耐衝撃・防塵・防滴性が良好 ○比較的画面が大きいため、図面・資料等の確認が容易 ■iPadと比較すると携帯性は不良 ■iOSと比較すると使用できるソフトが少ない ■タッチパネルでの使用性が低い

図-3 タブレット端末比較

2) IT・CIM を活用した施工管理実績

① 計画 (Plan) 段階における活用

工程・品質管理における計画段階での IT・CIM の活用としては、主に「3D-CAD による施工図・施工段階図の作成・活用」、「各種帳票の電子化による作業の効率化」を実施した。

前者については、各工種・業者との輻輳作業をあらかじめ把握して、それぞれの作業を円滑に進めること、担当者が未来の現場をイメージして現在の仕事を進めるために、各時期における施工段階図を三次元で分かりやすく作成した (図-5)。

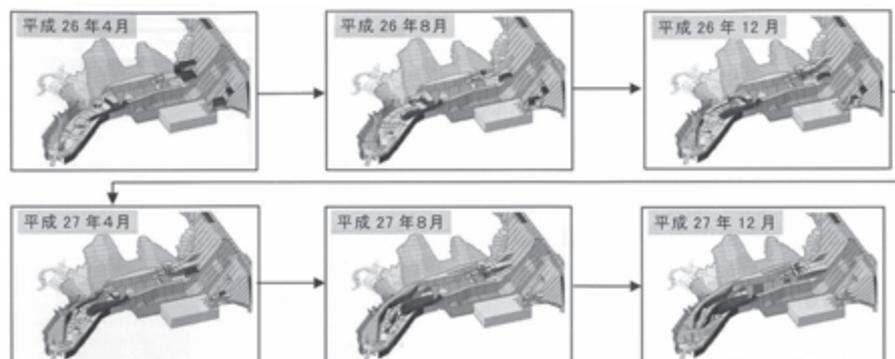


図-5 現場進捗状況の三次元化

後者については、当現場では発注者への提出書類はすべて電子化して提出する必要があったため、検査時の発注者確認署名等を含めて、電子的に処理ができるようにした。

分類	項目	TOUGHPAD	iPad
現場施工管理	検査対応	◎	○
	図面確認	◎	◎
	資料確認	◎	◎
	写真撮影	○	○
現場パトロール	写真撮影	○	○
	写真編集(コメント)	△	◎
その他	資料作成	○	△
	メール閲覧	○	○

使用性・適用性—◎:良好, ○:可, △:やや不向き

図-4 タブレット端末使い分け

② 実行 (Do) 段階における活用

現場では、前述した図面・資料等をタブレット型端末からネットワークを經由して読み込み、現場内で確認している。数百枚に及ぶ図面・資料をタブレット端末でまとめて持ち運べるため、現場各所の確認・管理をより効率的に進めることができた。

③ 検査 (Check) 段階における活用

検査時には検査員もタブレット端末を見ながら確認した。現場を詳細に確認したい場合でも、CAD 図面を見て寸法等を現地ですぐに確認できるため、これまでの検査よりも検査時間を短縮できた (図-6)。

また、検査時の指摘事項、今後の改善事項等は、メールで現場からリアルタイムに関係者へ発信することができ、周知・対応の迅速化も図ることができた。



図-6 検査時のタブレット端末活用状況

④ 対策 (Action) 段階における活用

検査後には、各種書類を発注者に提出する必要がある。前述したように、当現場では発注者への提出書類は電子納品システムで処理するため、すべての書類を電子化する必要がある。これまでは、検査が終わった後に、現場で検査官に紙ベースの書類に署名をしていただいた調書をスキャンして電子化する必要があったが、今回のように現場での署名を含めて電子化することで、上記の作業を省略することができるようになった。検査帳票例を図-7に示す。

また、前述した検査時の指摘・改善事項等は電子化した写真・図面・資料等でも残せるため、次回検査以降の対応にも活用できる。

⑤ 安全管理における IT・CIM 活用

上述した以外の IT・CIM 活用事項として、安全管理における活用も実施した。これまでの現場パトロールは、現場で各所を確認して指摘・是正事項があった場合、現場で直接職長に指示をするか、後でまとめて作業間連絡調整会議や朝礼の場で周知することが多かった。現場で直接職長に指示ができる場合は問題がないが、現場に職長がいない場合は、指摘・是正内容が正確に伝わっていることを確認することが難しかった。

打設期	Z10-12ブロック EL76.00~EL77.00		
打設予定日	平成26年 7月 30日 (水)	打設方法	200kgローラーレーン4.5mピケット
検査項目	検査内容等	検査員	検査結果
基礎コンクリートの養生状況	養生シートが適切に敷設されているか	検査員	OK
コンクリートの養生状況	養生シートが適切に敷設されているか	検査員	OK
コンクリートの養生状況	養生シートが適切に敷設されているか	検査員	OK

事前検測・検査時のチェック・署名をタブレット上で実施→そのまま電子登録も可能

試験項目	コンクリート強度試験結果表		表 示	
打設日	平成26年6月23日	試験機	機	24
試験員	平塚 誠	試験員番号	589	
配合	設計配合	最大骨材径	20	試験体寸法
	20	20	150	150
	20	20	150	150

実測値の記入もタブレット上で可能

図-7 検査帳票例 (タブレット端末書き込み後)

これに対して、パトロール時にタブレット端末
 を利用し、指摘・是正箇所の写真を撮影してコメ
 ントを記入し、メールで関係者全員に周知するこ
 とを行っている。リアルタイムに関係者に指摘・
 是正内容を周知できるとともに、内容を写真で分
 かりやすく周知できるため、適切な対応を確実に
 実行させることができる。現場是正箇所のメール
 を受け取った担当者は現場を確認し、必要な是正
 処置を実施する。是正完了後には写真を撮影して、
 全員に周知する（図-8）。タブレット端末を用いる
 ことで、現地に行かなくても写真等で確認できる
 ため、業務をより効率的に進めることができた。



図-8 安全施工サイクルにおける
 活用フロー

(3) 結 果

IT・CIM を活用することによる業務効率化
 の評価指標として「時間の短縮」に着目し、
 本技術を使用・未使用の場合の各種時間を比
 較した結果を図-9 に示す。

項目	IT未使用時 (時間)	IT使用時 (時間)	短縮比率 (%)	回数	総短縮時間 (時間)
検査時間 (打設前検査)	1.0	0.75	25	111	27.75
検査書類作成 (電子登録)	0.5	0.25	50	111	27.75

図-9 IT・CIM 活用による業務時間削減効果

同じ仕事をした場合の比較ではないため単
 純な比較は難しいが、IT・CIM を活用することで、各作業時間は 25～50%程度削減できた。また、
 定性的な評価ではあるが、検査書類作成等のルーチンワーク作業時間を削減することで、他業
 務の時間・質の向上にも繋がっており、ハード面・ソフト面の改良を図ることで、さらなる効
 率化が図れるものと考えられる。これまでに当現場で活用している技術に目新しいものはない
 が、既存の技術を組み合わせるだけでも、業務の効率化には十分に効果が得られるこ
 とも実証できた。

今後、建設現場における IT・CIM の活用は加速度を増して普及していくものと考えられる。
 現場の生産性をより向上させるためには、業界全体として IT・CIM の活用をより普及させやす
 くする環境作りも必要である。

参 考 文 献	ダム工学 vol24 : No. 4(2014)
備 考	—

【ダム・貯水池／コンクリートダム】

技 術 名	ダム用コンクリート運搬システム
番 号	No.4. 1-3
発 注 者	山形県
施 設 名	綱木川ダム
所 在 地	山形県米沢市築沢字石子
工 事 名 称	綱木川ダム本体工事
施 工 期 間	1996年6月～2004年9月
施 工 者	前田建設・日本国土開発共同企業体
キーワード	タワーベルコン、大量打設、ベルトコンベア運搬

(1) 概 要

1) 背景（設計条件、設計方針）

本技術は、ICT化されたダム用コンクリート運搬設備で、作業効率、大量運搬、無人化、および安全確保を図ることで、コンクリートの大量輸送を目的に開発されたものである。従来のサイクル運搬から打設量を大幅に増やせる連続運搬を行うために、アームを多軸式にして、人間の手のような動きにした。タワーベルコンには、第一アームと先端アームで構成され、第一アームは、ポストを中心とした360度旋回可能な昇降支持フレームの端に取付けられており、第一アームの先端を軸とする360度回転する先端アームがある。それぞれのアーム上にはベルトコンベアが設置されており、これらの2軸回転によりコンクリートを広範囲にわたり打設することができる。運搬速度は、180 m³/hであるが、今回の実証実験では120 m³/hで行った。

2) 開発理由

洪水吐コンクリートの打設工法の選定に当たり流入部の打設設備は、タワークレーン（9.5 t × 75m）によるバケット工法であった。しかし、バケット工法では特に洪水吐の縦壁部分の打設効率が大幅に減少することから、打設作業の合理化、効率化を図る必要があるため、タワーベルコンを採用した。

3) 施工内容

綱木川ダムは、洪水調節、河川環境の保全、並びに米沢市を始めとする2市2町への水道用水の供給を目的とする50年確率で計画された多目的ダムである。

ダムの諸元は、堤高74m、堤頂長367.5m、堤体積215.4万m³、総貯水量955万m³の中央コア型ロックフィルダムである。

綱木川ダム洪水吐のコンクリート工事で、12万m³運搬・打設をおこなった。

(2) 技術詳細

1) 図面（位置図、平面図、断面図、詳細図、写真等）

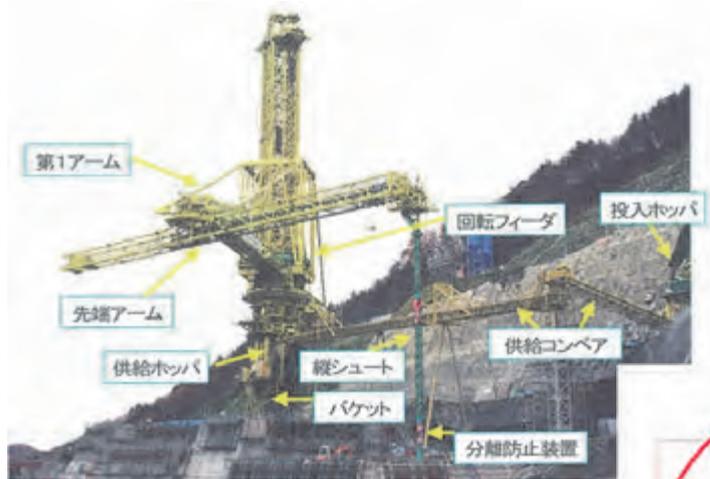


図-1 本体機器構成図

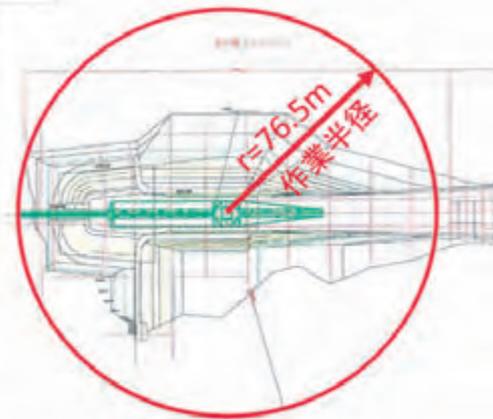


図-2 平面図配位置図

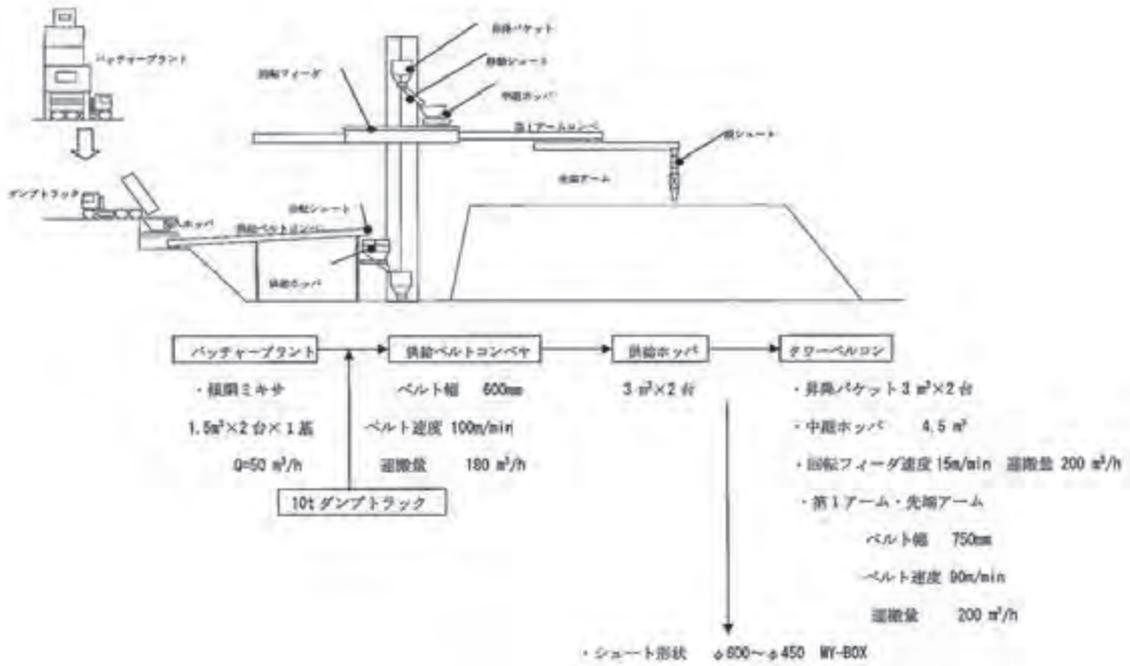


図-3 コンクリートフローと仕様能力

2) 能力・仕様

表-1 形式による能力

型式	バケット容量	定格運搬能力	ブーム半径
180m ³ 型	3m ³ ×2台	180m ³ /h	75m、90m
270m ³ 型	4.5m ³ ×2台	270m ³ /h	75m、90m
380m ³ 型	6m ³ ×2台	380m ³ /h	75m、90m

表-2 比較表

	中国三峡ダム		山形県黒木川ダム
	ROTEC	POTAIN	タワーベルコン
作業半径	85m	105m	75m
運搬能力	390m ³ /h	420m ³ /h	180m ³ /h
コンベヤ幅	750mm	750mm	750mm
コンベヤ速度	189~240m/min	189~240m/min	90m/min
工法、最大粒径	RCC 80mm、150mm		有スランプ 80mm
運搬ルート	全ベルトコンベヤ直接打設		水平部：ベルトコンベヤ 垂直部：バケット、直接打設

表-3 コンクリート運搬仕様、性能表

コンクリート運搬仕様	
作業半径	最大 78.5m 最小 7.5m
有効高さ	40m
ベルトコンベヤ 巾・速度	750mm × 90m/min
搬送フィーダ能力	180m ³ /h
供給ホッパー容量	3.0m ³ ×2台
昇降バケット容量	3.0m ³ ×2台
バケット昇降速度	80m/min
第1アーム旋回速度・角度	0~0.064rpm・370° (±185°)
先端アーム旋回速度・角度	0~0.0148rpm・370° (±185°)
先端打設速度	5m/min
操作方式	遠隔無線方式
電源	AC400/440V 50/60HZ 325kW
クレーン仕様	
クレーン作業半径	70.8m
クレーン定格荷重	4.8t
クレーン揚程	50m
巻上げ速度	10m/min

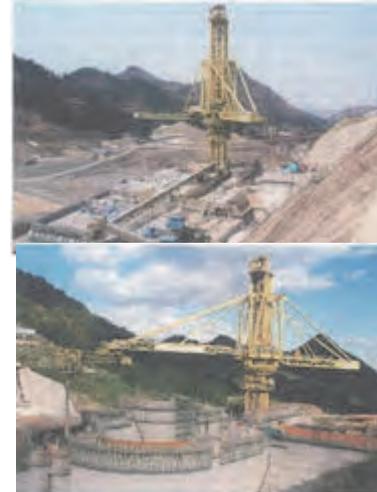


写真-1 施工状況

3) 技術説明

① 多軸回転

多軸回転体の位置は、第一アームが固定されている旋回フレーム部と先端アーム部において 370 度旋回する。この 2 軸回転の動きは、サーボモータにより制御され円軌道を直線軌道に変えることで、自動運転、打設の作業性および運転の操作性が容易になった。

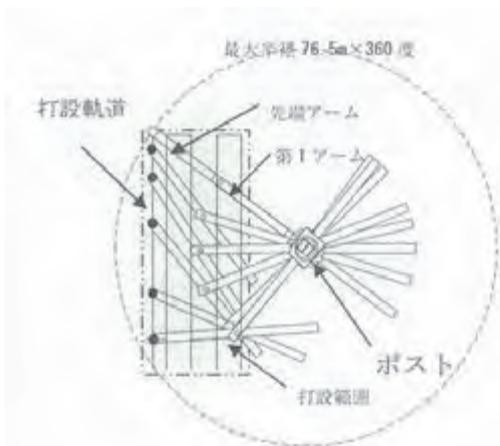


図-4 第1アームと先端アームによる打設



写真-2 自動運転施工状況

② アーム自動運転フローチャート

タワーベルコンの操作は、自動、半自動、手動の3モードを有する。

・自動モード

打設開始点と打設終了点を指定することによって、予め設定された移動速度と移動ピッチで、ダム軸に対して平行、直角方向の軌跡をたどりながら直線的にコンクリートを配送するモード。

・半自動モード

ダム軸方向、上下流方向に直線的に停止をかけるまで移動するモード。

・手動モード

手動操作により限界範囲内を円軌道で自由に移動できるモード。



図-5 打設限界区域

また、打設限界区域は、自動運転を指定すると、予め設定した距離を控えた打設限界区域が自動的に設定され、設定解除しない限り、自動、半自動、手動のいかなるモードでも打設限界区域を越えることはない。

③ 運転管理

・稼働状況の管理

中央制御室において、現場の運転手、機械見回り者の指示によりモニター画面から操作を行い、また異常等の情報を伝える。

・モニタリング機能

中央制御室の制御システムは、外部よりリモートアクセスが可能となっておりソフト的なトラブル発生時はオンラインで制御盤内にアクセスし、運転状況監視、異常発生箇所の探査、プログラム修正、設定値修正が可能なシステムとなっている。

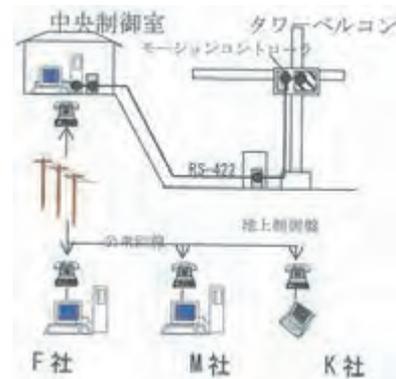


図-6 リモートアクセス系統図

(3) 結果

今回の実証実験では 120 m³/h で実施した。

綱木川ダム洪水吐のコンクリート工事で、12 万 m³の運搬・打設をおこなった。

参考文献	タワーベルコンパンフレット、ダム建設技術審査証明報告書 (審査証明第 0402 号)
備考	—

【ダム・貯水池／コンクリートダム】

技術名	ダムコンクリート情報化施工管理システム「DACCS」
番号	No. 4. 1-4
発注者	(独)水資源開発機構
施設名	大山ダム
所在地	大分県日田市大山町
工事名称	大山ダム建設工事
施工期間	2007年4月～2013年3月
施工者	(株)熊谷組
キーワード	トレーサビリティ、リアルタイム打設情報管理

(1) 概要

コンクリートダムにおける製造設備、コンクリート試験室、ダムサイト打設現場等での施工情報を一元管理するシステムを構築し、実際の施工現場に導入した。当システムにより、ダムコンクリートの品質管理に係わる情報をリアルタイムにモニタリングし、トレーサビリティの確保に寄与することができる。

(2) 技術詳細

1) システムの概要

当システムは、コンクリートダムの各施工段階において、データベースサーバに施工情報がリアルタイムに入力される。入力されたデータは打設場所毎、施工日毎に整理・蓄積され、現場事務所の他、インターネットを介して発注者、施工者の本社・支店等で閲覧することができる。図-1に、システム概要を示す。

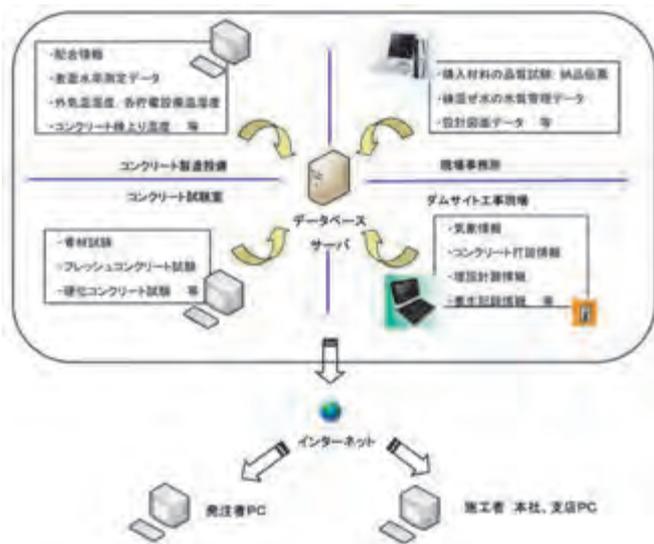


図-1 システム概要

2) システムへ入力される情報

① コンクリート製造設備

- ・配合情報（バッチ別各使用材料の数量）
- ・表面水率測定データ
- ・外気温湿度、各貯蔵設備温湿度
- ・コンクリート練上り温度 等

② コンクリート試験室

- ・骨材試験データ
- ・フレッシュコンクリート試験データ
- ・硬化コンクリート試験データ 等

③ ダムサイト打設現場

- ・気象情報
- ・コンクリート打設情報
- ・埋設計器情報
- ・養生記録情報 等

④ 現場事務所

- ・購入材料の品質試験データ、ミルシート ・練混ぜ水の水質管理データ
- ・設計図面、施工図面データ、リフトスケジュール 等

上記の情報が、各所よりリアルタイムに入力される。重複データや、規格値を外れたデータについては、入力時に確認できるように、表示機能をつけた。

3) システムから出力される情報（図-2）

① コンクリート製造

- ・品質管理日報、週報、月報形式出力
- ・各種データベース出力 等

② コンクリート打設

- ・打設日報
- ・打設数量、進捗図、進捗グラフ
- ・埋設計器計測データ
- ・ダム各種図面データ 等



図-2 出力例（品質管理日報、打設進捗グラフ）

4) システムの特徴

システムへの入力、許可された技術者のみが入力できるように利用者を管理した。ダムサイトにおける入力は、打設担当者への入力負担を軽減できるよう、プルダウンメニューリストからのタッチペン選択によって行う方法とし、打設現場でのキーボード入力を排除した。

出力は、打設場所（ブロック・リフト）を指定して必要なデータを表示する方法と、日時を指定して必要なデータを表示する方法と大きく二つに分けた（図-3）。また、打設日報等の帳票類の出力だけでなく、全てのデータをファイルにて出力可能にすることにより、任意のグラフ等の作成を短時間でできるようにした。



図-3 出力方法イメージ

(3) 結果

当システムにより、コンクリート練混ぜ材料の品質、コンクリート製造品質、コンクリート打設時の施工情報、練上り・打込み温度や気象情報などが逐次現場にて入力されることにより、事務所や本社などから最新のダムコンクリート施工情報をリアルタイムに確認できることとなった。また、打設担当者はコンクリート打設情報をモバイルPCを利用して



図-4 現場入力イメージ

入力することにより、これまで野帳に記録していた情報を、現場で瞬時に電子化できる（図-4）ことにより、事務所に戻ってからデータを整理・入力する必要がなく、日常業務の省力化が可能

となった。

当システムは、現場事務所だけでなく、本社・支店等からでも最新の施工情報を把握することができることから、ダム専門技術者が現場に常駐することなく技術的支援を行うことが可能となった。

基本スペックについて紹介したが、今後の課題・展開として、以下のシステムの拡充について検討・開発を行っている。

- ・現場の施工写真の一元管理
- ・監視モニタ画像へのリンク
- ・三次元 CAD 図より、次打設リフトスライス平面図の作成、及び打設計画の補完（図-5）。
- ・三次元温度応力解析とのリンク 等

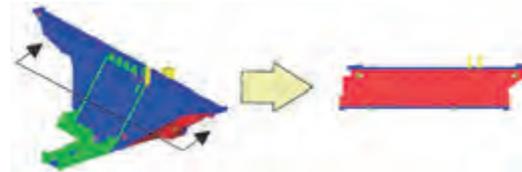


図-5 堤体スライス平面図作成イメージ

参考文献	土木学会第 64 回年次学術講演会：(株)熊谷組 山田一宏他 VI-158、2009 年 9 月
備考	—

【ダム・貯水池／コンクリートダム】

技術名	施工過程を可視化したリアルモニタリングシステム
番号	No. 4. 1-5
発注者	国土交通省九州地方整備局
施設名	雲仙普賢岳砂防施設
所在地	長崎県島原市
工事名称	赤松谷川 11 号床固工工事
施工期間	2012 年 12 月～2015 年 3 月
施工者	(株)熊谷組
キーワード	モニタリングシステム、オペレータ支援、コンクリート打設管理、 土工事運行管理、安全管理

(1) 概要

雲仙普賢岳における無人化施工工事の「赤松谷川 11 号床固工工事」において、情報化施工技術、ICT を活用した施工支援のためのシステムを構築し、利用を行った。

(2) 技術詳細

1) システムの構成

各重機、車両に計測機器として加速度計、GPS、IC タグを搭載し ICT を活用して情報の取得を行うことで、施工過程の情報を可視化し、リアルタイムで一元管理し情報の共有、活用を可能にするシステムの構築をした。リアルタイムモニタリングシステムの構成イメージを図-1 に示す。ICT としてインターネット、サーバーを使用して情報の収集、分析を行うことから、インターネット環境が整備されている場所であれば、施工情報をリアルタイムで把握することを可能にした。

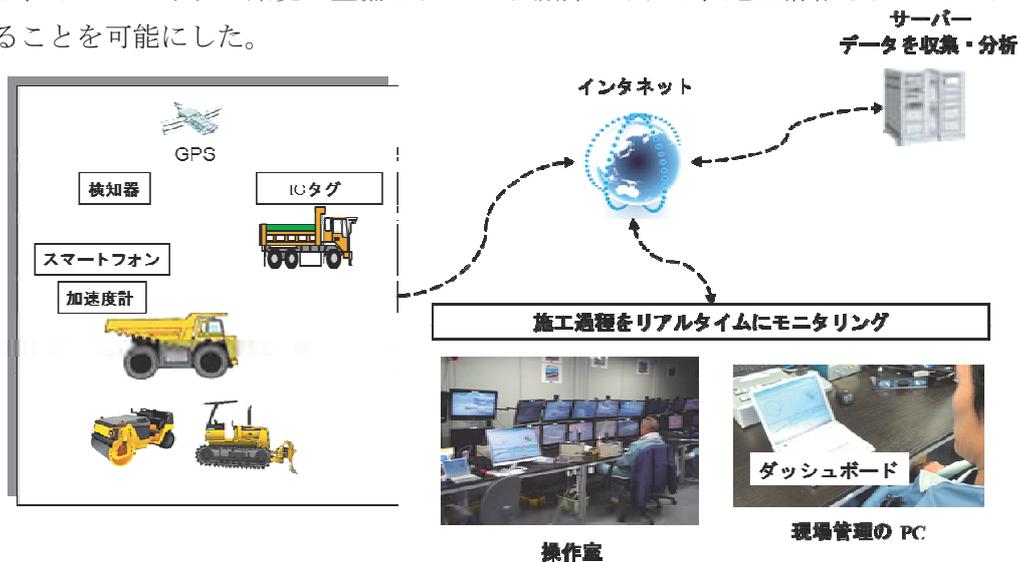


図-1 リアルタイムモニタリングシステムの構成イメージ

2) RCC コンクリート打設管理システム

RCC コンクリート打設管理システムの管理画面を図-2に示す。リアルタイムで進捗状況を把握するとともに、コンクリートの練混開始から転圧完了までの時間管理（トレサビリティ）をおこなうことで品質管理を実施する。通常の現場であれば、リアルタイムでの時間管理をおこなうことは労力を要するが、システムを構築し情報を一括管理することでコンクリートの品質確保のための時間管理を容易にした。

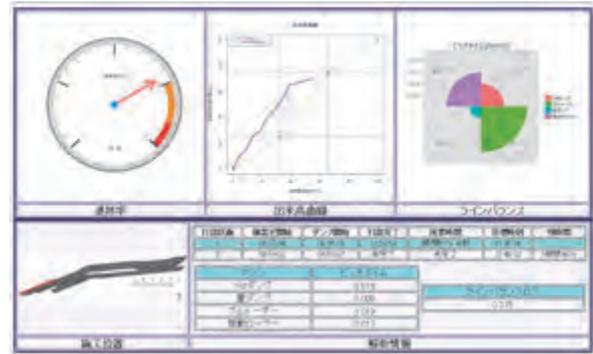


図-2 RCC コンクリート打設管理システム

3) 土工事の運行管理システム

土工事の運行管理システムの管理画面を図-3、各重機、車両の走行軌跡、土量を図-4に示す。重ダンプにGPSを搭載していることから積込み場所から荷卸場所までを1台1台管理することができ、測量作業をすることなくトレサビリティを定量的かつ明確にすることを可能にした。また、その情報をリアルタイムで得られることから、進捗状況に合わせた指示や施工条件の相違による土運搬量の評価をした。

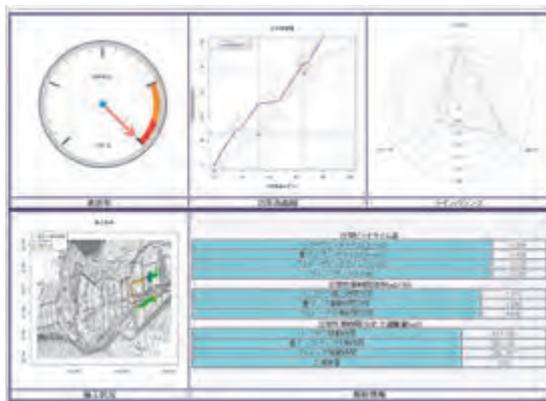


図-3 土工事の運行管理システム

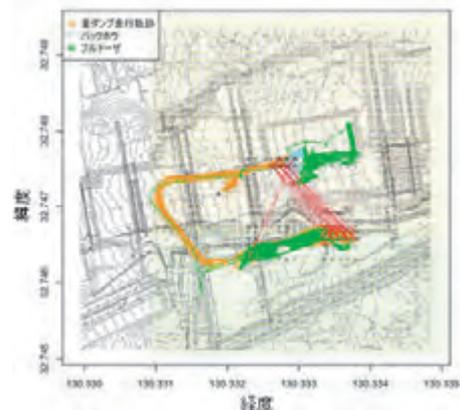


図-4 各重機、車両の走行軌跡、土量

4) 安全管理システム

ハザードマップを図-5に示す。左右、前後、上下方向の3軸の加速度応答値を解析することで、縦滑り、横滑り、不陸のハザードを検出する。この数値は道路の損傷の状態を表しており、同じ場所に連続して発生することにより道路補修の時期を示す1つの指標となった。また、危険である場所をリアルタイムに把握しながら操作ができオペレータ支援に有効であることが解った。

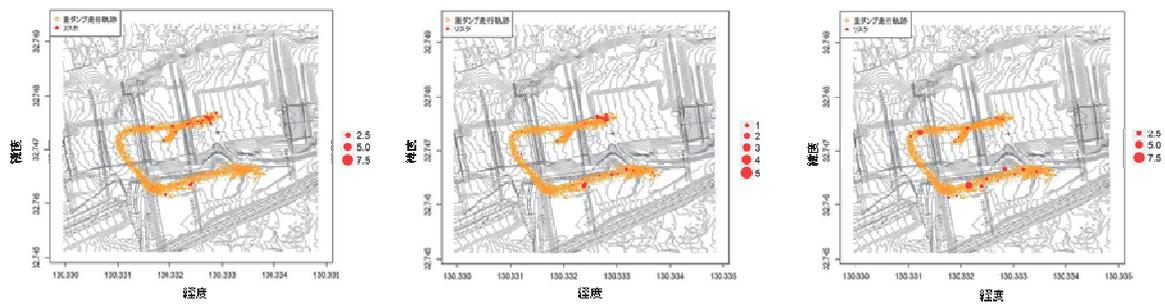


図-5 ハザードマップ

(3) 結果

本システムの開発により、施工管理、安全管理の進捗状況をリアルタイムに確認することができ、工事の可視化を実現することができた。

今後の課題・展開として、施工CIMデータとしてのリンク付けなど、さらならシステムの構築、発展をしていくことで施工、施工管理の支援につなげていくことが必要である。

参考文献	土木学会第70回年次学術講演会：(株)熊谷組 天下井哲生他 VI-241 2015年9月
備考	—

【ダム・貯水池／コンクリートダム】

技術名	GPS を搭載した運行管理、トータルステーションを使用した出来形管理システム
番号	No. 4. 1-6
発注者	佐賀県
施設名	井手口川ダム
所在地	長崎県伊万里市
工事名称	井手口川ダム（本体）建設工事
施工期間	2008年3月～2011年10月
施工者	戸田・中野・中島特定建設共同企業体
キーワード	車両運行管理システム、省人化、見える化、3D 出来形管理、TS スキャニング

(1) 概要

井手口川ダムは、井手口川総合開発の一環をなすもので、洪水調節、既得取水の安定化、水道用水の確保、河川環境の保全を目的として、松浦川水系井手口川中流部の佐賀県伊万里市大川町に建設が進められている多目的ダムである。佐賀県では13番目の県営ダムで、ダムサイトの近傍に集落やJRの駅がある『里ダム』である。

井手口川ダムの特徴としては、堤体左右岸に造成アバットメント、直上流に表面遮水のためのコンクリートフェーシングが設計されていることである。また、施工上の特徴としては、堤体コンクリートに購入骨材を使用することが挙げられる。

ダム諸元を表-1、堤体平面図を図-1、堤体断面図を図-2、堤体下流面図を図-3に示す。

表-1 ダム諸元

形 式	重力式コンクリートダム
地 質	頁岩 砂岩 玄武岩
堤頂標高	EL. 106.7m
堤 高	43.7m
堤頂長	235.0m
堤体積	120,000m ³
湛水面積	160,000m ²
総貯水量	2,180,000m ³
有効貯水量	2,030,000m ³
洪水調整容量	770,000m ³
利水容量	1,260,000m ³

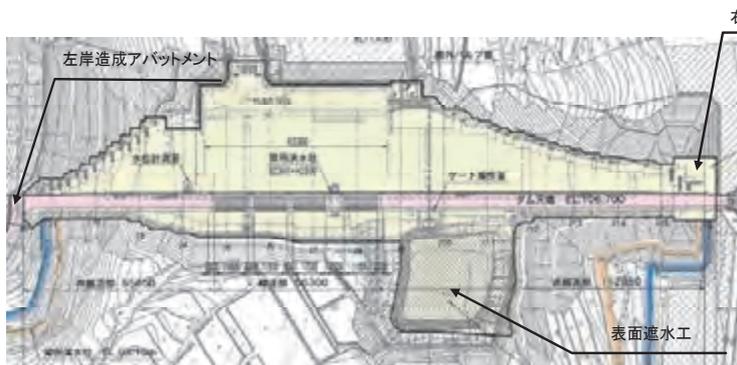


図-1 堤体平面図

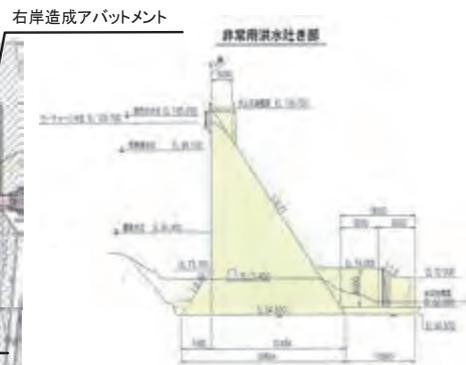


図-2 堤体断面図

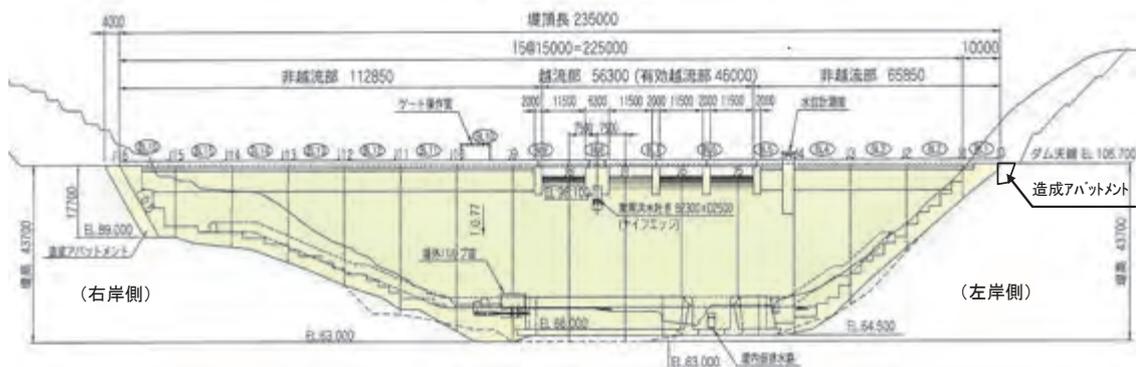


図-3 堤体下流面図

(2) 技術詳細

施工の制約を考慮して品質・安全管理において、現場で取組んだ施工の合理化として、「GPSを搭載した骨材等運搬車両の運行管理」、「トータルステーションを利用した出来形管理」について以下に示す。

1) GPS を搭載した骨材等運搬車両の運行管理

堤体コンクリート打設時は、日平均100台の大型車両が採石場等から現場まで一般道を往復する。このような状況の中で、近隣住民に対して交通の安全確保を図ることが重要な課題となる。当工事では、交通の要所にガードマンを増員することと材料運搬車両にGPS端末機を搭載しリアルタイムに車両運行管理を行うシステム(図-4)を導入して上記の課題に対応した。

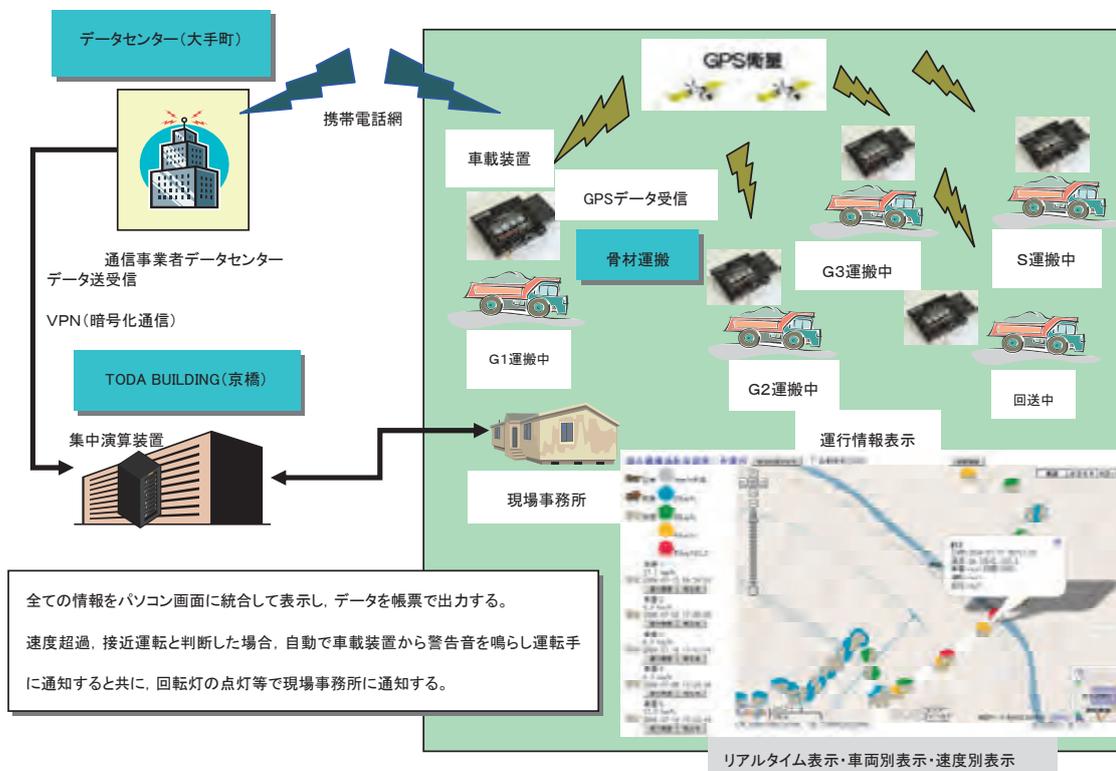


図-4 GPS 車両運行管理概念図

今回採用した運行管理システムは、規制区間の設定、規制の内容(速度・走間距離等)を自在に組み合わせることが可能であり、出カデータも必要なデータを選別して出力することができる。また、本社のサーバーで情報を集中管理しているため、ネットワークにつながれば、どのパソコンでもリアルタイムの運行状況を見ることができる。現場の運用では、近傍の5 kmにおいて速度規制(40km)・連行運転規制(100m)を実施した。違反した場合には図-5に示すように音声で運転手に警告するとともに、現場事務所の管理用パソコンから警報を発するシステムとした。

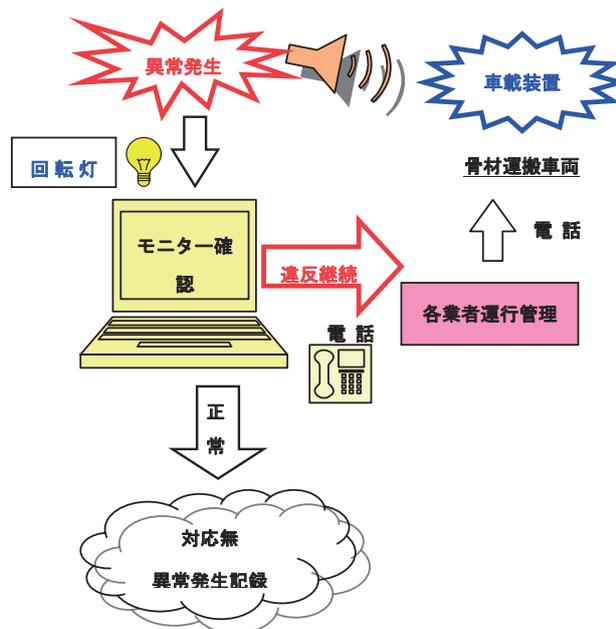


図-5 違反時の対応

2) トータルステーションを利用した出来形管理

ダム岩着部の出来形管理の省力化と岩盤形状データの一元化を図る目的で、トータルステーションと3D CADを組み合わせ管理した。今回使用したトータルステーションは自動追尾式のため1人で測量することができる。1,000点のデータをスキャンングするために要する時間は6～7分程度であり、手動のものと比較すると性能が大きく向上している(図-6、図-7)。



図-6 スキャンングした画面

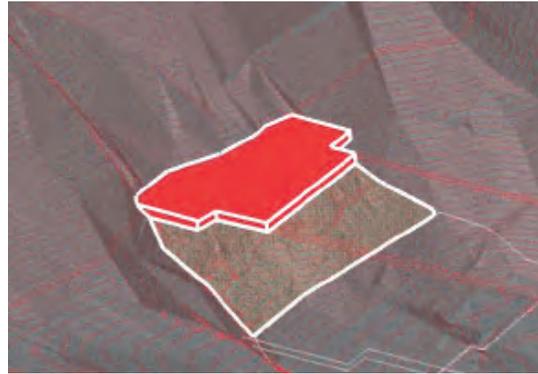


図-7 打設ブロックの3D化

(3) 結果

当工事においては、ダンプトラック等の運搬車両にGPS端末機を搭載して、運行管理を行い、トータルステーションにより出来形管理を行うことで、安全管理のシステム化や測量・出来形管理の省力化を図ることができた。

1) GPSを搭載した骨材等運搬車両の運行管理

運用の結果は、速度・連行運転共に違反した場合でもほとんどの場合が数秒であった。違反した場合の音声警報やGPSで常に監視されている緊張感が効果的であったと考える。

2) トータルステーションを利用した出来形管理

① 作業の効率化

一人での計測も可能であり、計測の準備作業が軽減でき、計測時間も短縮できるため出来形管理の効率化を図ることができた。

② 測量等ミスの軽減

自動記録された計測データは、簡単にパソコンに入力でき、帳票等が自動作成されるため効率的な管理や転記ミスの防止等の効果があった。また、出来形計測と同時に現場で設計値と比較できるので、出来形不足などが迅速に発見でき、施工にフィードバックすることができた。

③ データの活用

トータルステーションを使用して起工測量や丁張管理、堤体工における型枠・埋設物等の管理に利用することも可能で、施工管理業務全般の効率化が見込める。また、検査書類の省力化や出来形管理で計測した3次元データを維持管理業務等で活用することも可能である。例えば、試験湛水直前に貯水池内の地形を3Dで把握し貯水量や堆砂量の正確なデータを活用することもできる。

④ 基礎処理工への利用

3次元座標を持った基礎岩盤の連続写真撮影により、地質情報と併せて基礎処理工への参考資料とすることができる。

参考文献	井手口川ダムの合理化施工：戸田建設(株)佐藤小次郎・野地祐史、ダム工学 Vol.22 No.1 (ダム工学会)、P68～71、2012年3月
備考	—

【ダム・貯水池／コンクリートダム】

技術名	コンクリート骨材粒径判別システム
番号	No. 4. 1-7
発注者	和歌山県
施設名	切目川ダム
所在地	和歌山県日高郡印南町
工事名称	切目川河川総合開発（切目川ダム本体工）工事
施工期間	2012年3月～2015年3月
施工者	熊谷・浅川・尾花特定建設工事共同企業体
キーワード	骨材粒径判別、ステレオカメラ、超音波センサ、画像処理

(1) 概要

ダムコンクリートにおいて、骨材プラントで製造された骨材は、コンクリート製造プラントへ運搬される際にベルトコンベヤなどによって粒径別に骨材貯蔵設備に搬送・貯蔵されるが、骨材の搬送コンベヤは一系統である場合が多いため、粒径別の骨材貯蔵ビンへの誤投入が生じないように慎重な運転管理が求められている。一方、運搬伝票の誤記入や搬送コンベヤの操作ミスなどによって万一骨材貯蔵ビンへ粒径の異なる骨材が投入された場合、コンクリートの品質が確保できなくなるため、骨材貯蔵ビン内の骨材を全量撤去しなければならず、コンクリートの打設工程に大きな支障を及ぼすこととなる。

本技術は、新たに開発した、運搬されてきた骨材を直接監視し、骨材粒径を瞬時に自動判別できる「骨材粒径判別システム」について記載する。

(2) 技術詳細

1) システムの概要

今回開発したシステムは、対象とする骨材を2台のカメラでステレオ撮影し、撮影画像を基に3次元計測を行って、積み重なった骨材の高さの変化量を分析することで、骨材の粒径(寸法)を判別しようとするシステムである。当システムは、細骨材から大粒径の粗骨材までの分析判定が可能であるとともに、3次元画像処理技術を用いることで、図-1に示すように骨材表面の吸湿状態が大きく異なる場合や、岩種・色合いが異なる骨材の混入がある場合でも、安定した計測、判別を行うことができる。

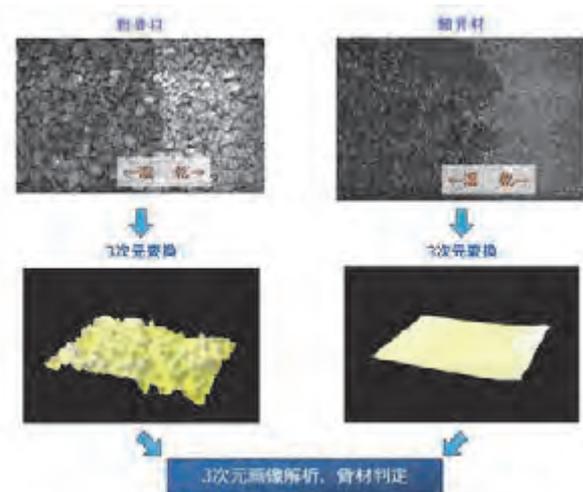


図-1 骨材粒径判別システムの画像処理イメージ

2) 現場へ導入したシステムの構成

図-2 に現場へ導入した骨材粒径判別システムの概要を示す。基本的なシステム構成は、ステレオカメラ、撮影画像を処理するパソコンから成っており、システムの作動は、骨材を運搬するダンプトラックの到着を感知する超音波センサによった。また、骨材の粒径判別の結果は、所定の骨材貯蔵ビンへの搬送コンベヤの切替えスイッチと連動させ、両者が一致していれば青色回転灯で運転者にホッパへの投入指示を確認させる方法をとった。

写真-1 に現場に導入したシステムの設置状況、写真-2 に判定結果を表示したモニタ画像を示す。ダンプトラックが骨材投入ホッパに到着後、粒径判定に要する時間は約3秒で、トラック運転者が回転灯を確認しダンピング操作を行うまでのタイムラグはほとんど見られなかった。

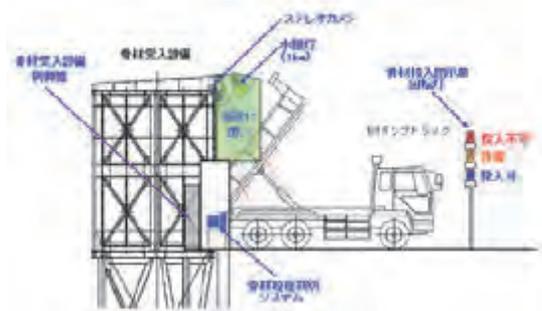


図-2 骨材粒径判別システムの概要



写真-1 現場でのシステムの設置

(3) 結果

1) 現場での判定結果

表-1 に判定結果を示す。的確に判定された場合を OK 判定とし、OK 判定を総数で除した値を判定率とした。また、予め設定した骨材区分の粒径範囲から外れていると判断された場合を NG 判定と、各骨材区分にまたがるような中間的な粒径範囲と判別された場合を GRAY 判定として示した。

結果をまとめると以下ようになる。

- ① 稼動期間内での細骨材の判定率は 100% であり、粗骨材も含めた全平均の判定率は 98.6% であった。
- ② 細骨材に比べて粗骨材は NG/GRAY 判定がやや多いが、これは撮影された画像内に設定した粒径範囲外の骨材が多く見られたためであった。なお、これは逆に判別ロジックの判別精度が良かったことを表しているといえる。



写真-2 骨材粒径の判別モニタ画像

表-1 骨材粒径判別システムによる判定画面 (2013年5月13日～2014年2月28日)

骨材区分	判定				判定率 (%) (=OK/総数)	
	総数	OK	NG	GRAY		
粗骨材	G1 (80～40mm)	2,706	2,663	13	30	98.4
	G2 (40～20mm)	2,794	2,707	7	77	96.9
	G3 (20～5mm)	3,241	3,196	18	7	98.6
細骨材	S (≤5mm)	3,384	3,384	0	0	100.0
合計	12,125	11,950	58	114		98.6

2) 今後の課題・展開

- ① 晴天で明暗のコントラストの強い日や強い降雨時、ならびにカメラの防塵ケースの結露時には判別エラーを生じることがあったため、今後はダンプトラックの荷台を撮影するポイントへの照明や覆い、結露対策等について、更に検討を加える必要がある。
- ② NG/GRAY 判定については、撮影領域や判定範囲を増やすことで対応できると考えている。当システムは、判定信号を搬送コンベヤの自動切換えシステムや骨材運行管理システムなどへの連動も容易であるため、総合的な骨材管理・管理システムへの展開が可能である。

参考文献	土木学会第 69 回年次学術講演会：(株)熊谷組 佐藤英明他 VI-646、 2014 年 9 月
備考	—

【ダム・貯水池／コンクリートダム】

技術名	RCC コンクリート運搬管理システム
番号	No. 4. 1-8
発注者	国土交通省九州地方整備局
施設名	雲仙普賢岳砂防施設
所在地	長崎県島原市
工事名称	赤松谷川9号床固工工事
施工期間	2009年9月～2010年3月
施工者	(株)熊谷組
キーワード	運搬管理、ICタグ、GPSロガー

(1) 概要

レディーミクストコンクリート（RCC コンクリート）を用いた無人化施工による雲仙地区での砂防床固工工事において、コンクリート運搬時における品質変化や安全運行は、施工上重要な管理項目となっている。本工事では、特記仕様書により、練混ぜ開始から締固めまでを4時間以内で完了させることが定められていた。このため、コンクリートの品質管理にアクティブICタグによる運搬時間管理システムを、ダンプトラックによる運搬時の安全管理にGPSロガーを用いた運行管理システムを開発し、現場に導入した。

(2) 技術詳細

1) システムの概要

図-1 に、RCCコンクリートシステムの概要を示す。

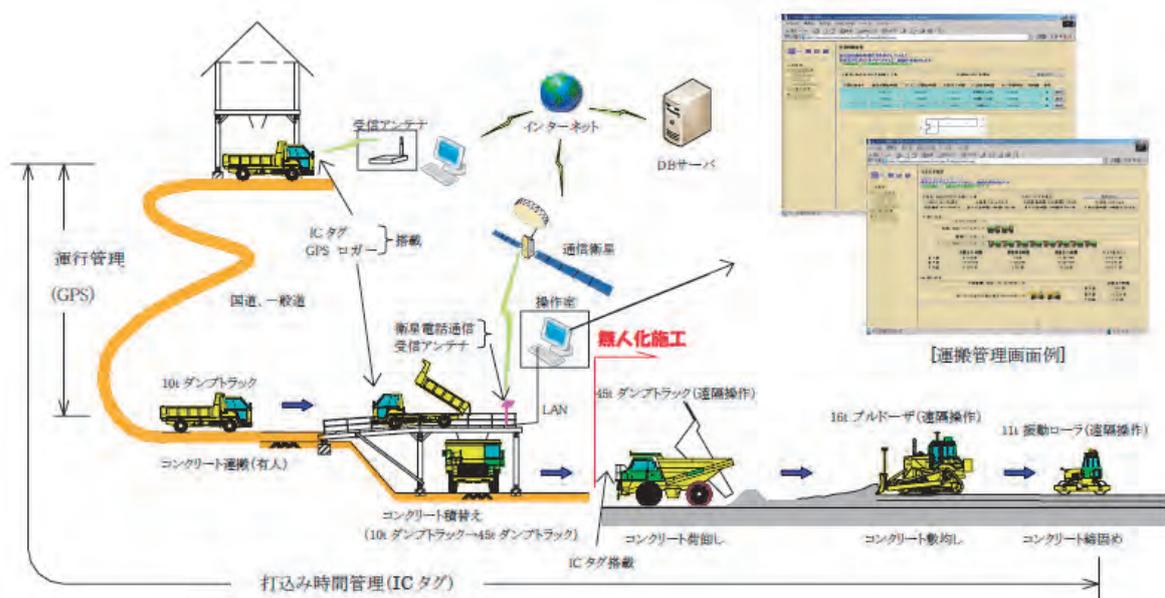


図-1 RCC コンクリートの運搬管理システムの概要

コンクリートは、レディーミクストコンクリート工場で製造され、10 t ダンプトラックによって市街地を経由して現場内に運搬される。今回適用した現場は、構造物が無人化区域に位置する防災工事であるため、打設現場へは10 t ダンプトラックから45t ダンプトラックに積替えて、遠隔操作によって打設した。45 t ダンプトラックにより搬入されたコンクリートは、ブルドーザにて敷き均し、振動ローラによって締固めを行い打込み完了となる。

2) 運搬管理システム概要

ダンプトラックに搭載した IC タグの情報は、インターネットを経由してデータベースサーバに蓄積される。解析処理された情報は、現場操作室でリアルタイムにモニタリングできる。IC タグのデータ通信手段は、モバイル通信回線を使用した。現場側は既存の通信網のサービスエリア外であったため、衛星電話回線を利用して情報を送受信する方法をとった（写真-1）。

アクティブ IC タグは、電波が 100m程離れても受信できる高性能な市販品を用いた（写真-2）。

GPS による運行管理については、運行データは各車両ごとに帳票として作成され、翌日の作業朝礼での技術資料とした。GPS ロガーは、電池式の市販汎用品を用いた。

図-2 に IC タグを用いた打込み時間管理図面を、図-3 に GPS ロガーを用いた運搬時の走行軌跡および区間別の速度記録を示す。



写真-1 衛星通信アンテナ



写真-2 IC タグ(左) GPS ロガー(右)

(3) 結果

1) 導入の効果

- ① PC 画面にコンクリート練混ぜからの時間、ならびに締固め完了までの残り時間がリアルタイムに表示できることから、打設時間管理業務の省力化に寄与した。
- ② 締固め完了までの残り時間を表示することで、無人化施工においてもコンクリートの品質管理に対する作業員の意識が向上した。
- ③ GPS データに基づく作業指導によって、10t ダンプトラックの運転者の意識向上にも寄与でき、無事故にて工事を終えることができた。



図-2 打込み時間管理図面



図-3 運行管理図面

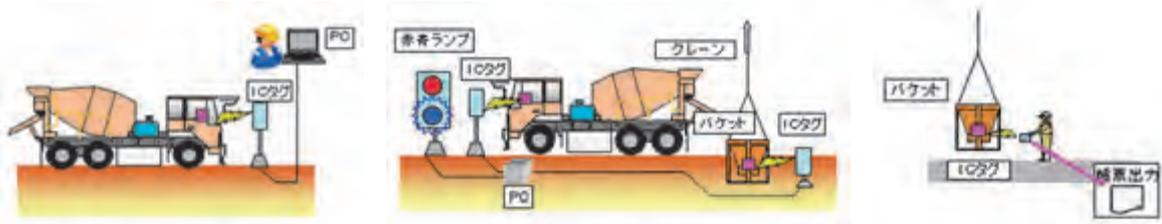
2) 今後の課題・展開

今後の課題・展開として、RCC コンクリートの無人化施工現場に留まらず、ダンプトラックによる運搬の安全・品質を管理するトータルマネジメントシステムとして改良を加え、施工現場に展開していくことを考えている。

参 考 文 献	土木学会第 65 年次学術講演会：(株)熊谷組 岩崎肇他 VI-361、 2010 年 9 月
備 考	—

【ダム・貯水池／コンクリートダム】

技術名	IC タグを活用したダムコンクリート打設管理システム
番号	No. 4. 1-9
発注者	広島県
施設名	野間川ダム
所在地	広島県三原市久井町～尾道市御調町
工事名称	野間川ダム本体工事
施工期間	2009年12月～2013年3月
施工者	三井住友建設・砂原組共同企業体
キーワード	ICタグ、トレーサビリティ
<p>(1) 概要</p> <p>現場外のプラントから生コンの供給を受ける場合には、生コンの製造・運送・積み替えそして打設までを一貫して管理し、トレーサビリティを確保することが容易ではなかった。広島県野間川の重力式コンクリートダムの建設工事において、堤高 31.5m、堤体積 25,800 m³のコンクリート工を実施する。この広島県野間川ダム本体工事において、レディーミクストコンクリートの製造から、運送、バケットへの積み替え、打設までを管理するために、施工管理システムの導入を行った。</p> <p>(2) 技術詳細</p> <p>1) 技術の特徴</p> <p>本技術は、ダム建設工事においてレディーミクストコンクリートの製造から、運送、バケットへの積み替え、打設までを管理し、品質のトレーサビリティを確実にすることで、高品質なコンクリートダムを実現するシステムである。また、他工種でのコンクリート打設管理にも適用ができ、多数の生コン車を使用する場合や、複数のプラントから生コンの供給を受ける場合などの品質管理にも有効である。</p> <p>2) システムの詳細</p> <p>このシステムでは、①生コン工場で車体の IC タグにデータ（車番、コンクリート配合、時刻など）を書き込む。バケット積み替え場まで生コンを運び積替えたら、②バケットの IC タグに車体の IC タグにデータ（車番、コンクリート配合、時刻など）を書き換える。最後に、③堤体のコンクリート打設箇所において、バケットの IC タグのデータを携帯端末に表示させる。これらの情報をもとに、自動でコンクリート出荷情報と打設箇所・時間を記した帳票を出力できる。図-1(a)～(c)に、システムの利用イメージを示す。</p>	



(a) 生コン工場における IC タグへのデータ書込み (b) バケット積み替えにおけるバケットへのデータ書換え (c) 携帯端末を用いた打設時の出荷情報の確認

図-1 システム運用の流れ

(3) 結果

当コンクリートの打設場所では出荷情報の確認ができるため品質管理の確実性が向上した。またコンクリートの出荷情報・打設場所・時間を自動で帳票出力できるため、確実なトレーサビリティが可能となった。例えば以下のような場面で、品質やトレーサビリティの向上に役立てられる。

- ・コンクリートプラントでの出荷情報が、コンクリート打設箇所を確認できる。
- ・予定外のコンクリート配合や、許容運搬時間を超過した生コン車を、自動的に識別して排除できる
- ・コンクリートプラントでの出荷情報と打設箇所・時間を自動で帳票出力し、情報の紐付けを確実にする

<p>参考文献</p>	<p>プレス発表「IC タグ・ダムコンクリート打設管理システムを実用化ー野間川ダム本体工事ー」三井住友建設(株)、2011年10月13日 URL : http:// www.smcon.co.jp/2011/1013974/</p>
<p>備考</p>	<p>ー</p>

技 術 名	コンクリート打設管理システム
番 号	No. 4. 1-10
発 注 者	—
施 設 名	—
所 在 地	—
工 事 名 称	—
施 工 期 間	2012年11月～2017年1月
施 工 者	西松建設(株)
キーワード	トレーサビリティ

(1) 概 要

本技術は、コンクリート出荷時に生コン工場で入力された情報（配合、出荷時間、車両番号等）を打込み箇所において携帯電話で確認する他、受入れ検査結果や打込み開始・終了時刻など進捗管理状況なども入力・確認することが可能である。また、システム自体がインターネット上で構築されているため、インターネットの閲覧が可能な端末であれば、打設進捗状況（現着時刻、打設開始・終了時刻）を専用のサーバーで確認し、インターネットを通して施工担当者間でリアルタイムなデータを共有・閲覧できるシステムである（図-1）。

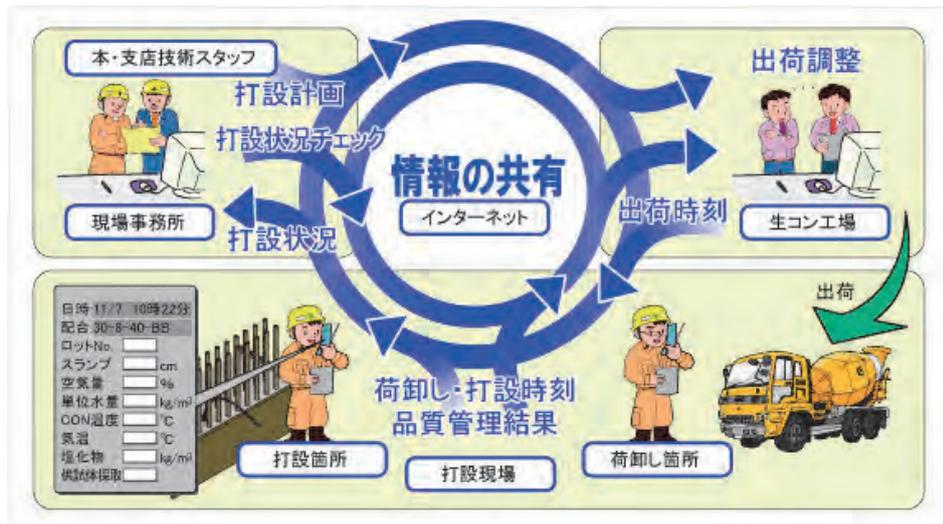


図-1 打設管理システムのイメージ

(2) 技術詳細

本システムは、「現場事務所」、「生コン工場」、「現場」の3つのサイト画面で構成されている。各サイトでの管理項目の概略を以下に示す（図-2）。

1) 現場事務所

現場から生コン工場に対して、発注情報を登録し、打設日・打設部位ごとに、出荷情報やフレッシュ性状試験確認、品質確認試験結果を表示する。また、打設可能時間を超過したバッチへの警報表示による品質管理機能も備えている。

2) 生コン工場

出荷担当者が行う操作は、出荷車両番号の入力および出荷ボタンを押すのみであり、入力した車両番号と出荷時刻は自動的にサーバーへ転送される。

3) 現場

携帯電話からシステムに接続し、生コン車ごとに打設の開始・終了時刻の入力や、発注状況の確認を行う。



図-2 インターネットを介したリアルタイムな情報共有

4) その他現場適用例



(3) 結果

- ・打設箇所でも携帯電話を用いて、出荷状況の確認、受け入れ検査結果の閲覧、打設進捗状況の入力ができ、トレーサビリティを確保できる
- ・打設日報や圧縮強度試験結果の管理帳票をシステム上で作成できるため、現場事務所での作業時間を削減できる
- ・携帯電話の回線接続が可能な現場エリアであればどこでも使用できるため、大掛かりな設備投資は不要である。現地の立地条件によって、携帯電話が使用できないケースは、現場内 LAN 等の通信環境、タブレット端末等への入力機器の変更に対応できる。

参考文献	土木技術：西松建設株(株) 佐藤幸三 土木技術社、Vol. 69、No. 8、pp84～85、2014. 8
備考	—

【ダム・貯水池／コンクリートダム】

技術名	継目グラウチング充填材検知システム
番号	No. 4. 1-11
発注者	本州四国連絡橋公団
施設名	来島大橋 4 A アンカレイジ
所在地	愛媛県越智郡吉海町
工事名称	来島大橋下部工東工事
施工期間	1992年3月～1996年1月
施工者	熊谷・大林・飛島・戸田・五洋来島大橋下部工東特定工事
キーワード	継目グラウチング、充填管理、継目充填材、検知センサ
<p>(1) 概要</p> <p>コンクリートダムに代表されるマスコンクリート構造物は、コンクリート製造・打設設備の制約や温度ひび割れ制御のために、通常ブロック分割として施工されるが、分割施工されたブロックは、設計上基本的に一体化させ、各ブロック間の応力伝達を図る必要がある。そこで、一般には、パイプクーリングなどによって各ブロックを安定温度まで冷却、収縮させて継目を十分に開かせ、その隙間にセメントミルク等の充填材を注入して一体化する継目グラウチングが行われている。</p> <p>継目グラウチングは、柱状工法のコンクリートダム等では古くから一般的な工法として行われており、継目位置は構造的に圧縮状態となる領域に設けられていた。そのため、継目グラウチングはブロック間の隙間を間詰める程度でも十分と考えられており、これまで躯体の一体性を確保するための継目グラウチング技術については、さほど大きな問題として取り上げられることはなかった。また、一般に継目グラウチングの施工は経験に頼るところが大きく、とりわけ継目内の実際の注入状況については、セメントミルクの注入圧力、躯体・継目の挙動、縦目面から排出されるセメントミルクの濃度、注入セメント量等の間接的なデータ等を基に推測・判断する方法しかなく、施工品質は経験に大きく影響を受けるものであった。</p> <p>このような背景を踏まえて、躯体の確実な一体化を図るための継目グラウチングに関し、継目充填材の見直しを始めとして、微小な継目に注入される充填材を検知できるセンサ、測定装置およびパソコンによって一連の解析処理が行える計測管理システムを開発した。</p> <p>(2) 技術詳細</p> <p>1) 継目充填材の選定</p> <p>継目充填材として具備すべき主な条件は、以下の4つである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・注入箇所に応じた適切な粒径 ・ミルクとして粒子が均等に分散し、安定している ・硬化後に所要の強度を有する ・硬化時の体積収縮が小さい <p>そこで、より高品質な継目グラウチングを目指し、一般的な普通ポルトランドセメントに比べて最大粒径の小さい市販の充填材数種類について、各種の材料試験を行い基本的な性能を評価して、継目グラウチングとして最適と考えられる充填材の選定を行った。</p>	

比較試験に用いた充填材を表-1 に示す。

① 試験項目

- ・ 充填性・ブリージング試験 (JSCE-F522)
- ・ 粘度試験 (JIS K6833)
- ・ 流動性試験 (JSCE-F 531)
- ・ 凝結試験 (JIS R 5201)
- ・ 圧縮試験 (JIS A 1108)・引張強度 (JIS A 1113)・乾燥収縮率 (JIS A 1129)

表-1 比較試験に用いた充填材

試験材料	メーカー	粒径 (μm)		試験配合 (W/C)	
		最大	平均		
普通ポルトランドセメント	O社製	約100	約20~30	10%	
超微粒子セメント	S	N社製	10	4	100%
	M	O社製	8	4	100%
	AD	ON社製	10	3	100%
無機系注入材	H (高伊スタグ系)	N社製	10	2.8	70%
	R (ポリマーセメント系)	O社製	10	4	61.5%
	Au (ポリマーセメント系)	D社製	16	-	66%

② 試験結果

材料分離などに対する安定性が良く、粘性が小さく流動性に優れ、強度特性が良く、高い充填性が期待できる無機系充填材 H(ハイスタグ)を、継目グラウチングに最適な充填材として選定することとした (各種充填材比較検討結果は省略)。

2) 充填材検知センサ

開発する充填材検知システムは、予め継目面に専用のセンサ (充填材検知センサ) を所定の間隔で設置し、継目グラウチング時に充填材の電気抵抗を測定して、継目面全体の充填状況をリアルタイムに把握できるシステムとした(表-2、図-1)。

表-2 充填材検知センサの基本仕様

項目		基本仕様	
測定電源	電源周波数	1kHz(交流)	
	測定電圧	5V(以上)	
充填材検知センサ	充填状況確認用	電極の材質	ステンレス(SUS304)
		電極寸法(面積)	φ100mm(≒78.5cm ²)
配合濃度測定用	電極の材質	ステンレス(SUS304)	
		電極寸法(面積)	5×5mm(≒0.25cm ²)
	電極間距離	50mm	
		スリット	高さ
幅	30mm		

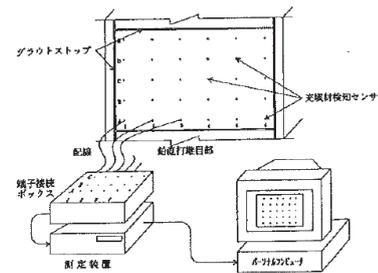


図-1 充填材検知システムの全体概要

3) 橋梁下部工における継目グラウチングの施工

今回新しく選定した継目充填材、開発した充填材検知センサ、測定装置、および一連の計測管理システムを下記工事に導入し、継目グラウチングにおけるブロック間継目の充填状況の確認ならびに注入管理に適用した (表-3、写真-1)。

表-3 来島大橋下部工東工事の工事概要

工事名	工事場所	来島大橋下部工東工事 本州四国連絡橋公団 愛媛県越智郡吉海町大字椋名地先 平成4年3月～平成8年1月	
主要工事	3P	底根削工	約 67,900 m ³
		ケーソン掘削工	約 6,200 m ³
		底面滑掃工	約 1,100 m ³
		水中コンクリート工	約 38,000 m ³
		水中コンクリート工	約 6,000 m ³
	4A	薄肉P.C.パネル工	約 200 m ²
		主桁アンカーフレーム設置工	2基
		ケーソン根固工	約 1,600 m ³
		水中コンクリート工	約 50,300 m ³
		水中コンクリート工	約 101,600 m ³
共通	薄肉P.C.パネル工	約 9,000 m ²	
	グラウチング工	1式	
	水平支承受梁工	1式	
	配電設備工	1式	
	海底ケーブル敷設工	1式	



写真-1 来島大橋 4A アンカレイジの全景

4A アンカレイジにおけるグラウチングゾーンは、継目面の形状、注入時の施工性等も踏まえて、図-2 に示すように 6.0m～7.5mに分割することとした。また、充填材検知センサは、

継目開度の大きいゾーンとして橋軸直角方向の J3-2 を、継目開度の小さいゾーンとして J3-3 の 2 ゾーンに設置して、充填状況の制御、管理および観察を行うことにした。

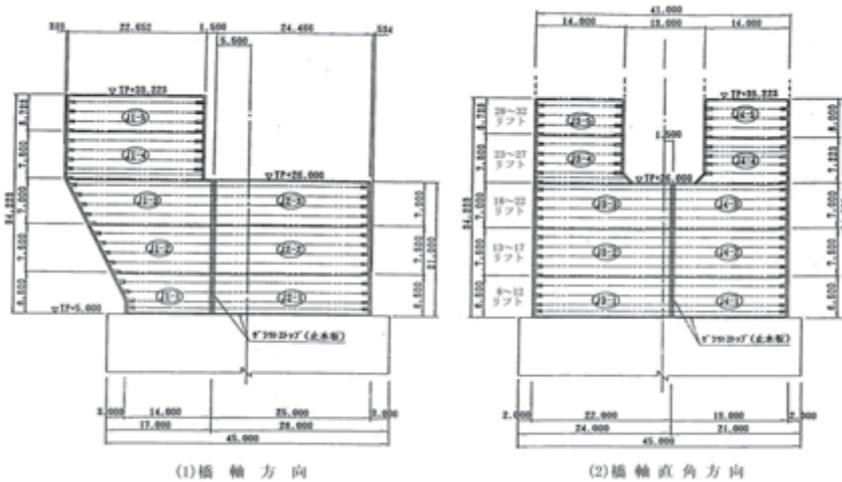


図-2 来島大橋 4A アンカレイジの継目グラウチングにおけるグラウチングゾーンの分割 (網掛け部は、充填材検知センサ設置ゾーン)

4) 施工方法

図-3 に、継目グラウチングの標準施工手順を示す。継目グラウチングは、下段ゾーンより順次行うものとし、1ゾーン/日を施工の標準とした。また注入圧力の管理は、基本的にベント側圧力で行うものとし、ダムでの施工方法を参考に最大 0.2MPa に設定した。なお、躯体の許容継目相対開度は、0.5mm 以下とした。

5) 継目充填材の配合

継目充填材として選定したハイスタップは、粒子が細かく注入性能が極めて良いので基本的には配合切り替えを行う必要はないと考えられるが、リーク発生時の漏洩に対する経済性やリーク処理等の注入遅延時に生じる管内閉塞などの影響を考慮して、二段階の配合濃度切り替えを行うこととした。表-4 に、充填材の注入配合濃度の標準を示す。

6) 充填検知センサの設置

充填検知センサは、継目面に対して鉛直・水平ともにおよそ 3m 間隔で設置した。図-4 に J3-2 ゾーンにおける充填材検知センサの配置を、写真-2 に、後行ブロックのコンクリート打設時における充填材検知センサの敷設状況を示す。

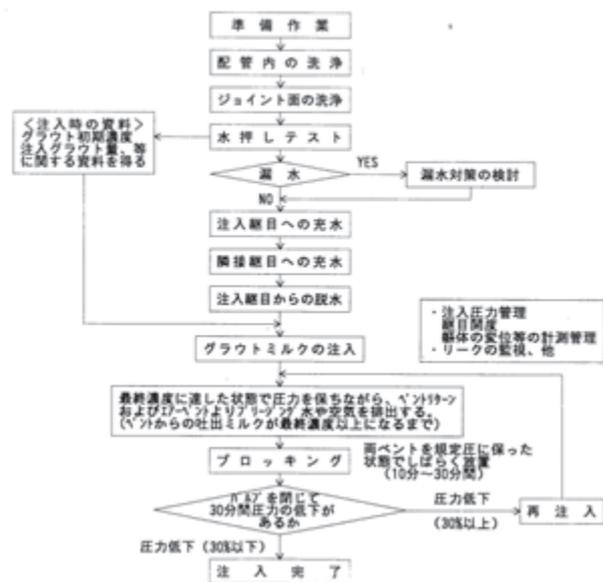


図-3 継目グラウチングの標準施工手順

表-4 継目グラウチングにおける継目充填材の注入配合濃度

W/H (%)	水 (%)	ハイスタップ (kg)	ハイスタップ エイド (g)	混練量 (kg)	比重	Proot (試験室) (s)
400	159.2	40	800	173.4	1.15	8.2
70	108.8	160	3,200	165.8	1.64	8.8

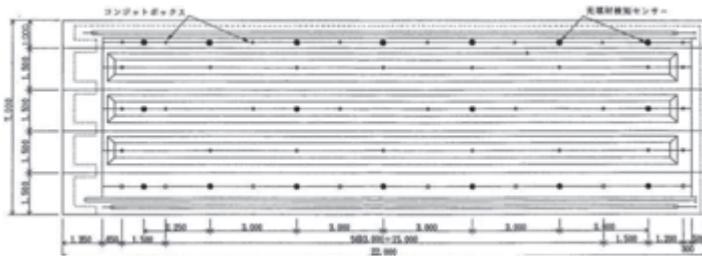


図-4 アウトレットと充填材検知センサの設置位置



写真-2 充填材検知センサの設置状況

充填材の注入状況については、充填材検知システムによって配合濃度の測定結果をリアルタイムにコンター図として可視化した。等電機抵抗線図の一例として、図-5にJ3-2ゾーンにおける注入開始15分後、23分後および注入完了後（4時間後）のモニタ画面の表示結果を示す。これによれば、継目充填材は継目面の下方よりほぼ均等の高さで注入されていくことが分かる。

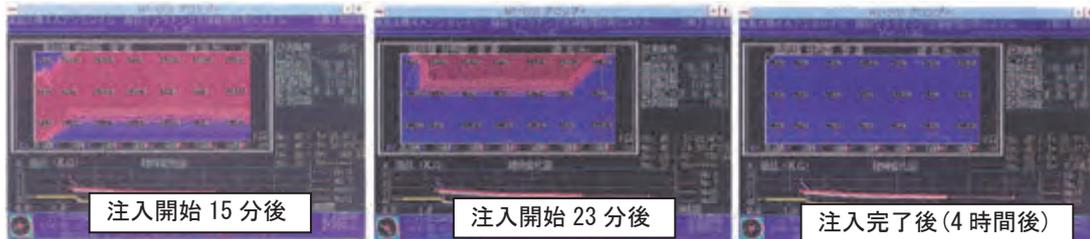


図-5 充填材の配合濃度の等電気抵抗線図の一例

(3) 結果

1) 充填材検知システムの開発ならびに実構造物での導入結果のまとめ

- ① 開発した充填材検知システムは、従来把握することが困難であった継目グラウチングにおける充填状況をリアルタイムに把握できる新しい施工管理手段として、極めて有効であることが明らかになった。
- ② 当システムによって、既往の技術として従来から踏襲されてきた配管レイアウト、アウトレットの設置位置・設置数、注入圧力などの基本的な注入方法についての考え方は、大きな問題がないことを明らかにした。
- ③ 継目充填材として選定したハイスタッフは、今回のように継目開度が小さい場合でも極めて良好な注入状況を実現でき、躯体の一体化としての継目グラウチングの信頼性、確実性を十分に確保することができた。

2) 今後の課題・展開

当システムによって充填状況をモニタリングすることで、継目面に残留するエア溜りや充填不良箇所の発見、更にはそれらに対し注入圧力や排出箇所の調整等により継目面の充填材の流れを積極的にコントロールした注入制御技術等へ発展させることも可能と考える。

参考文献	熊谷組技術研究報告 第63号：(株)熊谷組 佐藤英明他 2005年2月
備考	—

【ダム・貯水池／コンクリートダム】

技術名	温度応力管理システム
番号	No.4. 1-12
発注者	兵庫県但馬県民局養父土木事務所
施設名	与布土ダム
所在地	兵庫県朝来市山東町与布土地内
工事名称	円山川水系与布土川与布土ダム堤体建設工事
施工期間	2010年3月19日～2014年3月25日
施工者	清水・五洋・森長・香山特別共同企業体
キーワード	ひび割れ制御情報化システム

(1) 概要

1) 背景

ダムはマッシブなコンクリート構造物であり、セメントの水和熱や気温の季節変化に起因した温度ひび割れが発生する可能性がある。特に、夏期に打ち込んだリフトの上下流面が冬期に冷却され、ダム内部温度と表面温度差が大きくなるため、この箇所については、事前に堤体コンクリート温度応力解析を行い、無対策の場合の最小ひび割れ指数0.95に対して、技術提案した対策によって最小ひび割れ指数1.55に改善された結果を得ている。このように本工事ではひび割れ指数でひび割れの評価を行った。

2) 設計概要

毎日のコンクリートの各種品質管理試験データを入力することにより、発注者を含む関係者全てがリアルタイムに品質データの把握が可能となるシステム「i-worker」（図-1）を採用した。本システムは、外部Webサーバおよびパソコンから構成されており、サーバ上へ入力したコンクリートの現場試験データ（スランプ、エア量、打込み温度等）や工事写真、並びに自動計測した堤体の温度計測結果等の記録が、パソコンを通じて発注者を含む関係者全員でリアルタイムに情報共有できるシステムである。本システムの活用により、現場配合へのフィードバックや、コンクリート温度データに基づいたプレクーリングの実施など早期対応が可能となり品質向上へつなげることができた。



図-1 i-worker

3) 施工概要（温度応力管理システム）

与布土ダムでは堤体コンクリート温度応力管理システムを採用した。このシステムは、事前解析によりひび割れ発生要因別にコンクリート温度の管理基準値を設定し、管理基準値をもとにコンクリート温度を計測・管理することでダム堤体コンクリートのひび割れを抑制する情報化施工システムである。

本システムを導入し、情報化施工を行うことでひび割れ発生リスクを常にモニタリングでき、リスクに応じた対応保温、工程見直し等を迅速かつ効率的に実施することでひび割れ発生リスクを低減した。本システムでは、**図-2**に示すフローに従って管理を行った。

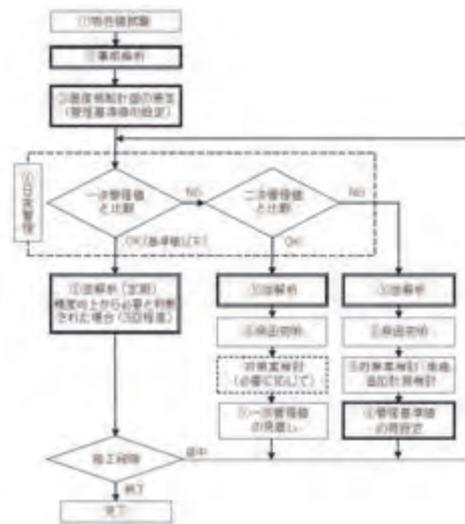


図-2 温度応力管理システム実施フロー

4) 図面

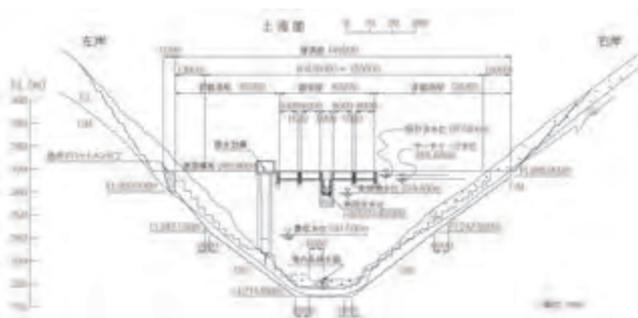


図-3 ダム正面図

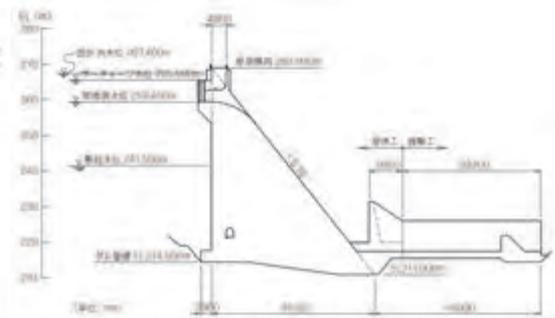


図-4 ダム断面図

(2) 技術詳細

1) 工法

温度規制計画フロー図の各段階における管理項目の内容を示す。

① 物性値試験

解析精度を高めるために温度応力解析に必要な物性値を事前に試験を行って求めた。事前解析に使用した解析条件を決定する。(コンクリートおよび基礎岩盤の力学特性、熱特性：実際に用いる材料、原位置材料の物性を把握)

② 事前解析

物性値試験で得られた値を初期値としてFEM温度応力解析を行い、管理断面の各測定点におけるひび割れ指数とコンクリート温度の経時変化図を作成した。

③ 温度規制計画(管理基準値)の策定

内部拘束ひび割れ(表面ひび割れ)および外部拘束ひび割れ(貫通ひび割れ)を抑制するため、それぞれに対応する管理基準値(一次管理値、二次管理値)を設定した。ひび割れ発生要因と管理方法を**表-1**に示す。

日常管理値として、計測時およびその後（冬期等）において、ひび割れ指数1.75となる温度を一次管理値に、管理限界値として、ひび割れ指数1.50となる温度を二次管理値に設定した。解析結果を踏まえ、温度規制計画を適切に実施するための埋設計器設置計画を立案、実施した。

④ 日常管理

随時計測を行い、計測結果と管理基準値を比較しながら施工を行った。

⑤ 逆解析

外気温・打込み温度の実測値を用いて、熱伝導率・断熱温度上昇特性等をパラメータとして温度計測値とFEM解析値の比較を行った。通常時（温度計測値が一次管理値以下の場合）は、精度向上のため必要と判断される場合（3回/年）に逆解析を実施した。実測温度が管理基準値を超過した場合は直ちに逆解析を実施する予定であったが、実施までに至ることはなかった。

⑥ 原因究明

逆解析結果より管理基準値を超過した施工的な原因について検討し、改善策を検討する予定であったが、実施までに至ることはなかった。

表-1 ひび割れ発生の要因と管理方法

対象とするひび割れ	発生要因	管理方法
内部発生ひび割れ (表面ひび割れ)	①材齢初期に発生する 表面ひび割れ	材齢初期（通常打込み後1週間程度）の打込みリフト内部と表面の温度差を設定して温度管理する。
	②冬期に発生する 表面ひび割れ	材齢初期の最高温度を設定して温度管理する。 冬期の内部と表面の温度差を設定して温度管理する。
外部発生ひび割れ (貫通ひび割れ)	③地盤の拘束による 貫通ひび割れ	現地地盤面コンクリートの最高温度を設定して温度管理する。

⑦ 一次管理値の見直し

実測温度が一次管理値を超過し二次管理値以内である場合、定期評価と同様に逆解析を実施し、逆解析結果と二次管理値を参考に一次管理値を見直す予定であったが、実施までに至ることはなかった。

⑧ 対策案検討・実施

今後発生が予想されるひび割れを抑制する対策案を検討・実施する予定であったが、実施までに至ることはなかった。

⑨ 管理基準値の再設定

管理基準値（一次管理値、二次管理値）の再設定を行う予定であったが、実施までに至ることはなかった。

2) 温度規制計画の結果

全計測点において、一次管理値を超過することはなかった。また、全断面において実測値は解析値と似た傾向を示しており、また全期間にわたって管理値を下回っていることから、上下流面の冬期保温養生を含めた温度管理が適切であったといえる。

3) 埋設計器配置計画

マスコンクリートの計測を行う場合、計測技術として信頼でき、また温度応力解析結果と

対比可能な計測項目は、物理量を直接的に測定できる温度である。一方、ひずみは、計測機器（ひずみ計、無応力ひずみ計）の構造上、コンクリートの熱変形を測定器本体に設置したひずみゲージを介して測定するため、間接的にコンクリートの物理量を測定していることになる。また、コンクリートの変形とそれへの追従が、コンクリートの凝結状態（凝結の過程でもひずみや応力は発生している）に影響を受けるため初期値の評価が難しい。このことから、ひずみ計測結果を直接施工管理に用いることは難しい。以上より、計測器設置に関する基本的方針として、「温度」を温度規制計画に用いる計測値、「拘束ひずみ」を温度規制計画の妥当性を確認するための参考値とした。技術提案時の解析結果と比較して最小ひび割れ指数の発生位置に変化があったため、計器設置位置の変更を行った。温度規制計画における計測箇所は以下の1断面とした。図-5に計測器設置位置を示す。計測断面A：5ブロックの中央最大断面は部材寸法が大きいいため、内部温度が高くなる。このため、表面ひび割れおよび貫通ひび割れが発生する可能性が高い。

(3) 結果

温度応力管理システム表示画面計測結果は「ITを活用したコンクリート情報共有システム」により、発注者を含む関係者全てがリアルタイムに把握できるようにした。温度応力管理システムの表示画面イメージを図-6、図-7に示す。

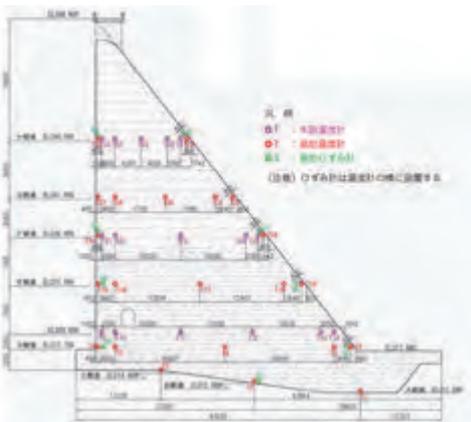


図-5 計測器設置位置

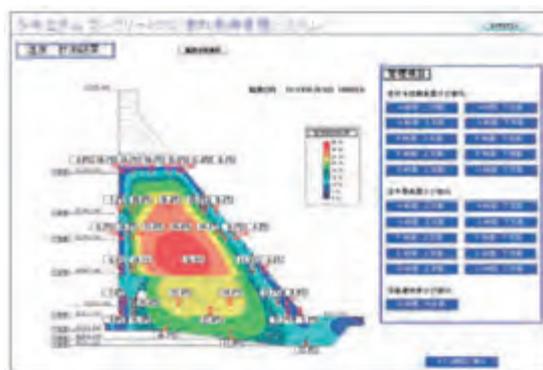


図-6 システム表示画面

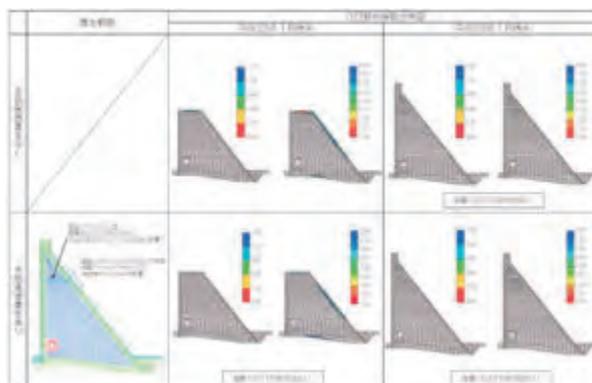


図-7 ひび割れ指数分布

参考文献	施工記録「自然との共生を目指した」与布土ダムの施工、2015 土木クォーターリー-VoL. 185、pp32～61
備考	—

4.1.2 フィルダム 他

【ダム・貯水池／フィルダム 他】

技術名	IT 施工管理システム
番号	No. 4. 1-13
発注者	国土交通省東北地方整備局
施設名	胆沢ダム
所在地	岩手県奥州市
工事名称	胆沢ダム堤体盛立工事
施工期間	2004年10月～2014年3月
施工者	鹿島・清水・大本組共同企業体
キーワード	三次元ワンマン測量、締固め管理、マシンコントロール、マシンガイダンス

(1) 概要

胆沢ダムは岩手県南部に位置する奥州市胆沢区に、「北上川総合開発計画」の一環として1953年に建設された石淵ダムの再開発事業として建設が進められている、洪水調節、河川環境の保全、かんがい用水・水道水の供給、発電を目的とした、堤高132m、堤頂長723m、堤体積1,350万m³の中央コア型ロックフィルダムである（図-1）。

本工事の発注上の特徴として「分離発注併用」の「CM 試行工事」であることが挙げられる。工区分けとしては堤体基礎掘削工事、原石山準備工事、堤体盛立工事、原石山材料採取工事、洪水吐き打設工事の5工事に大別され、当工事事務所は堤体盛立工事を受け持つ。

施工上の特徴としては、国内最大級のロックフィルダムであり、厳しい気象条件のもと効率的に盛立工事を施工するために大型重機を使用した大規模土工となることである。また、施工速度の高速化に伴い、現場における品質管理試験頻度も増えるため、施工・品質管理の合理化を図り、IT 施工管理システムを適用した事例である。



図-1 ダム完成予想図

(2) 技術詳細

1) IT 施工管理システムの目的

- ① 各重機キャビン内車載モニターの設計線との位置関係の確認がリアルタイムに可能となることによる施工精度の向上と手待ち、手戻り等の無駄の排除
- ② ブルドーザにおける排土板自動油圧制御による押土回数低減による施工速度向上
- ③ 締固め管理帳票の自動出力による施工管理の効率化
- ④ 敷均し厚、転圧範囲・回数を記録で残し、敷均し厚、転圧のトレーサビリティを確保
- ⑤ 点の管理であった品質管理を面的に保証することによる盛立面での現場試験頻度の削減

2) 使用機器・重機

導入した IT 施工管理システムは 3 次元 CAD による設計、GNSS による 3 次元測位および重機の油圧制御技術を融合した 3 次元施工システムを中心に調査・設計段階から、施工および施工管理までを一連で管理できるものである。

① 3D-Navi

3D-Navi は測量者がペンタイプ・コンピュータと GNSS アンテナを携帯し、地形変化点の位置記録操作をその場で立ち止まり直接画面に指示するだけで連続測定が可能となる。基準点との見通しの可否にかかわらず基本的にワンマンでの測量が可能である (図-2)。



図-2 3D-Navi による測量状況

② 3D-MC ブルドーザ

3D-MC ブルドーザは、GNSS アンテナを搭載し自機位置をリアルタイムで把握し、排土板を自動油圧制御することで設計面に合わせた敷均し作業が可能となる。胆沢ダムではコア・フィルタ敷均しに 28・40t 級、コア材パイリングに 28t 級、ロック敷均しに 40・50t 級のブルドーザを使用した。

③ 油圧ショベル

油圧ショベルは、ブルドーザと同様に GNSS アンテナを搭載し自機位置をリアルタイムで把握し、バケット位置と設計面との差をキャビン内モニター上で確認可能である。胆沢ダムにおいてはコア・フィルタ境界部の造成、ロック上下流面のリップラップ施工およびバケットをツインヘッドに交換してのコア敷き面仕上げ掘削に使用した。

④ 振動ローラ

GNSS を搭載した振動ローラの軌跡を把握することで設計図面上にローラが転圧した回数をリアルタイムに表示することが可能で、転圧済み範囲をオペレータが確認しながらの作業を行える。胆沢ダムではコア・フィルタ転圧に 11t 級、ロック転圧に 19t 級を使用した。

(3) 結果

1) 3D-MC ブルドーザ

従来、ブルドーザで敷均しを行う場合、敷均し面の高さ測定は仕上がり面に測定用の丁張りを多数設置し、水系により行ってきた。このため、曲線部では丁張り間はオペレータの判断により仕上げられてきた。胆沢ダムはダム軸が $R=2,000\text{m}$ の弧を描いており、それに伴いコア・フィルタ・ロックの各境界も弧を描く (図-3)。そのため、後工程となる油圧ショベルによる整形作業を低減させるためにもいかに精度良く材料を撒き出し、敷き均せるかが施工速度に大きくかかわってくる。

今回は GNSS アンテナを 2 台搭載することで排土板端部の位置をモニター表示できるシステムとすることで、すべての箇所において排土板端部と円を描く境界部の設計位置との差をリアルタイムで確認でき、的確な撒き出し、敷き均し作業を行うことが可能となった。

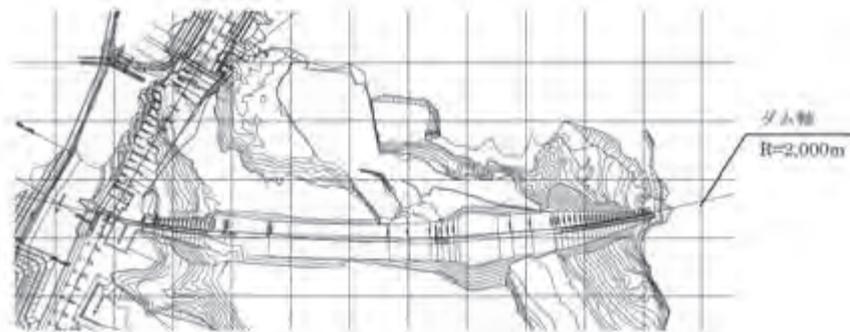


図-3 堤体平面図

また、排土板高さも同様に確認でき（図-4）、施工速度向上と品質面でも敷き均し厚の均一化が図れる。コア材ストックパイル造成は粗粒、細粒の2種のコア材料を定められた比率となるように各層を互層に所定厚さでパイリングする必要があるが、通常行うパイル天端端部での測量丁張り作業が完全に省略でき、高速化、安全性向上に大きく寄与している。



図-4 ブルドーザキャビン内モニター

2) 油圧ショベル

油圧ショベルについては通常のショベルとしての使用例は前述のコア・フィルタ境界部施工と、上下流面リップラップ施工である。図-5 に示すように、丁張りは一切行わずに施工を行った。コア敷き仕上げ掘削 (t=50cm) においてはツインヘッドによる施工を行ったが、GNSS 搭載の油圧ショベルを使用することで、測量者を全くつけずに仕上げる事が出来た。特に斜面部の仕上げ掘削、夜間作業において、その効力を発揮した (図-6)。



図-5 下流面リップラップ施工状況



図-6 仕上げ掘削施工状況

3) 締固め管理システム

締固め管理システム搭載の振動ローラキャビン内モニタには現在位置と振動起振時の軌跡をもとに 50cm メッシュで区切られた範囲が締固め回数により色塗りされる (図-7)。これにより、オペレータは一目でリアルタイムに転圧の過不足が分かり、均一で効率的な施工を行うことができる。

現場転圧作業完了後、事務所にて担当者がデータ処理を行う。図-7 はローラの号機ごと、日時ごとの図であるが、これらを盛立の層ごとに集計することで各層全体の転圧マップが完成する。転圧マップにおいて、各層で転圧漏れがないことを確認した上で次層の盛立を行う手順をとる。

本現場では転圧エリアが広く、転圧ローラが複数台稼動しており、転圧ローラ同士のデータ共有化を図る必要があった。そのため、現場内に転圧管理共有サーバを設置し現場の転圧状況を一元管理している。サーバと転圧ローラとの通信は無線 LAN を使用し、サーバと工事事務所との通信は ADSL 回線を使用した (図-8)。

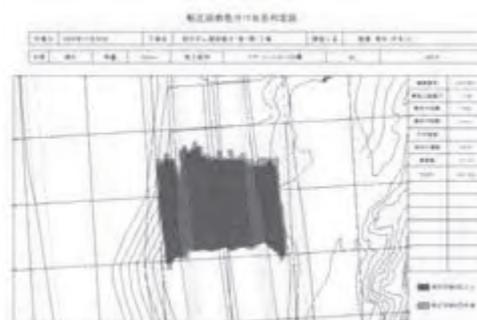


図-7 締固め回数分布図



図-8 転圧管理共有構成

4) 今後の展開

堤体盛立は GNSS を中心とした IT を活用した施工・品質管理を行い、データ収集に努めてきた。施工上の合理化という点においては、当現場内は全く丁張りが存在しないという従来の常識を覆えしており、効率性・安全性の向上という点でも一定の成果をあげているといえる。一方で品質管理の合理化においては、従来の品質管理試験頻度は遵守し、現場品質管理試験頻度削減を実現する為、締固め管理システムを利用したデータ収集を行ってきた。

今後の展開としては、転圧マップ・現場品質管理試験結果を整理し、工法規定方式による品質管理試験の妥当性を証明し、今後、現場品質管理試験の頻度削減の実現につなげる必要がある。今回、IT を積極的に活用したことで施工・品質の合理化、安全性の向上に大きな成果をあげることができた。さらに、当現場では他に IC タグを利用した重機周りの安全管理システム他を運用しており、今後もさらに IT 活用の可能性を追求していきたいと考えている。

参考文献	建設の施工企画：2009.3
備考	—

技術名	IT 施工管理システム
番号	No. 4. 1-14
発注者	北海道電力(株)
施設名	京極発電所
所在地	北海道虻田郡京極町
工事名称	京極発電所新設工事のうち土木本工事(第1工区)
施工期間	2001年3月～2014年11月
施工者	鹿島・大林・飛島・伊藤組土建共同企業体
キーワード	三次元ダム設計施工支援システム、三次元ワンマン測量、締固め管理、マシンコントロール、マシンガイダンス

(1) 概要

純揚水式の京極発電所上部調整池は、表面遮水壁型（プール形式）の調整池（図-1）であり、広範囲の面積を改変する大規模な土工事と内側全面のアスファルトフェーシング舗設を主体とする工事である。



図-1 上部調整池（2009. 10. 16 撮影）

本工事は大土工量を扱う大規模土工事であり、調整池形状も複雑なため以下のような施工上の問題点があることから抜本的な解決が必要であった。

- ① 航空写真測量等で作成した現況地盤標高線は、精度の問題から伐採後に再測量する必要があり、その結果を反映した設計・施工計画を速やかに立案する必要がある。
- ② 平面形状に曲面が多く縦断にも曲線が入る形状であり、測量のための座標計算が難しく測量も煩雑である。
- ③ 総掘削土量が 658 万 m³ と多く、また積雪の影響により実作業期間が夏期の 5 ヶ月に限定されるため、1 日当りの土工量が極めて多くなることから、昼夜施工とせざるを得ず、丁張りを昼夜に渡り多数設置する必要がある。
- ④ 出来形を迅速に把握し、土量計算・土量変化率を工事計画に適確に把握する必要がある。

上記の対策として、GNSS 等による 3 次元測位と重機の油圧制御技術を融合した 3 次元施工システム（3 次元自動制御システム）を中心に、調査・設計・施工・施工管理まで全てを一連のシステムで管理できる IT 施工管理システムを適用し土工事を施工した事例である。

(2) 技術詳細

IT 施工管理システムは、システム構成図（図-2）に示す 5 種類のシステムから構成され、情報化設計施工支援システムにより作成される 3 次元設計データを基点にシステムが成り立っている。施工イメージを図-3 に示す。



図-2 システム構成図

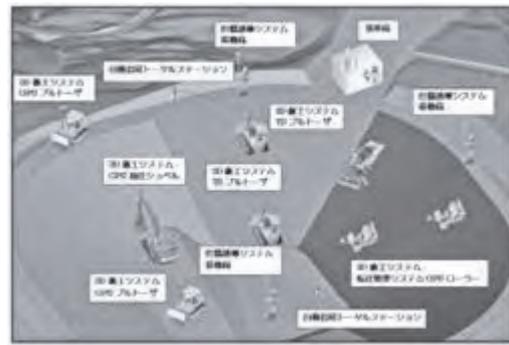


図-3 施工イメージ

1) 情報化設計施工支援システム (3D-DAM CAD)

本システムは、AutoCAD をベースとして開発したシステムであり、ダム の設計・施工に伴う膨大なデータを 3 次元図形処理により、計画の変更・追加に迅速に対応すると共に、大幅な省力化及び高品質化を実現した設計施工支援システムである。

大きな特長は以下のとおり。

- ① 3次元測量結果からの地形図の自動作図
- ② ダム、トンネル、道路造成等の3次元自動作図
- ③ 土量、面積等の自動数量計算・帳票出力
- ④ 出来形数量の自動作図・数量計算・帳票出力
- ⑤ 景観CGの自動作図 (図-4)

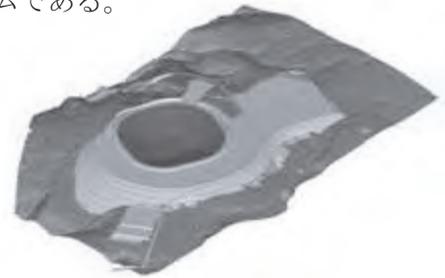


図-4 景観CG (上部調整池完成)

2) 3次元位置誘導システム (3D-NAVi)

3D-NAVi は、RTK-GNSS・自動追尾トータルステーション等をポジショニング機器として使用し、ペンタイプコンピュータに予め 3D-DAM CAD で作成したメッシュデータを 3 次元登録し、設計データ上の位置を画面上で指示することで、ワンマンで測定者を指定した位置に誘導することができる。この基本機能を利用し、法面の切り出し位置、盛り立て位置への誘導を簡便・迅速にできる (図-5)。



図-5 3D-NAVi による測量状況

3) 3次元施工システム

本システムは、3次元設計データと RTK-GNSS・自動追尾トータルステーションによって測定された重機の位置情報をリアルタイムに照合させ、現場に 3次元設計データをそのまま再現できることが特長である。これにより従来、種々の工程を踏んで行われた作業を省力化し、かつ効率的な施工を実現できるようになった。以下に機種毎のシステムの概要を述べる。

① マシンコントロールシステム (3D-MC ブルドーザ)

ブルドーザを所定の位置まで誘導することができ、排土板の高さ、チルトの自動制御と方向指示を行うことができる (図-6)。

一般的な土工事の施工精度でよい箇所はRTK-GNSSを使用し、アスファルトフェーシングの施工基盤 (水工フォームドアスファルト混合物 $t=15\text{cm}$) など厳密な厚さ管理が必要な箇所については、自動追尾トータルステーションを使用する。

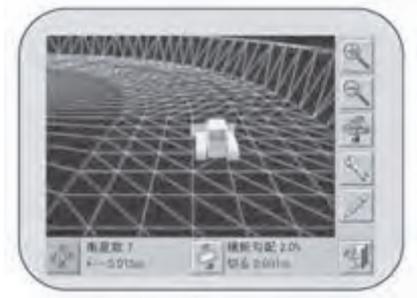


図-6 ブルドーザシステム
専用表示器画面

② マシンガイダンスシステム (3D-MG 油圧ショベル)

油圧ショベルを所定の位置まで誘導することができ、バケットが設計法面の切り出し位置や法面に対する位置を運転席の専用コンピュータに表示することにより曲線でも丁張りを設置することなく作業できる。

4) 締固め管理システム

本システムは、ローラに搭載した RTK-GNSS の位置情報から走行軌跡を認識し、締固めを行う盛土地盤全体を CAD 図表上でメッシュに区切って、各エリア毎に転圧回数を把握し管理するものである。また、転圧結果は、運転席の専用コンピューター画面に表示される。

(3) 結果

1) IT 施工管理システムを導入したねらいとその成果

① Q: 品質

曲面が多い複雑な形状のため、丁張りなどの遣り方を多数設置しなければ面的 (連続的) に均一な精度確保が困難と考えられた。丁張りが不要で任意の位置で均一な精度を確保することが可能と考え本システムを導入した。成果を以下に示す。

- ・ 任意の位置で均一な精度の確保が可能
- ・ 従来工法の丁張りが設置された箇所と 3 次元施工システムでの施工精度は変わらない
- ・ マシンコントロールではオペレータの技量の違いによる施工精度の差が少ない

以上から、従来工法では丁張りを数多く設置する必要があった複雑な形状で、より導入効果を発揮すると考えられる。

② C: コスト

測量費の低減と作業効率の向上による施工費の低減によりシステムの導入費を回収することを目標とした。成果を以下に示す。

- ・ 出来形測量以外の測量作業は殆ど不要
- ・ 日当たり施工量の増加が曲面部において顕著
- ・ システムメンテナンスの手間と費用負担が大きい
- ・ 施工用の 3 次元データの作成が必要

以上から、施工性が悪く測量作業が煩雑な形状ほど、コストメリットは大きい。

③ D：工程

測量作業待ち時間削減による稼働率の向上を導入のねらいとした。成果を以下に示す。

- ・ 日当たり施工量の増加
- ・ 夜方も測量なしで昼方と同様な作業が可能
- ・ 測量作業が不要なため、連続して次工程へ進むことが可能

以上から、工程短縮に効果的で急速施工にも有効な手段と考えられる。

④ S：安全

- ・ 測量作業や手元が不要なため人と重機の分離が可能

以上から、人と重機の接触災害防止に有効である。

⑤ E：環境

- ・ 作業効率が向上し重機の運転時間が短くなるため、燃料消費量の削減が可能

以上から、CO₂ 排出量の削減に効果的である。

2) 情報化施工技術普及への課題

① 3次元 CAD データが必須

情報化施工には3次元 CAD データが必要である。発注者と施工者間での3次元 CAD データの共有は、基本計画、設計、施工計画、施工管理・監督にも有効なことから、マシンコントロールなどの使用にかかわらず、3次元 CAD による設計を標準とすべきである。

② システムが高価

システムが高価なため、初期導入費用が大きくなり、大規模工事以外では、導入費用を測量費や施工費の低減によるコストメリットで回収できない可能性が高い。適用工事を増やし、レンタルなどにより転活用を促進する仕組みづくりが必要である。

③ システムの運用・維持の負担が大きい

システム自体が高精度の計測機器で構成されることから、土工事のような劣悪な環境では損傷を受けやすく、システムの稼働率を高く保つためには日常のメンテナンスが重要であり負担が大きい。メーカーには、システムの弱点をモニタリングし改善を継続することが望まれる。また、メンテナンス体制を構築すれば、システムの台数が増えても負担はさほど変わらないので、部分的ではなく工事全体に導入することが効果的と考えられる。

④ オペレータの養成・教育が必要

3次元施工システムのオペレータには導入教育が必要である。短期間の現場に導入する場合は、このことが導入の障害となる。施工経験のあるオペレータの登録制度などを準備することも必要と考えられる。

参考文献	「建設の施工企画」：日本建設機械化協会、2010年3月号（第721号）
備考	—

技術名	IT 土工管理システム
番号	No. 4. 1-15
発注者	九州電力(株)
施設名	小丸川発電所
所在地	宮崎県児湯郡木城町
工事名称	小丸川発電所工事上部ダム工事
施工期間	1999年3月～2007年8月
施工者	鹿島・大成・青木あすなろ・前田・銭高組・鴻池組共同企業体
キーワード	三次元ダム設計施工支援システム、三次元ワンマン測量、締固め管理、ダンプトラックナビ、マシンコントロール

(1) 概要

土木工事分野では、急速な技術革新が進む情報化施工技術（IT 施工技術）を応用した、品質向上、工期短縮、コストダウン、環境負荷低減、安全確保などにつながる合理化システムの構築が求められている。

本事例では、九州電力(株)の小丸川発電所新設工事の上部調整池工事において、三次元 CAD による調査・設計情報の電子化を中心として、GNSS 測量、IT を駆使した施工機械の計測・制御システムなどを組み合わせたトータル IT 土工管理システムを採用した（図-1、図-2）。



図-1 調整池全景

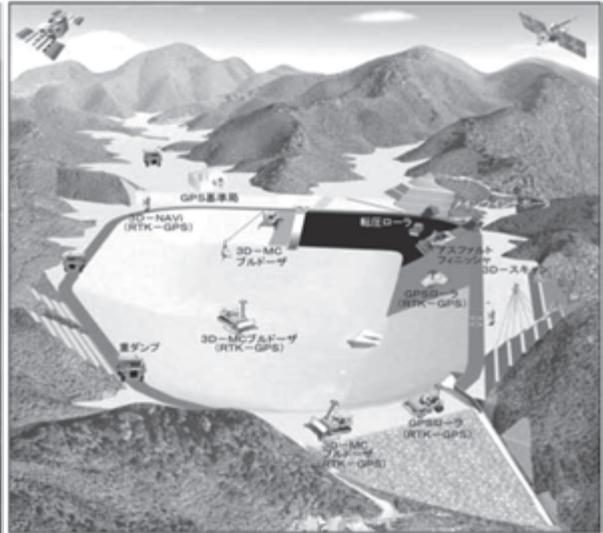


図-2 システム概念図

(2) 技術詳細

当工事で採用したシステムは、複数のシステムを組み合わせ、三次元 CAD により各システムで使用する図面、座標の関連性を維持するよう全体を構築し、工事の初期段階から施工の各プロセスを総合的に管理することとした（図-3）。

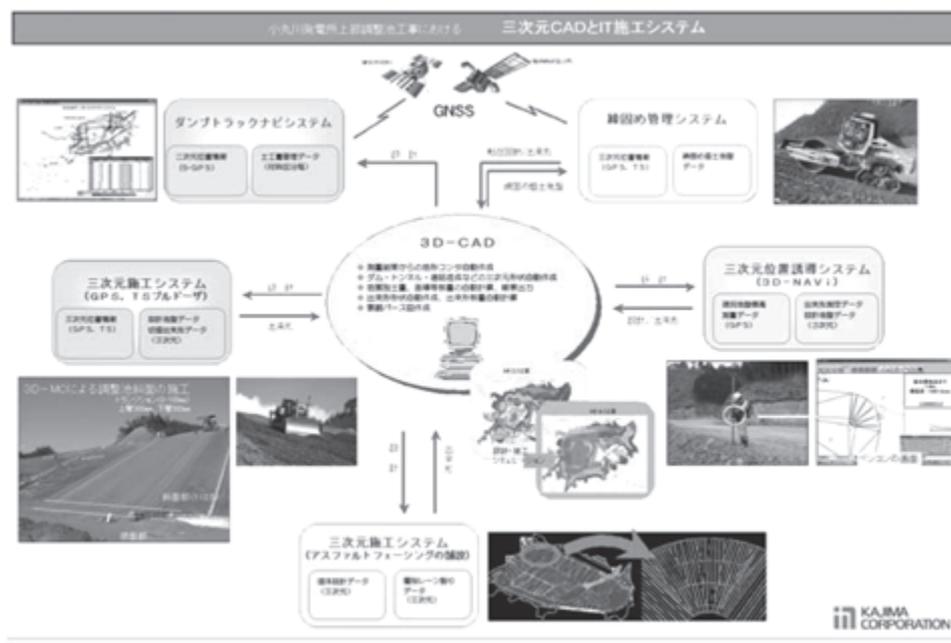


図-3 IT 施工システム全体構成

1) 三次元ダム設計施工支援システム (3D-CAD)

IT 土工管理システムの中核となる本システムは、ダムの設計・施工に伴う膨大なデータを一元化し、省力化、高品質化を実現する。

地形図及び設計図のデジタル化を起点として、すべての施工図及び出来形図は本システムで作成・管理し、他のシステムの基礎情報となり、施工の結果の情報も本システムにフィードバックするものとした。

本システムによる施工シミュレーション、景観 CG の出力例を図-4 に、アスファルトフェーシング施工レーン作成例を図-5 に示す。

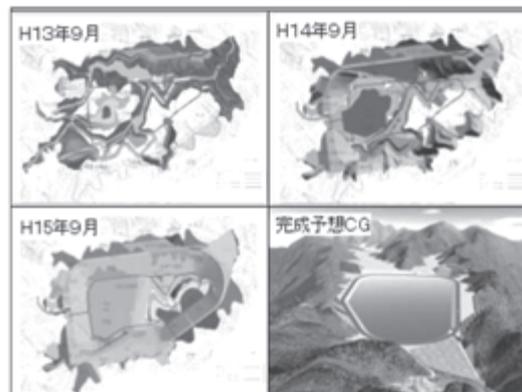


図-4 施工シミュレーションと景観 CG

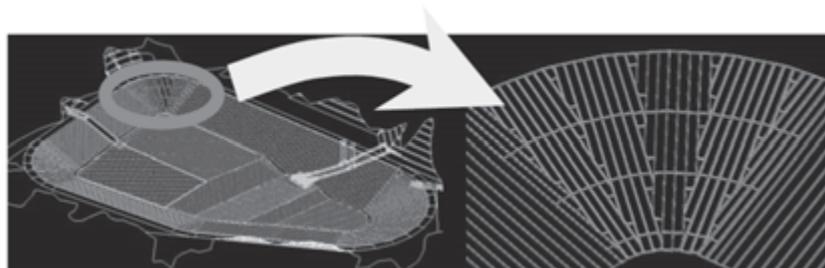


図-5 アスファルトフェーシング施工レーン作成例

2) 三次元ワンマン測量システム (3D-NAVi システム)

RTK (リアルタイム・キネマティック) -GNSS を利用したリアルタイム測量システムである 3D-NAVi システムは、測量員が携帯する GNSS アンテナの位置をリアルタイムに測定できる。この際、測量の用途に応じて用意した三次元化された地形図・設計図・施工図等をパソコンコンピュータ上に展開し、測定された座標は図面上に表示される (図-6)。

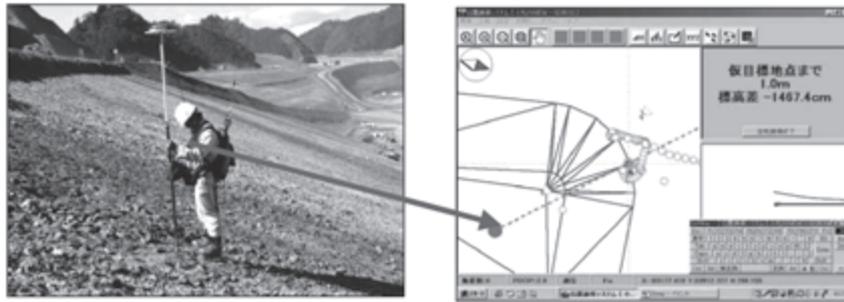


図-6 三次元ワンマン測量システム

3) ダンプトラックナビシステム

ダンプトラックの運搬回数のみを正確にカウントすることで土工数量をタイムリーに把握するシステムであり、土工数量を把握するための測量作業を大幅に省略することができる。積込／荷卸の三次元座標と、積載した材料の岩級区分の情報を重ねて、「何を、どこから、どこへ」運んだという運搬サイクルを確定する。

運搬サイクルのデータは現場内の管理システムに無線伝送して、全ダンプトラックの運搬土量として集中管理し、あらかじめ 3D-CAD によって設定した切土場・盛土場を三次元のゾーンとして区分した情報と組み合わせる (図-7)。



図-7 ダンプトラックナビシステム

4) 三次元施工システム (3D-MC)

本システムは、3D-CAD で作成した三次元設計データと、RTK-GNSS や自動追尾トータルステーション (TS) により、重機の三次元位置情報をリアルタイムに測定し、設計データどおりに重機の作業装置の動きを制御するシステムである。

特に斜面部トランジションは、1 : 2.5 の勾配で、法尻及び法肩が R=30m の曲線形状をしており (図-8)、従来このような整形作業には、多くの丁張を設けて油圧ショベルで整形しながら検測作業を並行させる作業形態であった。そうした方法とは全く異なる今回の施工方法では、測量システムの特性を生かした 2 種の機械の併用により、全面をブルドーザによりまき出し、重機作業用の測量作業なしで高精度に仕上げることができた (図-9)。



図-8 TS ブルドーザ

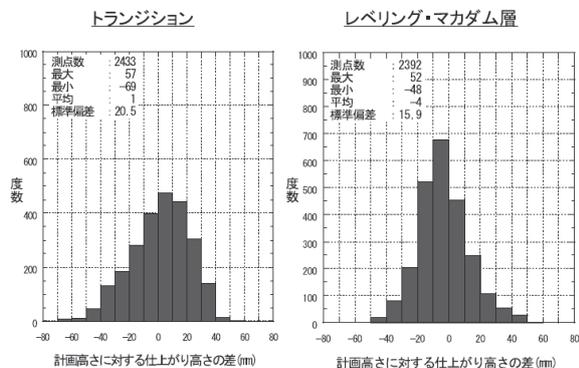


図-9 トランジション仕上がり精度

5) 締固め管理システム

本システムは、転圧作業の方法が事前の試験施工による転圧回数規定で管理されることに着目したもので、盛土締固めに使用する転圧ローラに RTK-GNSS を搭載し、連続監視した転圧軌跡により施工範囲全域の転圧回数を管理し、その結果を表示・保存する。

保存したデータは、事務所の解析プログラムで処理し、機械別、施工エリア別、層別の転圧管理図（走行軌跡図、合否判定図）を作成する（図-10）。本システムの運用にともなって、事業者との協議により、RI 法による現場密度試験の頻度を約 20%低減した。

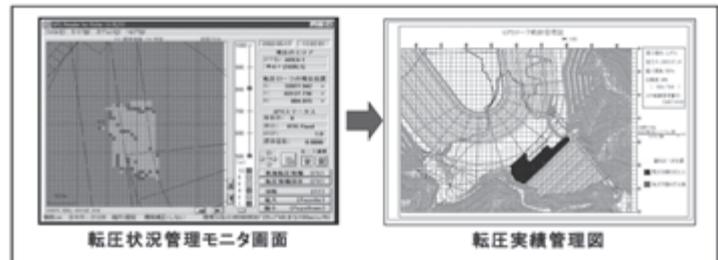


図-10 締固め管理システム

(3) 結果

1) 成果

上部調整池工事に導入した本システムは、次のような効果を上げた。施工計画の段階では、土工事の進捗状況を三次元 CAD を用いてビジュアル化することにより、計画の妥当性を検証できた。次に施工段階では底面部・斜面部のトランジション層（約 300,000 m²）施工に、三次元施工システムを搭載したブルドーザを使用して、高い仕上り精度（品質）を実現した。また人力作業を大幅に削減して、安全施工、工程短縮に大きな成果を上げた。

2) 今後の展開

今回導入したシステムは、他工事での実績があるものに、新規に導入したものを加えて、過去に例のない大規模で土工施工の全般にわたるシステムとなった。このようなシステムの構築には、事業者と施工者が一体となった取組みがあり、特に出来形数量管理、転圧回数管理等の手法にシステムの成果が導入され、従来とは違った手法による管理が実現し、作業工程の短縮、工務事務の大幅な削減等、大きな成果につながった。

また、事業者側では三次元データとして得られた各種の施工情報が GIS（地理情報システム）を利用した工事管理システムに引き継がれ、各種の調査・計測結果と組み合わせて将来の維持管理につながるトータルシステムとなった。

三次元施工システムには、油圧ショベルのバケット誘導システム等、当工事で使用した機種以外のものもあることや、GNSS 測量技術等には、より高精度な測量システム、より低価格な測量システムを選択することが可能になったことで、今後、用途に応じた選択範囲がある。

参考文献	「建設の施工企画」特集：日本建設機械化協会、2007年5月号
備考	—

技術名	締切り堤盛土工事における CIM の導入
番号	No. 4. 1-16
発注者	国土交通省九州地方整備局
施設名	大分川ダム
所在地	大分県大分市
工事名称	大分川ダム締切堤工事
施工期間	2013年8月～2014年6月
施工者	(株)フジタ
キーワード	CIM、3D-CAD、施工シミュレーション、CCV

(1) 概要

CIM 導入を行った現場は、ICT 施工として、TS 出来形管理、GNSS 締固めシステム(加速度計搭載)、GNSS 敷き均し管理システムを導入していた。これらのシステムが出力する ICT 施工の施工情報を CIM に取り込み、建設 ICT 施工の施工情報を CIM に取り込み、3次元 CAD を中心に施工計画、施工管理(出来形管理、盛立管理)、品質管理を一元管理することで施工の合理化を目指すことを目的として、大分川ダム締切り堤工事のロック材 43,000 m³の盛立工において、CIM の施行を行った。堤体掘削形状と盛立形状を、3D-CAD で作成してこれらを合成し、50cm のブロックに分割して盛立の 3D モデルとした。このモデルに工程・施工・品質の情報を、ICT 施工や品質管理試験から取り込むことで施工の合理化を目指した。

(2) 技術詳細

1) 技術の特徴

本技術は、TS 出来形管理、GNSS 敷き均し管理システム (図-1)、加速度計搭載 GNSS 締固めシステム (図-2) の個々の施工情報を CIM に取り込み、3次元 CAD を中心に施工計画、施工管理(出来形管理、盛立管理)、品質管理の活用を行う。この技術を現場に導入することにより、施工の状態を 3D モデルとして可視化することで手戻りを防ぐことや、実績工程情報から施工シミュレーションを行って残工程の施工方法の検討を行うことなどに役立てられる。



図-1 GNSS 敷均し管理システム



図-2 GNSS 締固めシステム

2) システムの構成

本システムは、(i) CIM ツールソフトを装備したノート PC、(ii) GNSS を用いた敷き均し管理システムと土の締固め管理システム（加速度計搭載）、および(iii) TS における出来形管理システムの3つにより構成されている（図-3）。このような構成により、CIM ツールによる盛り立ての出来形管理、工程管理、品質管理を一元化することができる。

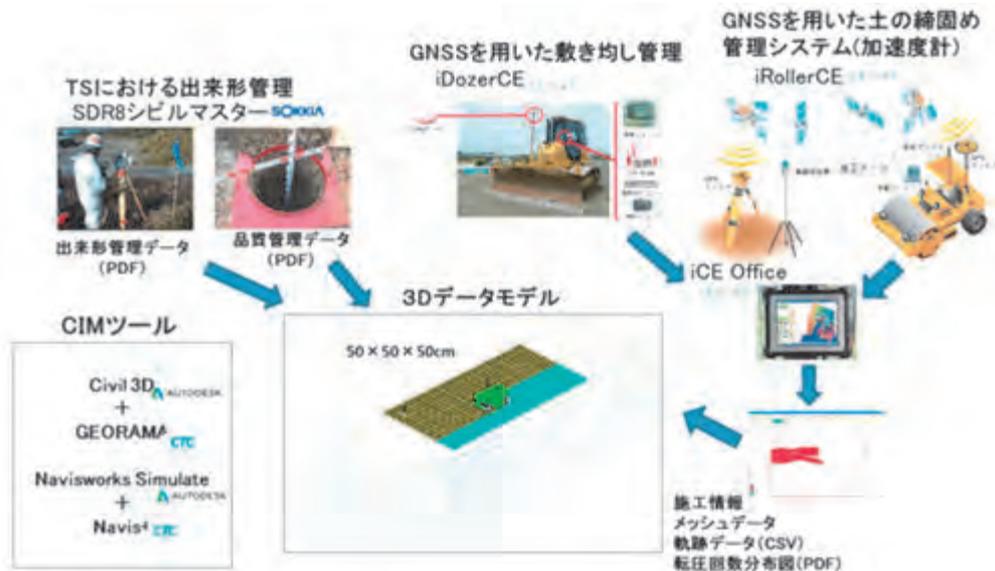


図-3 システム構成

3) システムの詳細

CIM の導入には、はじめに図-4 および図-5 に示すような施工管理用の 3D モデルを作成し、3D モデル上の個々の要素に基本属性を登録する。このモデルに、工事の進捗の都度、個々の要素の ICT 施工、出来形、品質情報の施工属性を登録していく。これらの入力情報をもとに、以下のような図や情報を出力する。

- ・敷均し管理の標高予実差色分け分布図
- ・締固め管理の走行軌跡図、転圧回数分布図、CCV 分布図
- ・品質管理と出来形管理の属性（水置換密度試験、現場透水試験、出来形管理票）

(3) 結果

1) 導入の効果

従来の締固め管理は、一層毎の管理図を用いて検証しているが、3D モデル表示を行うことで様々な角度で検証することが可能となった。例えば、任意の横断面で切断してモデルを表示することで、データの登録不足箇所を発見できるなど、施工管理の高精度化に有効であることが実証された。

2) 今後の課題

① 処理時間が長い（ハードとソフト両方の問題）

締固め管理要領で規定されているブロックサイズ 50×50cm で解析を行う場合、本検討ク

ラスの盛土量では対応できるが、数 10～100 万 m³クラスのダムへの対応は困難である。また、毎日の施工情報の更新に 15 分、敷均し管理と締固め管理を合わせると 30 分必要になる。

② ソフト開発が必要

本システムの構成では、敷均し属性と締固め属性の施工実績シミュレーションが同時にできず、また盛り立て計画のシミュレーションができなかった。これらに対応できるようにするには、さらなるソフトウェア開発が必要となる。

③ 工法が限定される

盛土先端を振動ローラーとは別の方法で行うと、本システムでは施工実績を登録することができない。そのため、本システムを導入する場合には締固め工法が限定されてしまう。

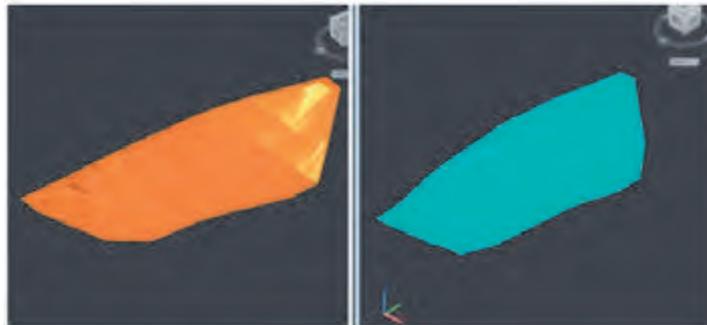


図-4 3D サーフェスモデル（左：掘削地盤、右：盛立計画）

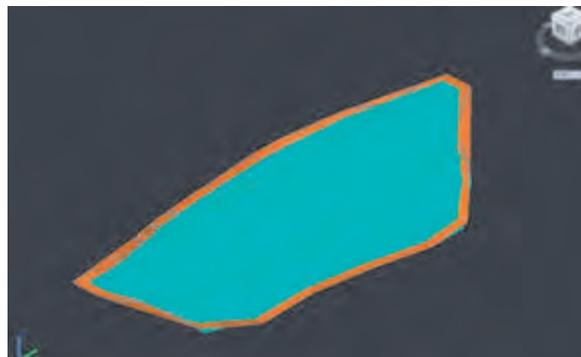


図-5 合成 3D サーフェスモデル

参考文献	・第 14 回建設ロボットシンポジウム講演集：(株)フジタ、pp85～92 ・電力土木：(株)フジタ 野末晃他 電力土木協議会、No. 378、pp86～88、2015. 7
備考	—

技術名	ダム ICT 施工総合管理システム「4D-DIS」
番号	No. 4.1-17
発注者	沖縄総合事務局開発建設部
施設名	億首ダム
所在地	沖縄県国頭郡金武町
工事名称	億首ダム
施工期間	2009年3月～2013年6月
施工者	大成建設(株)
キーワード	4D-DIS、締固め管理、端部法面締固め管理、CSG材料トレースシステム

(1) 概要

ダム ICT 施工総合管理システム「4D-DIS(4Dimension-Dam Information Service)」は、品質保証や施工履歴の蓄積、情報の共有を目的としており、4D-DIS の中心となるデータベースシステム、及び CSG 材料の製造から打設までの時間管理を行う CSG トレースシステム等で構成される。

(2) 技術詳細

1) システムの概要

本システムは、図-1 に示すように、4D-DIS コア部（データベース）を中心に転圧管理システムや CSG 材料トレースシステムなどの各サブシステムで構成される。

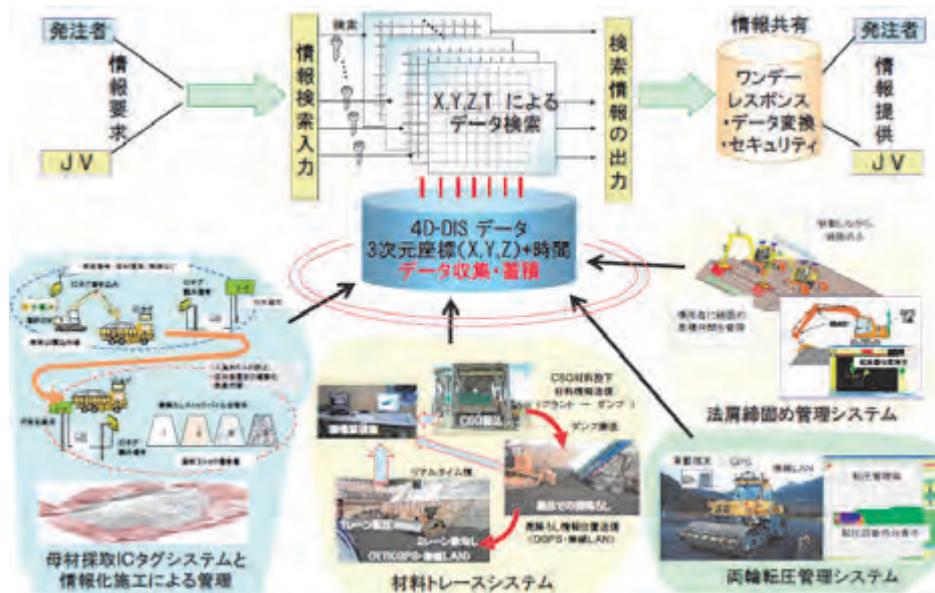


図-1 システム全体概要

2) 4D-DIS データベース (コア部)

4D-DIS コア部には、リレーショナルデータベースマネジメントシステム (RDBMS:MySQL) を採用した。本コア部の特徴は、蓄積データを座標と時間 (X、Y、Z、T) の4次元で管理する点にあり、**図-2**に示すように構造物の中を一定の領域=エレメント単位で扱うようになっている。エレメントを指定するとその部分の材料配合や製造日時、施工方法、施工結果などの関連する一連の情報が検索・抽出されるようになっている。**図-3**に示すように指定する項目としては、

- ・ 検索対象範囲 (サブシステムやデータを指定、すべてを対象とする事も可能)
- ・ 場所・範囲の指定 (X1~X2、Y1~Y2、Z1~Z2)
- ・ 日時・範囲の指定 (T1~T2)

などがあり、必要に応じて検索条件を追加する機能も持たせている。

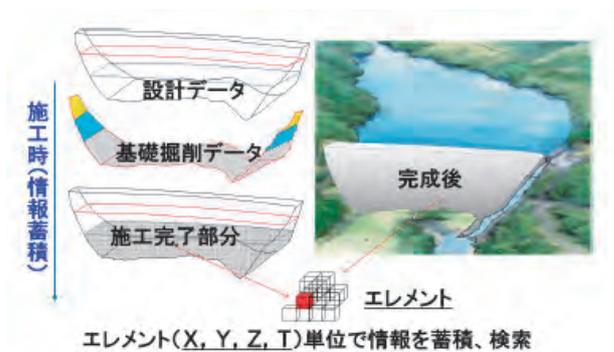


図-2 データの考え方



図-3 データ検索画面

3) 4D-DIS サブシステム

サブシステムとしては、ローラー転圧管理システム、端部法面締固め管理システム、CSG材料トレースシステムなどがあげられるが、データ蓄積の観点からはバッチャープラント、ウェザーステーションなどもサブシステムの一つとして捉えることができる。ここでは、代表的なサブシステムとして、

- ・ 締固め管理 (ローラー転圧、端部法面締固め)
- ・ CSG材料トレースシステム

の概要、および億首ダムでの活用例を示す。

① 締固め管理 (ローラー転圧、端部法面締固め)

GPS や無線 LAN、車載パソコンを転圧ローラーに搭載する (**写真-1**) ことにより、施工場所のどこを何回転圧したかをあらかじめ決められたメッシュ単位でカウントし、記録するシステムである。メッシュ毎の転圧回数は運転席のモニタに色別で表示されるため、オペレータはこの情報に基づいて全メッシュが規定回数に達するまで走行操作をおこなう。なお、転圧ローラーが複数台であっても各メッシュには累積転圧回数が示されるため無駄のない施工が実施できる。**図-4**に転圧表示画面の例を示す。この画面は情報共有により発注者事務所でも表示・閲覧可能である。



写真-1 転圧ローラ

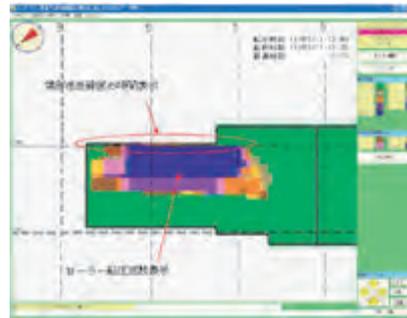


図-4 転圧・締固め表示画面

② 端部法面締固め管理システム

図-5 に端部法面での締固めイメージを示す。端部法面部は、起振器を装置した専用機械により締固めを行っている。ローラーによる転圧と異なり、締固め位置と締固め時間で管理しており、一カ所を連続的に締固めると段差等が生じるおそれがあるため、場所を移動させながら少しずつ締固めを行い、各位置の締固め累積時間が所定の締固め時間（30 秒等）になるように施工している。この端部法面締固めの状況は、ローラ転圧の画面と一緒に表示されるため、オペレータはこの表示と起振器の位置誘導画面（図-6）を見ながら締固め作業を行っている。

なお、図-4 の転圧・締固め表示画面は再生表示機能を持っており、施工状況を後日確認することが可能となっている。



図-5 端部法面締固めイメージ

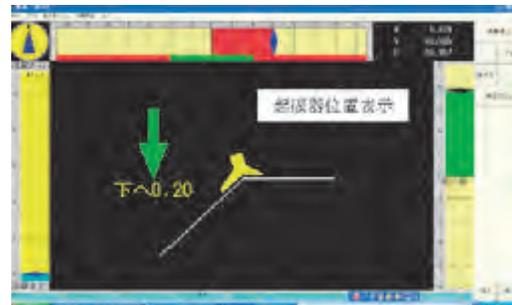


図-6 端部法面締固め位置誘導画面

③ CSG 材料トレースシステム

プラントでのCSG製造から材料搬送、敷均し、ローラー等による締固め開始（制限時間：CSG製造から6時間以内）・完了時間を管理するシステムであり、

- ・CSG プラントにおけるCSG製造情報の車両配信
- ・CSG 打設時の車両位置やバッチ情報の発信
- ・CSG 締固め開始・完了時間の表示

で構成される（図-7）。

まず、CSG 混合装置（プラント）で製造されたCSG材料をダンプトラックに投入する時に、材料のバッチ情報（バッチ番号、配合種別、製造時間など）もダンプに搭載したパソコンに

無線配信する。このダンプには、DGPS（ディファレンシャルGPS：精度50cm）を搭載しており、現場での荷卸ろし位置を計測することができるため、荷卸ろし位置とバッチ情報の両方を無線LANにより現場の監視室へ伝送する。

監視室では、このデータに基づいて、どの材料がどこへ打設されたかをリアルタイムに収集し、施工場所の各地点の材料が製造から何時間たっているかを画面上に色別に（図-8）表示することで、ローラー（端部法面も同様）のオペレータに優先して転圧する場所を指示するものである。なお、この監視画面も情報共有により発注者事務所で表示・閲覧可能となっている。

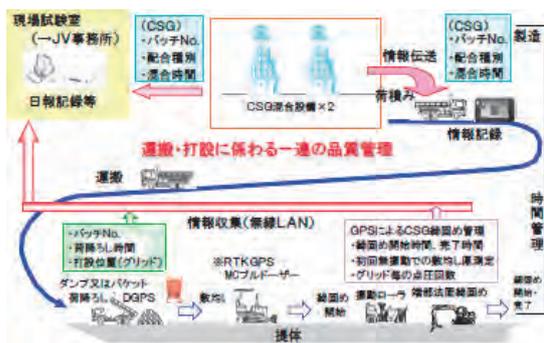


図-7 CSG材料トレースシステム



図-8 締固め時間管理図面

(3) 結果

本システム導入の効果として、本システムの開発により、施工状況のリアルタイムな監視や情報共有、施工履歴の蓄積が可能であり、施工後の保守管理にも応用すること可能である。

<p>参考文献</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・電力土木：大成建設(株) 松本三千緒他 電力土木技術協議会 No. 356、pp147-149、2011.11 ・日経コンストラクション:2014 6.23号
<p>備考</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・特許第 5728396 号：コンクリートの締固め管理装置と管理方法 ・特許第 5512438 号：法肩締固管理装置 ・特許第 5519441 号：粒度分布測定システム及び拡散装置

技術名	斜面計測監視ICTシステム「ハモニス」
番号	No. 4. 1-18
発注者	東海農政局
施設名	宮川用水斎宮調整池
所在地	三重県多気郡明和町
工事名称	宮川用水斎宮調整池建設工事
施工期間	2006年3月～2010年3月
施工者	ハザマ・大日本土木・青木あすなる特定建設工事共同企業体
キーワード	斜面動態観測、地山安定性評価、Webシステム

(1) 概要

地すべり地帯や軟弱な地盤あるいは都市部の近接施工において人工斜面を造成する工事では、多種の地表および地中計測器を地質状況や地山の変位状況などに応じて配置し、経時的な地山の変位状況を確認することが重要となる。多種の計測データを、Web上でリアルタイム表示するとともに、総合的な地山の安定性評価を、独自に考案した判定手法により確認できるシステムについて述べる。

(2) 技術詳細

1) システムの概要

多種多様な計測機器に対応でき、得られた計測データを統合して、インターネットを利用してリアルタイムに関係者へ配信する斜面計測監視 ICT システム「ハモニス」(Hazama Automatic Monitoring System)を開発した(図-1)。

システム開発の目的は、地山の不安定箇所が予測される建設工事において、発生を迅速に予知し必要に応じて対策を実施することである。

この目的に対し、図-1に示すように、多種の計測データを自動的に統合・整理し、これらのデータをもとに、地山の安定性評価を自動的に実施し、計測データや評価結果をWeb配信するシステムを構築した。

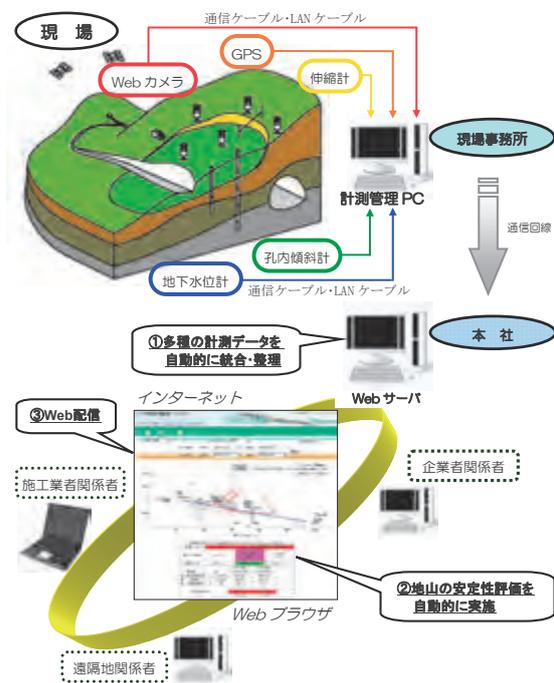


図-1 斜面計測監視ICTシステムの概念図

2) システム構成

① データの整理・統合

計測データは、a) 監視状況図 b) 経時変化グラフ c) 全計測測器による変位ベクトル平面図 d) 全計測器による変位ベクトル断面図、により整理・統合した。

a) 監視状況図 (図-2)

最初に表示される監視状況図では、対象とする地表および地中における全計測箇所の平面的な位置を示す。また、自動算出される各計測器の変位速度を管理基準値に照らすことにより、計測箇所の管理レベルを5段階 (I～V) の色表示により確認ができる。さらに、画面下部のメッセージ欄には、後述する地山の安定性評価結果を表示するようにした。

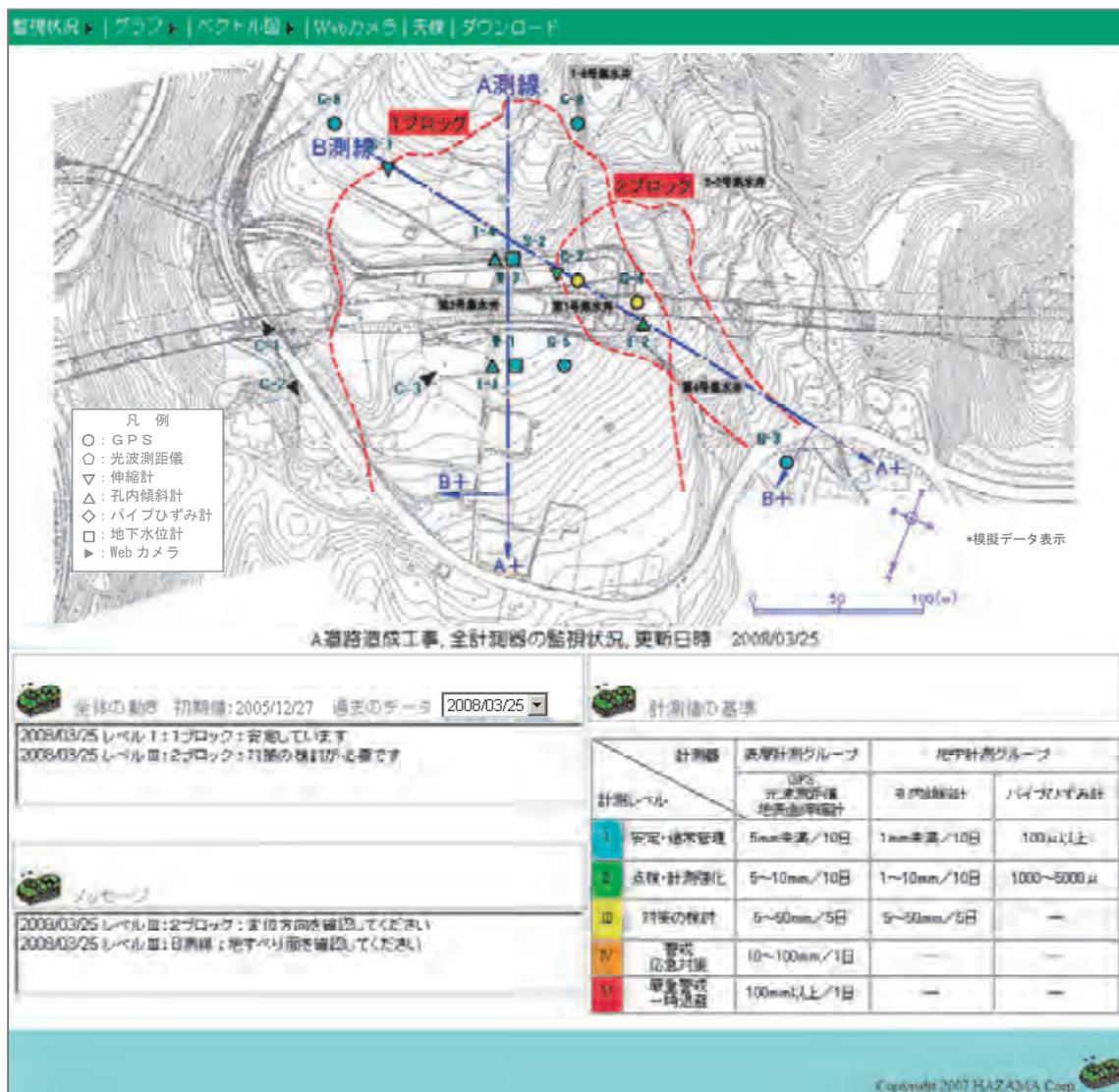


図-2 監視状況図の表示 (模擬データ)

b) 経時変化グラフ (図-3)

各計測データは、自動的に一覧表として整理され、計測器ごとに任意の期間における経時変化グラフとして、現地雨量計データとともに表示されるようにした。

また、既往のシステムでは、各計測器データが個別で管理されていたが、本システムでは、**図-3**に示すように、任意の種類の計測器を複数選択し上下に並べて表示することができるため、斜面挙動の総合的な評価を速やかに実施することが可能となった。

c) 変位ベクトル平面図 (図-4)

多種の地表面計測結果 (GPS、光波測距儀、伸縮計など) を、平面図にベクトルとして自動的に表示する。これにより、地表の変位箇所と変位量および方向が確認できる。

d) 変位ベクトル断面図 (図-5)

多種の地表面計測結果 (GPS、光波測距儀、伸縮計など) および地中計測結果 (孔内傾斜計、パイプひずみ計、地下水位計など) を、代表断面図などにベクトルとして自動的に表示する。

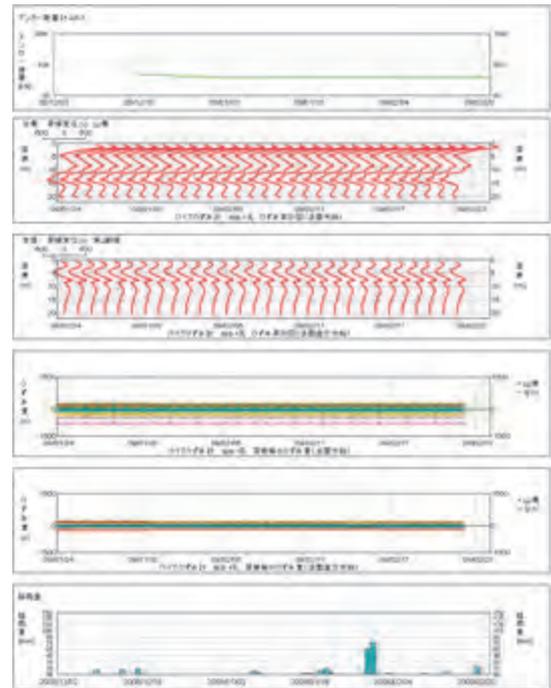


図-3 多計測器の経時変化グラフの表示

② 地山の安定性評価 (図-6)

地山の安定性評価は、独自に考案した「地すべり評価判定フロー」により、想定するすべり形状の妥当性を評価するとともに、地下水位の変化に伴うすべり土塊の安全率の変化を自動計算し、変位ベクトル断面図と合わせて表示するようにした。想定するすべり形状は、実際の変位速度、変位ベクトル方向およびすべり面の深度より妥当性を自動判定し、評価結果を表示することにより、斜面の危険度を定量的かつ迅速に判定できるものとした。

③ データの Web 配信

計測データや地山の安定性の評価結果などは、パスワードを供与された複数の関係者 (企業者施工業者、遠隔地関係者など) がリアルタイムに Web 上で確認できる。

また、現地の Web カメラや気象情報もリンクしており、現場の斜面災害に関連する情報も提供できるようにした。

3) 整池造成工事への適用例

対象は、有効貯水容量 200 万 m³ 調節池を建設する工事である。当該地点の地質は、基盤部



図-4 変位ベクトル平面図の表示

に新鮮・堅硬な花崗閃緑岩が分布するとともに、地表付近には層厚 20m 程度の強風化したマサ土が分布していた。このような状況において、計画のり面を掘削したところ、マサ土中に鏡肌状を呈する低角度割れ目が確認され、掘削のり面の変状が懸念された。

そこで、図-6 に示す想定する変状ブロックにおいて、4 種類の計測データを「ハモニス」で一元管理した。具体的には、図-3 に示すようにパイプひずみ計、孔内傾斜計および PC アンカー荷重計の測定結果を経時的に管理するとともに、図-5 に示す断面上で地下水位の変動に伴う安全率の低下を自動計算し表示させた。

これにより、掘削に伴う地山変位、現状安全率、荷重計の増減を把握することで、常時掘削のり面の安定性を確認することが可能となった。

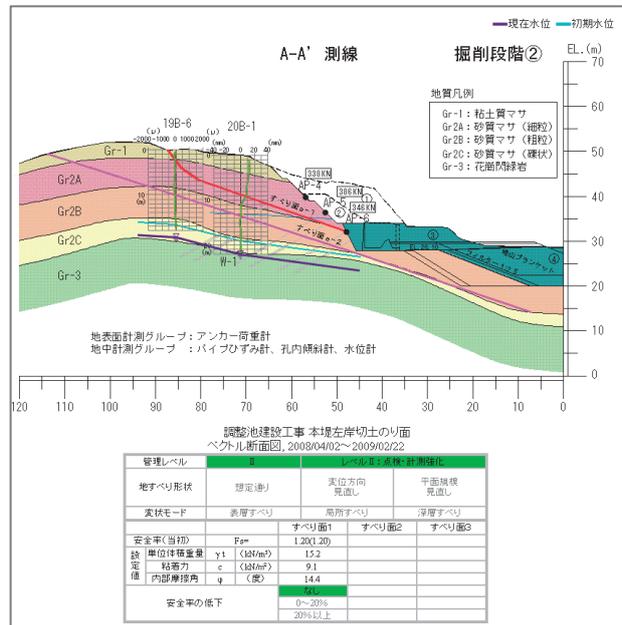


図-5 変位ベクトル断面図と地山安定性評価の表示

(3) 結果

本システムの開発により、斜面災害が懸念される建設工事において、Web 上で「計測データ」、「管理レベル」、「地山の安定性評価」、「現地状況」を平面図や断面図に表示される全体変位状況と合わせてリアルタイムで確認することが可能となることから、防災・減災に役立つものとする。現在、本システムは表-1 に示す明かり造成工事、トンネル建設工事などで適用している。

表-1 主な「ハモニス」の適用事例

工種	適用事例
明かり工事 (1 現場)	調整池切土変状斜面の安定性確認
トンネル (5 現場)	沢地形・低土被り部の計測管理
	坑口部の切土変状斜面の安定性確認
	坑口周辺部の切土崩壊斜面の安定性確認
	坑口部の低土被り部、鉄塔の計測管理
	坑口部の斜面とトンネル A 計測の計測管理

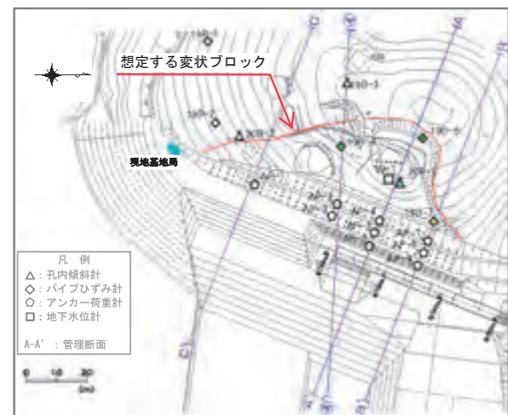


図-6 計測器配置図 (調整池工事例)

参考文献

電力土木：(株)間組 (現・(株)安藤・間) 山本浩之他 電力土木技術協議会、No. 346、pp74~78、2010. 3

備考

—

4.1.3 環境保全

【ダム・貯水池／環境保全】

技術名	スマートサイトシステム
番号	No. 4.1-19
発注者	中日本高速道路(株)
施設名	新東名高速道路
所在地	愛知県新城市垂本～下吉田
工事名称	新東名高速道路 鳳来トンネル工事
施工期間	2011年1月12日～2014年3月26日
施工者	清水建設(株)
キーワード	省エネ監視、創エネ監視、エネルギーの見える化、CO ₂ 削減

(1) 概要

1) 背景

スマートサイトシステムは、建設現場から発生するCO₂を最先端のICTにより総合的に削減・管理するシステムである。平成23年3月11日に発生した東日本大震災の影響に伴い電力不足が表面化した。そのため、現場での電力削減が急務となった。このような節電ニーズに対してもスマートサイトシステムは有効な技術であり、CO₂の削減自体が節電効果につながる。そこで、24時間稼動する風来トンネルに導入し節電効果を実証したものである。

2) 技術の概要

本技術は、図-1に示すように複数のシステム、技術により構成され、各現場の状況に応じて任意にそれらを採択して適用される。本技術により、いままで定性的、総量的な管理しか行われてこなかったものを「見える化」をキーワードにそれぞれの要素や効果、使用量を数値化することで定量的な管理を行うことができる。



図-1 スマートサイトシステムの構成

3) 施工概要

鳳来トンネルは、新東名高速道路の工事としては愛知県下で最長のトンネルである。トンネル北側約1.5kmにある中央構造線とほぼ平行しており、断層破碎帯等の地質不良区間が存在する難工事である（写真-1、表-1）。



写真-1 鳳来トンネル

表-1 鳳来トンネル工事概要

工事名称	新東名高速道路 鳳来トンネル工事
工事場所	愛知県新城市垂本～下吉田
発注者	中日本高速道路株式会社(NEXCO中日本)
契約工期	H20.10.9～H24.6.8(44ヶ月)
トンネル長	2,523.5m(上り線)
	2,464m(下り線)

(2) 技術詳細

1) 進化したスマートサイトシステム

スマートサイトシステムは、「省エネ監視システム」と「各種省エネ技術」で構成されていたが、鳳来トンネルでは「創エネ監視システム」を追加した。その結果、太陽光パネルで発電した電力を有効に活用でき昼間の電気使用量削減に貢献している。

2) 省エネ監視システム

スマートサイトシステムの最大の特徴は「見える化」である。「見える化」を実現するツールが省エネ監視システムである。省エネ監視システムは、現場内の個々の設備にセンサを取付け、無線センサネットワークを利用して電力量などのデータをリアルタイムに収集して一元管理を行っている。図-2にセンサの配置図、図-3に無線センサネットワークを示す。

「見える化」により例えば、切羽付近で使用する機械の消費電力量から施工サイクルが見えてきた。トンネル工事は、削孔・装薬、発破、ずり出し、吹付け、ロックボルト打設のサイクルで施工を進めている。電力使用量が極端に少なくなっている箇所が発破であるため、1日の作業サイクルがおおよそ把握できるメリットがある。システムにより、トンネル工事全体の電力使用量のうち、約50%が送風機で占められていることがわかった。このため、発破直後のずり出し、吹付け時は坑内に粉じんが舞い上がっているため、送風機をフル稼働し、それ以外の作業は送風機の稼働を削減した。図-4に切羽付近の電力使用量を、図-5、図-6に送風機の全体電力使用量（稼働前後）を示す。



図-2 センサの配置図

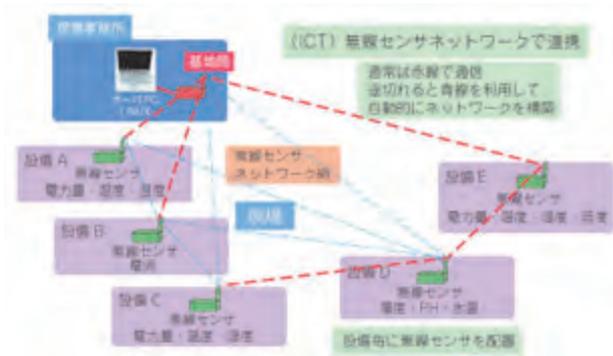


図-3 無線センサネットワーク

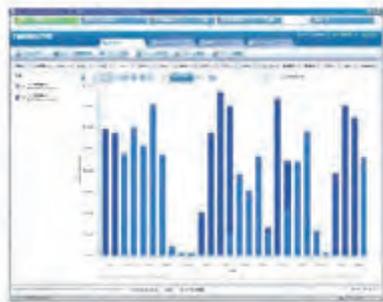


図-4 切羽付近の電力使用
グラフ

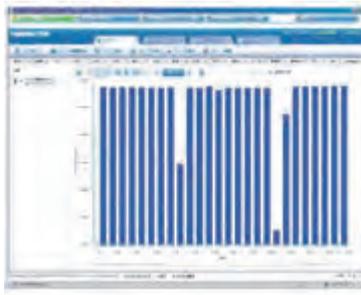


図-5 送風機の電力使用量
グラフ (対策前)



図-6 送風機の電力使用量
グラフ (対策後)

3) LED 照明の適用

トンネル工事は、昼夜を問わず作業をしており、坑内安全確保のため照明を24時間点灯している。このため、トンネルの掘進が進むにつれ、照明に必要な電力量は増加し、本工事においては、最大で全体使用量の約20%に達する。

そこで、照明の電力使用量を削減するために、坑内で使用している吊り下げ式水銀灯に変わるLED照明を開発した（写真-2、写真-3）。その結果、従来の水銀灯に比べ、約85%の消費電力削減を実現した。



写真-2 水銀灯とLED照明



写真-3 坑内のLED照明

4) ECO-DAS

ECO-DASは車両に運転状態を評価点で表示する車載モニタを搭載して、ドライバーが自ら運転状況を把握することで、エコドライブを実現する省エネ技術である（写真-4）。車載モニタに内蔵したGPSと加速度センサにより、急加速・急減速の頻度、速度超過や長時間のアイドリング状況を確認して標準的な運転に対するCO₂排出増減量の算定・表示を行う。また、車両運行管理システムを総合管理システムに通して、事務所や本社・支店などでリアルタイムに車両運行状況を確認できる。運行記録はサーバに蓄積され、作業終了後に運転手に対して省エネ運転に関する具体的な運転診断表を発行してエコドライブの教育をすることによりCO₂削減を実現できる。



写真-4 車載モニタ

5) 創エネ監視システム

現場敷地内に設置したスマートサイトオフィスの屋根に太陽光パネルを6セット配置して、発電を開始した。スマートサイトオフィス内には、2台のエアコンと換気扇、蛍光灯型のLED照明、発電量監視モニタ、計測機器（PC）を2台常設した（写真-5、6）。晴れた日の昼間であれば全ての電力をまかなうことができ、余剰電力は濁水ポンプ設備などに利用される。写真-7に発電状況モニタを示す。



写真-5 スマートサイト
オフィス（外観）



写真-6 スマートサイト
オフィス（内部）



写真-7 発電状況モニタ

6) 総合管理システム

総合管理システムは、省エネ監視システムや各種省エネ技術、創エネ監視システムを統合するシステムである。今回、鳳来トンネルでは、省エネ監視システム、ECO-DAS、上り線切羽

画像、下り線切羽画像を同時に表示できるようにした(図-7)。それにより、リアルタイムに作業内容と電力使用量が関連して、必要な情報がまとまって表示されるため、より精度の高い施工管理が可能となる。またweb形式となっているため、現場内のどこにいても、支店や本社、得意先においても内容を確認できるメリットがある。

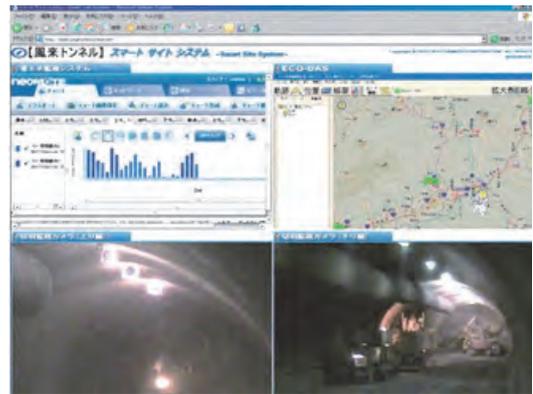


図-7 総合管理システム

(3) 結果

1) 現場の判定結果

トンネル工事の電力使用量の内訳は、坑内換気が50%、坑内照明が19%、濁水設備6%、その他が24%であることが、「見える化」によって判明した。そこで坑内換気については、作業内容に応じて送風機の運転を調整することで、平均85%運転を実現できた。坑内照明は、2番目に電力使用量が多い。そのため水銀灯からLED照明に変更することで85%の電力使用量の低減を実現した。事務所の空調管理やゴーヤの栽培による緑のカーテンなども節電に貢献している。その結果、平均消費電力が1300kWであったのが、

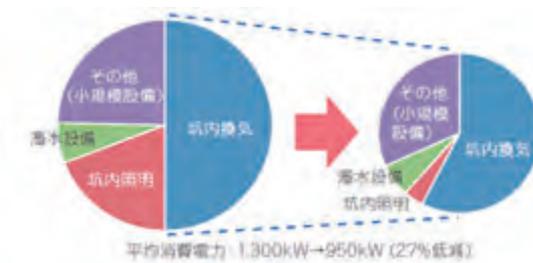


図-8 鳳来トンネル節電効果

個々の使用量を「見える化」することにより内訳が把握でき、電力使用量低減策を実施することで950kWに抑えることができ、全体の27%の電力量削減が達成できる見込みである(図-8)。

2) 今後の課題・展開

本技術は、施工中のCO₂削減の定量的な管理手法としてダム工事に初適用し、その後トンネル工事、造成工事等への展開を行っている。今後も他工種への適用を検討する中で不足する新しい技術にもチャレンジしていき、幅広い工種への適用を実現させ、建設現場でのCO₂削減・省エネ・節電を行う為のツールとして積極的に活用していく。本技術の導入によりリアルタイムでの電力消費量や現場内で行われている省エネ対策、CO₂削減対策の効果を把握できるようになり施工現場でのムダ、ムラの「見える化」が実現した。また、具体的な改善効果が見えることで作業員への意識付けが明確になり、環境負荷低減に対する作業所全体のモチベーションアップにつながってきている。今後はこれらの技術を広く展開・活用していき低炭素社会の実現に貢献していきたい。

<p>参考文献</p>	<p>新技術・新工法部門：No04 スマートサイトシステムの展開について、鈴木正憲、土木クォータリ Vol. 171 トピックス、P91～96 作業所の省エネ・節電を実現する「スマートサイトシステム」</p>
<p>備考</p>	<p>—</p>

記入者	夜間工事照明影響評価システム
番号	No. 4. 1-20
発注者	—
施設名	—
所在地	—
工事名称	—
施工期間	2011年1月12日～2014年3月26日
施工者	清水建設(株)
キーワード	最適夜間照明計画、誘虫量、生態系食物連鎖、摂取カロリー量
<p>(1) 概要</p> <p>1) 背景</p> <p>夜間工事照明が生態系に与える影響を定量的に評価 ～食物連鎖に着目し、照明の誘虫量から猛禽類への影響度を指標化～</p> <p>自然豊かな山間部で行われるダムやトンネル等の土木工事では、建設地周辺の自然環境や生態系の保全に配慮した施工が求められる。特に、建設地付近にクマタカ等の猛禽類の生息が確認された場合には、環境省の指針「猛禽類保護の進め方」に沿ってさまざまな対策を実施する。その一つが、夜間工事照明に集まる昆虫類を減少させるための対策である。蛾や甲虫類の昆虫類が照明に誘引され死滅することで、昆虫類を捕食するカエルやトカゲ等の餌資源が減少し、これらを捕食する鳥類や哺乳類、最終的には、食物連鎖の最上位生物である猛禽類にも影響を与えるものと考えられるものである。</p> <p>2) 設計概要（夜間工事照明影響評価システム）</p> <p>ダム工事等に用いる夜間工事照明が建設地周辺の生態系に与える影響を定量的にシミュレーションできる「夜間工事照明影響評価システム」を開発した。本システムは、生態系の食物連鎖に着目し、昆虫類が照明に誘引され死滅することで失われる餌資源のカロリー量から、食物連鎖の中位・上位生物に与える影響の程度を定量的に算出するツールである。本システムにより、生態系に配慮した上で、費用対効果上、最適な夜間照明計画の立案が可能となる。</p> <p>当社は以前から、現場で通常使用される水銀灯の代わりに、高価なものの誘虫性の低いナトリウム灯を夜間照明に採用する等、誘虫量の低減対策を実施してきた。しかし、その効果を定量的に把握することができなかったことから、当社のダム等の工事現場で、照明の種類別（水銀灯、ナトリウム灯、LED 灯）に誘虫量を実測し、公開されている誘虫に関する各種データ、照明種類別のコストデータと併せて、本システムのデータベースを構築した。</p>	

3) 施工概要

システムに入力するデータは、現場周辺 100m圏内の水田・森林・草地等の面積割合、水銀灯・ナトリウム灯・LED 灯といった照明の種類・光量とそれぞれの設置台数、使用期間等である。システムは、これらのデータを基に、夜間照明に誘引される昆虫類の種類と質量を推定する。その結果から、カエル等の中位生物が摂取できなくなる餌資源のカロリー量を算出。さらに、より上位の生物の餌資源がどの程度減少するかを順に推測をおこなう。最終的に、食物連鎖の頂点に位置する猛禽類 1羽が生存していくために最低限必要な摂取カロリー量を 1として、失われる猛禽類の餌資源を数値で表すとともに、対策コストも算出する。これにより、猛禽類への影響を抑えつつ、経済的な照明計画を立案する事が可能になる。

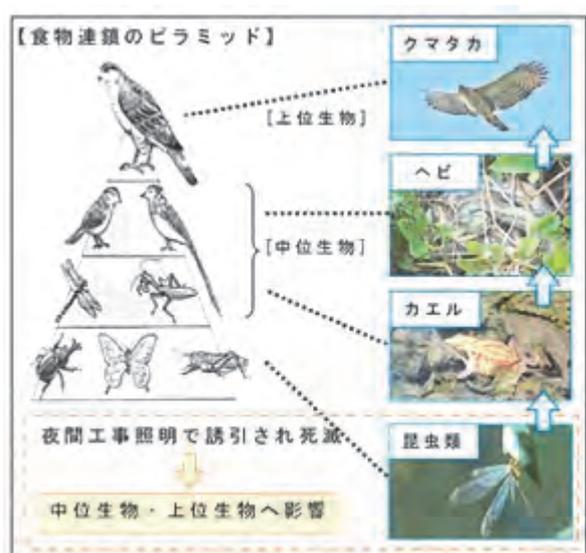


写真-1 ダム夜間照明の事例

図-1 食物連鎖と本システムの基本的な考え方

(2) 技術詳細

システムの評価フローとシミュレーション

- 1) 現場周辺の水田・森林・草地等の土地利用状況、水銀灯・ナトリウム灯・LED 灯といった照明の種類・光量とそれぞれの設置台数、使用期間等をシステムに入力する。
- 2) これらのデータを基に、夜間照明に誘引される昆虫類の種類と質量が推定される。
- 3) その結果から、カエル等の中位生物が摂取できなくなる餌資源のカロリー量を算出。さらに、より上位の生物の餌資源がどの程度減少するかを順に推定できる。

最終的に、食物連鎖の頂点に位置する猛禽類 1羽が生存していくために最低限必要な摂取カロリー量を 1として、失われる猛禽類の餌資源を数値で表わすとともに、対策コストも算出できる。これにより、猛禽類への影響を抑えつつ、経済的な照明計画を立案することが可能である。

(3) 結果

本システムによるシミュレーションの事例

<同一照度に設定した3ケースの比較シミュレーション結果>

A案：水銀灯 100%

B案：水銀灯 62%、ナトリウム灯 34%、LED 灯 4%

C案：ナトリウム灯 58%、LED 灯 42%

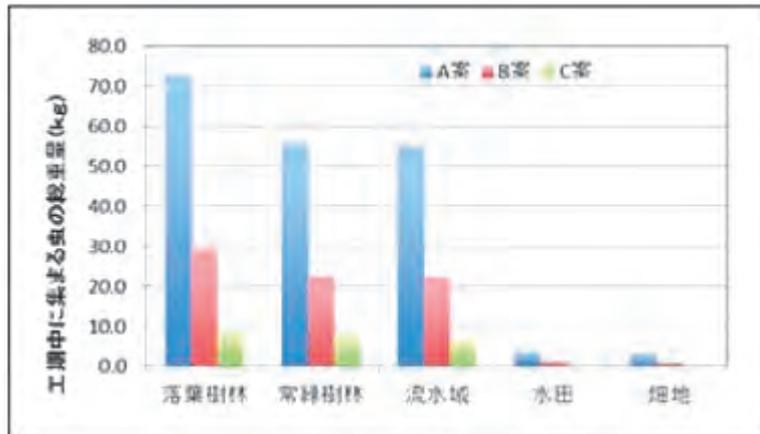


図-2 誘引される昆虫類の推定結果

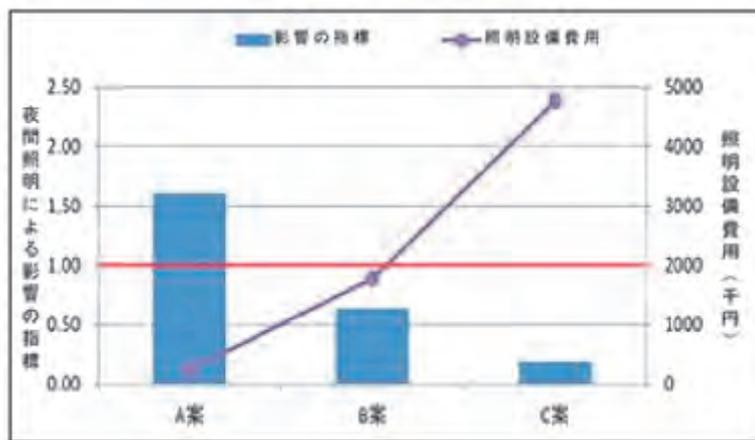


図-3 猛禽類に与える影響の程度と対策費用

参考文献	清水建設(株) ホームページ 技術ソリューション
備考	—

4.2 地下施設

地下施設建設にあたって活用できる技術 39 編について、地下空洞、山岳トンネル、シールドトンネルの 3 つに分類して調査シートに取りまとめた。

表 4.2 文献調査シート一覧 1/3 (地下施設)

No.	分類	技術名	工事名 (発注者)	キーワード
4.2-1	地下空洞	地下発電所における情報化施工	小丸川発電所新設工事(九州電力)	キーブロック解析、計測管理、岩盤挙動管理
4.2-2	地下空洞	デジタルカメラ測量を利用した計測システム	徳山(発)新設工事の内土木本工事第1工区工事(中部電力)	デジタル写真測量、走向傾斜、不連続面
4.2-3	地下空洞	3次元地質構造・施工状況可視化システム	京極発電所新設工事のうち土木本工事(第2工区)(北海道電力)	3次元レーザー計測、岩盤挙動、変状分析
4.2-4	地下空洞	3次元地質状況・施工状況可視化システム	徳山(発)新設工事の内土木本工事第1工区工事(中部電力)	キーブロック解析、3次元データベース、亀裂可視化
4.2-5	地下空洞	地下研究施設における世界最長級の立坑掘削での総合監視システム	瑞浪超深地層研究所研究坑道掘削工事(核燃料サイクル開発機構)	切羽観察、赤外線サーモグラフィ、通信監視、坑内環境管理
4.2-6	地下空洞	クラウド版4DモデルViewer	新岩松発電所新設工事のうち土木本工事(北海道電力)	4次元モデル、工程管理
4.2-7	山岳トンネル	無線式 TRT 探査システム	-	無線式システム、弾性波探査
4.2-8	山岳トンネル	トンネル前方探査システム	近畿自動車道紀勢線十九淵第一トンネル工事(国土交通省近畿地方整備局)	ロックボルト、直接波・反射波、受信センサ
4.2-9	山岳トンネル	切羽前方観察システム「Dri スコープ」	-	切羽観察、油圧ドリルジャンボ、工業用内視鏡、ステレオ撮影
4.2-10	山岳トンネル	高精度切羽前方探査システム「NT-EXPLORER」	-	切羽前方探査、電磁波探査、弾性波探査、穿孔探査
4.2-11	山岳トンネル	切羽前方コアサンプリングシステム	国道 49 号揚川改良新揚川トンネル工事(国土交通省北陸地方整備局)	切羽前方コア、油圧ドリルジャンボ、切羽前方探査
4.2-12	山岳トンネル	切羽ウォッチャー	一般国道 422 号三田坂バイパス道路改良(三田坂トンネル(仮称))工事(三重県)	3 方向レーザー変位計、切羽崩落予測
4.2-13	山岳トンネル	逆解析切羽前方予測システム	鍋谷峠道路鍋谷峠トンネル工事(国土交通省近畿地方整備局)	3次元計測、内空変位、3次元 FEM 解析
4.2-14	山岳トンネル	変位予測システム「4D-Super NATM」	-	4次元変位量予測、3D レーザスキャナ、3次元 FEM 解析
4.2-15	山岳トンネル	球面切羽計測システム	中部横断自動車道八之尻トンネル工事(中日本高速道路)	切羽形状計測、3D レーザスキャナ、相対位置情報
4.2-16	山岳トンネル	三次元形状計測システム「RaVi」	尾道松江自動車道下本谷トンネル工事(国土交通省中国地方整備局)	3次元レーザー計測、自動追尾トータルステーション、リアルタイム評価

表 4.2 文献調査シート一覧 2/3 (地下施設)

No.	分類	技術名	工事名 (発注者)	キーワード
4.2-17	山岳トンネル	自由断面掘削機の自動化システム	金田一トンネル(日本鉄道建設公団)	自由断面掘削機、自動掘削システム、自動測量システム
4.2-18	山岳トンネル	高速施工のために自由断面掘削機用「自動掘削制御システム」	北幹、峰山 T(西)他1, 他2(鉄道建設・運輸施設整備支援機構)	高速掘進、自由断面掘削機、自動測量システム、余掘り、高精度掘削
4.2-19	山岳トンネル	トンネル覆工巻き厚管理システム	和田山八鹿道路別所トンネル工事(国土交通省近畿地方整備局)	覆工コンクリート、3次元レーザー計測
4.2-20	山岳トンネル	コンラップ監視システム	平成 25 年度防災・安全交付金(道路)工事(長野県)	セントル、覆工コンクリート、ひび割れ防止、レーザー変位計
4.2-21	山岳トンネル	IC タグ車両運行管理システム	上信越自動車道さみずトンネル工事(東日本高速道路)	IC タグ、車両運行管理、無線LAN
4.2-22	山岳トンネル	建設機械接近警告システム	一般国道 400 号下塩原第二トンネル(仮称)本体建設工事(栃木県)	接近警報、安全管理、ネットワーク化、無線 LAN
4.2-23	山岳トンネル	無線 LAN 端末による職員位置の見える化 ICTを活用した施工管理の効率化	国道 115 号霊山道路七ツ窪トンネル工事(国土交通省東北地方整備局)	無線 LAN、IC タグ、車両運行管理
4.2-24	山岳トンネル	トンネル工事における換気設備風量自動調節システム	東九州道芳ノ元トンネル新設(二期)工事(国土交通省九州地方整備局)	坑内環境、見える化、換気制御
4.2-25	山岳トンネル	戸田式坑内環境最適化システム	平成 25 年度 防災・安全交付金(道路)工事(長野県)	坑内環境、自動計測、自動制御、一元管理
4.2-26	山岳トンネル	スマートサイトシステム	第二東名高速道路 鳳来トンネル工事(中日本高速道路)	省エネ、見える化、換気制御、創エネ
4.2-27	山岳トンネル	3Dレーザーキャナによる計測システム	山陰自動車道所原トンネル工事(西日本高速道路)	3次元レーザー計測、3次元モデル
4.2-28	山岳トンネル	地盤判別システム「ITS」	第二東名高速道路今里第一トンネル工事(中日本高速道路)	地盤判定、パーカッション式ポーリングマシン、地盤改良
4.2-29	山岳トンネル	山岳トンネル計測データ一元管理システム「Penta-NAISS」	北海道新幹線、阿弥陀高架橋他(鉄道建設・運輸施設整備支援機構)	切羽観察、変位置予測
4.2-30	山岳トンネル	トンネル施工情報管理システム	県道山口宇部線道路改良(小郡トンネル)工事(山口県)	レーザーマーキング、画像処理、3次元表示
4.2-31	山岳トンネル	TLAN-spot	丹波綾部道路瑞穂トンネル水呑地区工事(日本下水道事業団)	無線 LAN、ネットワーク化
4.2-32	山岳トンネル	衝突防止支援システム	国道 115 号玉野トンネル工事(国土交通省東北地方整備局)	車両運行管理システム、衝突防止支援装置、画像解析
4.2-33	山岳トンネル	TBM(DTBM 型)	-	TBM
4.2-34	シールドトンネル	切羽探知レーダーシステム	-	切羽前方探査、電磁波レーダー、障害物探査
4.2-35	シールドトンネル	シールド情報統合管理システム	琵琶湖流域下水道東北部長浜第二幹線松原磯工区管渠工事(滋賀県)	セグメント情報管理、路面変状管理、資材管理、受入検査管理、写真管理
4.2-36	シールドトンネル	シールド自動方向制御、セグメント自動組立、セグメント自動搬送	大津放水路トンネル第一工区建設工事(国土交通省近畿地方整備局)	真円度測定、テールクリアランス自動測定、スペクトル拡散無線、自動追尾トランシット

表 4.2 文献調査シート一覧 3/3 (地下施設)

No.	分類	技術名	工事名 (発注者)	キーワード
4.2-37	シールドトンネル	セグメント組立同時掘進「F-NAVI」システム	新根岸幹線シールド工事(東京ガス)	同時掘進、姿勢制御、首振り、自動追従型エレクター
4.2-38	シールドトンネル	IC タグによる維持管理トレーサビリティ	大阪北共同溝交野寝屋川地区工事(国土交通省近畿地方整備局)	IC タグ、維持管理、トレーサビリティ
4.2-39	シールドトンネル	IC タグによるバッテリーロコ運行管理システム	江戸川～古ヶ崎線(仮称)φ1,200mm 配水本管布設工事(その2)(千葉県水道局)	ICタグ、バッテリーロコ、入坑管理システム

工程管理、施工打合せ、情報共有



【ネットワーク】

- ・通信・監視システム (PHS、IP電話、Webカメラ)
- ・CIMモデルビューワ
- ・計測データ監視、評価
- ・入坑管理システム
- ・坑内環境のリアルタイムモニタリング

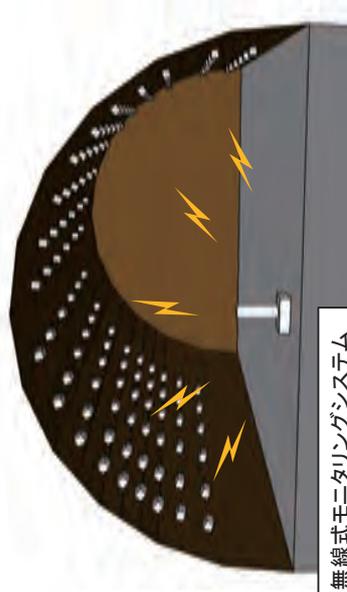


データ収集・蓄積

4.2-5 地下研究施設における世界最長線の立坑掘削での総合監視システム p191

4.2-6 クラウド版4DモデルViewer p195

アンカー、ロックボルトのモニタリング



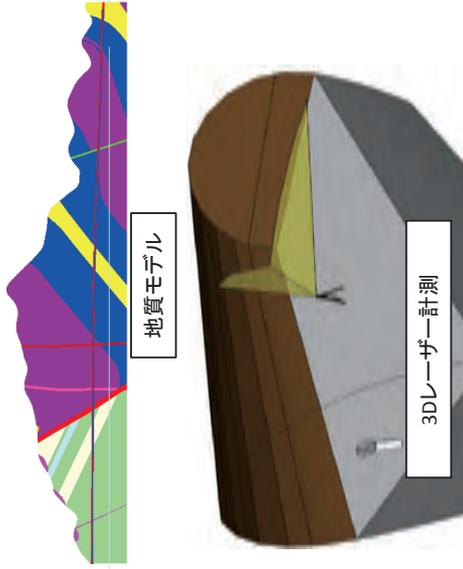
無線式モニタリングシステム

【盤下】

- ・湧水量測定
- ・壁面観察 (可視画像、熱画像、地質観察)
- ・地質モデル解析

4.2-3 3次元地質構造・施工状況可視化システム p183

地質構造、支保構造の可視化



【アーチ】

- ・変状計測、予想
- ・キーブロック解析
- ・切羽観察 (可視画像、熱画像、地質観察)
- ・地質モデル解析
- ・3Dレーザースキャナ計測

4.2-1 地下発電所における情報化施工 p177

4.2-2 デジタルカメラ測量を利用した計測システム p180

4.2-3 3次元地質構造・施工状況可視化システム p183

4.2-4 3次元地質状況・施工状況可視化システム p187

4.2-5 地下研究施設における世界最長線の立坑掘削での総合監視システム p191

掘削時の観察・計測結果、施工情報の一元管理

- 4.2-21 ICタグ車両運行管理システム p252
- 4.2-26 スマートサイトシステム p269
- 4.2-29 山岳トンネル計測データ一元管理システム「Penta-NAISS」 p280
- 4.2-30 トンネル施工情報管理システム p282
- 4.2-31 TLAN-spot p285
- 4.2-32 衝突防止支援システム p288

【ネットワーク】

- ・施工情報一元管理
- ・切羽観察圖書作成
- ・坑内環境のリアルタイムモニタリング
- ・車両運行管理

工事事務所等

【坑内全般】

- ・コンクリート巻厚管理
- ・車両衝突防止
- ・Webカメラ
- ・セントラル監視
- ・三次元形状計測(移動型)
- ・計測結果の現地即時評価

【坑口・坑外】

- ・コントラファン自動制御
- ・ICタグ 入坑管理

4.2-24 トンネル工事における換気設備風量自動調節システム p262

4.2-25 戸田式坑内環境最適化システム p264

4.2-26 スマートサイトシステム p269

4.2-27 3Dレーザースキャナによる計測システム p273

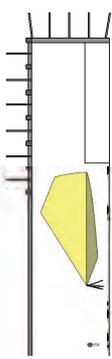
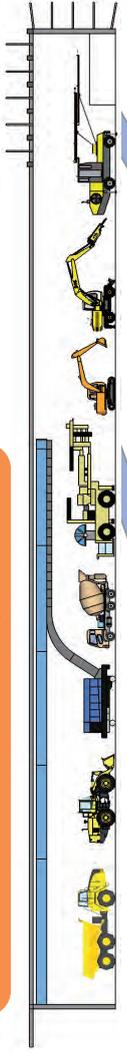
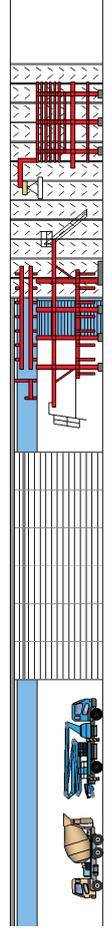
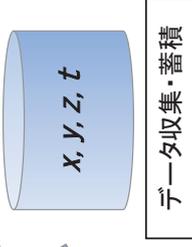
4.2-28 地盤判別システム「ITS」 p276

車両運行管理・入坑管理

セントラル監視

坑内設備の自動制御

前方探査



アジター車の運行状況把握

- 4.2-19 トンネル覆工巻き厚管理システム p245
- 4.2-20 コントラップ監視システム p249
- 4.2-21 ICタグ車両運行管理システム p252
- 4.2-22 建設機械接近警報システム p256
- 4.2-23 無線LAN端末による職員位置の見える化、ICTを活用した施工管理の効率化 p258

【切羽付近】

- ・前方探査 (掘削作業用重機を利用)
- ・変状予想
- ・3Dレーザースキャナ計測
- ・自動掘削制御/自動測量

3Dスキャナ計測

- 4.2-7 無線式TRT探査システム p199
- 4.2-8 トンネル前方探査システム p203
- 4.2-9 切羽前方観察システム「DRISコープ」 p205
- 4.2-10 高精度切羽前方探査システム「NT-EXPLORER」 p208
- 4.2-11 切羽前方コアサンプリングシステム p218
- 4.2-12 切羽ウォッチャー p221
- 4.2-13 逆解析切羽前方予測システム p223
- 4.2-14 変位予測システム「4D-Super NATM」 p227
- 4.2-15 球面切羽計測システム p231
- 4.2-16 三次元形状計測システム「ReVi」 p235
- 4.2-17 自由断面掘削機の自動化システム p239
- 4.2-18 高速施工のために自由断面掘削機用「自動掘削制御システム」 p241

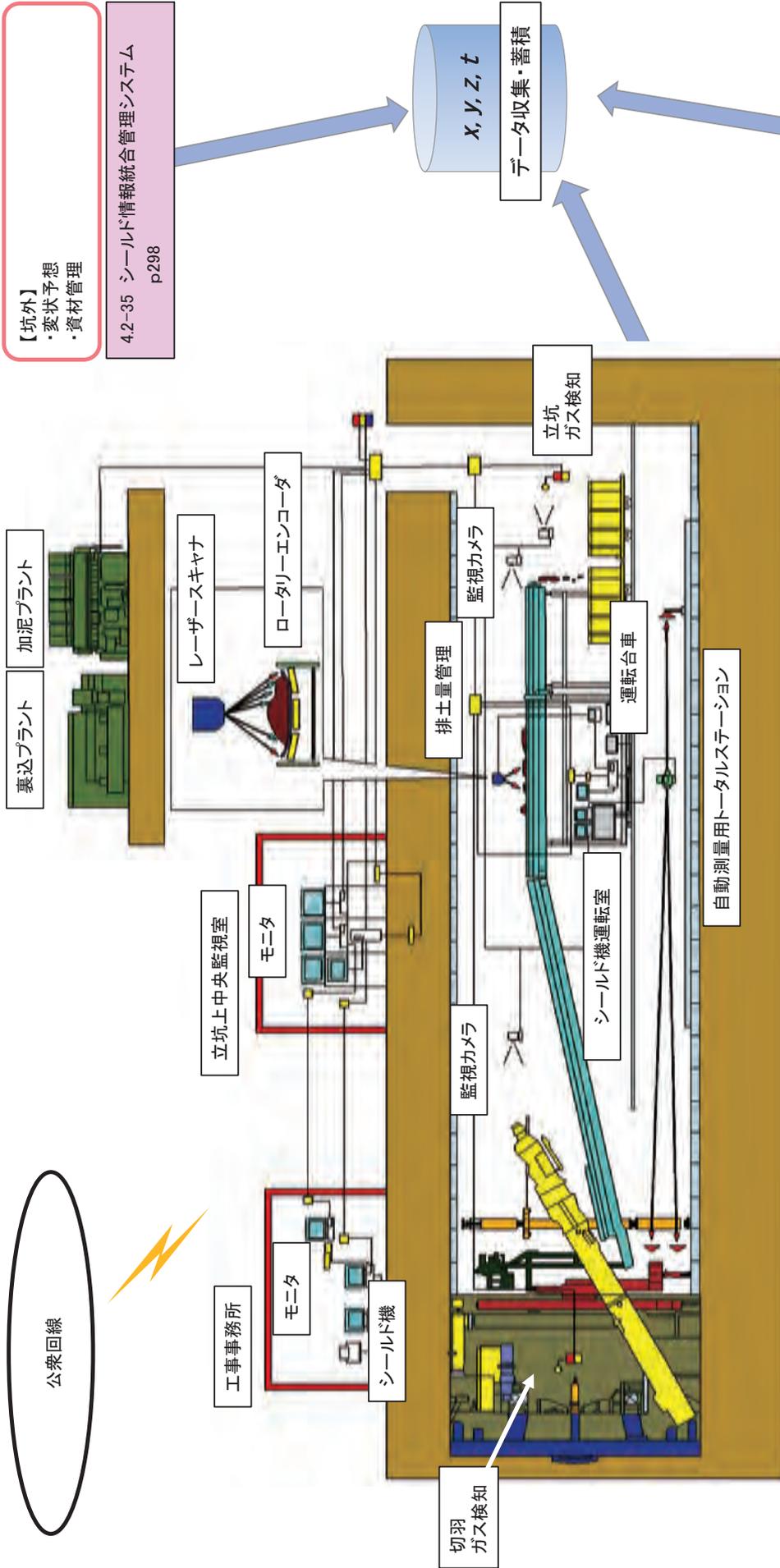
遠隔メンテナンス

公衆回線

解析・資材管理(坑外)

【坑外】
・変状予想
・資材管理

4.2-35 シールド情報統合管理システム
p298



シールド機・掘削状況管理

【マシン付近】
・地山崩壊探査
・マシンデータモニタリング監視
・自動掘削制御
・セグメント自動搬送/組立
・セグメント組立同時掘進

4.2-34 切羽探知レーザーシステム p295
4.2-35 シールド情報統合管理システム p298
4.2-36 シールド自動方向制御、セグメント自動組立、セグメント自動搬送 p304
4.2-37 セグメント組立同時掘進「F-NAVI」システム p308

通信・資材管理(坑内)

【坑内全般】
・ICタグセグメント管理
・無線LAN通信(データ通信)

4.2-35 シールド情報統合管理システム p298
4.2-38 ICタグによる維持管理トレーサビリティ p312
4.2-39 ICタグによるバッテリーロコ運行管理システム p316

4.2.1 地下空洞

【地下施設／地下空洞】

技術名	地下発電所における情報化施工
番号	No. 4.2-01
発注者	九州電力(株)
施設名	小丸川発電所
所在地	宮崎県
工事名称	小丸川発電所建設工事
施工期間	1998年10月～2011年7月
施工者	間組・熊谷組・飛鳥建設・鉄建建設共同企業体
キーワード	キーブロック解析, 計測管理, 岩盤挙動

(1) 概要

本体空洞掘削時の岩盤挙動管理には、施工の途上において地山の挙動を観察・計測し、その結果を分析して設計・施工に反映させる必要があり、情報化施工管理の手法を採用した。

(2) 技術詳細

1) 埋設計測器による計測管理

① 埋設計測器の配置

埋設計測器による計測管理では、空洞全体の岩盤挙動を把握するために、図-1に示すように空洞長軸方向にほぼ均等に計測断面を設け、断面ごとに地中変位計、アンカー荷重計およびロックボルト軸力計を設置し計測を行った。なお、掘削高さとの掘削断面積が最大となるため、変形が大きくなると予想したA、B断面、および断面形状が異なるC断面の3断面を主断面とし、計測器を密に配置した。代表してA断面の計測器配置図を図-2に示す。

② 計測管理システム

これらの全埋設計測器から得られる情報に対し、現地にて昼夜間連続して人力でデータ処理を行うことは困難である。そこで、1時間ごとに自動的にデータ収集・処理を行う現場計測室を設置し、現場計測室から約2km離れた坑外の請負者工事事務所、および

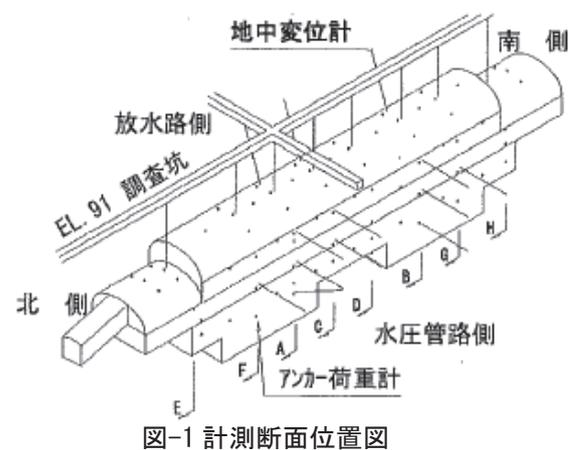


図-1 計測断面位置図

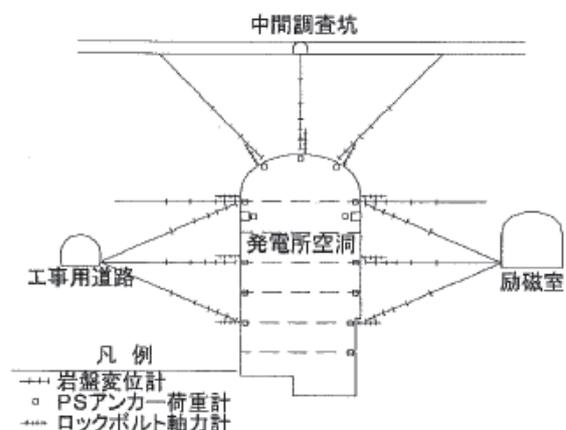


図-2 計測器設置断面図

請負者事務所から更に約 5km の場所に位置する当社の発電所建設所の 3 か所を工事用光ケーブルで連結して、データをリアルタイムで共有する計測管理システムを構築した。

図-3 に計測管理システム構成図を示すが、このシステムはデータ処理を自動で行うとともに、すべての計測値がデータベースとしてサーバー内に保存されているので、必要に応じて自由にデータを取り出すことができる。また、経時変化図や相関図

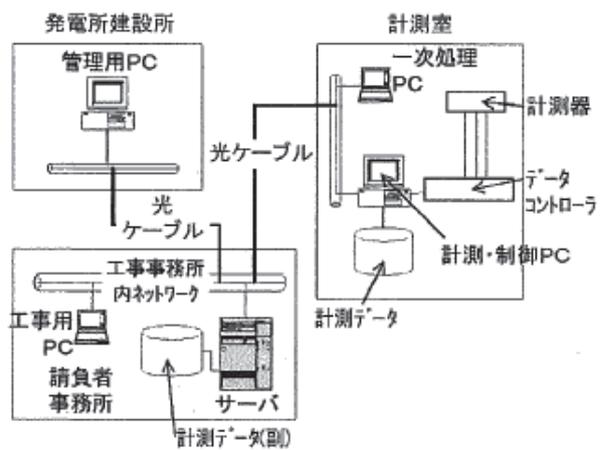


図-3 計測管理システム構成図

などの図化処理メニューを標準で備えており、データ抽出時刻や計測器名を選択することで必要な資料を自動で作成できる仕様となっている。以上の機能は上記各事務所でも常時操作できるため、掘削中の変状発生時などには、当社・請負者が一体となって迅速かつ適切に分析・評価を行い、対策工実施に反映させることができた。

2) 地質観察

地質観察では、切羽岩盤の性状、亀裂や湧水の有無を観察するとともに、連続性や走向・傾斜などの亀裂情報については、特に入念に観察・記録を行い、キープロック解析の入力条件や、特徴的な岩盤挙動の原因を追跡する材料とした。

3) 予想解析

予想解析手法は、計測された挙動を再現するようにパラメータをセットし、その時点以降の挙動を新たに予測した。なお、計測管理の途上において、岩盤の挙動に影響を与えていると判断した亀裂については、解析モデルの修正・改良を逐次実施し、予想精度の向上に努めた。

4) 管理基準

岩盤挙動管理は、原則として傾向管理と絶対値管理を併用している。

傾向管理は、変位速度など単位時間あたりの変位量で表現される経時変化率に管理レベルを設け、あらかじめ決められた管理方針に従い対処するものである。

絶対値管理は、累計の変化量に管理レベルを設けて管理するものであり、傾向管理と同様にあらかじめ決められた管理方針に従うものである。

また、これらの管理は対象となる期間に応じて、恒常的に継続して管理する日常管理と、掘削ステップごとの単位で管理するステップ管理に分けて設定している。

(3) 結果

本体空洞掘削工事の施工管理に本格的な情報化施工管理を採用し、発注者と請負者が一体となった施工管理を工事期間中継続して実施した。その結果、掘削期間中切羽を停止することなく、適切な追加補強を行って順調に掘削を完了することができた。

しかしながら、今回の情報化施工管理の運用にあたっては、変位計測結果および地質観察結果に大きく依存したところがあるため、今後は地質の状況に応じて、計測断面や埋設計測器を適宜追加設定することで、より効率的な岩盤補強を行うことができると考える。

参 考 文 献	日本トンネル技術協議会 トンネルと地下：九州電力(株) 柏木雄二他、 Vol. 37 No. 4、pp31-37、2006. 4
備 考	—

【地下施設／地下空洞】

技 術 名	デジタルカメラ測量を利用した計測システム
番 号	No. 4. 2-02
発 注 者	中部電力(株)
施 設 名	徳山水力発電所
所 在 地	岐阜県揖斐郡揖斐川町
工 事 名 称	徳山(発)新設工事の内土木本工事第1工区工事
施 工 期 間	2009年8月～2015年6月
施 工 者	熊谷組・大成建設・シーテック・西濃建設共同企業体
キーワード	デジタル写真測量, 走向傾斜, 不連続面
<p>(1) 概 要</p> <p>硬岩地山における地下空洞掘削では、その安定性を確保する上で、岩盤中の割れ目や断層などの不連続面の連続性や性状、走向・傾斜等の地質情報を適確に捉えることが重要であることから、施工中に実施するデジタル3次元写真測量を用いた不連続面の走向・傾斜の計測方法を考案した。</p> <p>(2) 技術詳細</p> <p>計測の迅速性や現場での作業の容易性に優れるデジタルカメラ写真測量を採用した。デジカメ計測では、遠隔での計測となることから安全性の向上やこれまで計測が困難であったトンネル天端付近での計測が容易になることが期待される。また、ある程度自動的に大量の走向・傾斜を取得することが可能となることから、観察者ごとの誤差や恣意性の低減ができる可能性がある。さらに、トンネル坑内での鋼材や電気の影響による方位磁石の誤差が生じない。</p> <p>計測にあたっては、頂設導坑切羽をデジタルカメラでステレオ撮影し（SONY 製：NEX-5、有効画素数約1420万画素、レンズ焦点距離16mm）、市販のソフト（倉敷紡績製：Kuraves-MD）を用いて切羽面の3次元形状を取得した。なお、Kuraves-MDの精度は、ソフト作成会社の社内性能試験では、200万画素のデジタルカメラを用い、撮影距離3mで高さ4.8m×幅1.9m×奥行き2.2mの対象物に標的を設置して計測した結果、トータルステーションの計測と比較した場合の平均誤差が0.02～0.03%であった。</p> <p>一般に写真測量では、複数の既知点を写真に撮し込むことにより、測量座標計の中での対象物の3次元的位置を定めることができる。ただし、トンネル施工のサイクルの中で、切羽近傍に複数の既知点を設けることは非常に困難である。今回は鉛直方向を示す標尺を写真に撮し込む方法を採用した。この撮影方法では、鉛直軸方向は定まるものの、得られたデータの水平方向の方角が定まらない。そこで、データ取得時には水平方向の方角は定めず、データ解析時にデジカメ計測で得られたトンネルの形状をソフトウェア上で水平方向に回転させ、設計上のトンネル線形と得られた形状とを合わせて水平方向の方角を決定した（図-1）。よって、本方法の切羽ステレオ撮影方法は、以下の手順となった。</p>	

- ① 標尺の設置（水準器を用いて鉛直に設置）
- ② デジタルカメラを三脚に据えて、切羽より約 10m の位置に設置
- ③ 切羽撮影（マニュアルフォーカス、シャッター速度・絞りオート、フラッシュ無し）
- ④ 2m 程度離れた位置から同条件で再度撮影

このように、通常の切羽撮影と比較しても①、④の作業が追加された程度であり、通常の切羽撮影が 2～3 分程度であるのに対して、本方法での撮影は 3～5 分程度であった。通常撮影よりも多少長くなるが、本方法は十分に施工サイクル内に組み込めるものと考えられる。

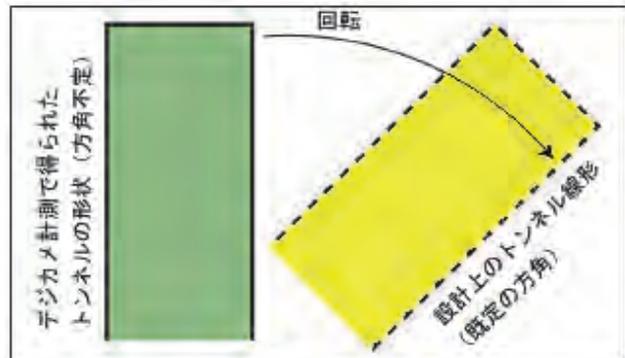


図-1 水平方向方角の決定方法の模式図(水平断面)

(3) 結果

1) デジカメ計測とクリノメーターによる走向・傾斜の計測結果との比較

走向・傾斜の計測は、本研究用に開発したソフトウェアを用いて走向・傾斜の卓越方向を抽出した。本ソフトウェアは、TIN モデルの各三角形に対して走向・傾斜を算出し、任意の範囲（不連続面）に対してシュミットネット解析を行うものである。基本的には、極大値をその範囲の走向・傾斜と判断する。

本方法は、シュミットネットを採用して不連続面を平均化していることから、より実際の計測に近いと考えられる。また、不連続面の範囲として捉えることから、測定者による誤差が少ない。

写真-1 は、デジカメ計測対象の頂設導坑の切羽写真であり、切羽中央部に比較的平滑な面構造を形成する不連続面が認められる。その走向・傾斜をクリノメーターで計測すると、N76W65S であった。一方、写真-1 に示されている太枠内の面構造を形成する範囲における TIN の走向・傾斜をシュミットネットに投影したものであり、その極大値は N77W59S であった。

両者の走向・傾斜の値を比較すると、走向で 1° 、傾斜で 6° の差であった。この他の切羽において計測した不連続面（割れ目）においても概ね 10° 以内の差であったことから、デジカメ計測は十分な計測精度を有していると考えられる。

2) 地質調査に基づいた不連続面の卓越方向とデジカメ計測での切羽を構成する面の卓越方向との対比

本工事では、頂設導坑の底部において岩盤清掃を行い（写真-2）、岩盤面のスケッチを作製している。スケッチに記載された不連続

写真-1 計測対象の不連続面



面等の走向・傾斜から卓越する方向性をシュミットネットにより評価し、周辺の調査結果も含めて検討した結果、主機室周辺では、4系統の割れ目系が確認された（表-2）。

地質調査に基づいた不連続面の卓越方向との対比では、切羽と直交する方向以外については、対応関係が確認できた。比較的情報が乏しい切羽に直交する方向に関しては、そのデータが必ずしも切羽の状況を反映しているとは限らないため、データの取扱には留意する必要がある。

3) 今後の展望と課題

デジカメ計測は、クリノメーターによる走向・傾斜の計測と同等の精度を有しており、切羽観察の補助的なツールとして利用することが可能と考えられる。具体的には、これまで計測が困難であった天端付近の不連続面の計測を行ったり、地質技術者が観察していない切羽において、後から写真を用いて走向・傾斜を計測したりできる。

また、切羽を構成する面（TIN）の卓越方向を求めたところ、地質調査により判明した卓越方向と整合性があることが確認された。デジカメ計測を用いた場合、より多点数の走向・傾斜が恣意性を抑制して計測されることから、統計的な処理を行う上で、より高精度な結果が得られることが期待される。

このように、地山の地質状況をより高精度に把握することができれば、本工事のような大規模地下空洞施工の安全性の向上に寄与できるものと考えられる。

一方、課題としては、デジカメ計測で捉えた面のうち、多数の面をなす切羽と平行方向の面が強調される傾向にあるために、相対的に切羽に直交する面の極大値が表れにくい状況が挙げられる。今後は、切羽面の方向に左右されず、地質的に（または空洞安定性を考慮する上で）有意な面をさらに精度よく抽出する工夫が必要であると考えられる。

また、更なる改良を行い、施工サイクルで撮影する切羽写真と同等の労力でデジカメ計測用の写真を撮影できるようになることで、本方法が普及することを期待したい。



写真-2 頂設導坑底部岩盤清掃状況

表-2 頂設導坑の切羽ごとの走向・傾斜の極大値

切羽No.	TD	極大値	系列
1	3.3	N76W78S	1
2	5.2	N74W74S	1
3	7.1	N66W81N	4
4	8.5	N42W61W	4
5	10.0	N25W62W	2
6	12.0	N22W79W	2
7	14.5	N74W81N	1
8	16.2	N25W80W	2
9	18.4	N61W62S	4
10	19.5	N77W79S	1
11	21.6	N62W62S	4
12	23.5	N62W62S	4
13	25.6	N41W62W	4
14	27.5	N58W62S	4
15	29.9	N72W81N	1
16	32.1	N65W62S	4
17	34.0	N78W77S	1
18	35.8	N29W71W	2
20	40.1	N29W62W	2
21	41.5	N76W79S	1
22	42.5	N41W62W	4
23	45.2	N62W61S	4
24	47.5	N22W86N	2
25	49.5	N75W88S	1
27	52.9	N24W51W	2
28	55.5	N42W61W	4
29	57.5	N29W61W	2
30	58.6	N61W60S	4

参考文献	岩の力学連合会 第13回岩の力学国内シンポジウム論文集：(株)熊谷組 石濱茂崇他、2012.2
備考	—

技術名	3次元地質構造・施工状況可視化システム
番号	No. 4. 2-03
発注者	北海道電力(株)
施設名	京極発電所
所在地	北海道虻田郡京極町京極地内
工事名称	京極発電所新設工事のうち土木本工事（第2工区）
施工期間	2003年6月23日～2013年11月20日
施工者	大成建設・佐藤工業・三井住友建設・北電興業共同企業体
キーワード	3次元レーザー計測、岩盤挙動、変状分析

(1) 概要

土被り約 430m、最大断面積 1,000 m²の大深度・大空洞地下発電所本体と網目状の各種トンネルの掘削工事であるため、施工状況及び地質状況の可視化が可能となる情報化施工の手法を導入したものである。

本技術は①3次元地質構造・施工状況可視化システム、②無線式モニタリングシステム、③3次元レーザースキャナを利用した空洞変状分析システムからなる。図-1 に発電所の全体図を示す。

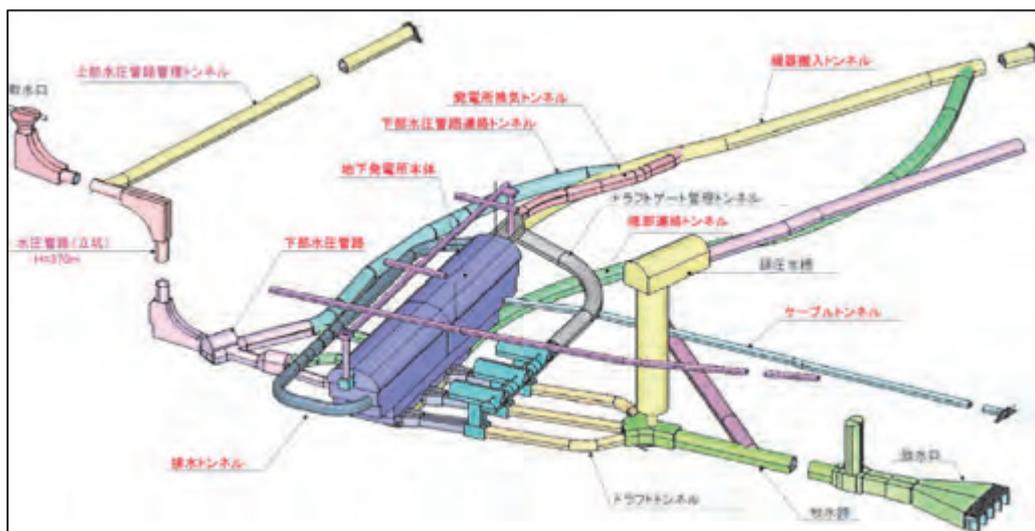


図-1 京極発電所鳥瞰図

(2) 技術詳細

1) 3次元地質構造・施工状況可視化システム

地質構造や支保構造を含む掘削進捗状況などを3次元CGで可視化し、日々更新することが可能である。本システムを用いることにより、掘削進捗に合わせた計測結果の分析・評価など、岩盤挙動の理解を促すことが可能となり、工事関係者で地質構造について明確な共通認識を確立すること及び合理的な対策方法などの立案を効果的に行うものである(図-2)。

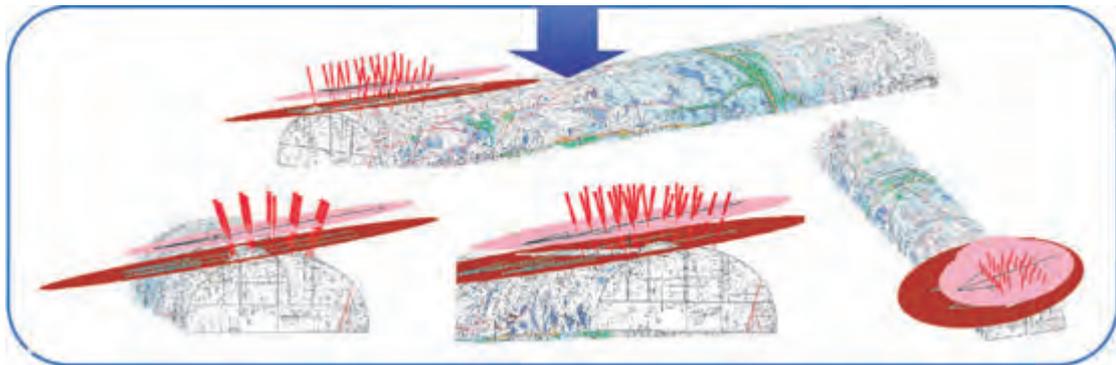


図-2 変状原因の割れ目に対する対策工立案の例

2) 無線式モニタリングシステム

情報化施工においては切羽近傍で計測を行うことが重要であるが、そのためには多くの測定点から出るケーブルを掘削進捗に合わせて合理的に配線することが必要である。また、発破工法を採用している場合には、計測配線に発破防護を施す必要があるなど多くの課題を伴う。

アンカーやロックボルトの計測に本システムを適用し、通信線に関するトラブルを回避した。また、従来の無線センサと比較して、電波の周波数領域を低く設定することで、障害物に対する回り込み性能を高くし、計測データの坑内無線転送を実現したものである。

図-3 にシステム概要図、図-4 に小型無線計測ユニット構成図、写真-1 には発破防護装置の装着状況を示す。

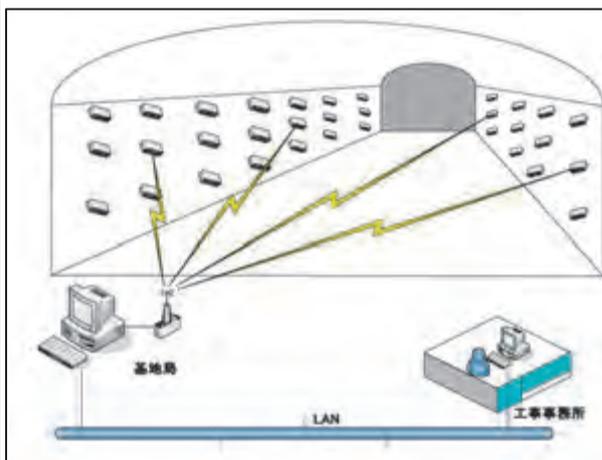


図-3 システム概要図

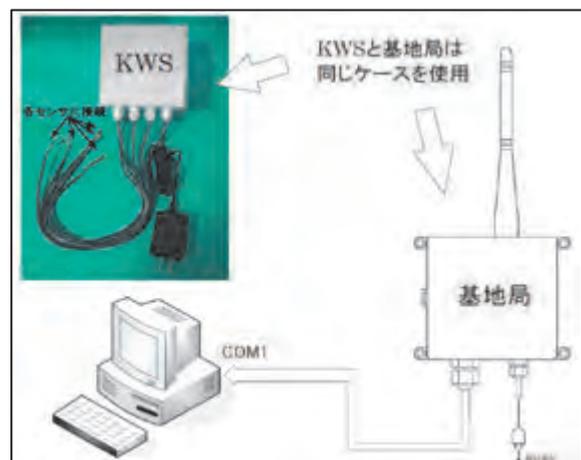


図-4 小型無線計測ユニット構成図



写真-1 発破防護装着状況

3) 3次元レーザースキャナを利用した空洞変状分析システム

トンネルや大規模地下空洞の変状は地質構造に起因するため、変状はその要因に応じて面的な範囲を持って生じる。したがって、変状が認められた場合には対策工の範囲を特定するために変状が生じている範囲を把握する必要がある。しかし、従来の計測手法で計測断面を密に設ける場合は管理が極めて煩雑であった。

本システムを利用して定期的に空洞変状を計測することで、空洞壁面の変位量や変形モードを連側的に確認可能としたものである。

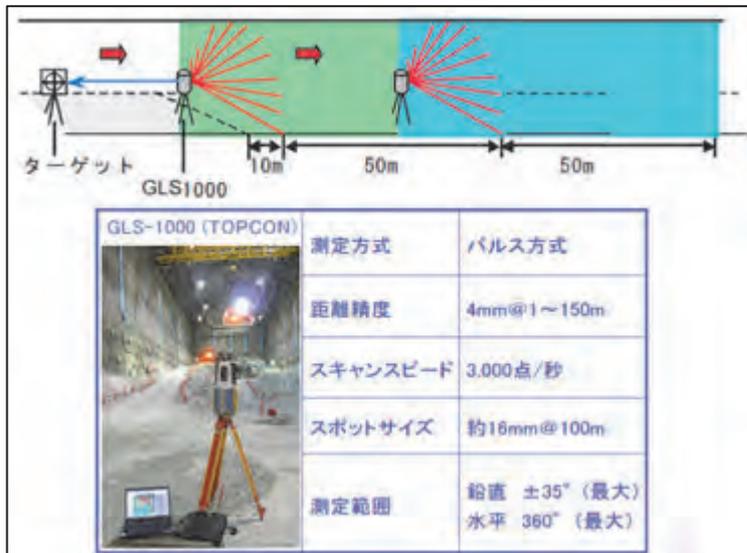


図-5 測定方法の概要

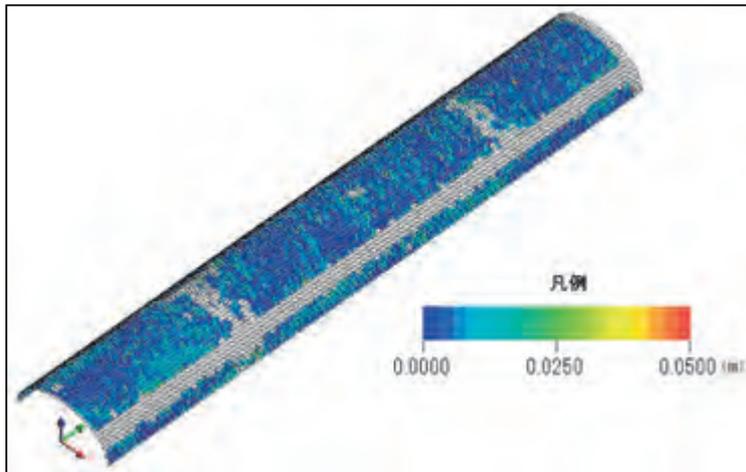


図-6 変状分析結果

(3) 結果

- ① 不連続面位置を含む空洞背面の地質情報を3次元表示することで、的確な地質情報の把握が可能となった。
- ② 地質情報や計測状況の変化に応じて事後解析による周辺地盤挙動の再現を図り、地下空洞の安定性や支保設計の妥当性を適切に評価したことで、最小限のPSアンカー数量で施工できた。
- ③ 地質観察結果、計測結果を有効に活用し、適切に設計へ反映することで切羽を停止することなく当初工程と比較して3ヶ月の工期短縮を実現した。
- ④ 地質条件に応じて、適切な支保構造とすることにより、過去の事例を基に設計された原設計と比較して工費を縮減できた。

参考文献	平成24年度 岩の力学連合会賞 シンポジウム資料
備考	受賞歴：平成24年度 岩の力学連合会賞 技術賞

技 術 名	3次元地質状況・施工状況可視化システム
番 号	No. 4. 2-04
発 注 者	中部電力(株)
施 設 名	徳山水力発電所
所 在 地	岐阜県揖斐郡揖斐川町
工 事 名 称	徳山(発)新設工事の内土木本工事第1工区工事
施 工 期 間	2009年8月～2015年6月
施 工 者	熊谷組・大成建設・シーテック・西濃建設共同企業体
キーワード	キーブロック解析、3次元データベース、亀裂可視化

(1) 概 要

土被り約50mの深度に最大断面積900㎡の地下空洞を掘削する工事である(図-1、図-2)。当該工事では調査時の地質データと施工時の地質・計測データから計算される空洞解析による挙動の比較検討を行い、その結果を次ステップ以降の設計・施工に反映させる情報化施工を実施したものである。

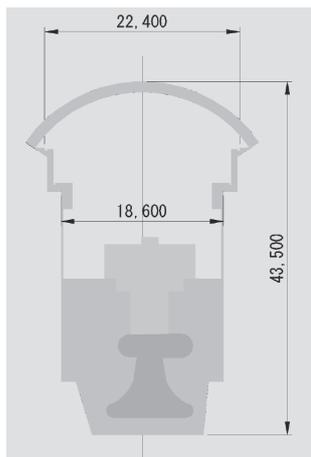


図-1 1号主機室横断面

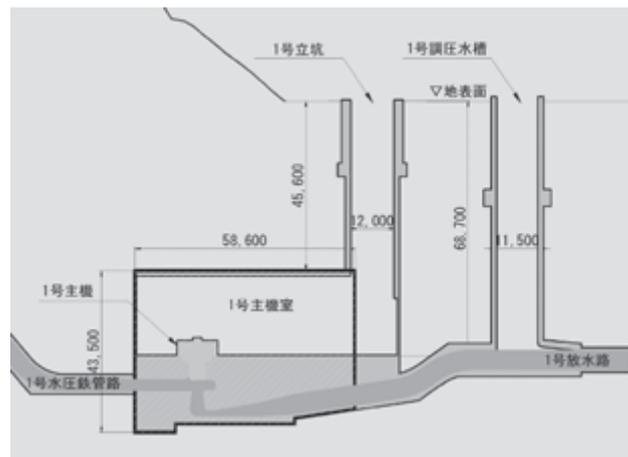


図-2 1号主機室縦断面

掘削の施工管理は、日々の計測器等の情報から既設支保の健全性や対策工の要否を確認する日常管理と、掘削ステップ毎に解析値と比較し掘削完了までの地下空洞の安定性や支保設計の妥当性を評価・検討するステップ管理を組み合わせる(図-3)。

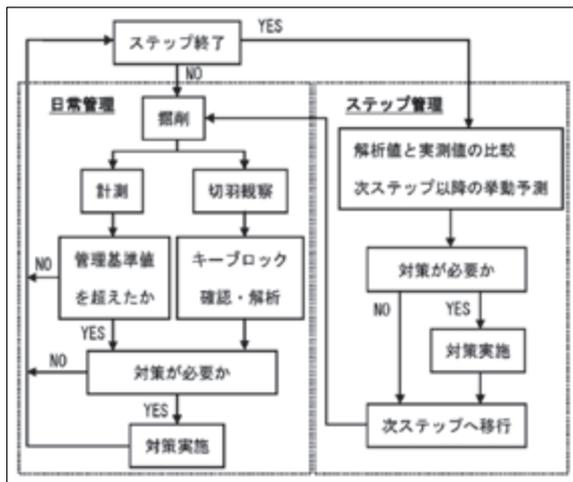


図-3 情報化施工フロー

(2) 技術詳細

1) システムの構成

計測データは、迅速に確認し分析・評価するため、毎正時で計測データの自動収集を行い、システムサーバに伝送することで、工事関係者が情報を共有できる。地質情報に関しては、支援システムを用いて3次元にデータベース化し、計測結果の分析・評価、キープロックの検出等に役立てることができる（図-4）。

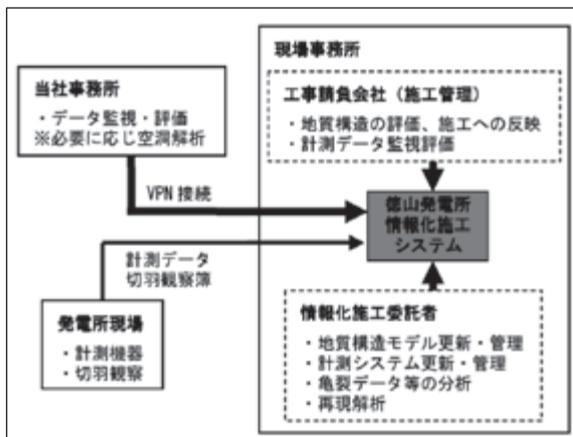


図-4 情報化施工管理システム構成

2) 計測機器の配置

計測機器は主計測断面を空洞長軸方向にほぼ均等になるよう3測線配置した。ただし、岩盤変位計については断面近傍の破砕帯の変位を捉えられるように若干位置を変更して設置している。また、測線を補完するため、ロックボルト軸力計を各断面の中間に4測線配置した。なお、アーチ上部の地中変位計においては掘削前に地上部等から設置し、先行変位を確認できる体制とした（図-5）。

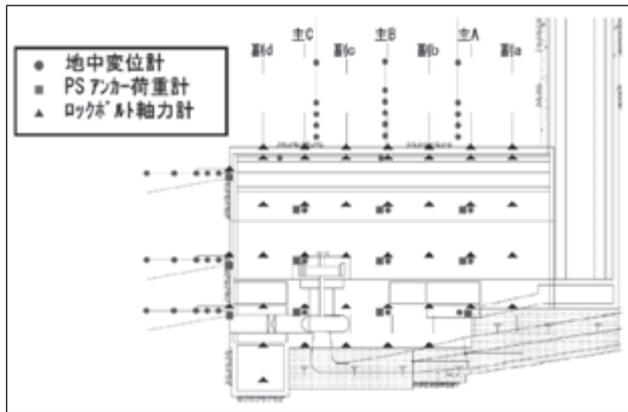


図-5 計測機器の配置

3) 解析の事例

日常管理において、切羽観察で確認された全ての亀裂を日々情報化施工システムに入力し、キーブロックが形成されるか確認した。キーブロックが確認された場合は、追加補強対策が必要かを解析により判断した。解析時の事例を図-6、7に示す。

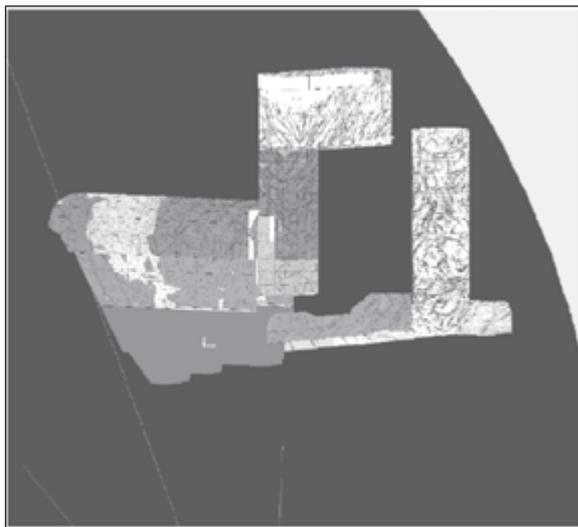


図-6 亀裂可視化例

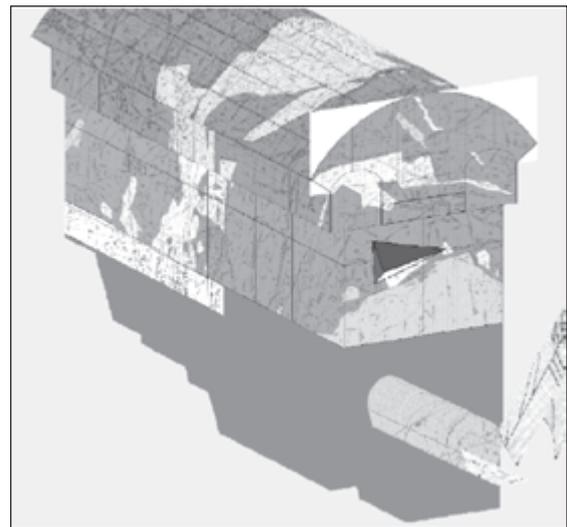


図-7 キーブロック例

(3) 結果

2012年（平成24年）10月にベンチ掘削を開始し2013年（平成25年）2月時点（全10ベンチのうち第5ベンチ掘削中）まで、地質状況および岩盤の変位計測結果に基づき設計・施工に反映させる情報化施工を行っている。その時点の結果は以下の通り。

① 地質状況

切羽観察の結果、第5ベンチまでの岩盤は概ね想定通りの地質性状であり、破砕帯も想定された位置で出現している。

② 解析値と実測値の比較

盤下げ掘削時において側壁に設置した変位計は上流側で 11.4mm、下流側 11.7mm となり解析値とほぼ同等の変位であった。施工ステップ毎での変位量に多少の差が見られるが、適正な予測解析ができていると判断できる (図-8)。

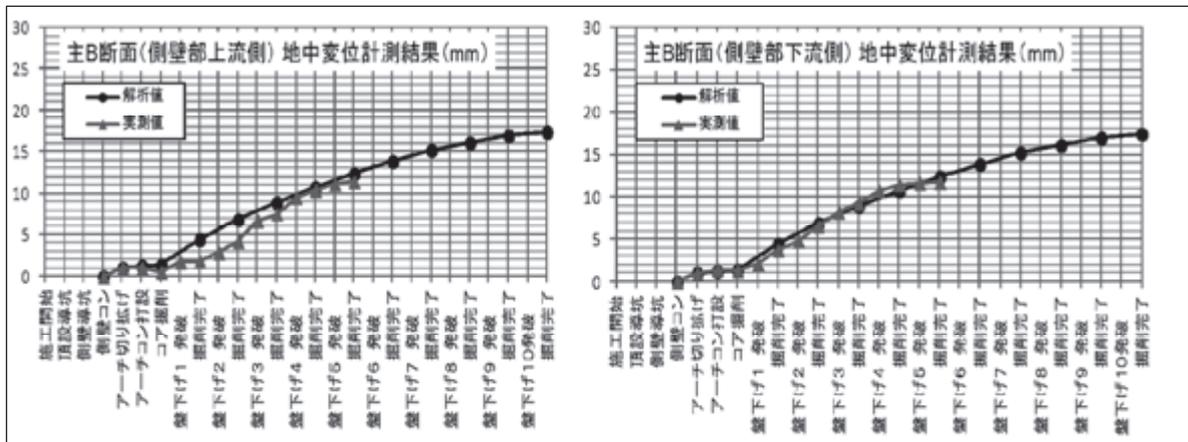


図-8 盤下げ掘削時の解析値と実測値の比較

施工中の地下空洞の安定性や支保設計の妥当性を評価するとともに、追加補強対策要否判断が迅速に行われているため、切羽を停止することなく順調に施工できた。

<p>参考文献</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・徳山水力発電所地下空洞の設計と掘削時における情報化施工 (電力土木 No. 365) : 西澤邦夫 (中部電力(株))、松下政史 (同)、竹畑栄伸 (同)、2013年5月 ・徳山水力発電所 地下空洞の掘削方法 (電力土木 No. 366) : 西澤邦夫 (中部電力(株))、安藤隆介 (同)、坂英昌 ((株)熊谷組)、2013年7月
<p>備考</p>	<p>—</p>

【地下施設／地下空洞】

技術名	地下研究施設における世界最長級の立坑掘削での総合監視システム
番号	No. 4. 2-05
発注者	核燃料サイクル開発機構
施設名	瑞浪超深地層研究所
所在地	岐阜県瑞浪市明世町山野内 1-64
工事名称	瑞浪超深地層研究所研究坑道掘削工事 (B 工区その 1)
施工期間	2003 年 3 月 12 日～2006 年 3 月 15 日
施工者	清水建設・鹿島建設・前田建設工業共同企業体
キーワード	切羽観察、赤外線サーモグラフィ、通信監視、坑内環境管理

(1) 概要

1) 工事概要

高レベル放射性廃棄物の地層処分に関する研究坑道（深度 1,000m 程度まで達する 2 本の立坑と 500m および 1,000m の深度における水平坑道群等 2 本の立坑および水平坑道群等）のうち換気立坑（深度 300m まで）を対象とする。

工法：坑口上部工（GL0～-9.5m）親杭横矢板・切梁工法

坑口下部工（GL-9.5～-45.5m）発破掘削方式

掘進長 1.0m でコンクリート覆工 1.0m を打設する 1 ステップ方式ショートステップ工法、移動式クレーンによる掘削ずり搬出と資機材搬出入

換気立坑一般部（GL-45.5～-300m）発破掘削方式、

1.3m の発破を 2 回繰り返して、コンクリート覆工 2.6m を打設する変則のショートステップ工法、櫓、スcaffolding 等の利用

掘削面積：22.1m²（φ5.3m）、仕上り断面積：15.9m²（φ4.5m）

2) 技術概要

① 切羽・壁面観察

壁面観察および切羽観察にあたっては、換気立坑、予備ステージともに切羽や壁面におけるデジタル写真撮影を行い整理するとともに、長さ 50cm 程度以上の割れ目のスケッチ・岩種・走向傾斜等を記載した観察記録を残すこととなっている。切羽・壁面観察は、おもにデジタルカメラによる切羽の可視画像撮影、赤外線サーモグラフィによる切羽の熱画像撮影および地質観察（マッピング、地質記載）からなる。



図-1 地質記載シート例

② 坑内環境管理システム

立坑工事の作業内容や進捗に伴い、坑内環境の変化を各種センサーでリアルタイムに中央監視室で計測管理することにより、快適で安全な作業環境を作ることを目的として、坑内環境管理システムを構築した。

③ 通信監視システム

入坑管理システムを利用して、入坑者はPHSで中央監視室および各PHS間での情報交換が可能である。通信監視システムにおいては、非常時にPHS端末を使用できないことを想定して、固定電話（IP電話）、Webカメラを各所に配置することにより、中央監視室からの確かな情報伝達を可能とするシステムとした。

(2) 技術詳細

1) 切羽・壁面観察

① デジタルカメラによる切羽の可視画像撮影

切羽および壁面、天端の可視画像撮影は、デジタルカメラを用い掘削ステップごとに撮影する。切羽面は1回で、側壁および天端部は数回に分け撮影し合成する。デジタルカメラの有効画素数は630万画素のものを用い、現場において確実にデータ（撮影位置、範囲、色彩、明るさ、目的物）が取得できたことを確認する。

② 赤外線サーモグラフィによる切羽熱画像撮影

壁面および切羽の熱画像撮影は、赤外線サーモグラフィを用い掘削ステップごとに撮影する。壁面（切羽）は分割して撮影し合成するものとする。機器の温度測定範囲は 10～200℃である。

2) 坑内環境管理システム

坑内環境管理システムを構成するセンサーは、表-1 の通りである。

表-1 坑内環境管理システムを構成するセンサー一覧

名称	目的
圧力（気圧）センサー	各所に設置し気圧を計測する。
温湿度センサー	各所に設置し温度と湿度を計測する。
酸素センサー	スカフォード下段デッキに設置し、酸素濃度を計測する。
風速センサー	坑口に設置し坑内風速を計測する。風速から風量を計算する。
粉塵計	坑底に最も近い予備ステージに設置し、粉塵量を計測する。

3) 通信監視システム

通信監視システムの主要構成機器とその概要を表-2 および図-2 に示す。

表-2 通信監視システムの主要構成機器

機器	概要
PHS	ID タグ方式の代替として、入出坑を管理するために坑内および工事用地内で作業を行う全員が所持する移動式の電話である。
固定電話（IP 電話）	非常時に PHS での通話ができない場合、ネットワークを経由して中央監視室および各固定電話同士で通話できるものである。
Web カメラ	坑内外各所に設置し、中央監視室から回転・ズームなどの操作が可能である。また、画像データは、中央監視室内の HDD に一定期間保存され、非常時には画像状況を見ることが可能になっている。

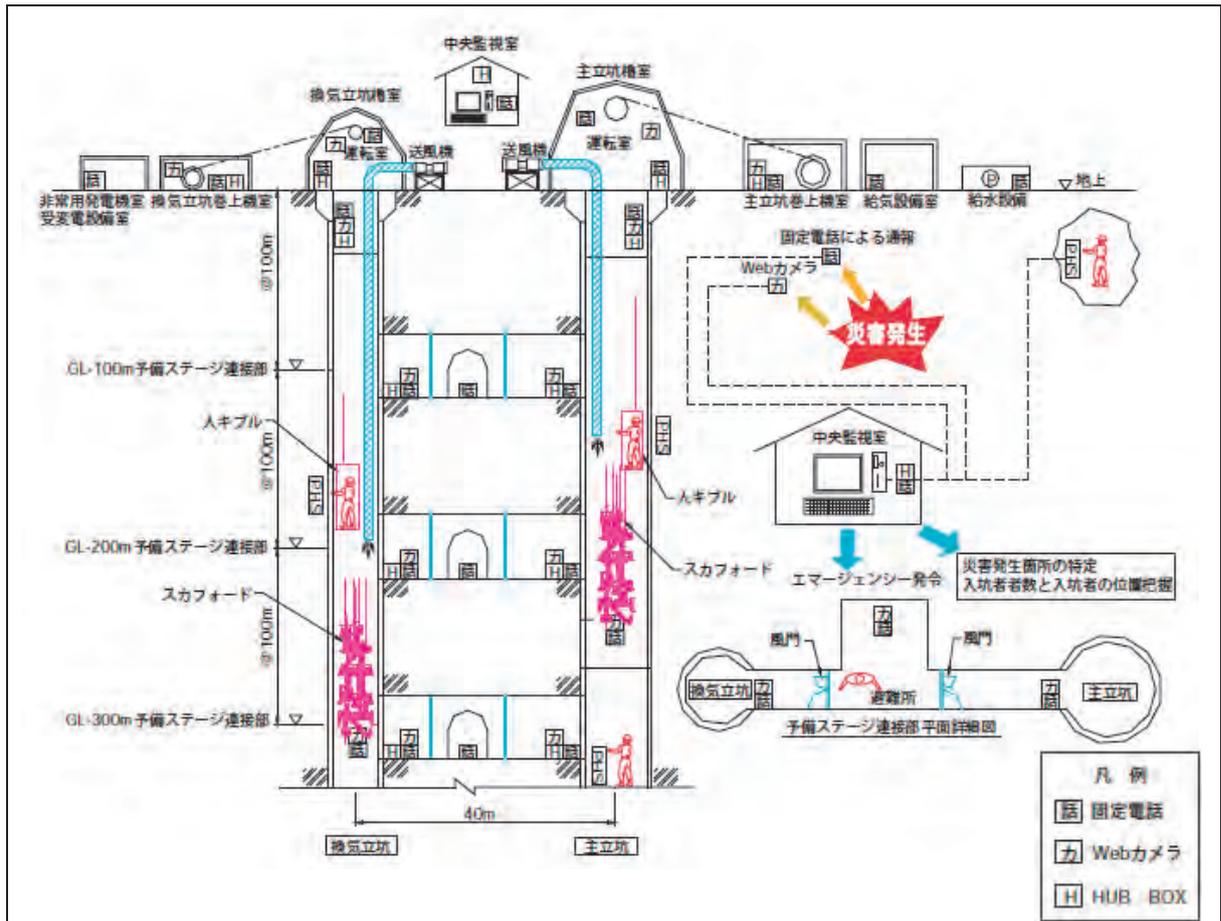


図-2 通信監視システム機器配置図

(3) 結果

実施報告のみ。

参考文献	土木クォーターリー Vol.146 : 清水建設(株)、P2-37、2005年5月
備考	—

技術名	クラウド版4DモデルViewer
番号	No. 4.2-06
発注者	北海道電力(株)
施設名	新岩松発電所
所在地	北海道上川郡新得町字屈足基線
工事名称	新岩松発電所新設工事のうち土木本工事
施工期間	2013年5月13日～2016年1月20日
施工者	前田建設工業(株)
キーワード	4次元モデル、工程管理

(1) 概要

1942年(昭和17年)に建設された発電所の下流側に水圧管路・発電所・放水路を新設するものである。発電所全景を図-1に示す。



図-1 新岩松発電所施工箇所全景

発電所基礎の躯体は形状が複雑な上、様々な発電設備や水圧管路等との取り合いが課題であった。また、発電所基礎では狭隘な施工エリアの中で、躯体を構築する土木業者、発電設備を設置する発電機メーカー並びに水圧管路を設置する管路メーカーが同時並行で作業を進める必要がある。

そのため、資材置き場の確保や重機の配置において、日々、関係者間での調整が欠かせない状況であった。発電所基礎の施工フローのイメージを表-1に、施工状況を図-2に示す。

表-1 発電所基礎施工フローのイメージ

施工箇所		施工業者	工程イメージ			
発電所基礎	機城室	前田JV	機城室構築			
	ドラフトケーシング	前田JV	充填工		充填工	
		〇×電機	ドラフト設置		ケーシング設置	
水圧管路	△△工業	鉄管設置	鉄管設置			
	前田JV	充填工	充填工			

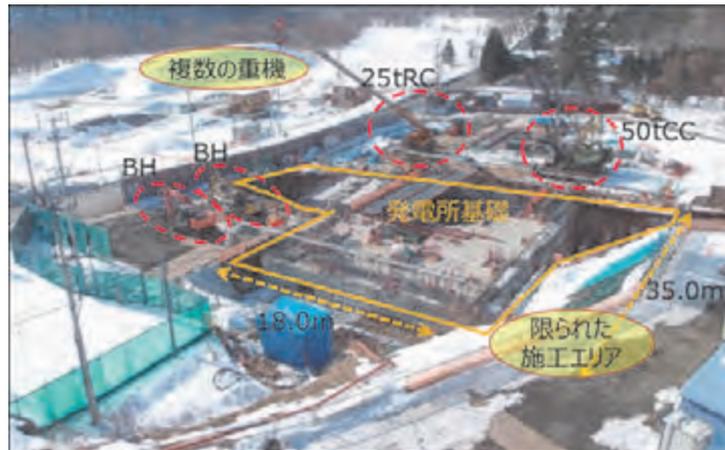


図-2 発電所基礎施工状況

当該工事では、上記課題の解決手段として3次元モデルとインフラのライフサイクル全般にわたる情報を結びつけたCIMの活用を行った。

本技術は工事エリアの3次元モデルに工程情報を付与し4次元モデルを作成する『4次元モデル』と4次元モデルをWeb上で閲覧する『CIMモデルビューワ』で構成される。

(2) 技術詳細

1) 4次元モデル

工事エリア全体を3次元モデル化し、施工順序が複雑な発電所基礎エリアについては3次元モデルに工種の工程情報を付与した4次元モデルを作成するものである。4次元モデルの作成には、Navisworks (Autodesk社製)を使用する(図-3、4)。



図-3 全体3次元モデル



図-4 発電所基礎4次元モデル

2) CIMモデルビューワ

ウェブベースのCIMモデルビューワ「Virtual Construction」(TPMS Kr社製)を導入することで、全ての工事関係者が4次元モデルを閲覧できるようにするものである。

【Virtual Constructionの特徴】

① Webブラウザのみでの4次元モデルを閲覧

特定のソフトウェアを必要とせず、Webブラウザさえあれば3次元・4次元モデルの閲覧

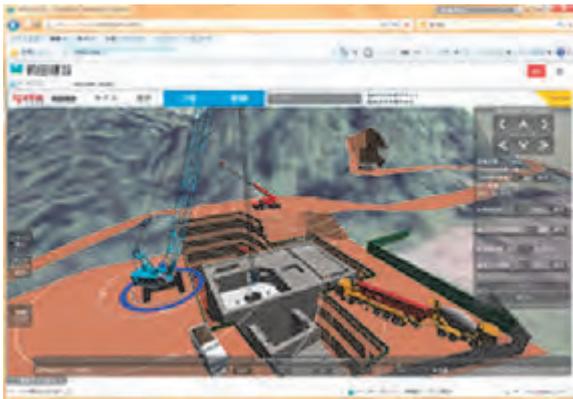
が可能(図-5(a))。

② 4次元モデルによる重機配置、クレーン計画機能

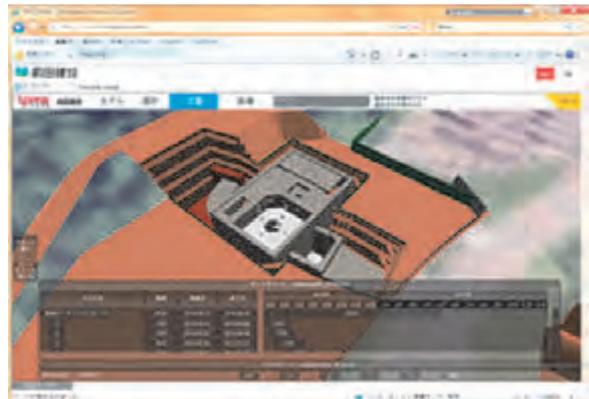
クレーンやアジテータ車等の重機部品を4次元モデル空間に配置することが可能。クレーンに関してはブームの移動、旋回も可能であり、吊荷荷重を入力することでブーム位置での安全率も表示される(図-5(b))。

③ キャプチャ機能

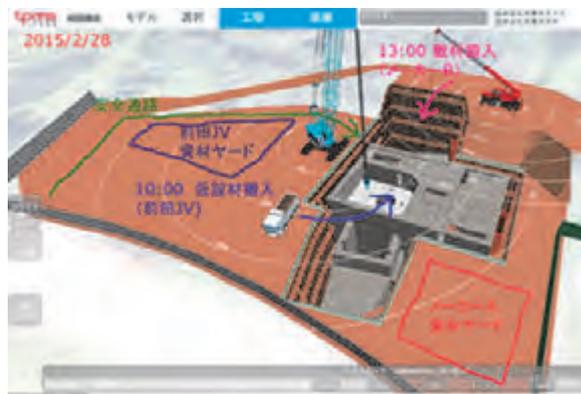
検討時の画像をWeb上で取得し、メモや手描きの図形の書き込みができるキャプチャ機能により、打合せ事項を関係者に配付することが可能(図-5(c))。



(a) 4次元モデル



(b) クレーン施工計画



(c) キャプチャ機能を活用して作成した打合せシート

図-5Virtual Construction 活用事例

(3) 結果

1) 効果

① 構造および工程に関する理解度の向上

2次元図面および工程表のみでは分かりづらい発電所基礎の複雑な構造および工程を4次元モデルのシミュレーションで視覚的に確認することができるため、施工イメージが明確になり、構造や施工順序の勘違いによるミス・手戻りを防ぐことができた。また、協力会社への施工手順や構造の説明、新規入場者教育において効果を発揮した。

② 全体工程会議での調整の効率化

4次元モデルには発電所基礎の完成までの工程が付与されているため、任意の日の施工状況を容易に確認することが可能となる。今後の施工状況が容易にイメージできるため、発注者・土木業者・発電機メーカー・管路メーカーが一同に会する全体工程会議において、進捗状況確認や施工ヤードの調整に活用することで効果を実感することができた。

2) 今後の課題・展開

4次元モデルの活用の効果を最大限に発揮するためには、関係者全てが4次元モデルを活用することが不可欠であるが、ソフトウェアは高価かつ操作が複雑なものも多く、発注者や協力会社が容易に活用できる状況にない事が課題である。

参 考 文 献	水力発電所新設工事における4次元モデルの活用（土木学会第70回年次学術講演会概要集）：平澤江梨ほか、pp.461-462、2015
備 考	—

4.2.2 山岳トンネル

【地下施設／山岳トンネル】

技術名	無線式 TRT 探査システム
番号	No. 4. 2-07
発注者	—
施設名	—
所在地	—
工事名称	—
施工期間	—
施工者	鹿島建設(株)
キーワード	無線式システム, 弾性波探査
<p>(1) 概要</p> <p>従来の TRT 探査システムでは、受振点(トンネル側壁に約 10 カ所設置された加速度計) から波形取得装置まで、30m 以上の長い伝送ケーブルを使用する必要があった。このため、次の問題点を抱えていた。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・電磁誘導ノイズによる SN 比の低下(解析制度の劣化) ・加速度計設置レイアウトの制限 ・探査準備作業にかかる人員、時間の増加 <p>伝送ケーブルに誘導される電磁ノイズの影響だけであれば、十分なシールド性能を持ったケーブルの選定や、あるいは光ファイバ通信などが考えられる。しかし、配線ルートを考慮せず自由なレイアウトで加速度計を配置し、また探査準備作業を軽減するためには、加速度計で取得した波形データを伝送ケーブルを介さずに無線伝送化することが望ましいと考え、新たに無線式 TRT 探査システムを開発するに至った。</p> <p>(2) 技術詳細</p> <p>TRT 探査システムは、弾性波の起振手段として発破を使う必要が無く、ハンマや超磁歪型の Sweep 波発生装置などによる人工的に発生させた振動を利用できるため、比較的短時間での探査が可能であり、トンネル掘進に大きな影響を与えることがない。さらに、評価結果は、のように三次元的に出力され、複雑な地質構造を容易にイメージできるといった特長を有している。</p> <p>開発した無線式 TRT 探査システムの仕様を表-1 に示す。また、および写真-1 に従来の TRT 探査システムの構成図と構成機器の写真をおよび写真-2 に無線式 TRT 探査システムの構成図と構成機器の写真を示す。</p> <p>無線式 TRT 探査システムの開発にあたり、前述した既存の問題を解決できる一方で、各無線伝送器と受振信号記録コンピュータ間を無線化することで以下の新たな課題に対処する必要があった。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・各無線伝送器の時刻同期問題による、波形解析精度の劣化 	

- ・トンネル内部に配置された施工機械・設備等の無線通信への影響（高周波無線の指向性問題）
- ・トンネル壁面の電波多重反射（マルチパス）による無線通信への影響

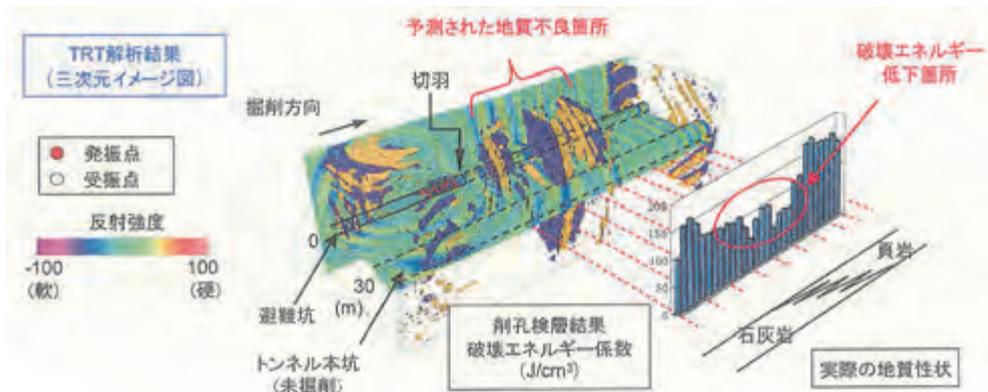


図-1 TRT 解析結果例(三次元イメージ図)

表-1 無線式 TRT 探査システム仕様

無線システム仕様	
A/D 分解能	24-bit
サンプリング間隔	0.0625ms(16kHz)-0.5ms(2kHz)
最大記録長	174752samples
無線規格	2.4GHz FHSS

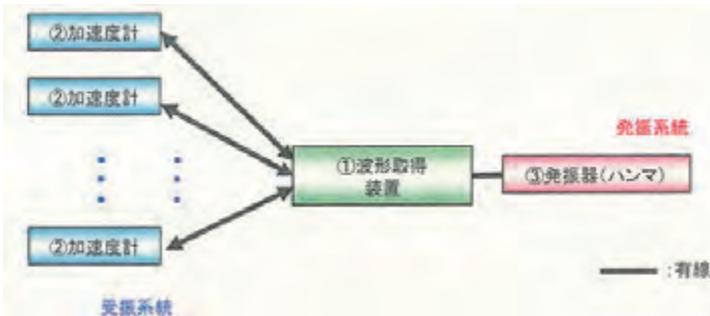


図-2 従来の TRT 探査システムの構成



写真-1 従来の TRT 探査システムの構成機器

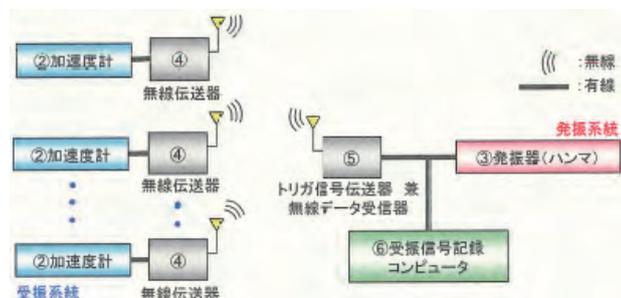


図-3 無線式 TRT 探査システムの構成



写真-2 無線式 TRT 探査システムの構成

そこで 1 点目の課題に対しては、各無線伝送器の時刻同期について、弾性波の発生時刻をトリガ信号伝送器から各無線伝送器へ一斉に送信し、受信した発生時刻情報を基準として、各加速度計で反射波を受振する方式を採用した。

2、3 点目の課題に対しては、無線モジュールに 2.4GHz 帯の特定小電力帯のスペクトラム拡散 (Spread Spectrum : SS) 通信方式の適用を試みた。ここで SS とは、変復調方式の一つで、情報信号を広い周波数帯に拡散して送信し、受信側では拡散された信号からもとの情報信号を取り出す方法である。図-4 に SS と狭帯域変調の違いを示す。SS は、狭帯域変調に比べて広い周波数帯域を必要とするが、以下のような多くの特長を有する。

- ・ 秘匿性
- ・ 低電力密度
- ・ 被干渉耐性
- ・ フェージング耐性
- ・ 時間圧縮
- ・ 符号分割

また、SS を使った通信方式は 2 種類あり、1 つは IEEE802.11b 規格の無線 LAN にも使われる

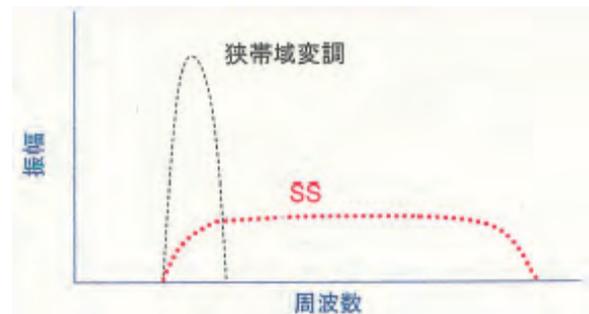


図-4 スペクトラム拡散通信イメージ

直接拡散 (Direct Sequence : DS) 方式、もう一つ

が Bluetooth に使われる周波数ホッピング (Frequency Hopping : FH) 方式である。本システムでは、狭い同一環境内に複数配置された無線伝送器のデータが干渉を受け難くするように、後者の FH 方式を採用している。

(3) 結 果

本研究では、より高精度で経済的な TRT 探査を行うことを目的として、無線式 TRT 探査システムを開発した。その有効性を確認するため、小断面 TBM トンネルで行った実証試験から得られた知見を以下に示す。

- ・ 小断面 TBM トンネル (トンネル断面積 6.15m^2 、機材占有率 30-40%程度) であっても、障害物による通信遮断やマルチパスによる通信エラーがおこらなかった。ただし、坑内の電磁環境や無線伝送器のレイアウト等で通信状態が変化することも考えられる。

- ・ 探査システムを無線化することで最も懸念された波形データの同期については、トリガ信号を無線で各伝送器へ一斉送信し、その基準時刻から波形データを記録する方式をとることで解決できた。
- ・ 従来システムで取得した波形と比べ、ノイズ成分が少なく、SN比の向上が図れた。
- ・ 狭い坑内で障害物がある場合でも、伝送ケーブルラインを考慮することなく受振点を自由にレイアウトすることができるようになった。
- ・ 計測準備や撤去作業に必要な人員や時間を削減できるようになった。

参 考 文 献	土木学会 第38回岩盤力学に関するシンポジウム講演集:鹿島建設(株) 横田泰宏他、講演番号 56、pp304-309、2009.1
備 考	—

【地下施設／山岳トンネル】

技 術 名	トンネル前方探査システム
番 号	No. 4. 2-08
発 注 者	国土交通省近畿地方整備局
施 設 名	十九渕第一トンネル
所 在 地	和歌山県
工 事 名 称	近畿自動車道紀勢線十九渕第一トンネル工事(実証実験)
施 工 期 間	～2014 年 5 月
施 工 者	清水建設(株)
キーワード	ロックボルト、直接波・反射波、受信センサ

(1) 概 要

1) 工事概要

工法：山岳工法

延長：388m



写真-1 十九渕第一トンネル全景

2) 技術概要

トンネル工事を安全かつ効率的に進めるためには、掘削部前方の地山状況を予測することが重要である。既に先進調査ボーリングや反射法弾性波探査などの予測手法が確立されているが、専用の機材や計測設備を使用する関係で掘削作業の中断を伴うとともに、高額な探査費用を要する。そこで、こうした予測手法の適用回数を必要最小限に留めつつ、必要な地山情報を確実に収集する「切羽前方探査システム」を開発した。

(2) 技術詳細

システムの特徴は、掘削作業に使用する重機や資材を探査に利用するもので、掘削作業の中

断を伴わず、日常的に使用できることである。探査により地山性状が変化する地点を検知した場合に限り、先進調査ボーリングなどの探査手法を適用すれば施工管理に必要な地山情報を収集できるので、掘削作業の中断期間と地山情報の探査費用を最小限に抑えることができる。

受振センサーは、重機の打撃点から直接伝播する直接波と地山性状の変化地点から反射してくる反射波の両方を拾うこととなる。解析ソフトは、反射波が確認された場合、反射波と直接波の地山内の伝播速度は同じであることから、直接波のセンサーへの到達時間とセンサーの打撃点の距離をもとに、反射波の到達時間から反射地点を割り出すことができる。

なお、打撃振動は地盤内を四方八方に伝播するが、反射波が切羽前方からのものか否かは、日々の掘進量に比例して反射波の到達時間が短くなること、切羽方向から反射している振動を計測する加速度計の反応が卓越していることをもって判断する。

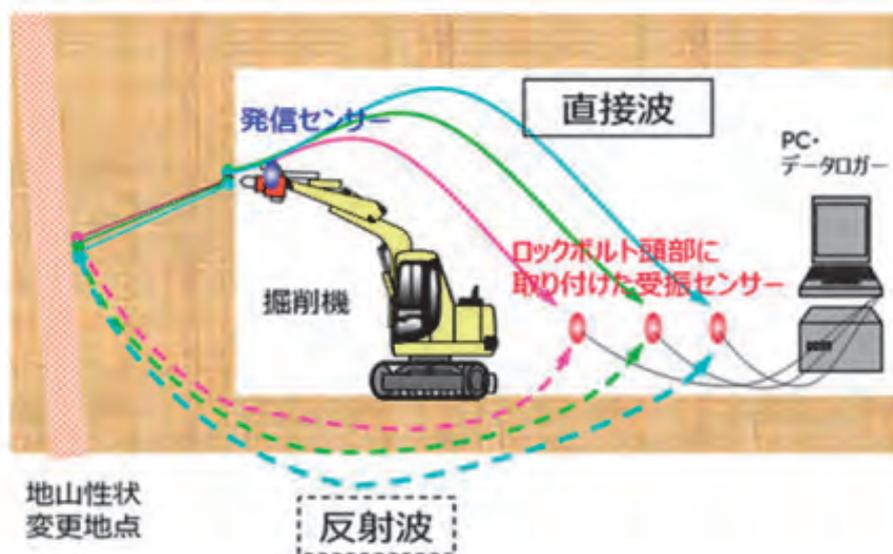


図-1 概要図

(3) 結果

十九渕第一トンネルでの実証実験では、システムが地山性状の変化地点（複数）を検知した後、掘削を進めた結果、検知した地点と掘削によって地山の風化・変質が確認できた地点が一致するとともに、切羽前方 50m の距離までの高い検知精度を発揮することを確認した。また、システムの設置から探査、撤収に至るまでわずか 30 分程度で済むこと、そして掘削作業を継続しながら探査できることも確認できた。

<p>参考文献</p>	<p>清水建設(株)ホームページ ニュースリリース 2014年(2016年9月1日入手) http://www.shimz.co.jp/news_release/2014/2013056.html</p>
<p>備考</p>	<p>—</p>

【地下施設／山岳トンネル】

技術名	切羽前方観察システム「DRi スコープ」
番号	No. 4. 2-09
発注者	—
施設名	—
所在地	—
工事名称	—
施工期間	—
施工者	戸田建設(株)
キーワード	切羽観察、油圧ドリルジャンボ、工業用内視鏡、ステレオ撮影
<p>(1) 概要</p> <p>切羽前方の地山の地質を把握することは、トンネルを安全にかつ合理的に掘削するために重要な課題となっている。削孔検層システムは、油圧ジャンボで切羽前方の削孔をする際、削孔エネルギーや削孔速度を記録し、地山の良否に関する情報を得るものですが、間接的な情報でありデータからの地山推定に限界があった。</p> <p>本技術は、油圧ジャンボで切羽前方にロッドを繋いで削孔した坑内にロッドを介して工業用内視鏡をビット先端まで挿入し、孔壁を観察するシステムである。撮影はカメラの方向を変えて孔内の観察ができる。また、ステレオ撮影することで、孔壁に現れた破砕帯や割れ目の幅を測定し、数値データとして得ることもできる（図-1、写真-1）。</p> <p>(2) 技術詳細</p> <p>1) システムの概要</p> <p>主な技術内容・特徴として、下記の点が挙げられる。</p> <p>① ロッドがケーシングの代わりをするため、今まで簡易には調査ができなかった崩壊性地山でも切羽前方の地山を可視化した情報が得られる（写真-2）。</p> <p>② 工業用内視鏡には先端首振り機構があるので、ビットの送水孔分岐部等形状の複雑な部分を通過してビットの先端に工業用内視鏡を送り込み、カメラの方向を変えながら孔壁を観察することができる。</p> <p>③ ステレオ撮影することにより、孔壁に現れた破砕帯や割れ目の幅を測定し、数値データとして得ることができる。</p> <p>④ ロッドを引き抜きながら観察することで、延長方向に連続的な画像が得られ、地山状態の変化が把握できる。</p>	



写真-1 DRi スコープによる調査状況



写真-2 DRi スコープにより得られた孔壁画像

2) 現場へ導入したシステムの構成

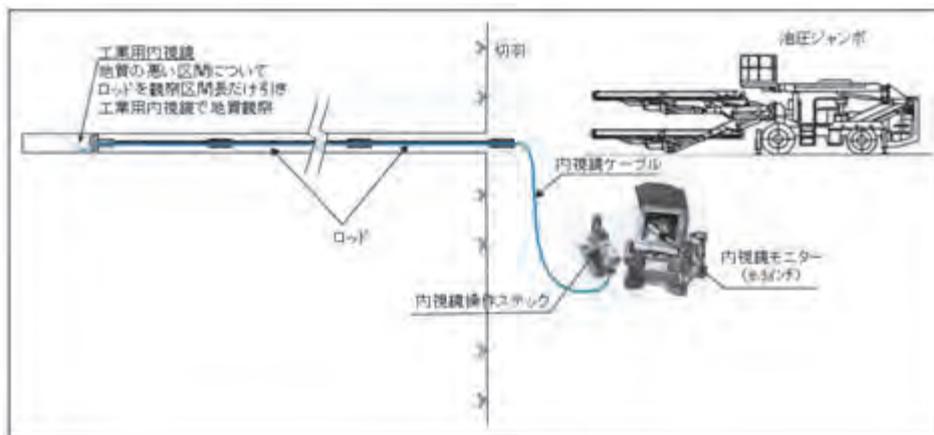


図-1 システム全体図

(3) 結果

1) 現場への適用事例

泥質岩・玄武岩混在岩中の閃緑岩が貫入した地山で、切羽前方の地山の地質観察を行った山岳トンネルの事例を記載する。

事例は、既存の水路トンネルと近接・交差するため、その前後で長さ 15m の削孔検層を行うとともに、DRi スコープ（オリンパス(株)製 IPLEXFX、挿入部外径 6.5mm、長さ 18m の工業用内視鏡）を適用した。

〈岩種の判別と掘削結果との対比〉

DRi スコープによる泥質岩・玄武岩混在岩の孔内画像を写真-3 に示す。写真-3 の岩の白色部分は玄武岩で、通常は暗灰色のものが炭酸塩化作用により白色に変質交代している。閃緑岩（写真-4）は岩脈状に貫入しており、比較的細粒である。図-2 は DRi スコープによって観察した地質柱状図で 10.74m から 15.5m で閃緑岩が認められた。なお、これらの判読には事前の地表地質踏査、削孔検層実施時に削孔水から回収したクリ粉の情報も参考にして判断した。

図-3 は、掘削時に切羽で観察された地質縦断図である。貫入した閃緑岩が左側から天端付

近に出現し、掘削に従い右側踏まえ部に連続していた。図中に削孔検層システムと DRi スコープによる観察結果を併記したが、閃緑岩の岩脈の位置を捉えることができた。

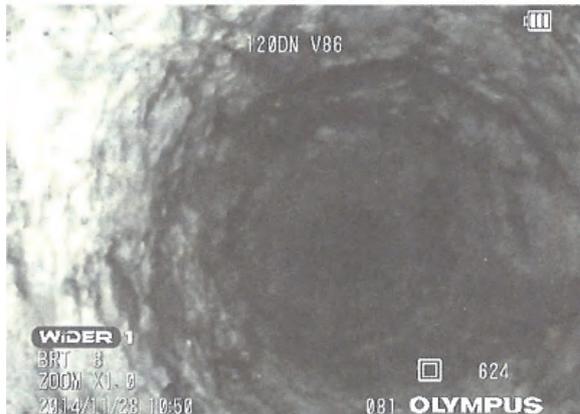


写真-3 泥質岩・玄武岩混合岩の孔内画像

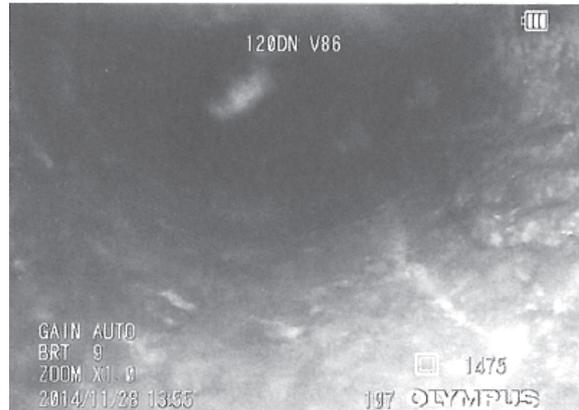


写真-4 閃緑岩の孔内画像

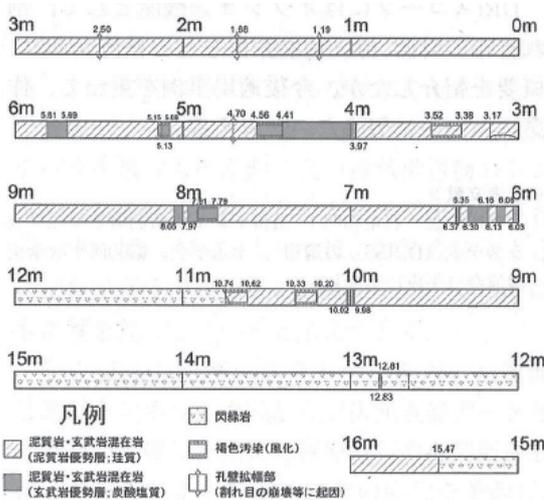


図-2 DRi スコープにより観察された柱状図

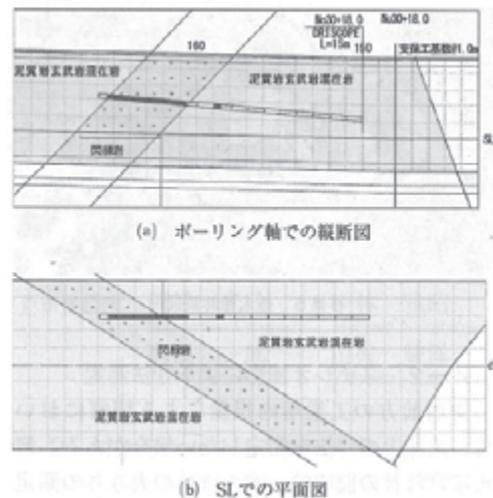


図-3 掘削時切羽観測による地質縦断面図

今回の事例では、DRi スコープにより従来観察できなかった、削孔検層システムのビットの先端の地山を可視化して観察することができた。

また、DRi スコープによる地質の観察に当たっては、クリ粉の観察や事前の地表踏査などを踏まえて総合的に判断する事が重要である。

2) 今後の課題・展開

適用事例を重ねて、作業性の向上に努めていく。

<p>参考文献</p>	<p>工業用内視鏡で切羽前方の地山状況を把握する=DRi スコープの開発=建設機械：戸田建設(株) 関根一郎他 pp.35-38 2015年7月 戸田建設(株)ホームページ：ニュースリリース(2014年8月18日) http://www.toda.co.jp/news/pdf/20140818.pdf</p>
<p>備考</p>	<p>—</p>

【地下施設／山岳トンネル】

技術名	高精度切羽前方探査システム「NT-EXPLORER」
番号	No. 4. 2-10
発注者	—
施設名	—
所在地	—
工事名称	—
施工期間	—
施工者	戸田建設(株)、西松建設(株)
キーワード	切羽前方探査、電磁波探査、弾性波探査、穿孔探査

(1) 概要

山岳トンネル工事において、切羽前方の断層破碎帯・帯水層・地質変化等の情報を事前に高精度で得ることは施工の安全性及び効率化の上で極めて重要である。しかし、事前調査として一般に行われている地表踏査・弾性波探査・ボーリング等の結果だけでは掘削をする上で不十分であることが多く、突発的な湧水・地質急変箇所遭遇することがある。その対策として各種の前方探査が行われているが、技術の適用・精度の上でバラツキが大きい。

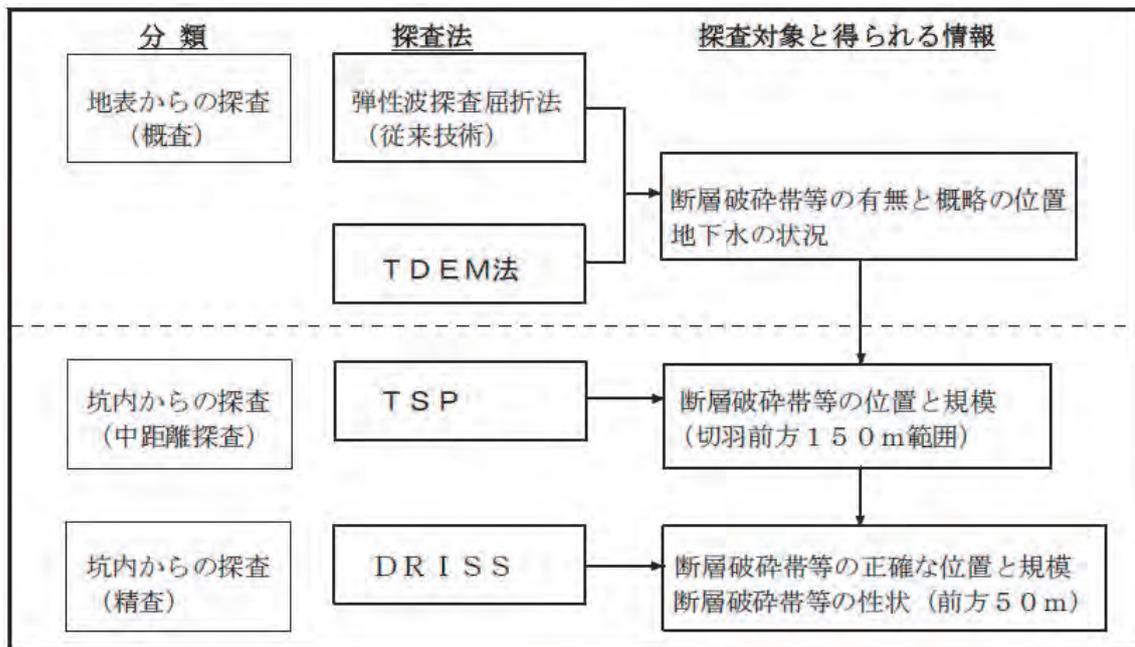


図-1 各探査法の要と流れ

(2) 技術詳細

1) システムの概要

① 高精度切羽前方探査システム

高精度切羽前方探査システム「NT-EXPLORER」は、電磁探査「TDEM」、弾性波探査「TSP」、穿孔探査「DRISS」を組合せることで切羽前方の断層や突発的な湧水を高精度に予測する探査システムである。電磁探査「TDEM」は、地表から概査として実施する。得られた比抵抗構造から地層境界、断層、地下水の状況が地下700m程度まで推定可能となっている。弾性波探査「TSP203」は、坑内から行う中距離探査として実施する。切羽前方100m範囲に得られた地層境界、断層等を弾性波の反射面として捉え、地質性状を推定することができる。穿孔探査「DRISS」は、精査としてトンネル切羽から実施する。ドリルジャンボで直接穿孔した際に得られた機械油圧の変化から穿孔区間の地山性状を定量的に評価することができる。(図-2)。

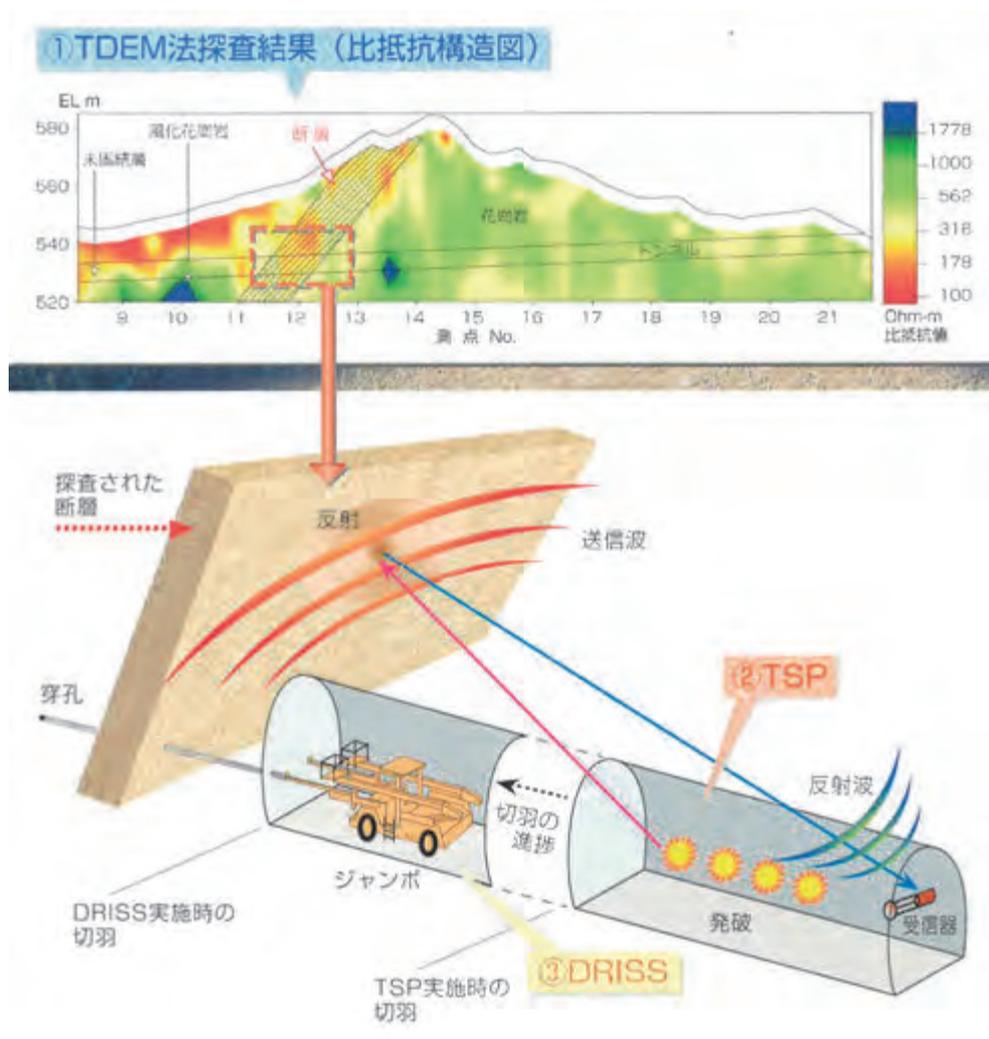


図-2 高精度切羽前方探査システム「NT-EXPLORER」の概念図

② TDEM (Time Domain Electro Magnetic method)

地表に設置した送信ループに断続電流を流すことによって生じる磁場の変化を、センサとレシーバーで測定し、地下の比抵抗値を求め、地下に帯水層や脆弱層があれば、低比抵抗帯としてとらえることができるシステム (図-3)。

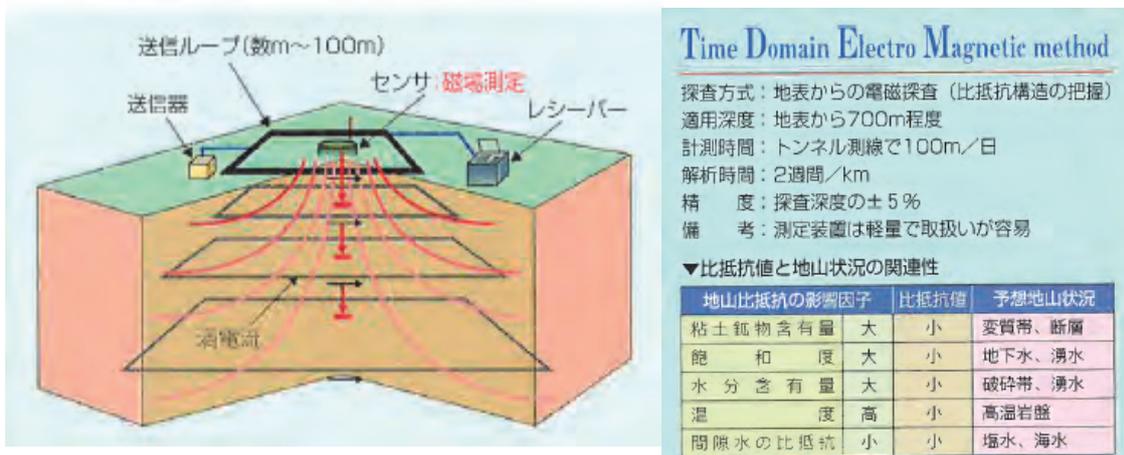


図-3 TDM の探査概要

③ TSP (Tunnel Seismic Prediction)

切羽よりの坑内で小規模な発破を行い、その振動を坑口側の受信器で観測する。切羽前方やその周辺に破碎帯や地質境界があると、振動の反射が起こり観測データに表れるため、これを分析して切羽前方の予想図を作成するシステム (図-4)。

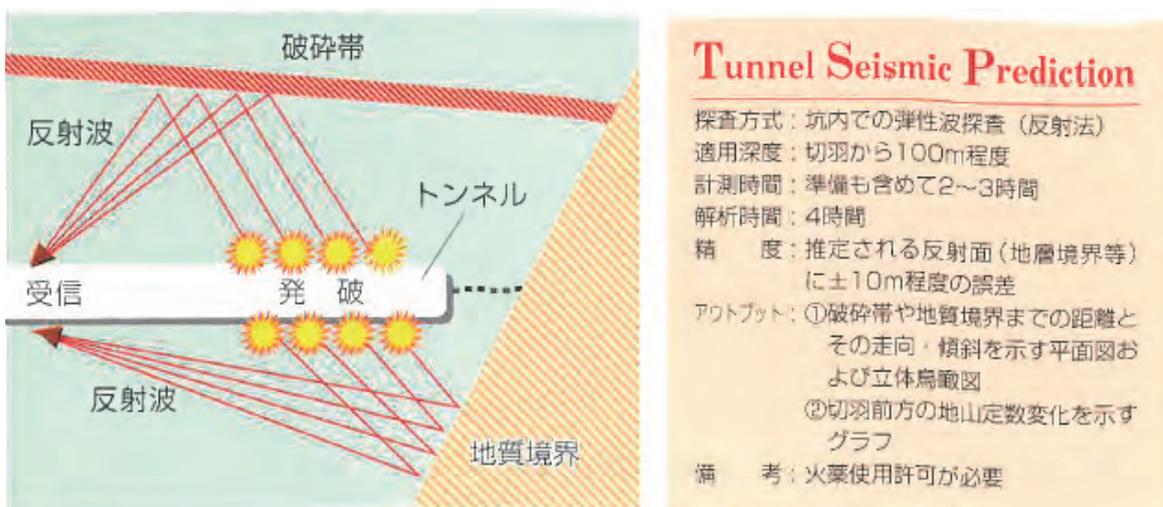


図-4 TSP の探査概要

④ DRISS (Drilling Survey System)

穿孔時に得られるデータ（穿孔エネルギー、ダンピング圧、穿孔速度、回転圧、）により、地山性状を定量的に把握するシステム（図-5）。

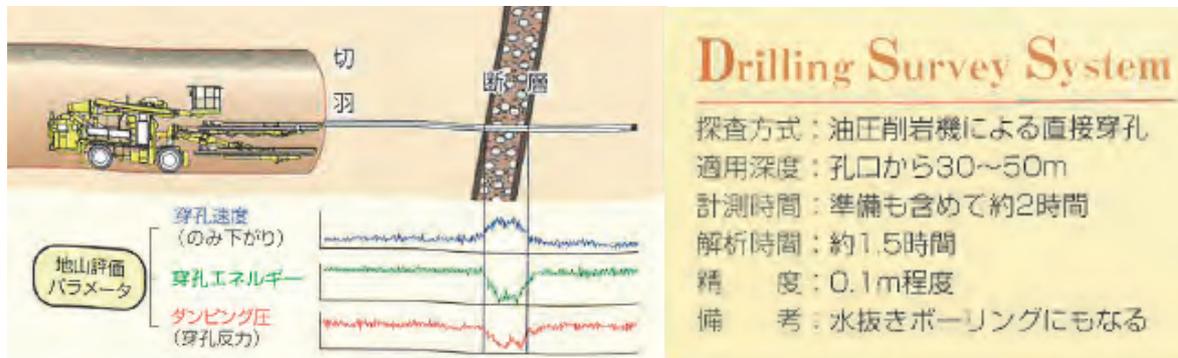


図-5 DRISS の探查概要

(3) 結 果

1) 現場への適用事例

高精度切羽前方探查システムを構成する各探查法の適用性、相互比較、探查限界、組み合わせによる効果等を把握するため、施工中のトンネルにおいて現場適用実験を実施した。

トンネルは、延長約3,000mの道路トンネルで、地質は主に溶結凝灰岩と、同時期の貫入岩である花崗斑岩からなる。溶結凝灰岩は塊状硬質岩で、垂直性の節理が発達しており、強風化部では軟質化し、粘土質砂状を呈する。貫入する花崗斑岩は硬質岩であるが、亀裂が発達し、強風化部ではタマネギ状風化が著しく、表層崩壊が見られる。一軸圧縮強度は、軟質部で $3.6\sim 6.7\text{N/mm}^2$ 、硬質部で $36.7\sim 41.6\text{N/mm}^2$ を示し、貫入する花崗斑岩部においても $81\sim 121\text{N/mm}^2$ を示す。断層破碎帯は、工区全体でF1～F6まで6ヶ所推定され、一軸圧縮強度 51N/mm^2 、弾性波速度 $V_p=3.4\sim 5.2\text{km/s}$ の中硬岩～硬岩の地山である。本トンネルで、断層の位置及び性状、地下水状況等を把握するため、トンネル掘削前にTDEM法探查を、掘削中にTSP、DRISSを実施した。図-6に測点NO. 215～NO. 190区間の事前調査結果を、図-7に3探查法を適用した箇所での各探查法の探查位置、探查結果及びトンネル掘削結果、湧水状況を示す。図-6の事前調査に示したとおり、3探查法を実施した当該区間では、NO. 197～NO. 194区間（NO. 197～NO. 196+10：断層、NO. 196+10～NO. 194：断層に伴う破碎ゾーン）にF5断層の出現が予想されていた。3探查の実施結果とトンネル掘削結果との対照および、得られた知見及び効果について以下に示す。

① TDEM 法探查

TDEM法探查は、地表から比抵抗構造を調査した。図-7に示した当該区間においては、比抵抗値は $100\sim 1,000\ \Omega\text{m}$ を示し、特にNO. 210～203付近及びNO. 194～191付近はトンネル掘削高さ付近で周囲と比較して比抵抗値が低下しており、亀裂の発達或いは湧水の発生が予想された。この予想に対し、図-7に示したトンネル掘削結果では、NO. 208～204付近は湧水量が $2,500\ \text{L}/\text{分}$ と、前後区間の約 $2,000\ \text{L}/\text{分}$ に対し明らかに多い。また、No. 195+06～NO. 190+18

区間は粘土、湧水を伴うF5断層が出現した。探査で得られた比抵抗値は、地下水、亀裂質岩盤、挟在粘土等の影響により低下したものと考えられ、探査結果と掘削結果は概ね一致していることが判明した。

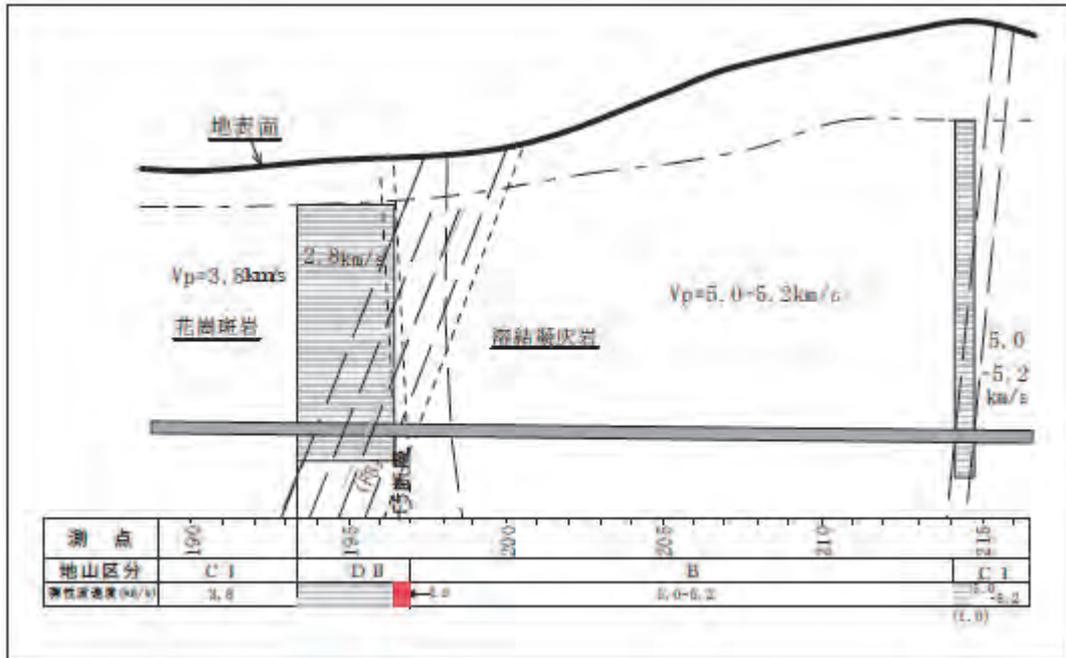


図-6 トンネル事前調査結果

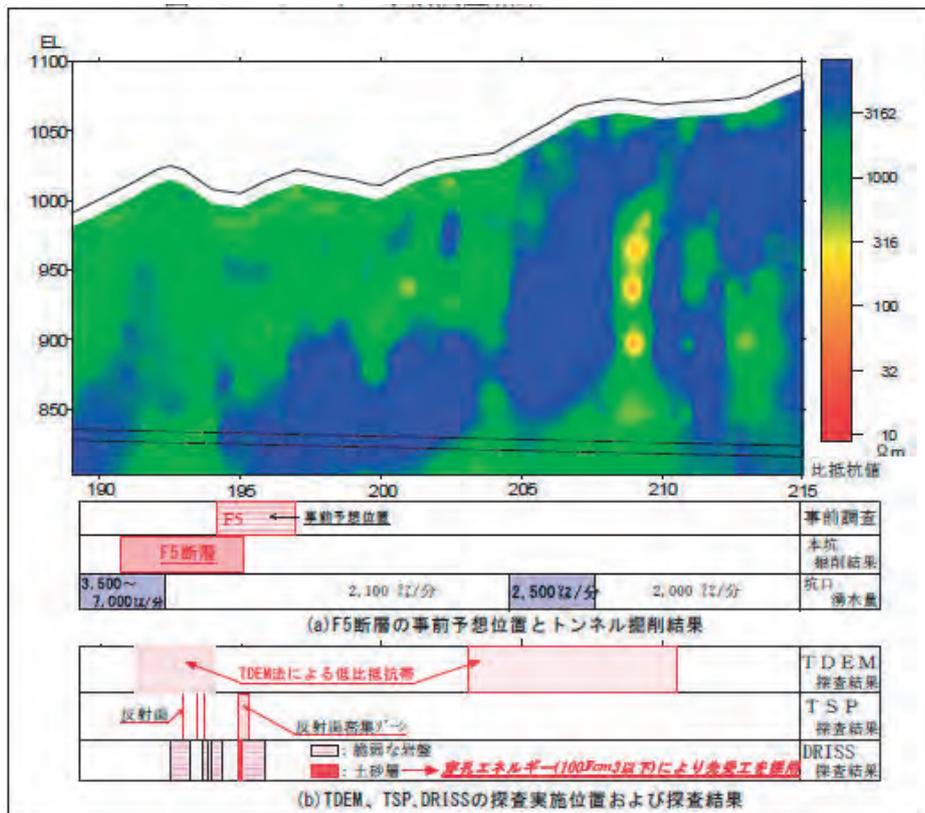


図-7 探査結果とトンネル掘削結果

② TSP

TSPは切羽位置が、①NO. 199+02 及び②NO. 195+14 の2地点で、主にF5 断層をとらえることを目的に探査を行った。探査実施位置及び探査結果の概要を図-7に示す。なお、探査器械は、①探査は二次元探査機、②探査は二次元探査機及び3次元探査機の両方を用いた。

① 切羽位置NO. 199+02 からの探査結果

NO. 198+16(探査切羽から6m)に薄い弱層、NO. 196+04(切羽から58m)から弱くなるという結果が得られた。掘削結果から、NO. 196+00 周辺から一部変質した花崗斑岩が出現し、反射面はこの境界を捉えたものと考えられる。NO. 198+16 では、明瞭な反射面と推定されるような地質変化はなかった。

② 切羽位置NO. 195+14 からの探査結果

反射面密集ゾーンがNO. 195+06～NO. 195+00 付近の1箇所(切羽から8m～14m)、弱層がNO. 193+11(切羽から43m)とNO. 193+05(切羽から49m)の2地点が得られた。探査結果の解釈としては、この反射面密集ゾーンをF5断層の始まりに相当すると推定した。また弾性波速度としては、 $V_p=4.0\text{km/s}$ が得られた。掘削結果からは、最初の反射面密集ゾーンはF5断層の始まりを示していると考えられる。その後の弱層は、F5断層の区間中に存在した。2回の探査結果は、切羽から50m 前後までの比較的明瞭な断層、弱層の始まりをほぼ捉えているが、反射面が明瞭でない(薄い弱層部)ところは地質変化点としてはトンネル切羽で認められなかった。またTSPによる弾性波速度と、割れ目の状態、粘土の挟み状況等DRISSの情報とを併せてD1地山と推測したところ、掘削結果と一致し探査の組み合わせの効果による精度のよい地山評価を行うことができた。

3-1-3 DRISS

事前調査、TDEM法及びTSPにより、F5断層と推定される地質構造を捉えるため、4地点(NO. 197+3.0、NO. 195+15.5、NO. 194+10.5、NO. 193+5.1)でDRISSを行った。探査実施位置及び探査結果の概要を図-7に示す。

① DRISSの実施結果では、NO. 195 付近から脆弱な岩盤、粘土を挟む土砂層があり、以後硬軟を繰り返す状況が把握された。この結果はトンネル掘削結果ともよく整合し、DRISSによる断層の位置確認が正確に行えることが確認された。

② F5断層は、トンネル掘削高さでの出現位置NO. 195+06～NO. 195+01 区間で、暗灰色粘土と主とする破碎部が出現した。事前のDRISSの結果では、この区間は穿孔エネルギーが 50J/cm^3 を示し、その手前の硬質部が示していた $100\sim 150\text{J/cm}^3$ に対して非常に低くなった。またクリコは粘土質であったことなどから、この区間をF5断層の脆弱部と判断し補助工法を行うこととした。補助工法の選定にあたっては、脆弱な区間が4m程度と短いこと、DRISS実施孔からの湧水が殆どなかったことなどから、シリカレジンを注入式フォアポーリングを採用した。従来のDRISS探査では、補助工法への展開は砂岩・頁岩層への1例しかなく、そのケースでは、穿孔エネルギーが 100J/cm^3 を境界としてAGFの採用に活用したものであった。今回のトンネルへの探査適用では、花崗閃緑岩中の断層への先受け工

実施の位置及び工法選定データの一つとして活用できた。

3-1-4 各探査法のまとめ

本現場では、断層、湧水が予想され、かつ土被りが200～250m と大きく、従来行われてきた弾性波探査では探査不可能とされるトンネルにおいて、弾性波探査屈折法と3探査法の比較を行った。F5断層のトンネル掘削高さでの出現位置は、弾性波探査で50m 違い、TDEM法で20m 違い、TSPは①探査(F5断層の手前76m 地点で実施)で18m の誤差、②探査(F5断層の手前8m 地点で実施)でほぼ特定、DRISSではほぼその位置が特定できた。またTDEM法による比抵抗構造から判断される低比抵抗部で施工上問題となる湧水量が検出された。この結果から、大土被り・湧水地山での探査結果の有効な活用事例が示されたと考えられる。

また本探査結果によれば、実施した相互の結果を考慮して探査をすれば、実施回数を減らせるだけでなく、その精度もいちじるしく向上することが示されたといえる。また、TSPによって得られた弾性波速度、DRISSによって得られた穿孔エネルギーは補助工法採用の参考データとなる可能性も示された。

3-1-5 TDEM 法、TSP、DRISS の組み合わせによる効果

図-8に示す探査システムの実施フローを用いて各探査を組み合わせることで実施することにより、実施時期、精度、得られる物性値等が異なるものを、トンネル施工により有用なものとする事ができる。

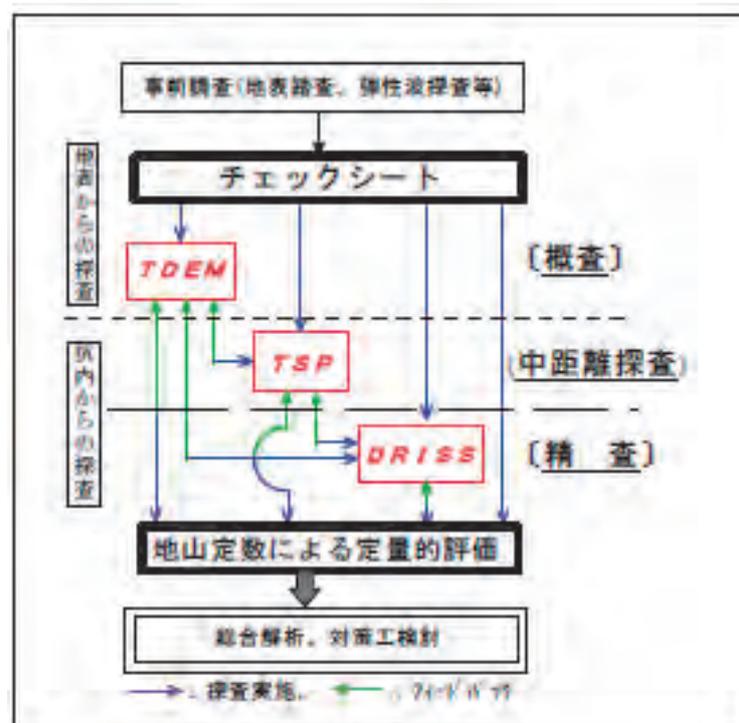


図-8 高精度切羽前方探査システムフロー

① TDEM 法と TSP の組み合わせによる特徴

TDEM法は探査方向が地表に対して垂直方向、TSPはトンネル坑内から主に水平方向に探査を行うため、組み合わせることにより水平成層構造および鉛直地質構造の両方に対して有効な探査方向となる。また、TDEM法は工事着手早期におけるトンネル区間の概要調査をおこなうことにより、TSPがより有効となる探査位置での実施が可能となり、探査対象に対する精度が向上する。F5 断層に対するTSPも、TDEM法の概査を参考にすれば、二次元探査機のみで有効なデータが得られたと考えられる。一方、TDEM法は比抵抗値、TSPは弾性波速度および弾性波反射面と得られる物理量が異なることにより、例えば破碎帯の評価では、岩の破碎と湧水量の変化に踏み込んだ予測を行える。

② TDEM 法と DRISS の組み合わせによる特徴

TDEM法によって得られた地質異常帯の概査の結果を参考に用いて、DRISSによる探査をトンネル坑内からの精査として地質異常帯出現予想位置の近傍で行うことにより、DRISS実施回数を減少させ、かつ問題地質箇所の詳細な位置の判明およびTDEM法により得られた低比抵抗部が破碎帯なのか或いは湧水帯なのかを判定できる。また、TDEM法で得られた低比抵抗部に帯水層が予想される場合には、低比抵抗部手前からのDRISS実施により、水抜きがより効果的に行える。

③ TSP と DRISS の組み合わせによる特徴

TSPとDRISSは、異なる物理量（各種穿孔反力）が得られることにより、TSPで観測可能な反射の発生が弱い対象、例えば①漸次的な地質変化、②平面境界を持たない不連続性、③局所的な脆弱層について判定が可能となる（例：花崗岩の風化帯、レンズ状に入った混在岩の調査など）。また、DRISSによる地山評価法は、穿孔エネルギー等の地山評価パラメータ値の大小で定量的に判断しているが、穿孔エネルギー値を、地山分類に用いる弾性波速度や一軸圧縮強度への換算する方法がなかった。そこでTSP203 の使用により得られる切羽前方の弾性波速度分布を用いれば正確に換算できる。すなわち、直接法であるDRISSとTSPの探査結果を比較検討することによって、切羽前方の弾性波速度分布がより高精度に把握可能となり、地山分類、補助工法採用のデータとして活用できる。

④ TDEM法、TSP、DRISSの組み合わせによる特徴

TDEM法による概査、TSPによる中距離探査、DRISSによる精査の組み合わせにより、探査対象とする地質構造の位置が絞り込まれ、TSPが有効な位置で実施でき、さらにDRISSを有効な位置のみで実施することができる。また、3探査法から得られる物性値（比抵抗値、弾性波反射面及び速度、穿孔油圧データ）はそれぞれ異なるので、データの総合的な検討により地山性状を把握することができる。

3-1-6 判明する地山定数を用いた定量的地山評価

高精度切羽前方探査システムの適用によって得た地山物性値を、施工へのフィードバック情報とするためには、この物性値を根拠にした地山評価とそれに基づく補助工法や支保選定の具体的手順を作成しなければならない。従来の探査適用と今回の研究によって判明した得られた物性値と地山評価の関連について、表-1にTDEM法により得られる比抵抗値と定量的な地山状況との関連、表-2にTSPによる地山分類事例、表-3にDRISSによる穿孔エネルギーと地山状況、補助工法の適用事例をまとめた。

探査結果の定量的地山評価については、TDEM法は得られる比抵抗値を弾性波速度・ボーリング結果等との対照により地山分類が行える可能性があり、TSPは203型によって得られる弾性波速度により、従来の弾性波反射面の把握だけでなく、地山分類が行えることが示された。DRISSについては、穿孔エネルギーが補助工法を採用する際の管理基準値の一つとなることが示され、地山分類、補助工法の施工箇所の特選定、選定などの地山評価に役立つデータが掘削前に把握できるようになった。

表-1 TDEM法により得られる比抵抗値と地山状態

地山比抵抗の影響因子		比抵抗値	予想地山状況
飽和度	大	小	地下水、湧水
水分含有量	大	小	破碎帯、湧水
温度	高	小	高温岩盤
間隙水の比抵抗	小	小	塩水、海水
粘土鉱物含有量	大	小	変質帯、断層

表-2 TSPによる地山分類事例

地山分類	A	B	C I	C II	D I	D II
弾性波速度	4.8以上	4.8~4.5	4.5~4.0	4.0~3.5	3.5~3.0	3.0以下

表-3 DRISSによる穿孔エネルギーと地山状態、補助工法の適用事例

Case	削岩機	ビット	フィード圧	岩種	支保パターン	穿孔エネルギー (J/cm ³)	地山状況、補助工法との関連
1	アトラス COP1238	タロス・Φ80	3MPa	砂岩・頁岩	D I	>100	AGFなし
					D I	≤100	AGFあり
2	アトラス COP1838	ボタン・Φ64	4MPa	花崗斑岩	D I	>100	先受け工無し
						≤100	100%充填式および特殊の注入式フタボリング
3	古河 HD190	ボタン・Φ64	4MPa	凝層	D I	>100	
						≤100	AGFおよび特殊の注入式フタボリング

2) 今後の課題・展開

単独で用いてきた探査法をシステムとして構築し、組み合わせて行うことにより、探査システムの効果として、探査性能の補完、有効な位置での探査実施による探査回数の減少、地山脆弱部に対する探査精度の向上等といった利点があり、現場適用により探査結果によって地山分類、補助工法への定量的評価が行えることが判明した。

今後、探査結果による地山分類、補助工法への展開は、探査結果と施工状況の対照、探査実績の積み重ねにより、さらなる地山評価法の精度向上を目指す。

参 考 文 献	山岳トンネルにおける切羽前方探査の高精度化の試み 土木学会 トンネル工学研究会：戸田建設(株) 原敏明他 2002年11月 戸田建設(株)・西松建設(株)共同研究カタログ資料
備 考	—

【地下施設／山岳トンネル】

技 術 名	切羽前方コアサンプリングシステム
番 号	No. 4. 2-11
発 注 者	国土交通省北陸地方整備局
施 設 名	国道 49 号 新揚川トンネル
所 在 地	新潟県東蒲原郡阿賀町
工 事 名 称	国道 49 号 揚川改良新揚川トンネル工事
施 工 期 間	2011 年 1 月 22 日～2012 年 12 月 25 日
施 工 者	五洋建設(株)
キーワード	切羽前方コア、油圧ドリルジャンボ、切羽前方探査
<p>(1) 概 要</p> <p>トンネルを安全かつ効率的に掘削するためには、切羽前方の地質構造や地山性状を精度良く把握することが重要である。現在、坑内からの切羽前方地山の探査は、主に①専用ボーリングマシンによる水平ボーリング、②TSP（弾性波）探査等の物理探査、並びに③ドリルジャンボによる削孔エネルギー検層のいずれか、またはそれぞれを組み合わせで行われている。</p> <p>これらの探査手法は、精度は良いが機械設備が大規模になる、機械設備は小規模だが直接的に地質の評価ができないなどの問題点を有している。</p> <p>本技術は、専用の機械設備を用いずに切羽前方地山の岩石試料（コア）を採取し、直接的に地質を評価できるコアサンプリングシステムを開発したものである。</p> <p>(2) 技術詳細</p> <p>1) システムの特徴</p> <p>本システムの特徴は、</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 専用の機械設備を用いず、汎用機械であるドリルジャンボでコア採取が可能 ② トンネル作業員による施工が可能 ③ 任意の探査深度で岩石コアの採取が可能 ④ ドリルジャンボで削孔できる場所であれば、任意の断面位置で迅速な探査が可能 ⑤ 採取したコアで、点載荷試験や浸水崩壊度試験、X線回折試験等の岩石試験により、地山性状を直接的かつ定量的に評価することが可能 <p>2) システムの構成</p> <p>本システムは、専用の機械設備を用いずに汎用機であるドリルジャンボを用いてコア採取を行うものである。</p> <p>図-1 に切羽前方コアサンプリングシステムの構成図を、写真-1 にコアサンプラーの一例を示す。</p> <p>本システムには、単管削孔方式と二重管削孔方式の2種類の削孔方式がある。単管削孔方式は、孔壁が自立しない地山では探査が困難であるが、高速削孔が可能である。一方、二重</p>	

管削孔方式は、単管削孔よりも削孔速度は低下するが、外管により孔壁の崩壊を防止できるため、亀裂性の地山でも探査が可能である。このように、本システムは、地山状況に応じて単管削孔方式と二重管削孔方式が選択できる。

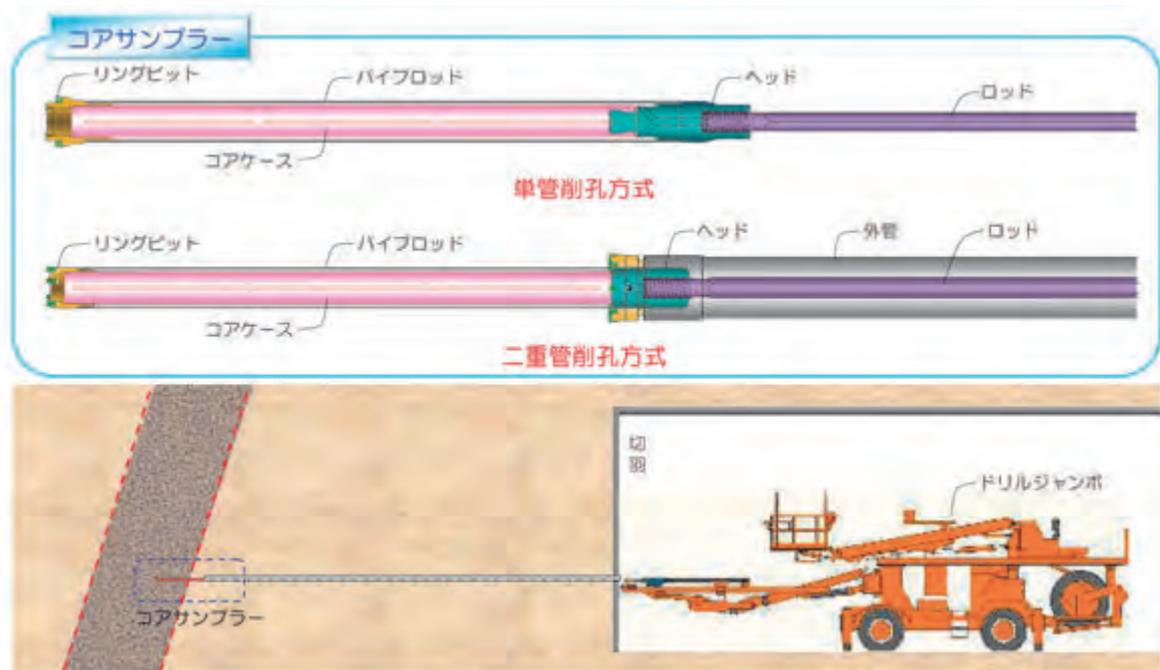


図-1 システム構成図



写真-1 コアサンプラーの一例

(3) 実施結果

1) 実施結果

試験施工において、“長尺先受け工（標準的な1シフト長：12.5m）の施工継続の可否を判断する際の切羽前方探査”という状況設定で、①切羽前方12m以奥から岩石コアが採取できるか、②任意の位置で断続的に岩石コアが採取できるか、について検証した。

図-2 に試験施工における岩石コア採取位置を示す。

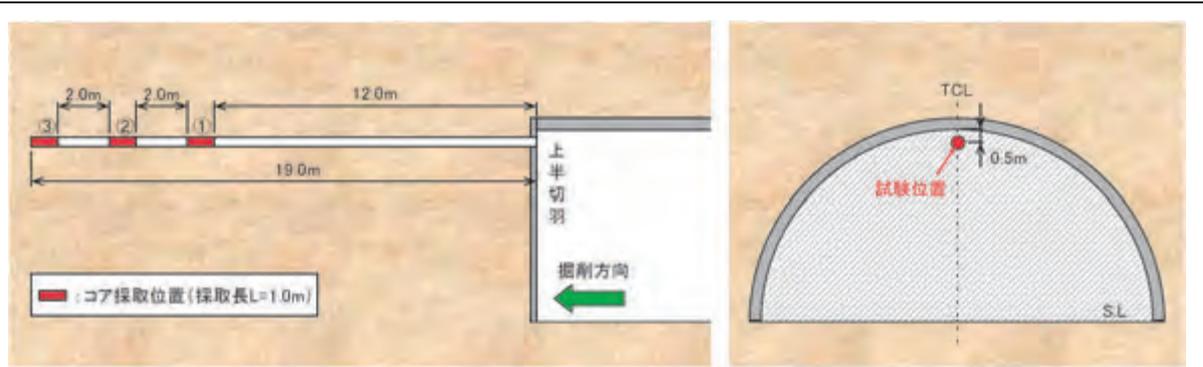


図-2 岩石コア採取位置図

試験施工の結果は以下のとおりであった。

- ① 切羽前方 12m 以奥におけるコア採取率は良好であり、採取した岩石コアと実際の切羽状況もよく一致した。
 - ② サイクルタイムはトンネル掘削に与える影響が小さい。
- 以上から、切羽前方コアサンプリングシステムは、実用上問題がないことを確認した。

2) 今後の課題・展開

今後想定されるシステムの改良点は以下のとおり。

- ① 地質に応じたビット形状の最適化
- ② 削孔水によるコアの流失防止対策
- ③ コア取り出し時のコアの損失・損傷防止対策

参考文献	<ul style="list-style-type: none"> ・トンネル技術研究発表会論文集 2013：北海道土木技術会 ・プレス発表資料 ・ホームページ：http://www.penta-ocean.co.jp/news/2012/120731.html (2016年4月14日現在)
備考	特許第 5510958 号、共同開発者：西日本高速道路(株)

【地下施設／山岳トンネル】

技 術 名	切羽ウォッチャー
番 号	No. 4. 2-12
発 注 者	三重県
施 設 名	三田坂トンネル
所 在 地	三重県伊賀市諏訪～伊賀市三田
工 事 名 称	一般国道 422 号三田坂バイパス道路改良(三田坂トンネル(仮称))工事
施 工 期 間	2012 年 12 月～2015 年 8 月
施 工 者	鹿島建設(株)
キーワード	3 方向レーザー変位計, 切羽崩落予測
<p>(1) 概 要</p> <p>山岳トンネル工事において、レーザー距離計で切羽の変動を常時観察し、切羽崩落の危険性を高精度に予測する「切羽ウォッチャー®」を 2012 年に開発したが、このほど、より高精度なレーザー変位計と、凹凸のある切羽においても安定して機能する反射塗料を新たに開発した。これにより、従来の 2 倍以上という長距離での測定が可能となり、盛替え回数的大幅な削減と切羽崩落予測の更なる高精度化を実現した。</p> <p>(2) 技術詳細</p> <p>2012 年に開発した「切羽ウォッチャー」は、高精度レーザー距離計を回転制御装置と組み合わせることで、1 台のレーザー距離計で切羽の複数点の変位を計測し、切羽崩落の可能性や崩落に到るまでの時間をリアルタイムに予測することができるシステムである。突発性崩落の可能性のある地山にも対応ができるため、これまで 6 箇所の現場に適用してきた。</p> <p>しかし、従来の「切羽ウォッチャー」の測定可能距離は約 40m であり、盛替え回数を減らすためには、より長距離測定が可能なシステムが必要であった。また、ターゲットとなる反射板を用いることで高精度に計測できるが、切羽に都度反射板を設置するのは手間がかかるとともに、切羽に接近して設置する行為は安全面にも課題が残ることから、より簡易かつ安全にターゲットを設置する方法も求められていた。</p> <p>今回開発した三方向レーザー変位計は、光量が多く、1 台で 3 方向にレーザーを照射できるため、従来必要だった回転制御装置なしで複数点の長距離計測が可能となる。また、ターゲットとして機能する塗料は、光が入射方向にそのまま反射する再帰性反射塗料と呼ばれるもので、レーザーに効率よく反射する輝度や、切羽に確実にとどまる粘度等の仕様を今回新たに決定した。この再帰性反射塗料を用いることで、計測された変位量のバラつきが抑えられる。</p> <p>光量の多い三方向レーザー変位計と再帰性反射塗料を組み合わせることで、計測可能距離も 100m と従来の 2 倍以上の長さに延長でき、盛替え回数を削減することができる。また、100m 離れた場合でも変位量の誤差が±0.3mm と高精度で計測できることを確認した。</p> <p>更に、切羽への安全な塗布方法も考案し、ローラ式なら 2m 以上、スプレー方式なら 5m 以上離れて塗布することが可能となった。</p>	

(3) 結果

従来システムに比べて、長距離計測を高精度に行える改良を加えた新しい「切羽ウォッチャー」を、現在施工中の三田坂トンネル（三重県伊賀市）において貫通 100m 手前の坑口部に適用した。その結果、高精度化を確認できたとともに、計測可能距離が従来の 2 倍以上を達成したことで、盛替え回数も従来システムに比べ半分以下に大幅に削減された。



写真-1 三方向レーザ変位計



写真-2 再帰性反射塗料の塗布状況(ローラ式)

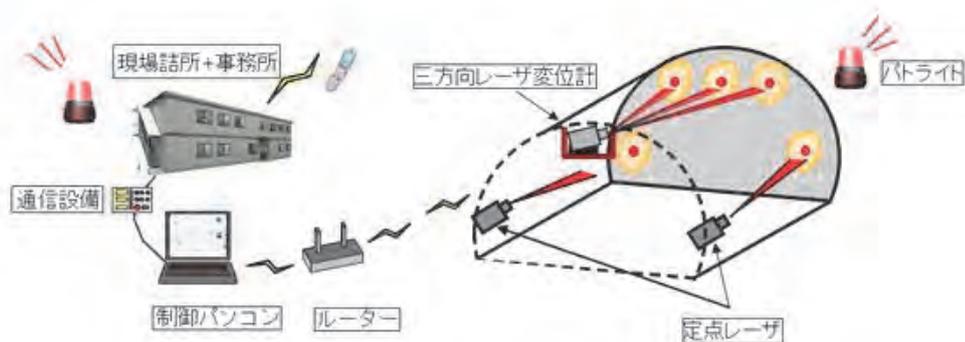


図-1 切羽ウォッチャー概念図

参考文献	鹿島建設(株)、ホームページ、2014.9.4 http://www.kajima.co.jp/news/press/201409/4c1-j.htm
備考	—

技術名	逆解析切羽前方予測システム
番号	No. 4. 2-13
発注者	国土交通省 近畿地方整備局
施設名	鍋谷峠トンネル
所在地	—
工事名称	鍋谷峠道路鍋谷峠トンネル工事
施工期間	2012年3月～2015年8月
施工者	佐藤工業(株)
キーワード	3次元計測、内空変位、3次元FEM解析

(1) 概要

1) 工事概要

工法：山岳工法

2) 技術概要

今回、新しく開発したシステムは、トンネル工事における施工管理（観察・計測）として一般的に行われている内空変位計測の変位データを用いて切羽前方地山の物性値を算出し、地山の性状を予測するもので、適切な頻度で内空変位計測を実施すれば、切羽前方地山の予測を日常的に行うことができる。

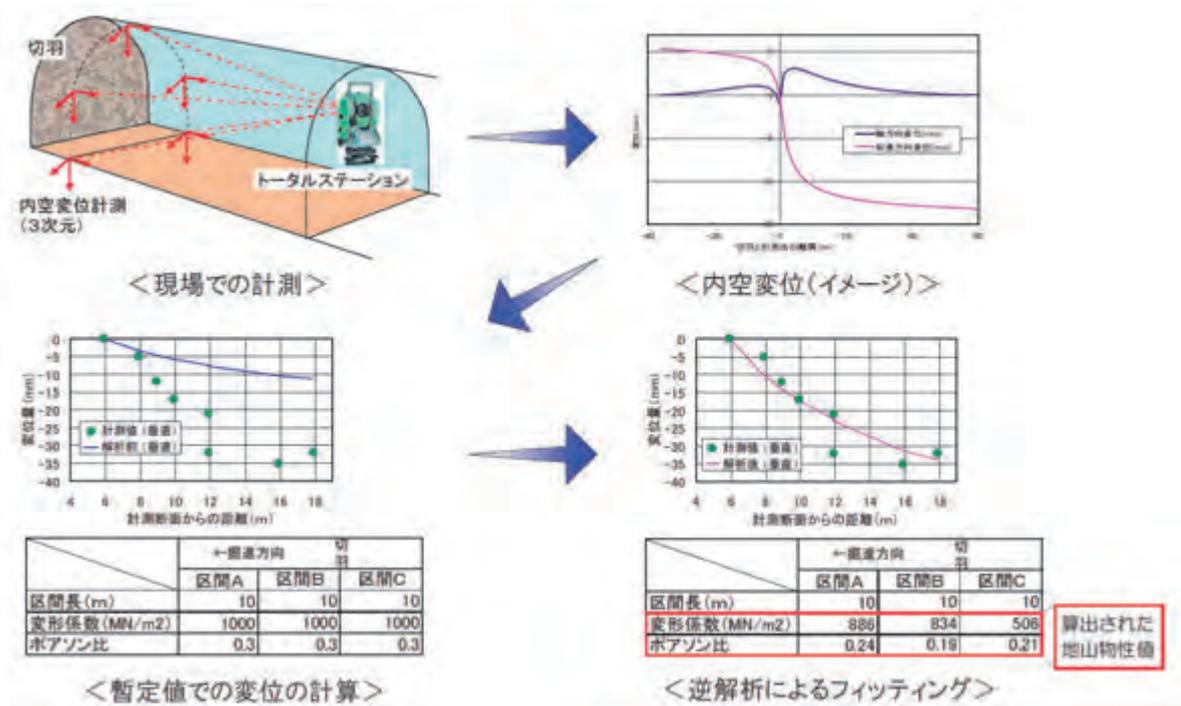


図-1 システムの概要図

(2) 技術詳細

本システムでは、まず掘削後、速やかに変位計測用のターゲットを設置し、三次元計測器にて初期値を計測する。その後、2回/日程度の頻度で数回変位の計測を行う。

一方、解析用ソフトにて、FEMモデルを作成する。FEMモデルは、入力された解析範囲、土被り、トンネル断面の形状などから自動的に断面が生成され、軸方向については支保パターンに基づく区間分けと計測管理データから読み取られた計測断面位置、切羽位置などの値に基づき節点位置が決定される。

次に作成したFEMモデル上で逆解析を実行する。逆解析では、入力された計測断面の変位計測値や指定された区間の掘削の実績に基づいてFEMモデルでの掘削のシミュレーションが実行され、観測された計測断面の変位に最も適合するような物性値が繰り返し計算により求められる。

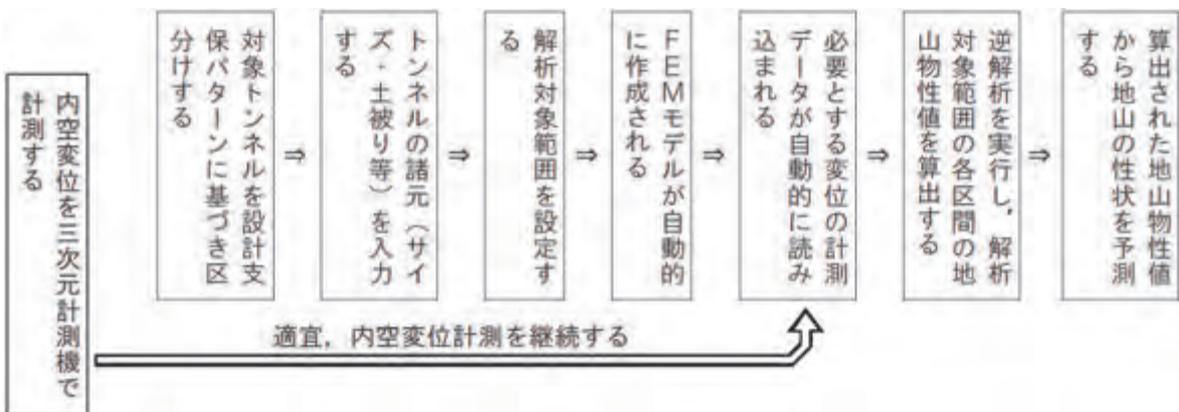


図-2 システムフロー図

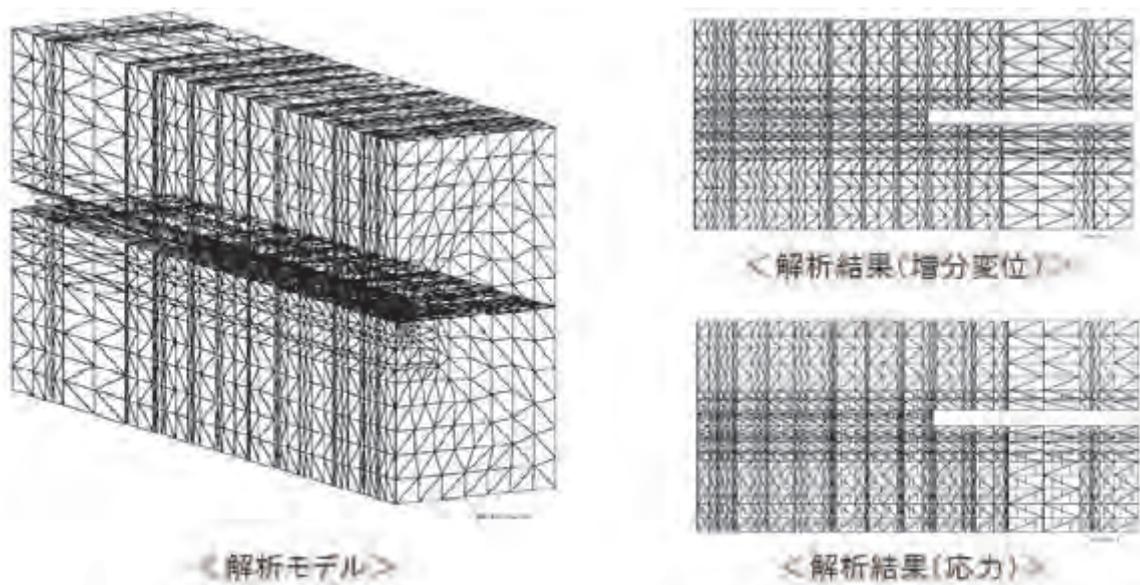


図-3 FEM解析モデル例

本システムは、トンネル工事における施工管理（観察・計測）の一環として一般的に行われている内空変位計測の鉛直方向変位、軸方向変位のデータを基にして逆解析を行うことで、切羽前方 1D 程度（約 10m）までの未掘削区間の性状を予測する。また、本システムの導入に当たって新規に必要な機材は解析用のパソコンだけであり、また、解析で用いるデータについては従来から実施している内空変位計測データをそのまま使用すればよいので、容易に導入することができる。

(3) 結果

図-4 に示すトンネルにおける実施例を示す。



図-4 解析対象トンネル概略図

この実施例では、切羽の前後 10m ずつを解析範囲として設定し、区間長 5m ずつの区間に区分した。計測点は距離程 13643m に設置し、この点における変位計測の結果に基づき逆解析を行った。変位と逆解析によるフィッティングの結果を図-5~6、逆解析によって求められた地山の物性値を表-1 に示す。また、逆解析によって推定した地山の物性値と実際の地山の切羽評価点との比較を図-7~8 に示す。

図-7~8 によると、ヤング率については地山状況と整合性が高いが、ポアソン比については地山状況を反映しているとは言い難い。これは、軸方向変位の計測精度が鉛直方向変位の精度に比べて劣っているためと考えられるが、今後の検討が必要である。

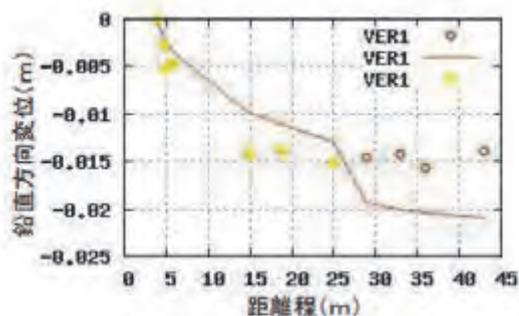


図-5 鉛直方向変位とフィッティング

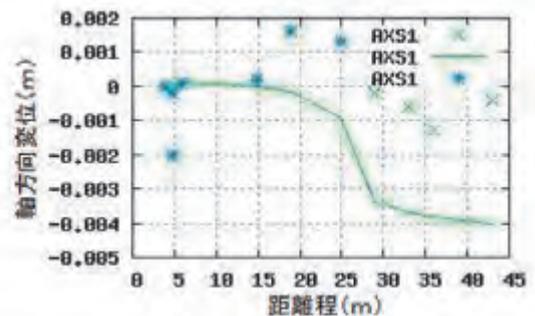


図-6 軸方向変位とフィッティング

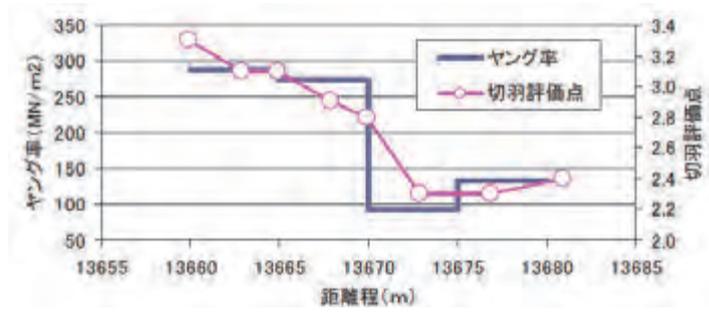


図-7 算出したヤング率と切羽評価点

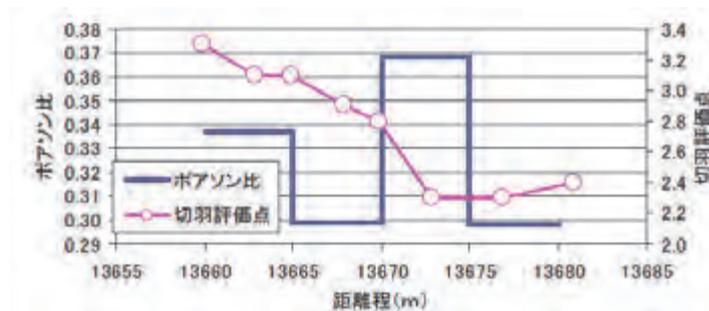


図-8 算出したポアソン比と切羽評価点

表-1 算出した地山物性値

区間	ヤング率 (MN/m ²)	ポアソン比
A	288.4	0.337
B	273.6	0.299
C	90.9	0.368
D	132.4	0.298

参考文献	土木学会第 70 回年次学術講演会：佐藤工業(株)、瀬谷正巳他、VI-692、P1383-1384、2015 年 9 月
備考	—

技術名	変位予測システム「4D-Super NATM」
番号	No. 4. 2-14
発注者	—
施設名	—
所在地	—
工事名称	—
施工期間	—
施工者	戸田建設(株)
キーワード	4次元変位量予測、3Dレーザースキャナ、3次元FEM解析

(1) 概要

NATM工法では、掘削により周辺地山の応力が解放されるため壁面の変位が発生する。一般的には切羽進行や時間経過に伴い応力が再配分され、変位量はある値に収束していく。しかし、支保工の持つ変形を抑える力が小さい場合には、変位量が収束せず増大していき、周辺地山やトンネル支保工の破壊に至る場合がある。このため、掘削の初期段階において、その後の変位量の変化を予測し、支保工の規格等を変更することで、安定した支保構造にすることが重要となる(図-1)。

一方、トンネルは3次元のチューブ構造であるため、変形挙動はトンネル断面方向の2次元管理のみでなく、トンネル軸方向も考慮した3次元で管理する方が合理的である。さらに、地形や地質はトンネル軸方向にも変化していくため、軸方向の断片的な計測のみでは、局所的な変形を見逃してしまう恐れがある。

このため、最近では3Dレーザースキャナにより、トンネル全壁面の変位量を3次元で管理する手法が研究されている(図-2)。

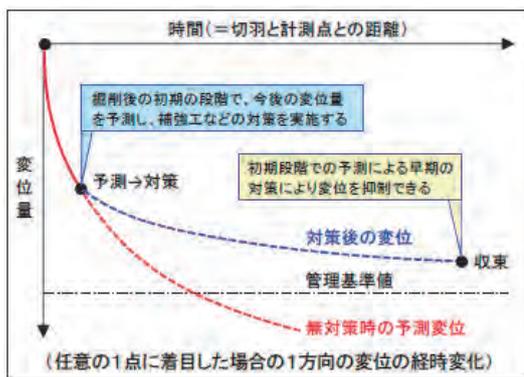


図-1 トンネル壁面の変位状況

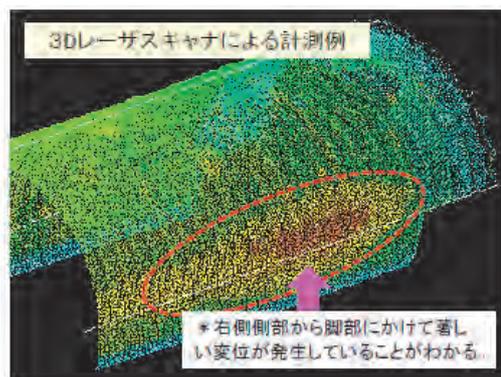


図-2 トンネル壁面の3次元変位

(2) 技術詳細

1) システムの概要

2-1-1 変位予測システム「4D-Super NATM」

『4D-Super NATM』は、3D レーザスキャナによる3次元データと、変形量を予測できる3次元FEM解析との両者を融合させた4次元変位予測システムである。本システムを適用すれば、初期段階で測定した3次元データを解析することで、現時点の変位量や変形モードだけでなく、任意時間後の変位量・変形モード等を3次元で可視化できる。これにより、補強対策や支保工の変更等の要否、対策の規模、対策の区間を合理的に判断できる。

2-1-2 計測管理手順

変位予測システムによる計測管理の手順は、下記の通りである。

- ① トンネルの線形・断面・支保パターン・地形等の各種の3次元情報を『4D-Super NATM』専用ソフトに入力。
- ② トンネル掘削を開始し、切羽や先進ボーリングコア等から地山の諸物性値とその変化予測情報を入力し、位置情報と共に専用ソフトに入力。
- ③ 初期値および一定の時間毎（概ね1回/日）の壁面位置を3Dレーザスキャナで測定し専用ソフトに入力後、自動で統計的データ処理を実施。
- ④ 変位予測を行いたい範囲および変位予測したい時間を指定し、自動で変位予測を実施。必要に応じて、変形モード図等を3次元可視画像として出力。
- ⑤ 変位の予測結果と事前に設定した管理基準値を比較することで、対策の要否・規模・範囲を判定。

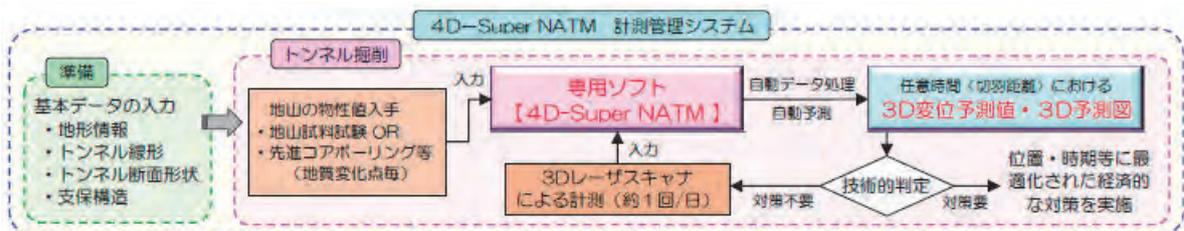


図-3 4D-Super NATM 計測管理システムの概要図

2) 現場へ導入したシステムの構成

2-2-1 3次元レーザスキャナによる断面計測

トンネル壁面の断面計測を掘削直後の切羽を含めた延長20m程度で実施し、三次元点群データを取得する（図-4）。計測精度の確保のため、データは測定メッシュ（10cm×10cm）を単位に1σ以内の平均値を算出して代表値とする。切羽進行に伴うデータ変化が断面各点の変位量となる。

2-2-2 3次元数値解析テーブル

トンネル掘削断面の変形は、どの地質でも弾性範囲内であれば地山の変形係数Eによって

規定されるため、掘削工法（補助ベンチ付全断面工法、ショートベンチカット工法）と設計等級による支保パターンの施工条件ごとに3次元 FEM 弾性解析（図-5）を実施し、変位の基準値となる3次元数値解析テーブルを作成している。

掘削工法と支保パターンが定めれば数値解析テーブルから基準変位曲線（切羽離隔に応じた変位曲線）が選定され、初期段階の実測変位と基準値の対比で実変形係数を評価し、着目点の変位曲線を特定する（図-6）。各測定メッシュで同様な処理を行うことで、トンネル壁面の変位分布、断面形状の変化を予測することができる。

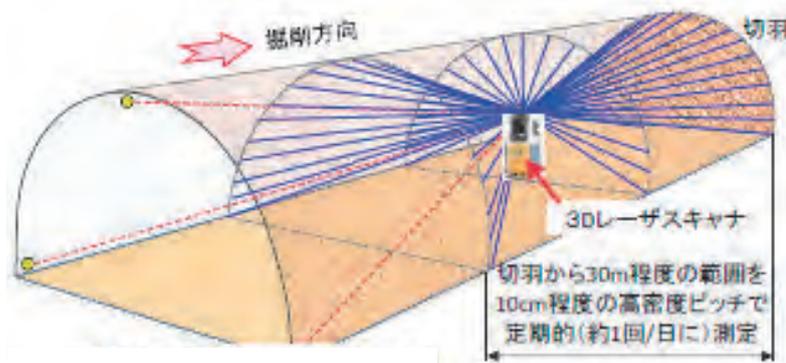


図-4 3次元レーザースキャナによる断面計測模式図

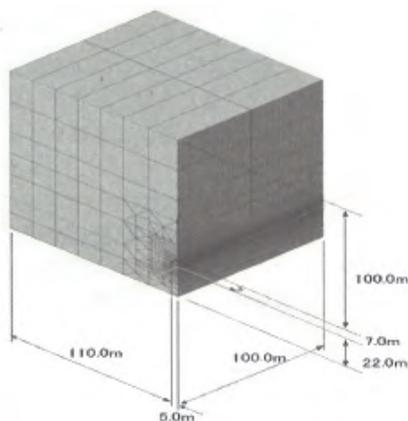


図-5 3次元 FEM 解析モデル図

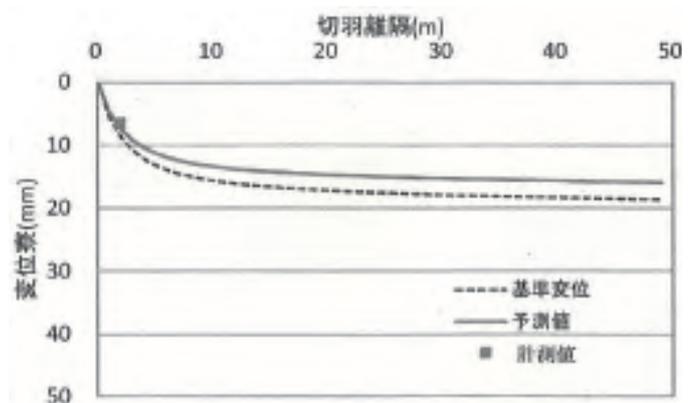


図-6 変位曲線(基準変位と予測値)

2-2-3 専用ソフト

専用ソフト（4D-Super NATM）は、断面計測データの一連の処理を自動的に行い、可視化する各種出力機能を有するもので、次の手順で運用される。

- ① 基礎データの入力：線形、掘削工法、支保パターンの割付等。
- ② データ変換：掘進データや計測データファイルの作成、3D 数値解析テーブルの編集等。
- ③ 3D 断面計測データの取得。
- ④ 計測データの処理：統計処理、変位量算定、変位量予測と各種ファイリング。
- ⑤ 着目区間のモニタリング出力：変位分布マトリクス（現状値、予測値）、変形モード図

等の3D可視画像。

- ⑥ 技術的評価：変位予測結果と管理値との対比および判定、掘削断面の出来形評価。
以上の手順で、③～⑥を順次繰り返して掘削を進めていくものである。

(3) 結果

1) 現場への適用事例

長野県発注「上高地トンネル」工事のCII区間において当システムを適用した。地質は新第三紀の砂岩、泥岩互層で一部、破碎帯、チャート層が挟在する地山条件であり、土被り高さは95m程度であった。掘削工法は発破による補助ベンチ付全断面工法であった。

切羽を含む20m区間を2サイクル進行(2.4m)ごとに3D断面計測を実施した。ここでの掘削工法とCIIパターンの条件で、地山の単位体積重量 22kN/m^3 、変形係数 420MPa の標準値に対する基準変位曲線が3D数値解析テーブルから設定され、天端沈下量の収束量は19mmと想定されていた。

今回の切羽進行2.4mでの初期天端沈下量、基準値 8.8mm と計測値 7.4mm の対比から、実変形係数 500MPa が得られ、天端沈下量の予測値は 16mm となった。全体的に大きな沈下量ではなかったが、3Dレーザースキャナによる実測の収束値は 18mm となり、予測値と大きな乖離はなく当システムによる変位予測手法の妥当性が確認された。

一方、着目断面内のトータルステーションによる実測の最終沈下量は 12mm であった。これは3D断面計測値より 6mm (約33%)少ない収束値であり、本手法によって掘削直後からの初期段階の変位量を確実に計測できることが証明された。

また、3D断面計測作業は切羽近傍で坑内を占有して実施されたが、1回あたりの計測時間は準備を含めて20分程度で、サイクル上大きな問題となるものではなかった。

2) 今後の課題・展開

今後は、4D-Super NATMをトンネル工事に本格的に採用し、専用ソフトの操作性の向上や変位の予測精度の向上を図っていく。また、CIM(Construction Information Modeling)との統合を念頭に、切羽写真や支保構造の品質管理データ等の属性データを取り込み、総合的な施工管理、維持管理資料のツールとして発展させたいと考えている。

なお、塑性地圧が発生して大きな変位を生じるような条件では弾性解析を基本とする当システムの適用は困難であり、条件に応じた非線形弾性解析等の採用が妥当と考えている。

参考文献	山岳トンネルの四次元計測管理システム=断面変位と形状変化を三次元で予測「4D-Super NATM」= 建設機械: 戸田建設(株) 岡村光政他 pp. 39-42 2015年7月 戸田建設(株) ホームページ: ニュースリリース(2014年7月8日) http://www.toda.co.jp/news/pdf/20140708.pdf
備考	—

【地下施設／山岳トンネル】

技術名	球面切羽計測システム
番号	No. 4. 2-15
発注者	中日本高速道路(株) 東京支社
施設名	八之尻トンネル
所在地	山梨県西八代郡市川三郷町黒沢～山梨県南巨摩郡富士川町大柵
工事名称	中部横断自動車道 八之尻トンネル工事
施工期間	2009年12月15日～2015年1月17日
施工者	清水建設・岩田地崎建設共同企業体
キーワード	切羽形状計測、3Dレーザースキャナ、相対位置情報

(1) 概要

1) 工事概要

工法：山岳工法

掘削延長：2,469m

掘削断面積：82m²

掘削方法：全断面掘削・補助ベンチ付全断面掘削，機械掘削（ブームヘッド RH-10J-SS）

2) 技術概要

八之尻トンネル工事では、機械掘削による全断面早期閉合工法の試験施工に発注者と共同で取り組んでおり、全断面掘削に伴う鏡面（切羽前面）の安定化対策として、球面（曲面）切羽を国内で初めて採用した。球面（曲面）切羽は鏡面を球面（曲面）形状に掘削することで、ドームアクションによる安定化効果を期待する方法である。



写真-1 3D スキャナによる計測状況

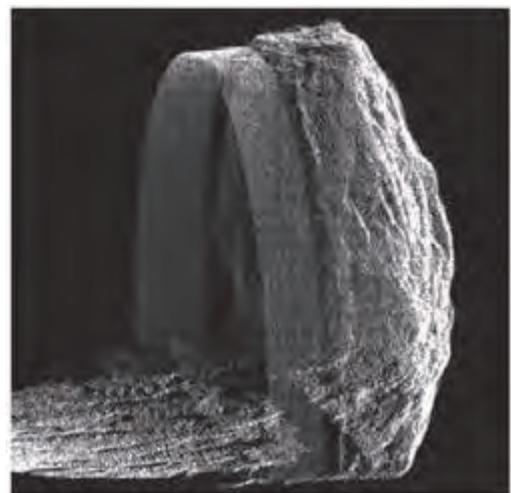


図-1 切羽形状計測結果

球面（曲面）切羽の効果を評価するに当たり、掘削形状を定量的に計測・記録し、分析に供することが必要である。そのためには、同工事の切盛土量管理で有用性を確認した、3Dス

キャナを用いた三次元形状計測が必要不可欠と判断した。

また同様に、トンネルの掘削出来形（当り/余掘り量）管理へ適用範囲を拡大することにより、当該作業の省力化、迅速化および高精度化を目指すこととした。

(2) 技術詳細

1) 3Dスキャナ

3Dスキャナは、指定した照射範囲・ピッチで連続的にノンプリズムでの測距測角を行うことで、物体の形状を三次元座標(X, Y, Z)を有する点の集まり(点群データ)として取得する測量機器である。1度に数百万点規模の連続計測が可能であり、測定誤差は測距30mで±4mm程度である。内蔵のCCDカメラを用いて、点群データに(R, G, B)の色情報を持たせることもできる。

なお今回採用した3DスキャナGLS-1500((株)トプコン製)は、操作にノートパソコンの接続が不要なスタンドアロン仕様であり、切羽での計測時間の短縮化と操作性の向上が図られている。計測データはスキャナ本体に装着したSDカードに保存する。

表-1 計測機器スペック

3Dスキャナ (GLS-1500)

■スキャニング部	
測距方式	パルス方式 (Time of Flight)
測定距離 (反射強度90%)	330m
単発測定精度	
距離精度	4mm (ρ) / 1~150m
角度精度	6°
スキャンスピード	30,000点/秒
スキャン分解能	
計測密度	最大1mm/20m
最大測点数	V×H: 100,000,000点
測定範囲	鉛直: ±35°, 水平360°
■カメラ部	
画角	約22° (V)×16.5° (H)
画素数	2メガピクセル(1600×1200)
■外観	
寸法	299(D)×240(W)×566(H)mm
機械高	410mm
質量	16kg

計測データ処理用PC

CPU	Intel®Core™5Duo CPU
クロックスピード	2.4GHz
メモリ	8GB
OS	Windows7
グラフィックメモリ	1GB

2) 3Dスキャナによる計測

切羽形状計測では1切羽当りの計測点数を約15万点とし、計測時間を5分程度に設定した。その他、機器の立ち上げとキャリブレーション、既知点の後視等を合わせた作業時間は15分程度となる。なお、3Dスキャナで計測した点群データは、この時点では相対位置情報のみであり、絶対座標データは持っていない。

3) ユーティリティソフトによるデータ処理

切羽で計測した点群データに、事務所にてユーティリティソフトを使って座標データと色データを持たせる。計測目的外(配管, 風管, 照明器具など)の不要データはこの時削除し、データ量を必要最低限にする。これらの処理を行った後、点群データ(X, Y, Z, R, G, B)をテキ

ストファイル、DXF 形式等で出力する。

4) 専用ソフトによるデータの視覚化

上記処理後の点群データは、三次元設計ソフトや CAD ソフトを使い、パソコン上で三次元的に表示することができる(図-2)。また、任意の断面で輪切りにした、断面図として表示させることも可能である(図-3)。3Dスキャナを用いた切羽形状計測結果の分析により、地質毎の鏡面の安定性と切羽形状との相関性が明らかとなるなど、球面(曲面)切羽の有効性の評価が可能となった。

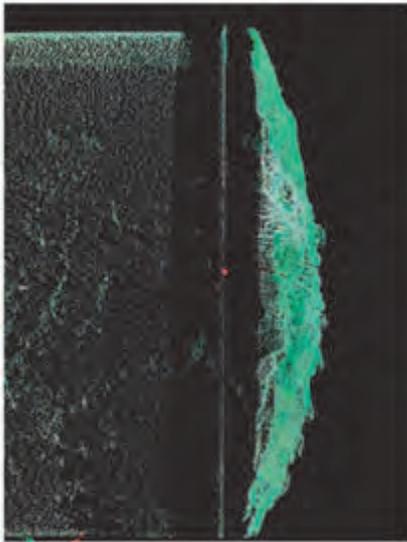


図-2 球面切羽形状計測結果

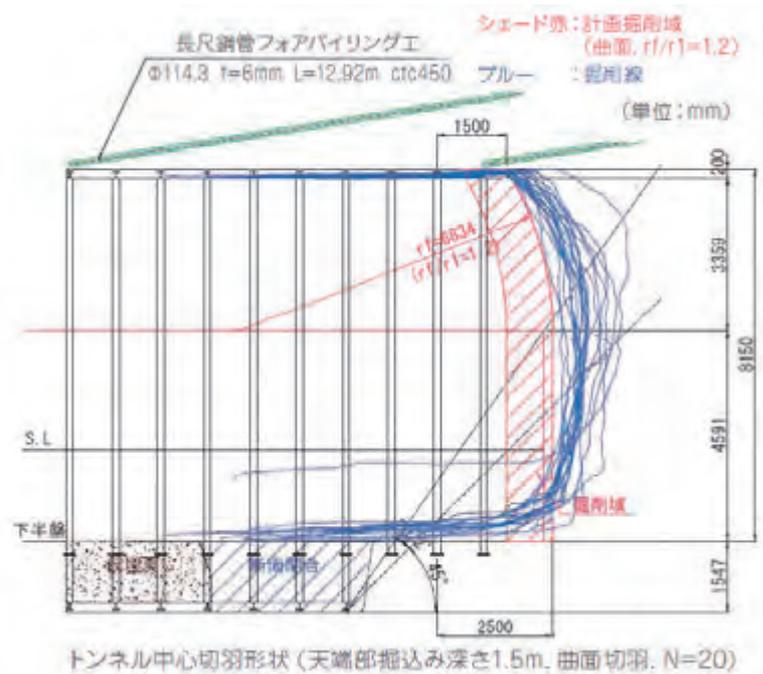


図-3 切羽縦断面形状重ね合わせ図

5) 3D出来形管理システム

本システムは、トンネル坑内で計測した一次支保工(吹付けコンクリート)仕上がり面の3D点群データから、余掘り(当り)量や二次覆工打設数量をダイレクトに計算し、三次元コンター図や展開図、断面図として容易かつ迅速に結果を得ることを可能とした。また、初期設定で入力が必要なトンネル線形、断面形状などの設計データは、山岳トンネル現場で一般的に用いられる切羽レーザー照射システムとの共有化が可能で、3Dビューアを用いてトンネル設計形状を三次元的に表示し確認することができる(図-4)。

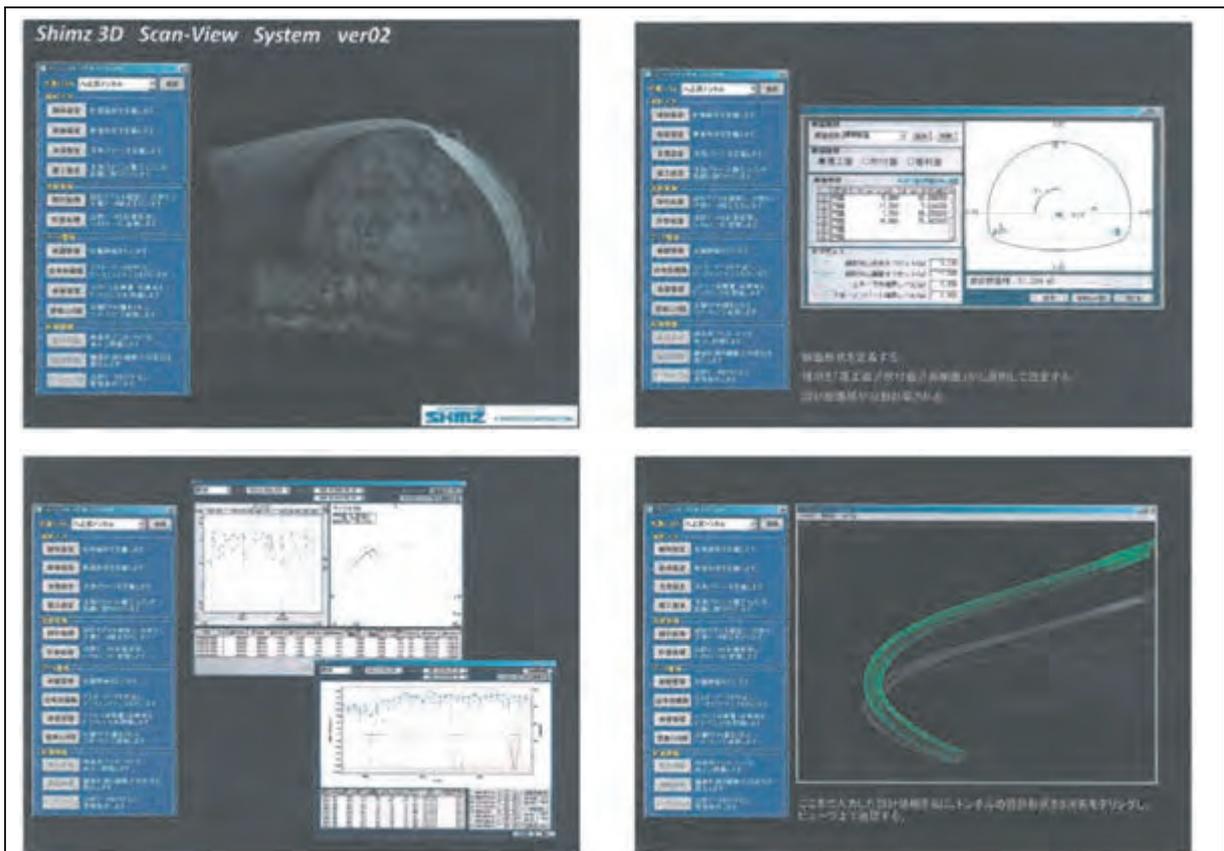


図-4 3D出来形管理システムの表示例

(3) 結果

八之尻トンネルでは当初より一貫して「3Dスキャナを用いた生産性向上」のテーマに取り組んできた。その効果をまずは明り工事の切盛土工で確認した後、トンネルの切羽形状計測へ展開し、球面（曲面）切羽の有効性の定量的評価を実現した。

次の段階では、トンネル3D出来形管理システムの開発により、当該作業の簡便化、汎用化にも成功した。一方、同システムによる品質、コスト面での改善効果については、当現場での施工データを更に蓄積することで検証していく。

今後は3Dスキャナ技術の他現場への水平展開を図ると共に、活用範囲をトンネルの変位計測へも広げることを目指す。最終的には、設計から納品、維持管理まで一貫した3D化によるCIMへの展開を図っていきたい。

参考文献	土木クォーター Vol. 179 : 清水建設(株)、P102-106、 2013年8月
備考	—

【地下施設／山岳トンネル】

技術名	三次元形状計測システム「RaVi」
番号	No. 4. 2-16
発注者	国土交通省中国地方整備局三次河川国道事務所
施設名	下本谷トンネル
所在地	広島県庄原市口和町向泉～竹地谷地内
工事名称	尾道松江自動車道下本谷トンネル工事（試験導入）
施工期間	2011年6月14日～2012年9月30日
施工者	東急建設(株)
キーワード	3次元レーザー計測、自動追尾トータルステーション、リアルタイム評価

(1) 概要

1) 工事概要

工法：山岳工法

延長：394m

内空断面積：61.8～68.3m²

掘削方法：発破掘削・補助ベンチ付全断面掘削

2) 技術概要

一般に普及し、建設現場で用いられている3次元スキャナは三脚上に設置して計測する定置式のもがほとんどである。そのため、トンネル等の細長い閉鎖空間では、計測点の間隔が一定にはならず、計測効率を向上させるためには、計測精度に悪影響を及ぼす等の問題があった。3次元形状計測システム「RaVi」は、自動追尾トータルステーションで計測機本体の位置をリアルタイムで追尾することで、移動しながら3次元計測が可能となっている。そのため、トータルステーションの計測可能範囲内ではシステムの盛替えが必要なく、トンネル等の細長い閉鎖空間では、定置式と比較してシステムの盛替え回数を極端に減らすことが可能となった。

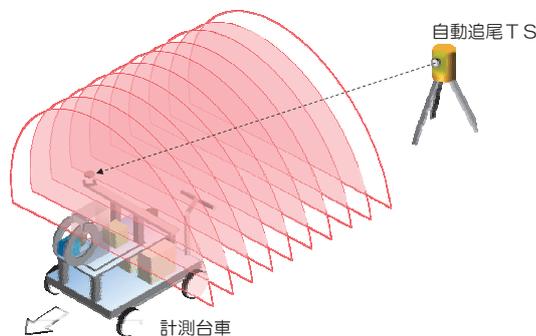


図-1 計測概念図

さらに、レーザスキャナの計測方向は、常にトンネル断面方向に向けることができ、移動速度を一定にすることで計測精度を一定に保つことが可能となっている。

3次元形状計測システム「RaVi」のもう一つの特徴は、計測対象物の設計データをあらかじめ入力しておくことで、計測と同時に設計と計測データの差異を算出し、差異の大きさによりデータ表示色を変化させて、計測結果の評価を直感的に行うことができる点にある。

(2) 技術詳細

1) 移動計測型の三次元形状計測機

三次元形状計測システム「RaVi」の計測原理は、まず2次元レーザスキャナを計測台車上に上下2台搭載し、断面方向の形状データを取得する。次に、台車を連続的に前進させることで、周辺構造物の3次元形状を取得する。さらに、レーザスキャナの位置及び台車の傾きは、自動追尾トータルステーション及びジャイロで計測し、形状データに反映する。

これにより、自動追尾トータルステーションで設定した座標系で計測データが出力され、設計形状との対比を容易にしている。また、移動しながらの計測が可能となるため、400m程度のトンネルであれば、1時間程度で全線計測が可能となっている。



写真-1 台車搭載タイプ



写真-2 背負子搭載タイプ



写真-3 小型台車搭載タイプ



写真-4 軽便トロ搭載タイプ

2) リアルタイム評価システム

三次元形状計測システム「RaVi」のもう一つの特徴は、計測と同時に設計との対比が可能である。PCの画面上には計測結果が逐次表示される仕様になっており、計測と同時にその結果を鳥瞰図・平面図・断面図等の形式で確認することができる。さらに、計測対象物の設計データをあらかじめ入力しておくことで、計測と同時に設計と計測データの差異を算出し、差異の大きさによりデータ表示色を変化させるため、計測結果の評価を直感的に行うことができる。



図-2 リアルタイム評価システム概要図

(3) 結果

下本谷トンネルでは出来形管理に試験導入し、トンネル一次覆工面と二次覆工面を計測し、各管理断面図の覆工厚を確認した。

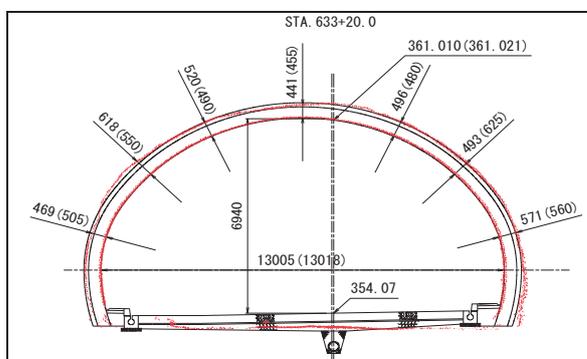


図-3 トンネル計測結果の表示例



写真-5 システム説明状況



図-4 トンネル計測結果の表示例

参考文献	No. 368 電力土木：東急建設(株) 池田直広他、P135-137、 2013年11月
備考	—

技術名	自由断面掘削機の自動化システム
番号	No. 4. 2-17
発注者	日本鉄道建設公団
施設名	金田一トンネル（南工区）
所在地	岩手県二戸市
工事名称	—
施工期間	—
施工者	戸田建設・大豊建設・福田組共同企業体
キーワード	自由断面掘削機、自動掘削システム、自動測量システム

(1) 概要

トンネル掘削工事において、作業者の面では従事者の高齢化と熟練技能者の不足、施工の面では安全性、掘削品質（路線管理含む）、及び効率向上の必要性が問われている。また、早期併合が必要なインバート掘削においては必要断面を確保できたかの確認に多大な工数を必要とし効率が悪かった。

本技術は自由断面トンネル掘削機の掘削作業を自動化することにより、掘削前測量・掘削目印や掘削進行長確認の作業を大幅に低減した。オペレータの熟練度によらず、設定したトンネル線形を簡単な操作で高能率・高精度に自動掘削できるようにした。

切羽位置計測と掘削姿勢検知に情報化施工技術を取り入れ、余掘り量を抑えた高精度な自動掘削システム搭載の自由断面掘削機（写真-1、図-1, 2）。



写真-1 自動掘削運転状況

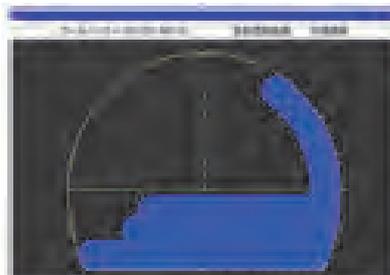


図-1 自動掘削断面



図-2 自動制御パラメータ画面

(2) 技術詳細

1) システムの概要

トンネル線形に対する掘削機本体の位置・姿勢角を自動測量するシステムと本体の位置検出器と制御用 CPU 装置等により、掘削装置を自動制御するシステムから構成され、この2つのシステムは常時連携している。自動測量システムは、掘削機本体に搭載した LED ターゲットを後方に設置した CCD カメラ付トータルステーションで捕捉し、光波測距結果を画像処理することにより、機体の位置姿勢を常時リアルタイムで計測する（図-3）。

2) 現場へ導入したシステムの構成

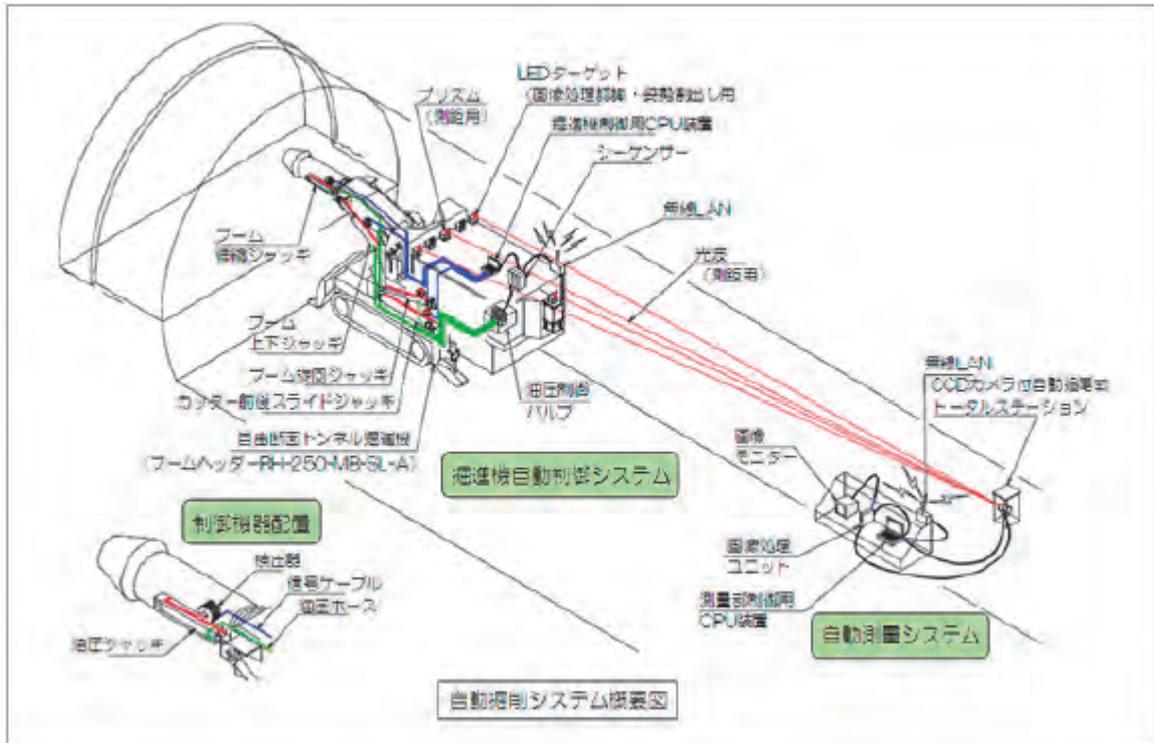


図-3 自動掘削システム概要図

(3) 結果

1) 現場での判定結果

実施工で±50 mmの精度を確認でき、手動掘削からの改善を達成できた。また、掘削中の機体の位置変動も確認されており、その状況下で、上記精度を確保しており、機体位置変動の影響を受けないことも証明できている。

2) 今後の課題・展開

現状システムは無人化施工が可能であり、機会があれば提案していきたい。

参考文献	戸田建設(株) カタログ資料 (http://www.toda.co.jp/tech/infra/infra_16.html)
備考	—

【地下施設／山岳トンネル】

技術名	高速施工のための自由断面掘削機用「自動掘削制御システム」
番号	No. 4. 2-18
発注者	(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部北陸新幹線建設局
施設名	北陸新幹線 峰山トンネル
所在地	新潟県糸魚川市大字中野口地内
工事名称	北幹, 峰山T(西)他1・他2
施工期間	2001年10月1日～2007年7月17日
施工者	清水建設(株)
キーワード	高速掘進、自由断面掘削機、自動測量システム、余掘り、高精度掘削

(1) 概要

1) 工事概要

工法：山岳工法

掘削工法：補助ベンチ付き全断面掘削工法

掘削方式：機械掘削

ずり出し：タイヤ方式

作業用横坑：延長 376m、掘削断面積 33m²

本坑：延長 3,742m、掘削断面積 72m²

2) 技術概要

峰山トンネル（西）工事においては、発注者より高速掘進の技術開発が課題として与えられていた。昭和 56～57 年に調査坑の施工が行われ、可燃性ガスを胚胎するものの、湧水量も少なく、機械掘削に適当な強度を有する泥岩が分布していることがわかった。そこで、「初期高強度吹付けコンクリート」の採用を前提として、月進 250～300m を目標とした（通常山岳トンネル掘削は月進 60～100m 程度）。

掘削サイクルタイムの試算より、掘削機械には 1 時間当たり 150m³ の掘削能力が必要であったため、国内最大級となる 350kW 級ロードヘッド（SLB-350S）を開発するとともに、作業の効率化、作業時間の短縮などを図るため、自由断面掘削機に自動掘削制御システムを搭載した。

自動掘削制御システムは、掘削機の切削ドラムの三次元座標をリアルタイムに管理するものであり、オペレータの熟練度に左右されず、設定断面を計画線形通り高精度に掘削できるシステムである。



写真-1 高速掘進工法での掘削状況



全長	24.3m
全高	4.8m
全幅	3.4m
全装備重量	120ton
切削能力	150m ³ /hr
切削電動機	350/350kw-4/6P 空冷2速切換式
油圧電動機	110kw-4P
下盤下深さ	1.7m
最大切削高	9.2m
最大切削幅	11.0m
クローラ幅	800mm
ドラム方式	シングルドラム
ドラム伸縮長	0.85m
ドラム回転数	高速 46/55min ⁻¹ 低速 31/37min ⁻¹
接地圧	0.15MPa
供給電圧(50/60Hz)	400/440V

写真-2 ロードヘッダ SLB-350S 型

(2) 技術詳細

自動掘削制御システムは、掘削機の後方に配置した換気架台上に2台の追尾装置を設置し、これらからのレーザー光が掘削機の位置、向きを常時測定し、その他の測定値と合わせて掘削

きた。写真-3に吹付けコンクリート施工後の坑壁の状況を示す。

表-1 新支保工パターンでの平均的掘削サイクルタイム（実績）



写真-3 掘削吹付け仕上がり状況

参考文献	土木クォータリー Vol. 153 : 清水建設(株)、P22-49、2007年2月
備考	—

【地下施設／山岳トンネル】

技術名	トンネル覆工巻き厚管理システム
番号	No. 4. 2-19
発注者	国土交通省近畿地方整備局
施設名	別所トンネル
所在地	兵庫県朝来市地内
工事名称	和田山八鹿道路別所トンネル工事
施工期間	2008年2月～2011年3月
施工者	三井住友建設(株)
キーワード	覆工コンクリート、3次元レーザー計測

(1) 概要

山岳トンネルなどで掘削を行う場合、発破掘削や地山の変状によって壁面に凹凸が発生してしまい、覆工巻き厚に過不足が生じ易いという課題があった。また、トンネルの施工管理基準については国土交通省などで規定されているが、壁コンクリートの巻き厚については5～10mごとに断面数ヶ所を計測するものであるため計測されない範囲が存在していた。

本システムは、3次元レーザースキャナーの技術を利用することで、従来の計測手法では捉えることのできなかつた3次元形状計測を行うことで、5cm間隔で巻き厚の計測を行い、評価・判定可能なシステムとして開発したものである。

図-1にレーザー計測の流れを示す。

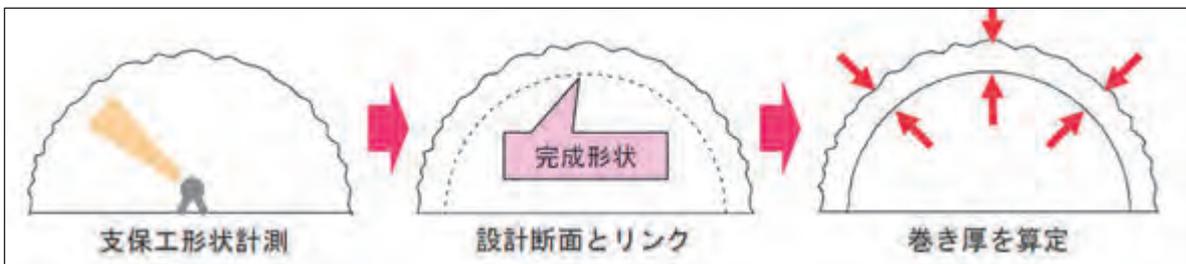


図-1 レーザー計測の流れ

(2) 技術詳細

1) 計測機器

計測に使用するレーザースキャナーは、オーストリア RIEGL 社製 LMS-Z360i である(写真-1)。本機は水平 360°、上下 80° の範囲を1回で計測することができ、塔体が回転しながら 12,000 点/秒、最長 200mまでの3次元形状計測を行う。

2) 計測方法

計測は、壁面に貼った5cm四方の反射ターゲット(写真-2)を利用した基準点ターゲット測量から開始する。基準点ターゲット測量は機械中心を原点とする座標系から公共座標系へ座標変換するために行うものである。

反射ターゲットはレーザー計測時にも写り込む位置に設置し、このターゲットを基準とし

て隣り合うレーザーデータの合成への変換にも利用する。次に3次元レーザースキャナーを設置する。設置の際には、3次元レーザースキャナーの回転軸方向とトンネル軸方向を合わせる向きでトンネル中心に機材を据える（写真-3）。3次元レーザースキャナーを横向きに固定することで、壁面までの距離が一定となり、データの集散を最小限に抑えることができる。

この状態で壁面を計測し、メッシュ化処理を行ったものが図-2である。片側2車線の道路トンネルの場合、1回の計測で約10m区間の計測が可能である。



写真-1 RIEGL 社製
LMS-Z360i



写真-2 画像合成・測量用
反射ターゲット



写真-3 レーザー設置方法（横向き配置）

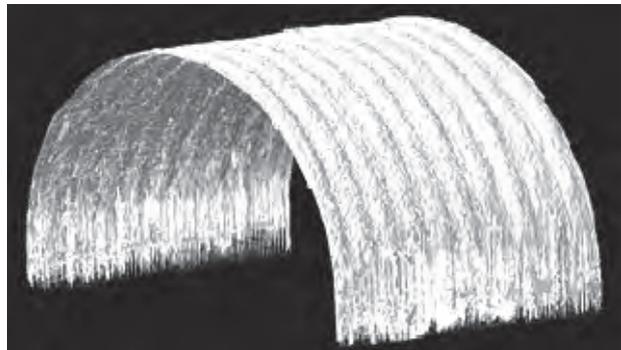


図-2 トンネル壁面の3次元データ

3) 巻き厚管理方法

3次元レーザースキャナーによる壁面形状計測の後、覆工巻き厚の過不足判定を行う。覆工巻き厚の判定は図-1 に示した要領で行う。「巻き厚の判定」とは、座標変換を行った計測データと設計データとの差分を求めるもので、この差分が覆工コンクリートの巻き厚である。

4) 管理ソフトウェア

覆工巻き厚の過不足については、計測形状（断面形状）と設計断面との差分から求めることが可能であるが、巻き厚判定は数値による確認だけでなく可視化するため覆工巻き厚管理

ソフトウェアを開発した。このソフトウェアの最大の特徴は、巻き厚判定を3種類の方法で表示・出力ができることである（図-3、4、5）。

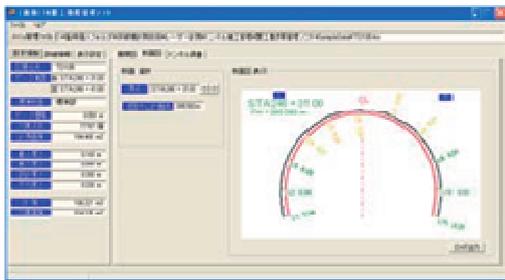


図-3 断面図
(トンネル施工管理要領準拠)

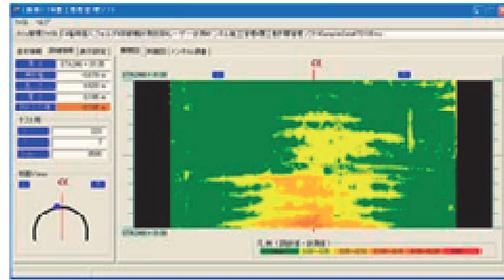


図-4 平面展開図 (コンター図)



図-5 数量表
(覆工巻き厚過不足の出力図表)

(3) 結果

1) 現場での確認結果

本システムを現場の覆工巻き厚管理に用いたことで、以下の知見を得ることができた。

- ① 高速で3次元形状を把握することが可能
- ② 暗所においても精度良く形状計測が可能
- ③ 連続的な立体として形状を捉えるため、覆工巻き厚の不足箇所の把握が容易
- ④ コンター図、断面図及び一覧表で表示することで可視化された覆工巻き厚管理が可能
- ⑤ 詳細なメッシュから打設コンクリート量を算出することで、高精度な数量管理が可能
- ⑥ 高速で形状計測が可能であるため、施工工程に影響を与えずに覆工巻き厚管理が可能

2) 今後の課題・展開

- ① 施工中に計測を行う場合、トンネルの中心に機材を据える必要があるため、工事車両の通行を阻害する。そのため、計測方法については今後も検討を続ける必要がある。
- ② ソフトウェアの開発に関して、開発者側のニーズだけでなく、運用者側のニーズにも応えられる機能の開発を進める必要がある。

<p>参 考 文 献</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 3次元レーザースキャナーを用いたトンネル覆工巻き厚管理の現場適用 (土木情報利用技術講演集 31) : 小西昭裕(近畿地方整備局 福井河川国 道事務所)、小田重一(三井住友建設(株))、櫻井雄二郎(同)、塩崎正人 (同)、佐田達典(同)、 pp. 61-64、 2006 ・ プレス発表資料 ・ ホームページ : http://www.smcon.co.jp/service/tunnel_hukukoumaki/ (2016年7月5日現在)
<p>備 考</p>	<p>—</p>

技術名	コンラップ監視システム
番号	No. 4. 2-20
発注者	長野県建設部
施設名	(仮称)上高地トンネル
所在地	長野県松本市安曇
工事名称	平成 25 年度防災・安全交付金(道路) 工事
施工期間	2013 年 12 月 6 日～2016 年 4 月 20 日
施工者	戸田建設・金多屋建設共同企業体
キーワード	セントル、覆工コンクリート、ひび割れ防止、レーザー変位計

(1) 概要

当該工事は、NATM 工法による延長 588.0m、幅員 6.0m のトンネル掘削工事である。

山岳トンネルの覆工コンクリート施工における課題に対して情報化技術を用いて対応したものである。

山岳トンネルの覆工コンクリートは、一般的に 2 日に 1 回の頻度でコンクリート打設を行う。このとき、既打設の若材齢の覆工コンクリートにセントルをラップさせてセットするが、以下の要因でひび割れや端部の角欠けが発生する課題があった。

- ① セントルのセット時に、確認不足や電動油圧ジャッキの誤操作により、既打設コンクリートにセントルを過度に押し付けてしまう (図-1)。
- ② コンクリート打設時に、コンクリートの側圧がセントルに作用し横方向に移動しようとし、ラップ部で既打設コンクリートを過度に押し付けてしまう (図-2)。

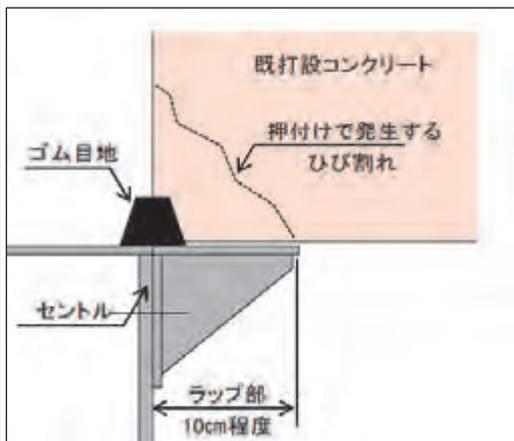


図-1 ラップ部ひび割れ 概念図

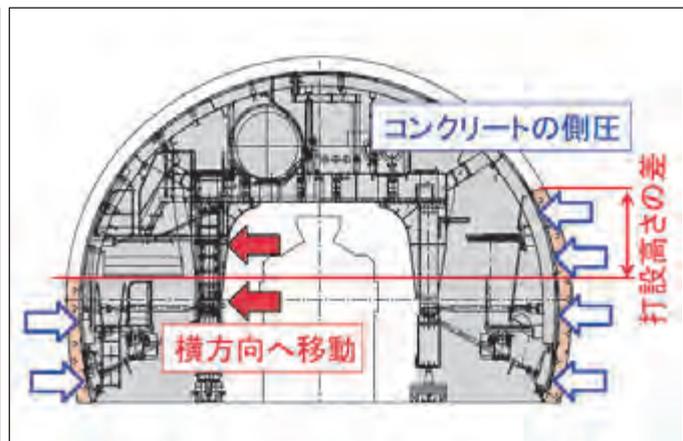


図-2 コンクリート側圧 概念図

- ③ セントル脱枠時に作業手順の認識不足や機械故障により、妻側の電動油圧ジャッキだけを下降させてしまい、既打設コンクリートのラップ部を押し付けてしまう（図-3）。

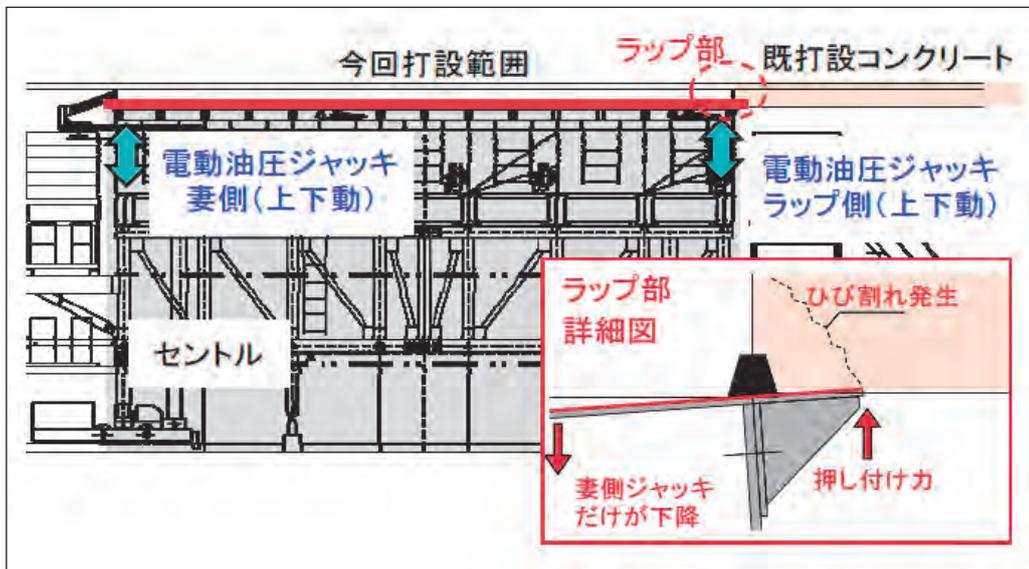


図-3 脱枠時の押し付け 概念図

(2) 技術詳細

1) 機器の配置と機能

「コンラップ監視システム」は、既打設コンクリートとセントルラップ部の隙間を側壁部、肩部、天端部の5ヶ所に配置した超高速・高精度レーザー変位計で既打設コンクリートとセントルとの離隔を常時計測し、事前に設定した管理基準値を超えた場合、ブザーと回転灯で警報を発令するとともに、電動油圧ジャッキの上下動を強制的に停止させる施工管理システムである（図-4、5）。

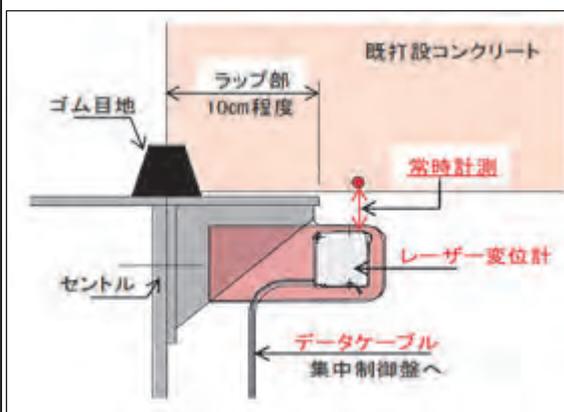


図-4 コンラップ監視システムの概念図



図-5 レーザー変位計による計測状況

2) 監視モードと機能

本システムは、各作業工程に合わせたモードによって、警報の発令や電動油圧ジャッキ動作を選定できる。また選定したモードによってセントルのセットからコンクリート打設、セントル脱型まで全ての作業工程に適用が可能である（表-1）。

表-1 監視システムのモードと機能

	「コンラップ監視システム」で選定するモード	「コンラップ監視システム」の機能	備 考
セントルセット時	セットモード	既打設コンクリートとセントルの離隔が3cm*となった時、警報を発令し電動油圧ジャッキを強制停止	セントルセットの微調整は、目視確認を行いながらジャッキ操作を実施
コンクリート打設中	打設中モード	打設開始前のラップ部隙間間隔から、±3mm*の変位を感知した時、警報を発令	警報発令後は、原因の究明、対策を講じた後、打設を再開
セントル脱枠時	脱枠モード	打設完了後のラップ部隙間間隔から、マイナス方向の変位を感知した時、警報を発令し電動油圧ジャッキを強制停止	作業手順の再確認

※離隔距離・間隔等は任意に設定が可能です。

(3) 結 果

1) 現場での確認結果

本システムを採用することで、ラップ部の隙間間隔を1mm単位の精度で常時監視でき、変位量に対応した管理が行えるため、既打設コンクリートへのセントルの接触を未然に防止できることを確認した。

2) 今後の課題・展開

トンネル工事において適用を進めとともに、トンネル以外のコンクリート構造物に対しても適用の可能性を検証する。

参 考 文 献	ホームページ：http://www.toda.co.jp/news/pdf/20150625.pdf 戸田建設ニュースリリース 2015年6月25日（2016年11月25日現在）
備 考	—

【地下施設／山岳トンネル】

技 術 名	IC タグ車両運行管理システム
番 号	No. 4. 2-21
発 注 者	東日本高速道路(株) 新潟支社
施 設 名	さみずトンネル
所 在 地	長野県上水内郡飯綱町地内
工 事 名 称	上信越自動車道さみずトンネル工事
施 工 期 間	2008 年
施 工 者	三井住友建設(株)
キーワード	IC タグ、車両運行管理、無線 LAN

(1) 概 要

延長 1420mの高速道路のトンネル工事で供用中の高速道路本線を利用して掘削土を搬出するという特殊条件下において、一般車両への安全対策を主眼として電池式 IC タグを用いた車両運行管理システムの構築を行ったものである。

当該工事では工事車両用に仮インター入口、出口を設置して運行を行ったが、特にインター出口で一般車両が誤進入することのないよう、的確な誘導が求められた。しかし、出口直前に長大なトンネル（延長約 2.4km）があり、車両がトンネルから出てくるまで誘導員からの見通しが効かない状況であった。そこで、トンネル内での車両位置をリアルタイムで的確に把握し、誘導員に知らせるシステムが求められた。タクシー等業務車両の運行管理システムには GNSS（全地球測位システム）を用いたシステムが汎用的に用いられている。しかし、GNSS 衛星からの電波受信が長時間中断する長大なトンネル内では、システムを有効に利用することが難しい。また、車両の位置を基地局へ送信する手段がない。

そこで、本件では IC タグを利用した車両検知とトンネル内に設置した LAN によって、誘導員にトンネル内の車両運行状況を知らせるシステムを採用した。

(2) 技術詳細

1) システム構成

電池内臓の IC タグを工事用車両の運転席に装着し、車両番号を識別する情報を載せた電波を常時一定間隔で発信する。トンネル内の路側部に受信装置としてアンテナ・リーダーを設置し、IC タグを装着した工事用車両がアンテナ設置部を通過するときに、電波を検知して車両番号を識別する。検知した情報は有線及び無線 LAN 等を介してモニター用のパソコンに伝送され、誘導用画面によって工事用車両の接近情報を確認することができる（図-1）。

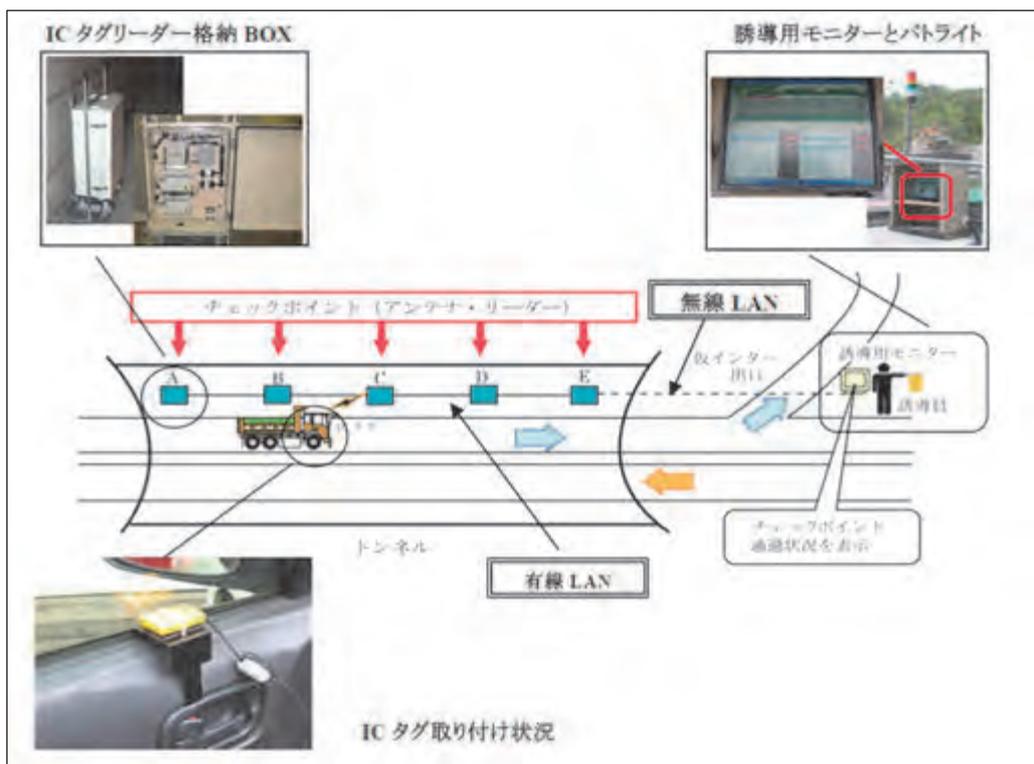


図-1 システム構成

2) ICタグとリーダー・アンテナ

ICタグとリーダーの関係を図-2に示す。今回使用するシステムはICタグに電池が内蔵されるタイプであり、ICタグから電波を発信しリーダーで受信してIDを読み取る。

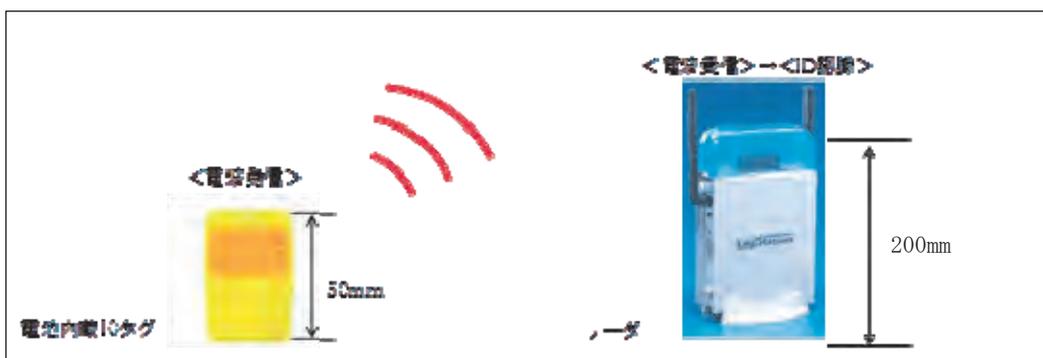


図-2 電池内蔵 ICタグとリーダー

3) 実施例

誘導員用の車両位置表示画面例を図-3に示す。各車両の状況はモニターに表示されるが、パトライトやブザーと連動することで車両の接近を通知できるため、モニターを注視することなく的確な誘導が可能となる（図-4）。

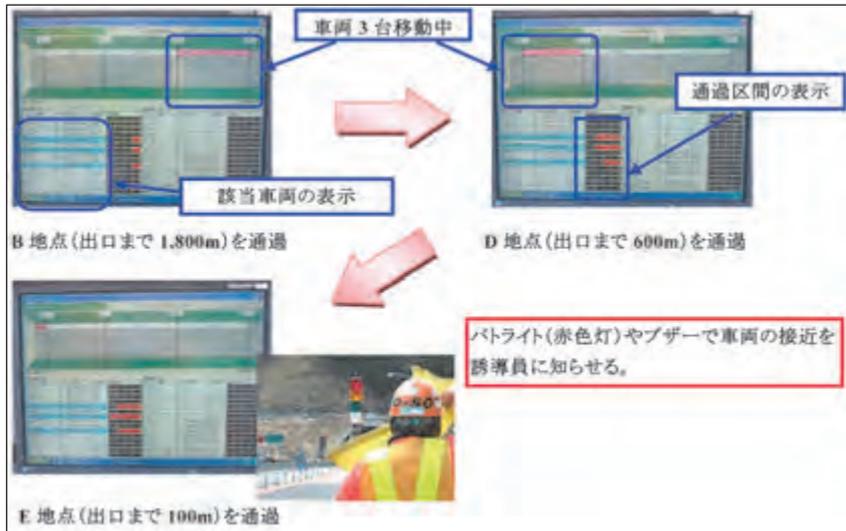


図-3 車両位置表示画面（例）



図-4 パトライトの連動(例)

(3) 結果

本システム導入の効果は以下の通りであった。

- ① ダンプトラックの接近状況がリアルタイムにわかるため、誘導員は余裕をもって準備し、的確な誘導ができる。
- ② ダンプトラック及びペースカー^(※)の位置情報が把握でき、緊急時は状況に応じた誘導ができる。
- ③ 電池式のICタグを車両に付けるだけなので、車両の追加・変更等は現場でも容易に行える。

(※) ペースカー

ダンプトラックの後方を走行し、ダンプトラックと後続する一般車両の間隔を十分にとることで、一般車両が誤って仮設出口に進入しないよう誘導する車両。

参 考 文 献	・ 社内技術研究報告書 ・ ホームページ : http://www.smcon.co.jp/2007/0725892/ プレス発表資料 (2016年11月25日現在)
備 考	—

技術名	建設機械接近警報システム
番号	No. 4. 2-22
発注者	栃木県
施設名	—
所在地	栃木県那須塩原市塩原
工事名称	一般国道 400 号下塩原第二トンネル（仮称）本体建設工事
施工期間	2012 年 6 月～2015 年 12 月
施工者	飛島建設・天野建設・岩澤建設共同企業体
キーワード	接近警報、安全管理、ネットワーク化、無線 LAN

(1) 概要

狭い範囲を建設機械が輻輳するトンネル建設工事において、入坑者と建設機械の接触災害への対応は、安全管理上重要な事項の一つである。このため、トンネル坑内において、入坑者と建設機械の位置の把握を可能とし、その位置情報を基に、建設機械の接近を入坑者へ警告する技術の開発が望まれる。接触災害に対する安全性の向上を目的に、無線 LAN 坑内測位技術を利用し、入坑者および建設機械の位置情報のに基づき、建設機械の接近を入坑者へ自動的に警告するシステムを開発した。

(2) 技術詳細

1) システムの概要

2-1-1 建設機械接近警報システム

入坑者・建設機械の位置を無線 LAN 坑内測位技術により把握する（図-1）。測位対象である入坑者および建設機械にそれぞれ無線 LAN 端末を所持させ、無線 LAN の個体識別番号と端末を所持している入坑者または建設機械と紐付けており、無線 LAN 坑内測位技術により得られた無線 LAN 端末位置を、その端末を所持している入坑者または機械の位置としている。

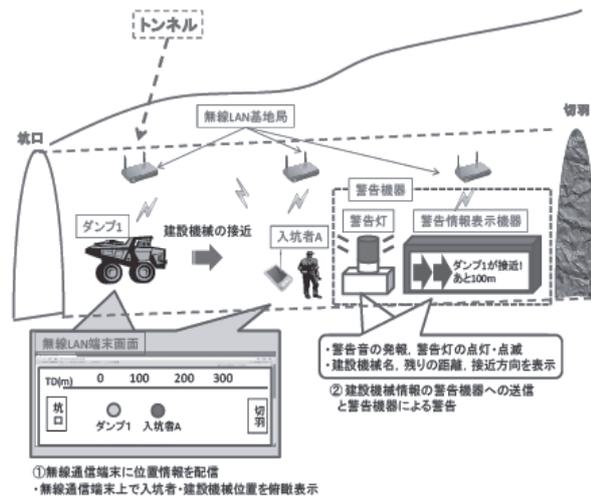


図-1 建設機械接近警報システム

2-1-2 位置情報配信機能

測位解析用サーバに、位置情報配信のためのアプリケーションが実装されており、ネットワークを介して、無線 LAN 端末、あるいはネットワークの PC 画面において、入坑者および建設機械の位置が表示される (図-2)。



図-2 無線 LAN 端末画面

2-1-3 警告機能

任意の位置に設置した警告機器に建設機械が設計した場合、警告灯の点灯と警告音が発報される。合わせて、接近する建設機械名、残りの距離、ならびに方向が表示機器画面上に表示される。なお、警告実施の判断は、警告機器と警告対象の建設機械との距離で行い、その距離は任意に設定可能である (図-3)。

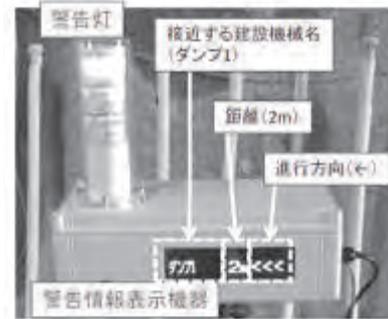


図-3 警告機器の構成

2-1-4 システム設置

本システムは、トンネル坑口よりトンネル進行方向に 10m 毎に無線 LAN 基地局、坑口から 20m の位置に警告機器でネットワークを構築し、ネットワーク内に測位解析用サーバを設置した (図-4)。現場実験では、警告範囲を警告機器から±20m の範囲を設定した。



(a) 無線 LAN 基地局および警告機器



(b) 測位解析用サーバ

図-4 機器配置状況

(3) 結果

1) 現場での判定結果

本システムにより、無線 LAN 端末上でリアルタイムに 5m 誤差の範囲で入坑者と建設機械の位置が把握であり、位置情報の変化に応じて建設機械名や進行方向などの警告内容を自動的に更新できた。

参考文献	無線 LAN 坑内測位技術による位置情報に基づくトンネル坑内の建設機械接触災害に対する安全監視システムの開発 とびしま技報：飛鳥建設(株) 松田浩朗他 pp. 1-4 No. 62(2013)
備考	—

技術名	無線 LAN 端末による職員位置の見える化 ICT を活用した施工管理の効率化
番号	No. 4. 2-23
発注者	国土交通省 東北地方整備局
施設名	七ツ窪トンネル
所在地	宮城県伊達市霊山町石田地内
工事名称	国道 115 号霊山道路七ツ窪トンネル工事
施工期間	2013 年 2 月～2016 年 3 月
施工者	飛島建設(株)
キーワード	無線 LAN、IC タグ、車両運行管理

(1) 概要

NATM タイヤ方式による延長約 1,400m のトンネル掘削工事である。

建設労働者不足が深刻化するなかで、品質や安全性を確保しつつ施工管理を効率化するための手段として「見える化」に取り組んだものである。一般的に、トンネル工事は、長細い構造で視認性が悪く、職員位置の把握が難しい、覆工コンクリートの品質確認に手間取るなどの課題がある。

当該工事では現場全体に ICT のインフラとなる情報通信環境を無線 LAN 機器により整備することで、①「職員位置の見える化」、②「二次覆工コンクリート打設状況の見える化」を実現した(図-1)。

トンネル建設工事において坑内は携帯電話の電波が届かず、そのままでは ICT の活用は困難である。そこで、トンネル坑内、屋外ヤードなど現場全体において ICT のインフラとなる情報通信環境を無線 LAN 機器で整備した。

このネットワークはインターネット回線を介して、遠隔地にある現場事務所や他のトンネルと VPN で結んでおり、現場事務所-トンネル間、あるいはトンネル内においても通信が可能である。また、IP 電話機能も有しており、携帯電話の電波が届かない坑内においても通信が可能である。

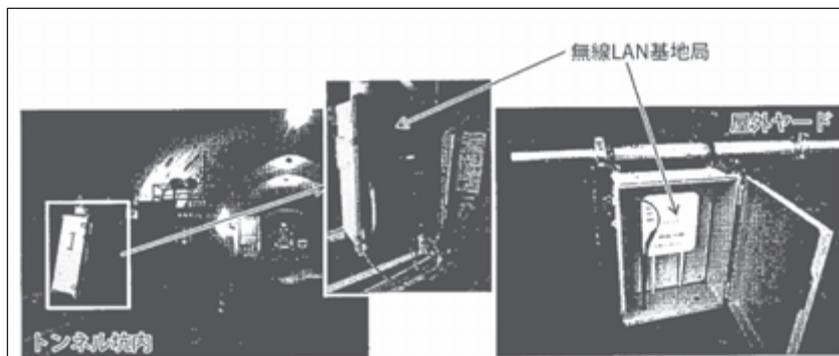


図-1 無線 LAN による情報通信環境の整備

(2) 技術詳細

1) 職員位置の見える化

それぞれの職員が無線 LAN 端末を所持し、通信電波を利用することで職員位置をリアルタイムに把握可能とした（図-2）。この位置情報を利用し、坑口に設置する入坑者一覧ディスプレイと連携することで、入坑者を自動的に検出・表示する（写真-1）。



図-2 無線 LAN 端末使用状況と位置表示状況

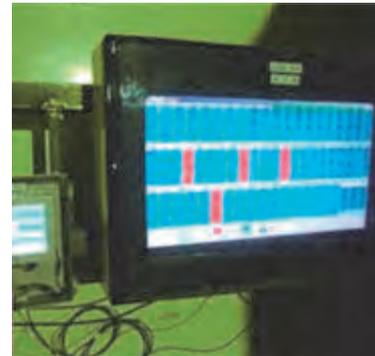


写真-1 入坑者一覧表示ディスプレイ

2) 二次覆エコンクリート打設状況の見える化（ICT 打設管理システム）

アジテータ車 1 台ごとに IC カードを配付し、コンクリート製造、打設開始・終了時に IC カードをリーダで読取る。その情報はネットワークを通じてサーバに送信され、サーバ上で自動的に取りまとめられる。取りまとめられた管理情報は、携帯電話やパソコンにおいて、リアルタイムに確認できる（図-3）。



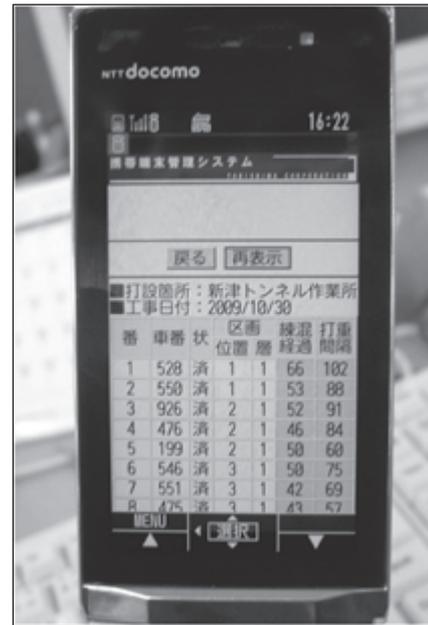
図-3 ICT 打設システム適用例

パソコン及び携帯電話用の管理画面の一例を図-4に示す。パソコン用の管理画面においては、現場情報やアジテータ車ごとの使用時間、打込み位置ごとの打重ね時間間隔、スランプ値や空気量などの変化が確認できる。携帯電話用画面は、画面の大きさを考慮し、数値情報のみの表示となっている。

また、あらかじめコンクリートの打設時間や打重ね時間間隔などの管理値を設定することにより、経過時間が管理値に迫ってきた場合に現場担当者の携帯電話へ対応を促すメールが自動発信される。ここで、打重ね時間間隔は打設位置および層ごとに管理ができる。



(a) パソコン用画面



(b) 携帯電話用画面

図-4 管理画面の一例

(3) 結果

それぞれの項目について、リアルタイムで情報を共有し「見える化」を可能にした。「施工管理の効率化」においては、現場とプラントで情報が共有できるため、アジテータ車出荷間隔の調整やトラブル発生時のスムーズな対応が可能であった。

また、数値情報だけでなく、携帯電話で撮影された画像も共有できるため、視覚的に現場状況を確認することが可能である。そのため、事務所や現場でアジテータ車の運行状況、現場での打設状況、コンクリートの性状などの情報をリアルタイムに確認することで、問題が生じる懸念がある場合、迅速に施工へフィードバックさせることにより不具合を未然に防ぐことが可能となる。

さらに、入力された情報から指定書式で管理帳票が自動的に作成されるため、作成作業の労力や時間を大幅に削減することが可能である。

<p>参 考 文 献</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ ICT を活用し早期開通を目指す-国道 115 号霊山道路 七ツ窪トンネル （「トンネルと地下」 535 号 Vol. 46 No. 3）：永尾慎一郎（東北地方整備局福島河川国道事務所）、水口均（飛島建設（株））、藤田圭一（同）、2015 年 3 月 ・ 社内技術資料「とびしま技報 No. 59(2010)」 ・ ホームページ： https://www.tobi-tech.com/tech/gihou/gihou_59-2010.htm (2016 年 11 月 25 日現在)
<p>備 考</p>	<p>—</p>

技 術 名	換気設備風量自動調節システム
番 号	No. 4. 2-24
発 注 者	国土交通省 九州地方整備局
施 設 名	芳ノ元トンネル
所 在 地	宮崎県宮崎市清武町大字今泉
工 事 名 称	東九州道（清武～北郷）芳ノ元トンネル新設（二期）工事
施 工 期 間	2013年1月～2016年7月
施 工 者	五洋建設（株）
キーワード	坑内環境，見える化，換気制御

(1) 概 要

トンネルの坑内環境は換気設備による送気や排気によって良好な状態に保たれている。しかし、坑内環境は地質や施工状況等によって常に変化する。中でもメタンガスは発生箇所や発生量が増減しやすく、一定濃度に達するとガス爆発の危険があるため特に注意が必要となる。このような状況を踏まえて、測定結果に応じて換気設備風量を自動制御するシステムを考案した。このシステムは、メタンガス濃度等の坑内環境の自動測定と“見える化”、そして測定結果に応じて換気設備風量を自動制御するシステムである。

(2) 技術詳細

1) 視覚的な位置関係や経時変化の把握が可能

坑内環境を自動で測定し“見える化”するため、リアルタイムに一目で異常発生箇所や発生過程を把握できる。これにより、異常発生時の初動対応を速やかに行うことができる。

2) 安全を確保しつつ換気設備の消費電力削減が可能

これまで変動する坑内環境に対して一定量であった換気風量を、測定結果に応じてリアルタイムに自動制御するため、坑内の安全状態を保ちつつ最適な坑内換気風量に調整できる。

3) 作業全般に適用が可能

坑内換気が必要な作業全般に適用できる。

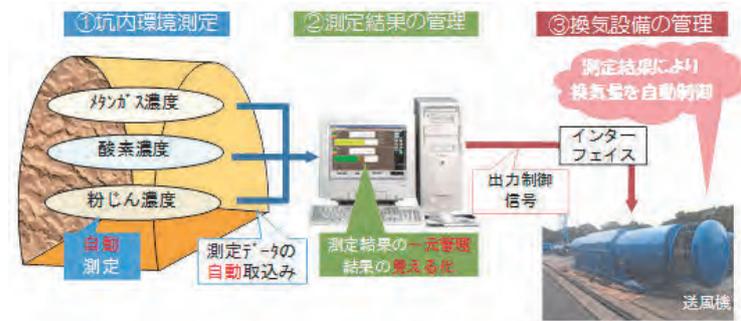


図-1 換気設備自動制御システムの概要

(3) 結 果

- ・測定結果の一元管理と見える化機能により、有害物質の発生状況をすぐに把握でき、異常発生時に退避指示など速やかな対応が可能になった。
- ・坑内環境に応じた換気量の自動制御により、消費電力が削減できることを確認できた。

参 考 文 献	五洋建設(株)、ホームページ http://www.penta-ocean.co.jp/business/tech/civil/mt_tunnel/ventilate_system.html
備 考	—

【地下施設／山岳トンネル】

技術名	戸田式坑内環境最適化システム
番号	No. 4. 2-25
発注者	長野県
施設名	上高地トンネル
所在地	長野県松本市上高地
工事名称	平成 25 年度 防災・安全交付金(道路)工事(上高地トンネル)
施工期間	2013 年 12 月～2016 年 4 月
施工者	戸田建設(株)
キーワード	坑内環境、自動計測、自動制御、一元管理
<p>(1) 概要</p> <p>1) 工事概要</p> <p>工法：山岳工法 延長：588m 断面積：55.5m² 掘削方法：発破掘削、補助ベンチ付全断面掘削工法</p> <p>2) 技術概要</p> <p>施工中の山岳トンネル工事における坑内の空気環境は、工事災害防止、労働者の安全と衛生面に関する作業環境の確保及び地球温暖化防止対策（CO₂排出削減）に直結する項目であることから、これらを一元管理できるシステムを構築することで、坑内環境を常に最適化して維持できる手法を開発した。一元管理システムは、トンネル換気機器を自動制御することにより坑内環境に影響を与える粉じんや有害ガスの濃度、坑内温度ならびに坑内風速を管理基準値以内に最適化しつつ、これを作業中連続保持できることを目的とするものである。</p> <p>(2) 技術詳細</p> <p>1) 環境指標値の設定と測定手法及び換気機器稼働方法</p> <p>実証現場で採用した環境指標値と測定位置ならびに各種機械類の配置位置を表-1、図-1 に示す。有害ガスは、計画策定時の現地条件を鑑みて選択を行っているため、必要に応じてガスセンサを追加すれば任意に指標値を追加・変更できるものとしている。</p>	

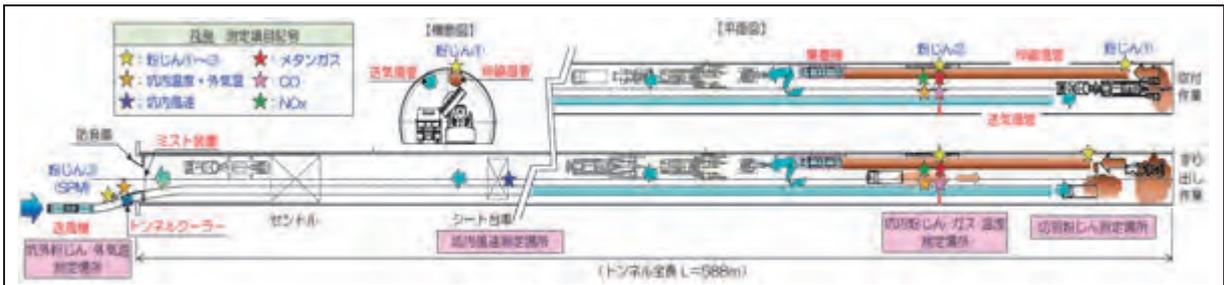


図-1 実証現場における測定機器・換気機械配置図

表-1 実証現場での環境指標値と実施内容

環境項目	適用場所	測定位置と測定手法(自動・手動・Δ)												
		標準値(換気設計)				実証現場での換気								
		測定位置	検度	手法	機器	換気制御	測定位置	検度	手法	機器(自動)	換気制御制御	見える化手法	期待される効果	
i 粉じん濃度: 2.5mg/m ³	切羽50mから全線	切羽+50m	1回/半月以内	Δ	デジタル粉じん計	デジタル粉じん計	切羽+50m・体積風管先端	デジタル粉じん計	デジタル粉じん計	デジタル粉じん計	デジタル粉じん計	デジタル粉じん計	<ul style="list-style-type: none"> ① 1~VIIのトンネル掘削に伴う坑内及び坑外環境の管理目標値を漏れなく満足 ② 坑内作業環境改善 ③ 対応の迅速化 ④ 坑外周辺環境負荷低減 ⑤ 換気調整作業の省力化 ⑥ 省電力 	
ii 坑内風速: 0.3m/s		切羽+50m	1回/半月以内	Δ	熱線風速計	送風機、集塵機のインバーター手動調整	シート台車	熱線風速計	熱線風速計	デジタル風速計	送風機、集塵機のインバーター自動制御(出力調整)	デジタル風速計		
iii 坑内温度: 23℃	坑内全線	粉じん濃度と同位置	粉じん濃度と同位置	Δ	デジタル温度計			デジタル温度計	デジタル温度計	デジタル温度計	デジタル温度計			
iv メタン濃度: 1.5%		変生の恐れのある場所	適宜	Δ	ガス測定器			ガス測定器	ガス測定器	ガス測定器	ガス測定器			
v CO: 80ppm		作業密度が高い場所	作業密度が高い時期	Δ	CO測定器			CO測定器	CO測定器	CO測定器	CO測定器			
vi NOx: 25ppm				Δ	NOx測定器			NOx測定器	NOx測定器	NOx測定器	NOx測定器			
vii 浮遊粒子状物質(SPM)・1時間値: 0.2mg/m ³	坑外	坑口	適宜	Δ	デジタル粉じん計	なし	坑口	デジタル粉じん計	デジタル粉じん計	デジタル粉じん計	デジタル粉じん計			
viii 送気温度: 23℃				Δ	デジタル温度計			デジタル温度計	デジタル温度計	デジタル温度計	デジタル温度計			

2) 環境管理項目別の具体的な換気手段と管理区分別の換気装置の運転内容

環境項目別にこれらを捕集除去、希釈排出、風速保持、空気冷却するための主たる換気機器を定めて、管理基準値を限界として環境項目毎に4段階の管理区分を設定する。設定した管理区分毎の閾値を処理できる換気機器の運転は、インバーターによる出力調整により実施する。その具体的な内容を表-2、表-3に示す。

表-2 実証現場での環境管理項目と換気装置の運転内容

測定場所	管理項目	主な発生原因	坑内環境劣化対策					
			手法	管理基準値	管理区分の設定	管理区分別の運転内容	運転機器	運転制御方法
切羽	粉じん	発塵 すり積み込み・運搬 コンクリートによる岩石破砕 吹付コンクリート	集塵機と伸縮風管による吸引捕集(発生源のため高風速であるが、可能な限り迅速に吸引捕集する)	高濃度粉じんを迅速に濃度低下させる(2.5mg/m ³ 以下)	管理基準値を上限値として、I~IVの管理区分を設定	管理区分I~IVに対応して、集塵機と送風機の運転区分を4段階に設定 ・全力運転: 100% ・高速運転: 90% ・中速・低速運転: 80~30%	送風機 集塵機	インバーターで4段階の運転自動制御
切羽後方	粉じん	車両走行による巻き上げ	集塵機吸引捕集・送風機希釈排出	2.5mg/m ³				
メタンガス	自然由来			1.5%				
CO	発熱後ガス・排気ガス	送風による希釈・排出		50ppm				
NOx	発熱後ガス・排気ガス			25ppm				
坑内温度	機械発熱・外気温	送風による冷却効果・外気冷却		28℃以下				
風速	設備等の障害物	望ましい風速以上を保持		0.3m/s以上				
坑口	浮遊粒子状物質	坑口からの浮遊物露出	坑口でミスト捕集、粉じん	0.2mg/m ³				
送気温度	高温外気	トンネルクーラーで外気冷却		28℃				

※各センサのデータ収集間隔: 190回/分

表-3 管理区分別の閾値と換気機器の運転内容

測定場所	管理項目	単位	管理区分(制御パラメータの閾値)				対応換気機器	管理区分別の運転内容				機器制御方法	
			Ⅳ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅰ		Ⅳ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅰ		
切羽	粉じん	mg/m ³	25以上	25~2	2~1	1未満	集塵機	全力吸引	高速	中速	低速	インバーター制御	
切羽後方	粉じん	mg/m ³	25以上	25~2	2~1	1未満	送風機	全力送気	高速	中速	低速		
	メタンガス	%	1.5以上	1.5~1	1~0.25	0.25未満		全力送気	高速	中速	低速		
	CO	ppm	50以上	50~40	40~15	15未満		全力送気	高速	中速	低速		
	NOx	ppm	25以上	25~20	20~1	1未満		全力送気	高速	中速	低速		
	坑内温度	℃	28以上	28~27	27~25	25未満		全力送気	高速	中速	低速		
	風速	m/s	0.1未満	0.1~0.2	0.2~0.3	0.3以上		全力送気	高速	中速	低速		
坑口	浮遊粒子状物質	mg/m ³	0.2以上	0.2~0.1	0.1未満	—	ミスト装置	ON・坑内散水	ON	OFF	—	ON・OFF制御	
	送気温度	℃	28以上	27以下	—	—	クーラー	ON	OFF	—	—		
								集塵機	全力吸引	高速	中速	低速	
								(運転区分)	100%	90%	70%	30%	
								送風機	全力吸引	高速	中速	低速	
								(運転区分)	100%	90%	80%	70%	

3) 自動制御マトリックス

前項の換気機器の運転制御及びその他の機器類を用いて、坑内環境を最適化するための管理区分、管理基準値、機器類の運転区分、作業基準をマトリックス表示して表-4に示す。

表-4 自動制御マトリックス表

管理区分	基準値	換気機器	運転区分	作業基準	メタン		発塵Co			発塵Nox			ディーゼルCo			ディーゼルNox					
					1.5%以上	坑内電源遮断	50ppm以上	送風機	全力	自動	全員退避	送風機	全力	自動	全員退避	送風機	全力	自動	全員退避	送風機	全力
Ⅳ	1.0~1.5%	送風機	高速	自動	作業停止	送風機	高速	自動	退避準備	送風機	高速	自動	退避準備	送風機	高速	自動	退避準備	送風機	高速	自動	退避準備
					退避準備	送風機	高速	自動	退避準備	送風機	高速	自動	退避準備	送風機	高速	自動	退避準備	送風機	高速	自動	退避準備
					正常作業	送風機	中速	自動	正常作業	送風機	中速	自動	正常作業	送風機	中速	自動	正常作業	送風機	中速	自動	正常作業
					正常作業	送風機	低速	自動	正常作業	送風機	低速	自動	正常作業	送風機	低速	自動	正常作業	送風機	低速	自動	正常作業
Ⅲ	0.25~1.0%	送風機	中速	自動	火気禁止	送風機	中速	自動	正常作業	送風機	中速	自動	正常作業	送風機	中速	自動	正常作業	送風機	中速	自動	正常作業
					退避準備	送風機	中速	自動	退避準備	送風機	中速	自動	退避準備	送風機	中速	自動	退避準備	送風機	中速	自動	退避準備
					正常作業	送風機	中速	自動	正常作業	送風機	中速	自動	正常作業	送風機	中速	自動	正常作業	送風機	中速	自動	正常作業
					正常作業	送風機	低速	自動	正常作業	送風機	低速	自動	正常作業	送風機	低速	自動	正常作業	送風機	低速	自動	正常作業
Ⅱ	0.25%以下	送風機	中速	自動	火気禁止	送風機	中速	自動	正常作業	送風機	中速	自動	正常作業	送風機	中速	自動	正常作業	送風機	中速	自動	正常作業
					退避準備	送風機	中速	自動	退避準備	送風機	中速	自動	退避準備	送風機	中速	自動	退避準備	送風機	中速	自動	退避準備
					正常作業	送風機	中速	自動	正常作業	送風機	中速	自動	正常作業	送風機	中速	自動	正常作業	送風機	中速	自動	正常作業
					正常作業	送風機	低速	自動	正常作業	送風機	低速	自動	正常作業	送風機	低速	自動	正常作業	送風機	低速	自動	正常作業
Ⅰ	0.25%以下	送風機	低速	自動	火気禁止	送風機	低速	自動	正常作業	送風機	低速	自動	正常作業	送風機	低速	自動	正常作業	送風機	低速	自動	正常作業
					退避準備	送風機	低速	自動	退避準備	送風機	低速	自動	退避準備	送風機	低速	自動	退避準備	送風機	低速	自動	退避準備
					正常作業	送風機	低速	自動	正常作業	送風機	低速	自動	正常作業	送風機	低速	自動	正常作業	送風機	低速	自動	正常作業
					正常作業	送風機	低速	自動	正常作業	送風機	低速	自動	正常作業	送風機	低速	自動	正常作業	送風機	低速	自動	正常作業

4) 機器制御

換気機器とセンサの配置位置ならびに環境管理項目毎のセンサ測定値に対する閾値の一覧表を表-5に示す。

表-5 換気機器類及びセンサ類配置概要図と閾値の一覧表



運転レベル	記号	DS		G			V	T		SPM
		DS1	DS2	CH ₄	CO	NO _x		T1	T2	
		切羽粉じん (mg/m ³)	坑内粉じん (mg/m ³)	メタン (vol%)	一酸化炭素 (ppm)	窒素酸化物 (ppm)	坑内風速 (m/s)	坑内温度 (°C)	外気温 (°C)	浮遊粒子状物質 (mg/m ³)
全力運転	HH	2.5以上	2.5以上	1.5以上	50以上	25以上	0.1未満	28以上	運転 28以上	運転 0.2以上
高速運転	H	2.5~2.0	2.5~2.0	1.5~1.0	50~40	25~20	0.1~0.2	28~27	停止 27以下	運転 0.2~0.1
中速運転	L	2.0~1.0	2.0~1.0	1.0~0.25	40~15	20~1	0.2~0.3	27~25		停止 0.1未満
低速運転	LL	1.0未満	1.0未満	0.25未満	15未満	1未満	0.3以上	25未満		

(3) 結果

実証トンネル現場での稼働状況を写真-1に示し、開発技術の効果を以下に示す。

- ・今回定めた環境管理項目の全てにおいて、管理目標値を満足することができた。これにより、当技術開発にあたって実施した検討内容や機器制御手法が根本的に有効であることを証明できた。
- ・国立公園特別保護地区内でのトンネル工事であることから、周辺環境の保全に対して配慮を行う必要があり、大気環境の面から坑外粉じん濃度を制御できたことで環境保全に寄与できた。
- ・掘削1サイクルにおいて、集塵機と送風機の消費電力がどの程度削減できるものであるかの試算結果を表-6に示す。



写真-1 システム稼働状況

表-6 運転管理状態別の消費電力の比較

運転内容	比較Ⅰ		比較Ⅱ	
	集塵機+送風機 (kw・h)	消費電力 比率	送風機のみ (kw・h)	消費電力 比率
新技術	457	1.0	210	1.0
常時全力運転	1,251	2.7	510	2.4
作業別運転	682	1.5	325	1.5

参考文献	2015年度最新トンネル技術講演会：戸田建設(株)、小林由委他、 2015年9月25日
備考	—

技術名	スマートサイトシステム
番号	No. 4. 2-26
発注者	中日本高速道路(株)名古屋支店
施設名	鳳来トンネル
所在地	愛知県新城市乗元～下吉田
工事名称	第二東名高速道路 鳳来トンネル工事
施工期間	2008年10月9日～2012年6月8日
施工者	清水建設(株)
キーワード	省エネ、見える化、換気抑制、創エネ

(1) 概要

当工事は NATM 工法による延長約 2,500m（上下線とも）のトンネル掘削工事である。

建設現場では大量の電力を消費するものの、消費電力量は月毎の総量管理しか行われていない状況であった。また、省エネ対策における日常の取り組み活動においても、定性的な取り組みが多く、定量的に効果を把握することは困難であった。

本技術は ICT を利用して、現場の各設備の電力使用状況及び省エネをリアルタイムで監視（見える化）するとともに、各種の省エネ・創エネ技術を総合的に一元管理し、定量的な省エネ・節電・CO₂排出削減の管理を実現するものである。

(2) 技術詳細

本システムは、図-1 に示すような複数のシステム・技術で構成され、現場の状況に応じて任意に各システムを組み合わせる適用される。

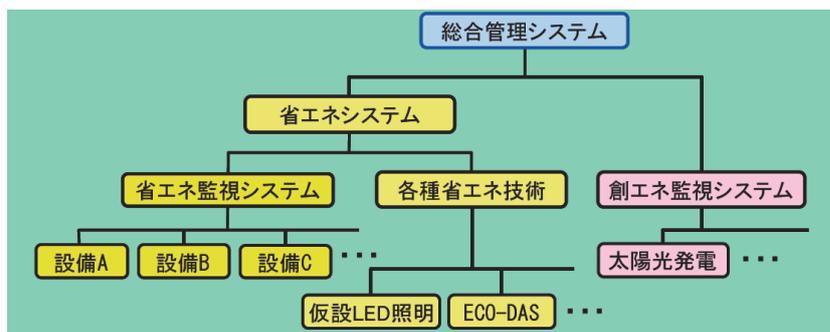


図-1 スマートサイトシステムの構成

1) 省エネ監視システム

省エネ監視システムは現場内各設備の電力情報や環境情報を「見える化」する技術であり、無線によるネットワークを用いて現場内に分散する情報を収集し、現場事務所で一元管理する。電力情報を監視する場合、監視対象とする現場内の電力使用設備を選定してセンサを設置する。そこから得られた情報は無線センサにより送信され最終的に現場事務所のサーバ PC に収集される（図-2）。図-3 に省エネ監視画面イメージを示す。



図-2 無線センサネットワーク概念図



図-3 省エネ監視画面イメージ

2) 各種省エネ技術

各種省エネ技術は、個別に CO₂ を削減し省エネ・節電を実現する様々な技術であり、現場毎に任意に選択される (図-4)。

CO ₂ 排出削減	省エネ	リサイクル

図-4 各種省エネ技術

3) 創エネ監視システム

創エネ監視システムは、現場において創りだされたエネルギーを「見える化」するシステムである。図-5 に太陽光発電による創エネ監視状況を示す。

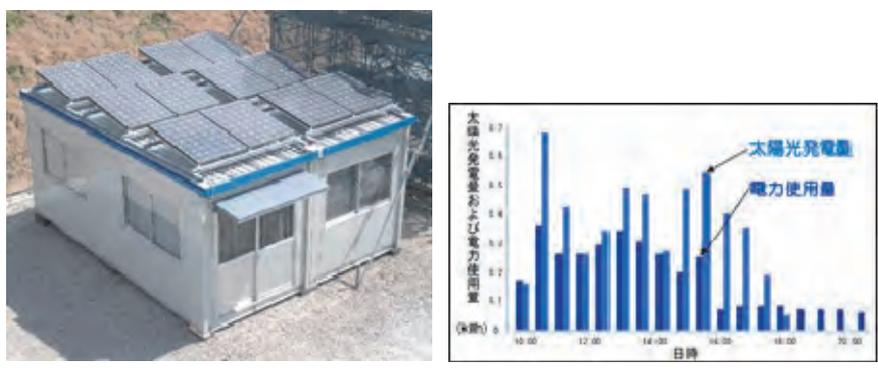


図-5 太陽光発電による創エネ監視状況

4) 総合管理システム

総合管理システムは、本事務所において現場全体の省エネや創エネ、CO₂ 削減状況を一元

管理するものである。本事務所にいながら、現場の状況が即座に視認できるとともに、省エネ・創エネ監視システムや各種省エネ技術から送られて来たデータを組み合わせることで現場の様々な状況の見える化が図られ、戦略的な省エネ・CO₂削減対策を行うことが可能となる（図-6）。

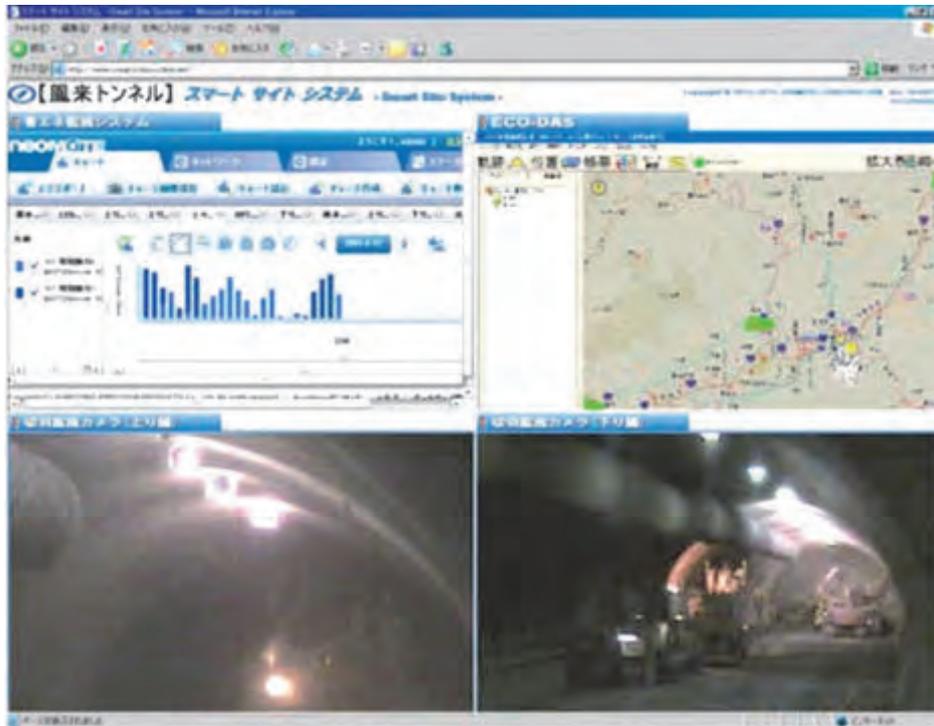


図-6 総合管理システム監視画面

(3) 結果

鳳来トンネル工事における本技術適用状況を図-7に示す。省エネ監視システムにより、換気装置の運転管理を行った。発破作業やズリ出し、吹き付け作業などで坑内の粉塵量が多いときには100%運転、それ以外の削孔・装薬作業時で坑内の空気が清浄な場合は換気運転を70%に制御することとした（図-8）。その結果、換気設備の消費電力は15%に低減できた。

また、具体的な改善効果が数字に示され、省エネ・CO₂削減量が「見える化」されることで作業員への意識付けが明確になり、作業所全体の省エネ・節電に対するモチベーションアップにつながった。



図-7 鳳来トンネルにおける本技術適用状況

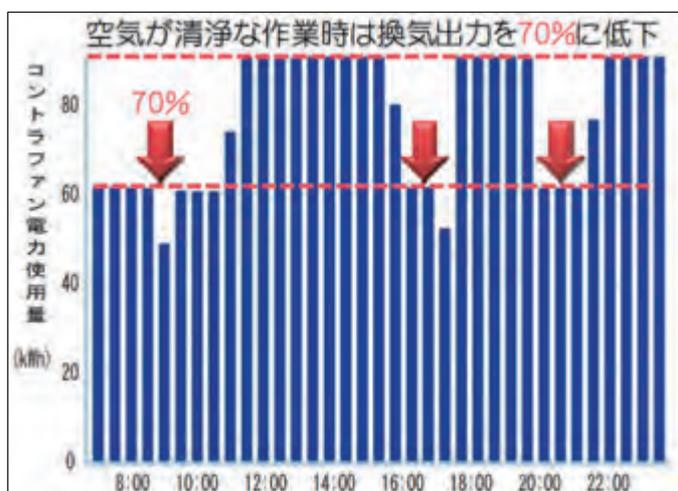


図-8 坑内換気設備の運転管理状況

<p>参考文献</p>	<p>ICT を活用しトンネル工事現場における省エネを一元管理 - 新東名 鳳来トンネルにおけるスマートサイトシステム-(「建設の施工企画」第 741号)、横山勝彦(清水建設(株))、鈴木正憲(同)、藤井攻(同)、2011年11月</p>
<p>備考</p>	<p>—</p>

【地下施設／山岳トンネル】

技術名	3D レーザースキャナーによる計測システム
番号	No. 4. 2-27
発注者	西日本高速道路(株)
施設名	所原トンネル
所在地	島根県
工事名称	山陰自動車道所原トンネル工事
施工期間	2005年12月～2009年3月
施工者	(株)熊谷組
キーワード	3次元レーザー計測, 3次元モデル

(1) 概要

所原トンネル工事では、東側坑口底上の岩盤斜面が急崖（一部オーバーハング）を形成しており、この岩盤斜面の不安定化が当初より懸念されていた。本工事では、施工中に当該部の対策工を再検討することとなり、早急に詳細な追加調査を実施する必要が生じた。このような状況から、本工事では、3D レーザー計測による調査を採用して、設計の再検討を行った。

当地が急崖であることや植生に覆われていたことから、伐採前には当該斜面の正確な形状が把握されていなかった。また、急崖部では光波測距法などの従来の測量方法が適用困難なために、今回3D レーザー計測を追加調査として採用するに至った。調査目的は、次の2点である。

- ・推定緩み範囲を含む斜面形状を詳細に把握する。
- ・オーバーハング部の岩塊除去範囲を設定する。

(2) 技術詳細

3D レーザー計測器は、レーザー光により遠隔から非接触で対象物の3次元座標を求められる機器であり、急崖部でも安全に大量の計測データを取得することができる。今回は、中長距離計測が可能な機器（Optech ILRIS- 3D：カナダ）を用い、対象斜面の対岸の道路より計測した（写真-1）。表-1に3D レーザー計測器の仕様を示す。

3D レーザー計測により得られたデータは、(図-1)に示すフローにて処理を行った。なお、当該斜面の計測点数は約100万点であり、計測期間は2日である。



写真-1 3D レーザ計測状況

表-1 3D レーザ計測器の仕様

項目	内容
測定距離	3～800m
スキャニング角	垂直・水平 ±20° (40°×40°)
データサンプルレート	2000ポイント/秒
測定精度	±3mm (計測距離100m時)
レーザー強度	Class 1

(3) 結果

取得した計測データを基に、(図-1)に示した手順により、当該斜面の3Dモデルを作成した(図-2)。この作成した3Dモデルを基に、オーバーハング部の掘削除去範囲の検討を行った。3Dモデルにより把握された形状や地質構造を勘案し、4つの掘削範囲案を作成した(図-3、表-2)。比較検討の結果、掘削除去範囲は除去する岩塊量は大きくなるものの、恒久対策としての機能を最優先に考え、斜面の平均的な勾配に近く、最も安定性が高いと評価されたⅢ案を採用した。

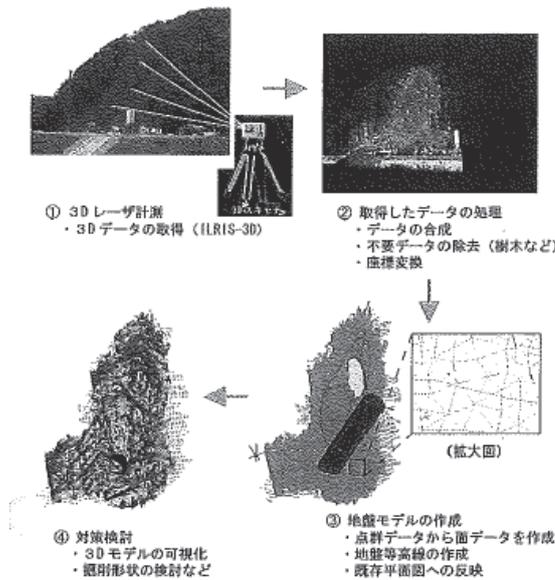


図-1 3Dレーザ計測のデータ処理フロー

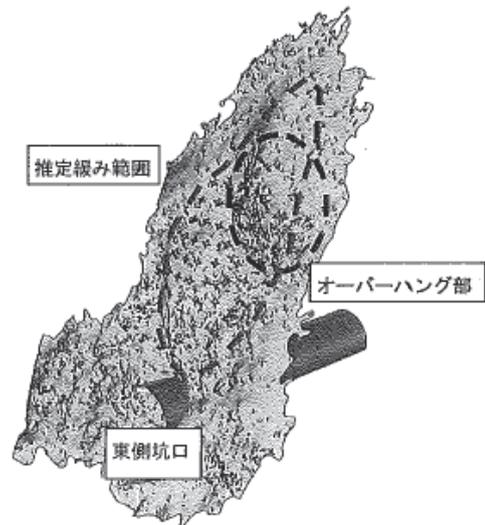


図-2 3Dモデル(俯瞰図)

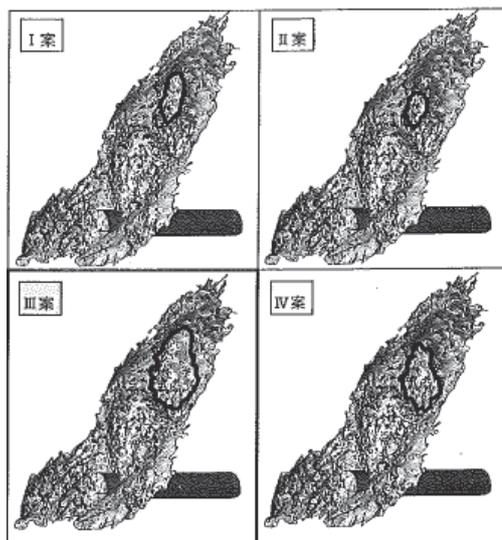


図-3 オーバーハング部掘削除去案(太線が除去部)

表-2 オーバーハング部掘削除去案の比較表

案	除去対象	除去勾配	除去量
I	オーバーハング部の一部	平均斜面勾配 (60°)	160m ³
II	オーバーハング部の一部	すべり面勾配 (70°)	80m ³
III	オーバーハング部全体	平均斜面勾配 (60°)	810m ³
IV	オーバーハング部全体	すべり面勾配 (70°)	350m ³

これらの対策により、対象斜面を特に変状させることなく、坑口部のトンネル施工を終えることができた。本工事で採用した3Dレーザー計測は、当地のような急峻な岩盤斜面において、詳細な斜面形状のデータを比較的短時間で得ることができるため、施工計画を立案する上で有用なツールであると考えられる。

しかしながら、現状の3Dレーザー計測では、データの処理やモデルの作成に専用のソフトと専門の技術者による作業が必要である。

今後は、汎用のソフトでデータ処理が可能となり、かつ現在の汎用CADの2次元図面のように、一般的な土木技術者でも扱えるようになれば、3Dレーザー計測は、普遍的に使用されるツールとなると考えられる。

参考文献	理工図書 月刊土木技術：西日本高速道路(株) 長井正他、VOL. 64 NO. 5、pp54-60、2009. 5
備考	—

【地下施設／山岳トンネル】

技術名	地盤判別システム「ITS」
番号	No. 4. 2-28
発注者	中日本高速道路(株) 東京支社
施設名	第二東名高速道路 今里第一トンネル
所在地	静岡県裾野市今里地内
工事名称	第二東名高速道路 今里第一トンネル工事
施工期間	2001年3月23日～2008年10月14日
施工者	清水建設・アイサワ工業・ピーエス三菱特定建設工事共同企業体
キーワード	地盤判定、パーカッション式ボーリングマシン、地盤改良

(1) 概要

1) 工事概要

工法：山岳工法

掘削断面積：約 206m²（新東名の三車線トンネル）

土被り：10～17m

上下線の離隔：4～6m（超近接双設大断面トンネル）

補助工法：地盤改良工 63,000kL（超微粒子セメント、セメントベントナイト）

備考：地山の安定と上部建物保全のため、地表より事前に大規模な地盤改良を行う。



写真-1 施工中の今里第一トンネル坑口付近

2) 技術概要

本トンネルの地質構造は複雑で、注入規模も大断面であることから、注入工を行いながら注入範囲を特定することが可能な地層判別システム（ITS：Imazato Tunnel Sounding system）

を開発して導入した。このシステムはライト工業のエンパソルという地盤判定技術がベースとなっている。しかし、エンパソルは都市部における土砂地山を想定したものであり、ロータリ式の削孔機械に取り付けるシステムである。一方、今回の対象地山は硬い玄武岩溶岩であり、打撃を用いなければ効率的な穿孔はできないため、パーカッション式のボーリングマシンに適用できるようにセンサを追加し、古河ロックドリル社の協力を得て新たにパーカッション用の地盤判別システムを開発した。

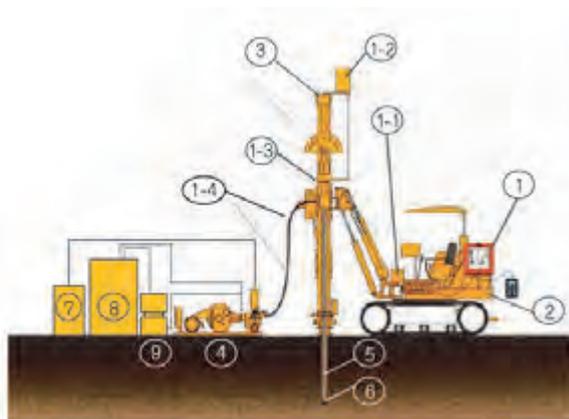
(2) 技術詳細

本システムは、削孔機に取付けた各種センサからのデータをリアルタイムに測定・解析することが可能で、玄武岩溶岩部と自破碎溶岩部を判別できることから、削孔と同時に注入対象層である自破碎溶岩部が特定でき、注入範囲を限定した効率的な注入が可能となった。

削孔はロータリパーカッション方式で行い、5mm 削孔毎にデータを取得し、処理の段階で 20 データ（10cm 分）の中央値を評価位置のデータとして採用した。

表-1 地層判別システムの測定パラメータ

パラメータ	表示名称	単位	センサ最大スケール	説明
送水圧	MUD_PRESS	N/mm ²	3.5	削孔水送圧力
トルク	TORQUE	N/mm ²	15	ビット回転機構駆動油圧（トルクを発生させる油圧であって、トルクそのものではない。）
スラスト	THRUST	N/mm ²	15	フィード回転機構駆動油圧
保持力	PULL_UP	N/mm ²	15	フィード機構背圧
時間	TIME	s	8	5mm削孔に要した時間
削孔速度	SPEED	m/h	4.095	ビット前進速度（=5mm/TIME）
回転数	ROTATION	Teeth	65,535	ビット回転機構駆動ギア歯数（5mm削孔中に回転したギア歯数）
打撃数	打撃数	回	65,535	ピストン打撃回数（5mmあたりの打撃数）
ビブラソル	VIBRASOL	G	5,000	打撃削孔時のドリフタ振動加速度



番号	名称
1	地盤判別システム計器
1-1	センサ(圧力)
1-2	センサ(深度)
1-3	センサ(回転)
1-4	センサ(打撃)
2	クローラ式削孔機
3	ドリルヘッド
4	送水ポンプ
5	ロッド
6	ビット
7	発電機
8	水タンク
9	グラウトミキサ

図-1 地層判別システム

(3) 結果

事前の調査試験によると、玄武岩質溶岩の一軸圧縮強度は $100\text{MN}/\text{m}^2$ 、変形係数は $300\sim 1,000\text{MN}/\text{m}^2$ であった。一方、自破碎溶岩は土砂に分類され、固結したものと未固結のものとの試験結果にばらつきはあるが、変形係数は $10\sim 50\text{MN}/\text{m}^2$ 程度であった。このように極端に物性の異なる硬質な玄武岩溶岩と脆弱な自破碎溶岩の互層からなる溶岩層は、実際に施工すると、単純に層状を呈しているのではなく、その幅を変えながら複雑な互層を形成していることが確認できた。

図-2の①は調査ボーリングを基に当初想定したトンネル部の地質縦断図を示し、②はITSを用いて確認された地質縦断図を示す。図-2の着色部分は、注入対象の自破碎溶岩である。両者を比較すると、当初想定では、数本のボーリングデータからの地層推定であるため層状構造としていた地質が、実際には、玄武岩溶岩と自破碎溶岩が複雑に混じり合いながら互層となっていることが確認できた。

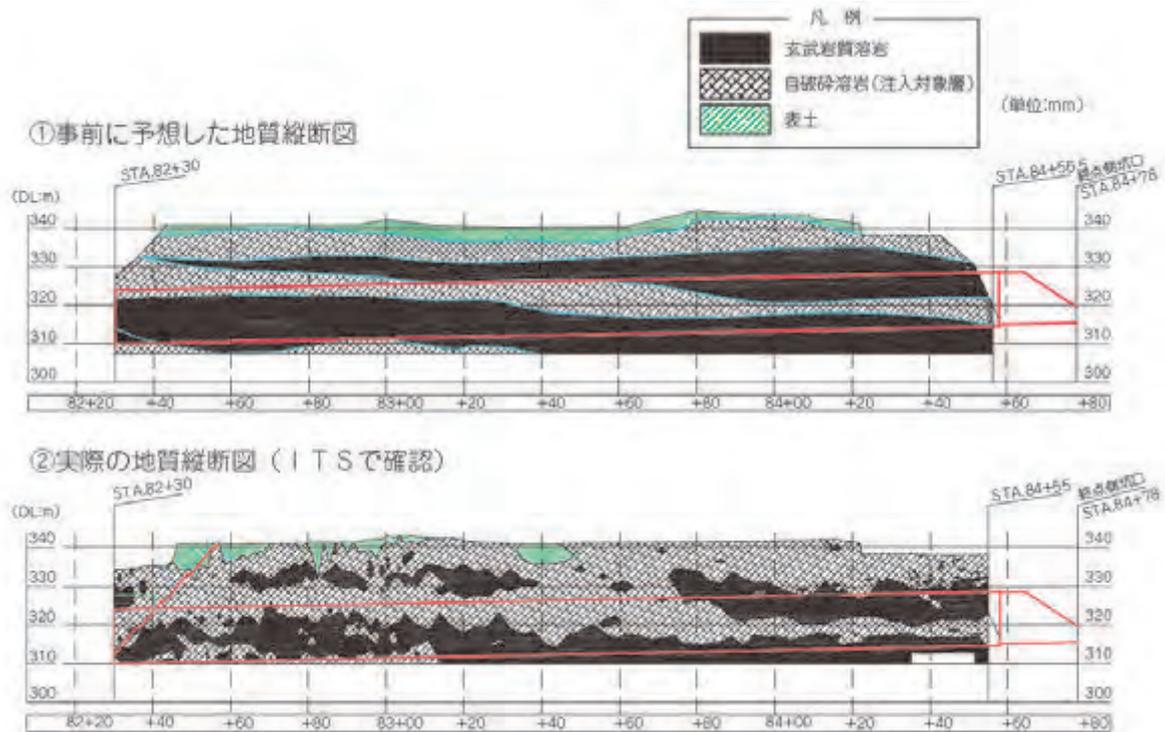


図-2 地質縦断図

地盤改良工を開始するにあたり、平成14年1月から平成14年8月までの期間、本施工の範囲内において試験注入を行い、開削調査を行った。図-3に試験注入パターンを示す。注入口の色は注入材がどこに広がるか判別できるように黒、黄、赤、無色に色分けしている。その結果、以下のことが判った。

- ・ 改良体の性状は良好である。
- ・ 注入材は地層の傾斜に沿って流れ、対象範囲の外周より外側まで流れている。

- ・ 地層は地形に合わせて、写真-2 の上側から下側に向かって 20~30° の傾斜で下っている。
- ・ 注入材が流れた形跡のみで、未充てんの部分がある。
- ・ 注入材は間隙の大きい層に偏り、間隙が小さい層の充てんは不十分である。
- ・ 定量完了が 90%以上と浸透性は良好である。
- ・ 底部の方ほど改良体が大きい。
- ・ 空隙率が当初想定 (40%) より高い。
- ・ 改良体の改良度 (変形係数) は良好である。

これより、底部に注入材の逸散を防止するものがなく、注入材の下への移動量が大きいこと、注入の規定量が小さすぎて、空隙の充てんが不十分であるという問題点が浮かび上がった。写真-2 は注入試験の開削調査により現れた改良体の状況である。注入工 A については規定注入量が大きいため、しっかりした改良ができているのに対して、注入工 B では注入工 A に比べて低い位置から改良体が現れ、上部の改良は不十分であった。

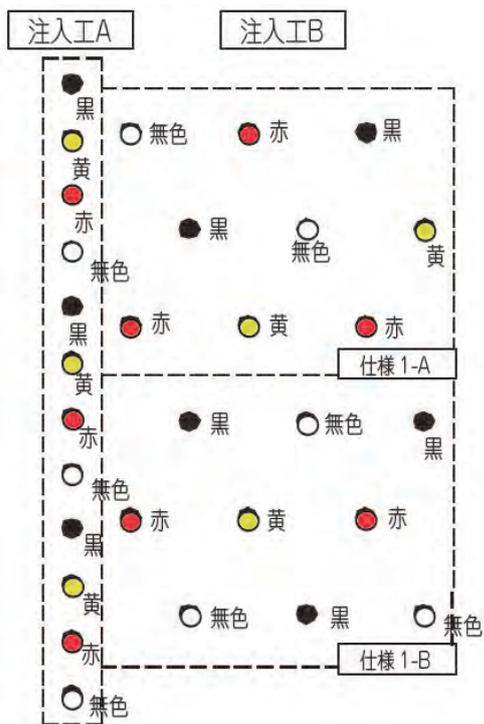


図-3 試験注入パターン

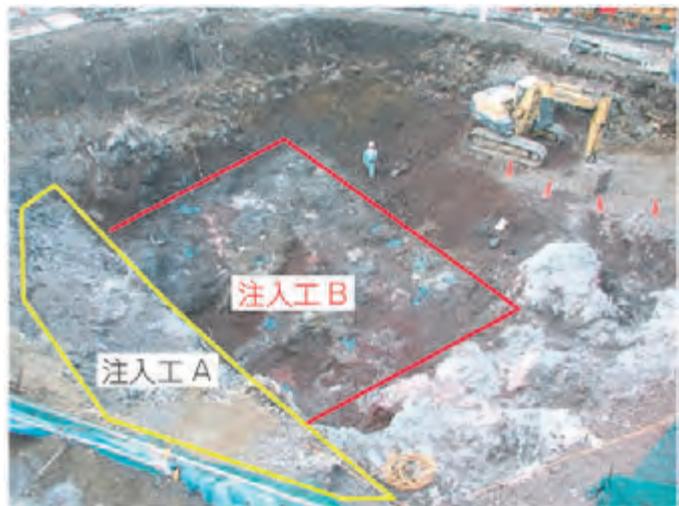


写真-2 試験注入開削調査状況

参考文献	土木クォータリー Vol. 164 : 清水建設(株)、P2-37、2009年11月
備考	—

【地下施設／山岳トンネル】

技術名	山岳トンネル計測データ一元管理システム「Penta-NAISS」
番号	No. 4. 2-29
発注者	(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構
施設名	北海道新幹線
所在地	青森県東津軽郡蓬田村
工事名称	北海道新幹線、阿弥陀高架橋他
施工期間	2010年10月25日～2014年7月13日
施工者	五洋建設・あおみ建設・丸井重機建設 北海道新幹線、阿弥陀高架橋他共同企業体
キーワード	切羽観察、変位置予測

(1) 概要

従来、トンネル施工時の切羽観察結果や計測結果は別々のアプリケーションソフトで管理されていたため、各結果の関連性を考慮した評価・分析には多くの時間や労力が必要であった。また、評価・分析の視点は技術者の力量に左右されやすいという課題があった。

本技術は、これらの課題を解決するために開発したものである。

(2) 技術詳細

1) システムの概要

「Penta-NAISS」は、施工時の観察・計測結果に加え、施工情報(いつ、どこで、何を施工したか)も一元的に管理できるシステムである。Penta-NAISS の運用により、観察・計測結果が半自動的に分析されるため、多様な視点からの評価が可能となり、迅速かつ適切に施工にフィードバックすることができる。また、施工情報もリンクしているため、維持管理にも活用できる。(図-1、図-2)



図-1 Penta-NAISS のイメージ

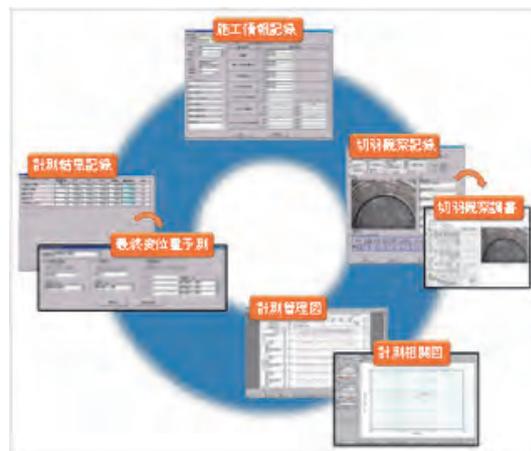


図-2 Penta-NAISS のアウトプット(例)

2) システムの特徴

本システムの特徴は、

① 計測管理図の作成

切羽前方の施工方法の検討資料に活用できる計測管理図が簡単に作成できる。

② 最終変位量の予測

各手法(初期変位速度、1D時変位量※、重回帰分析等)により最終変位量が予測できる。

(※1D時変位量：計測断面と切羽の距離がトンネル掘削幅相当になった時点の変位量)

③ 計測相関図の作成

計測相関図を作成することで、任意の2つの計測項目の相関関係が容易に把握できる。

④ 施工情報の記録

各作業(掘削、支保工、覆工、補助工法等)の施工日が記録できる。

⑤ 切羽観察調書に対応

各発注者の切羽観察調書に対応できる。

(3) 結果

1) 実施結果

坑内最終変位量を複数の手法から予測できる機能を、同種のシステムとしては初めて搭載し、支保パターンの見直しや変状対策工の検討などが迅速に行えるようになった。

2) 今後の課題・展開

今後想定されるシステムの機能強化は以下のとおり。

① 切羽前方探査データや孔内傾斜計・伸縮計など特殊な計測データへの対応

② 覆工の初期点検記録などの維持管理に使用するデータへの対応

③ 複数のトンネル施工データを一元管理できるデータを構築し、現場のみならず本・支店等においても随時閲覧可能な情報管理システムの開発

参考文献	ホームページ： http://www.penta-ocean.co.jp/news/2011/110829.html プレス発表資料（2016年11月25日現在）
備考	—

【地下施設／山岳トンネル】

技 術 名	トンネル施工情報管理システム
番 号	No. 4. 2-30
発 注 者	山口県
施 設 名	小郡トンネル
所 在 地	山口県山口市小郡上郷字円座～小郡下郷字迫田式
工 事 名 称	県道山口宇部線道路改良（小郡トンネル）工事
施 工 期 間	2006年10月～2010年1月
施 工 者	飛島建設・フジタ・藤本工業・栗本共同企業体
キーワード	レーザーマーキング、画像処理、3次元表示

(1) 概 要

山岳トンネル建設工事では、経済性・品質の確保・安全な施工を行うため、施工実績や写真などを記録し、必要に応じて計画や実施工へ活用しているが、切羽状態の観察記録・トンネル全体の記録管理や分析に多大な労力を費やすことが課題となった。この課題を解決するため、トンネル施工情報を一元管理し、迅速に情報の検索・分析・表示できるシステムを開発した。

本システムは、関連する情報を一元管理することができ、過去（既施工区間の施工実績情報）、現在（掘削中の切羽状況や画像計測による掘削面積）、未来（今後の計画・設計情報や地質の予測）をひとつのシステムで評価することが可能である。

(2) 技術詳細

1) システムの概要

2-1-1 トンネル施工情報管理システム

トンネル施工情報管理システムは、トンネル情報（計画・設計情報、施工実績情報、切羽観察情報、切羽画像情報）を一元管理し、情報の検索・分析作業を省力化する（図-1）。

また、トンネル情報を3次元的に表現することが可能であるため、これまでの実績や今後の計画等、トンネル全体の状況の把握が容易である（図-2）。



図-1 トンネル施工情報管理システム構成図

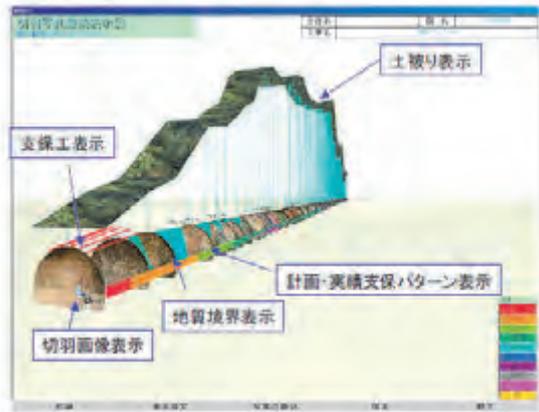
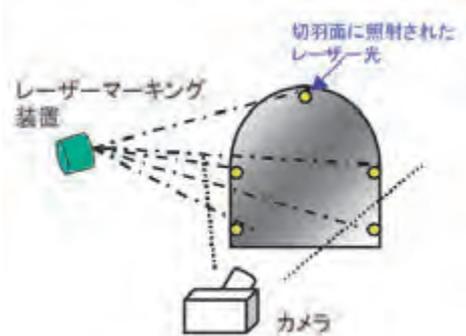


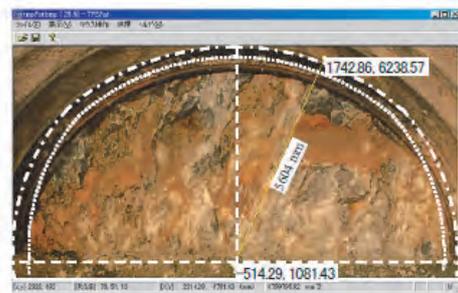
図-2 3次元表示画面

2-1-2 切羽撮影画像処理機能

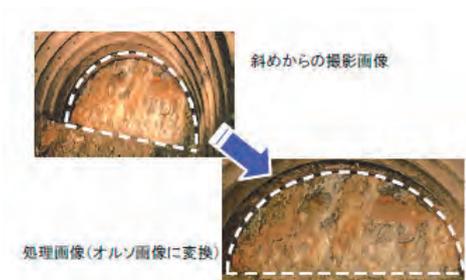
現場内で管理の対象となる部材部品に読み書き可能な IC タグを取り付けることで、専用のリーダライタにて現地での情報の登録および閲覧が可能になる。例えば維持管理時における点検情報などを点検直後にその場で情報登録することにより、誤登録や未登録などを防ぐことができる。さらに、部材部品の現認と同時に過去の点検履歴や補修履歴の閲覧も可能になり、より効率的な維持管理が期待できる。



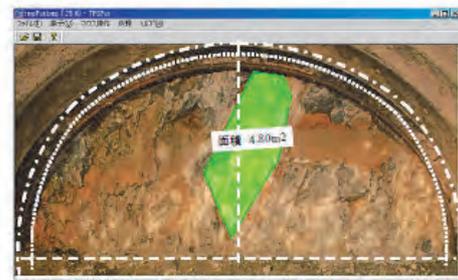
(a) 画像取得



(c) 長さ計測（掘削位置）



(b) 画像処理



(d) 面積計測（弱層部面積）

図-3 画像取得と画像処理

図-4 画像計測の一例

(3) 結 果

1) 現場での判定結果

本システムは、トンネル全体にわたって計画・設計情報、施工実績情報、切羽観察情報、切羽画像情報の検索・分析を改善し、施工の合理化に大きく貢献するものと考えられる。

2) 今後の課題・展開

切羽上の地質境界位置や弱層部面積の測量作業について大幅に短縮できることが期待される。

参 考 文 献	トンネル施工情報管理システムの開発 とびしま技報：飛島建設(株) 筒井隆規他 pp.116-117 No.57(2008)
備 考	—

【地下施設／山岳トンネル】

技 術 名	TLAN-spot
番 号	No. 4. 2-31
発 注 者	国土交通省 近畿地方整備局
施 設 名	瑞穂トンネル
所 在 地	京都府
工 事 名 称	丹波綾部道路瑞穂トンネル水呑地区工事
施 工 期 間	2012年3月～2015年3月
施 工 者	佐藤工業(株)
キーワード	無線 LAN, ネットワーク化
<p>(1) 概 要</p> <p>施工データは、現場で取得した後に事務所に持ち帰る必要があり、現場と事務所を何度も往復する手間があった。このような状況を踏まえて、トンネル工事の施工ヤードをネットワークエリアとすることで、トンネル坑内、トンネル坑外、現場事務所等の作業エリアのどこにおいてもデータの入出力を可能とした。</p> <p>(2) 技術詳細</p> <p>TLAN-spot(トラン-スポット)トンネル工事の施工ヤード全体をひとつのネットワークエリアとすることで、施工データの通信状態を飛躍的に安定させ、トンネル坑内、トンネル坑外、現場事務所等の作業エリアのどこにおいてもデータの入出力を可能とした技術である(特許出願済)。本技術は、トンネル施工において施工品質の向上と省力化を図ることができる。</p> <p>1) 施工エリア全体をネットワーク化</p> <p>施工データを得るために現場と事務所を往復していた手間が不要となり、正確で迅速な対応が可能となる。事務所のみならず支店、本社のサポート部門が切羽と直結することも可能となる。</p> <p>2) 様々な接続機器の管理が可能</p> <p>各測定機器を無線 LAN 接続することで坑内連絡や切羽観察記録の作成、トンネル坑内の粉じん自動計測や有毒ガス発生時、酸欠時の警報、電力量自動計測の他、騒音、振動、地下水位地形変位の自動計測、濁水処理警報等と様々な機器との接続が可能となる。坑内換気が必要な通常の作業全般に適用できる。</p> <p>3) 施工方法</p> <p>①トンネル坑内外にアクセスポイント設置し施工エリア全体をネットワーク化する。</p> <p>②切羽の進行に合わせてアクセスポイントを増設する。</p> <p>③管理PC、タブレット端末、携帯端末で管理データの入出力を行う。</p>	

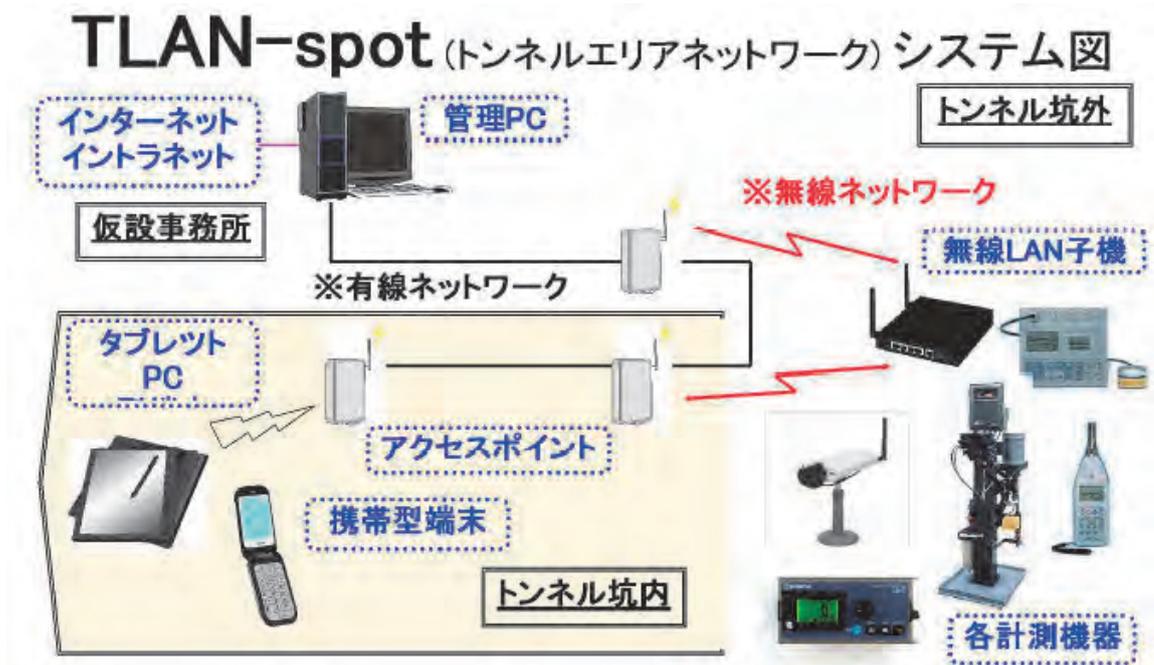


図-1 TLAN-spot (トンネルエリアネットワーク) システム図



図-2 切羽観察記録の作成



図-3 坑内アクセスポイント設置例

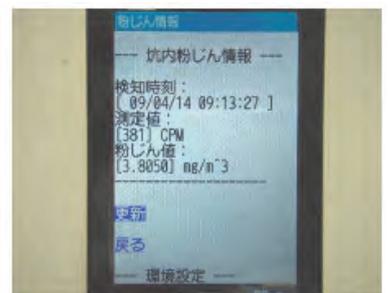
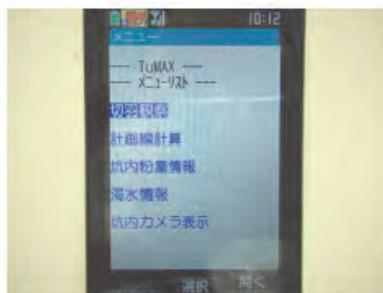
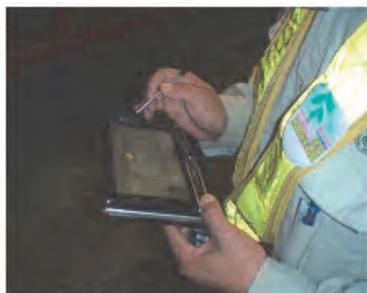


図-4 タブレット型 PC 端末と携帯型端末による測定情報表示

(3) 結果

京都府の当社施工トンネルにて導入、実用化した。坑内連絡、切羽観察記録作成、粉じん量自動計測、電力量自動計測を実施した。

アクセスポイントは、無線 LAN 親機として坑内、坑外に設置した。アクセスポイント同士の接続は通信精度に優れた有線で行った。トンネル坑内のアクセスポイントは、切羽の進行に合わせて増設した。各アクセスポイント間の距離は LAN 配線規格に準拠し 100m を基本とした。実証試験より得られたアクセスポイントと無線 LAN 子機（携帯端末など）とのデータ送受信可能距離を表-1 に示す。

表-1 データ送受信可能な距離

アンテナ	前方	後方
標準(無指向性)	100m	100m
指向性	150m	50m
超指向性	220m	30m

参考文献	佐藤工業(株)、ホームページ http://www.satokogyo.co.jp/technology/detail.php?id=43&parent_id=26&category_id=38
備考	—

技 術 名	衝突防止支援システム
番 号	No. 4. 2-32
発 注 者	国土交通省 東北地方整備局
施 設 名	—
所 在 地	福島県相馬市玉野字東玉野地内
工 事 名 称	国道 115 号玉野トンネル工事
施 工 期 間	2013 年 11 月～2015 年 11 月
施 工 者	西松建設(株)
キーワード	車両運行管理システム、衝突防止支援装置、画像解析

(1) 概 要

法令遵守、安全・安心に注目度が高まる昨今では、ダンプトラック・アジテータトラックなどの工事用車両についても、運行管理の重要性が認識されつつある。しかし、工事車両については乗用車の装着されている自動ブレーキシステムなどの安全機能を有した車両が製造されていない。こうした背景より、建設現場における工事用車両の交通安全対策として、一般車両との車間距離判定他の機能を有する「衝突防止補助システム」と「運行管理システム」を融合した「衝突防止支援システム」を開発した。

(2) 技術詳細

1) システムの概要

2-1-1 衝突防止支援システム

本システムは、運転者に速度超過や指定ルート逸脱、歩行者等の飛び出しを音声ガイダンスで注意喚起する。また、インターネットにて運行状況や危険行為を把握することも可能なシステムである。取り付けは運転手が行い、他のダンプトラックに移設することも可能である。これらのシステムは「運行管理システム」と「衝突防止補助システム」の2種のシステムから構成されている(図-1)。



図-1 衝突防止支援システム 概要図

2-1-2 運行管理システム

GPS から「位置情報」、「速度」といった車両情報を取得しスマートフォンから運転者へ注意喚起や警報を音声にてガイダンスを行う（図-2）。

本システムの主要機能より、事務所ではインターネットを媒体として車両位置情報を地図上で表示することでリアルタイムの運行状況が把握することが可能である（表-1）。



図-2 スマートフォン設置状況

表-1 運行管理システム主要機能

機能	内容
動態管理機能	車両の位置を GPS で取得し、サーバへ自動送信する。
音声ガイダンス機能	事前に登録した地点を通過する際に、音声にて注意喚起を行う。また速度超過等、違反時にも警報を発声する。
監視機能	速度超過、急加速・減速、アイドリング、指定ルート逸脱などの監視を行い、各種警報の出力を行う。
履歴確認機能	車両ごとの日時運行データを再現する。
帳票出力	日時、月次の約 10 種類の帳票出力が可能。
外部機器連動	トラックスケール、LED 掲示板他、様々な機器と連動することが可能

2-1-3 衝突防止支援装置

カメラ付きの車載装置から速度、ブレーキ、左右方向指示器、ワイパー、ハイビームの 5 種類の情報を取得する（図-3）。カメラの視野角は設置個所より左右幅 110 度、上下 30 度で最大検知距離は約 80m である。



図-3 スマートフォン設置状況

画像解析を用いて、検知された対象物までの距離を高度・高速演算処理により計測し、事故防止の為警告モニターから車間距離を表示し警告する（図-4）。本装置の主要機能より、車載装置には自動ブレーキ機能が無いため運転者には警報を発生させることで通知し安全運行の支援を行う（表-2）。

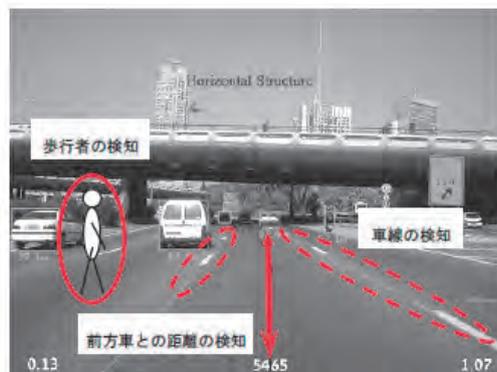


図-4 画像解析イメージ

表-2 衝突防止支援装置主要機能

機能	内容
前方車両衝突警報	前方車両との衝突を警告する。
歩行者検知	歩行者を検知し、接触の可能性を警告する。
車線逸脱警報	方向指示器を出さずに車線を跨ぐと警告する。ふらつき運転防止。
前方車間距離警報	前方車両との車間距離が設定値より近づくと警告する。
低速時前方車両警報	信号待ちや渋滞時などの低速状態で前方車両に接近すると警告する。

2-1-4 システム設置

本システムは、運行管理システム用スマートフォンと衝突防止補助システムよう車載カメラを設置する（図-5）。

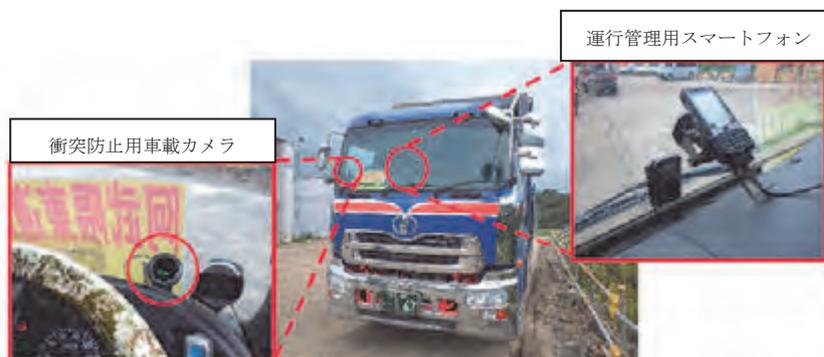


図-5 衝突防止支援システム 設置状況

事務所のPCでリアルタイムに表示される警報の発生、車両速度、車両位置を随時管理している。また、過去の運行履歴は作業日報としてダンプ運行管理システムで自動作成され帳票出力をすることで、残土運搬中の危険箇所の抽出及び、天候やその他の外的要因による運搬時間変更、調整を行っている。

(3) 結 果

1) 現場での判定結果

衝突防止支援システムの実施結果を、以下に示す。

- ① リアルタイムに位置情報と警報を記録することで、運搬系路上に存在する危険有害要因を可視化することが可能となり、事故発生時や車両異常時の対応がより正確に行うことが可能となった。
- ② 前日の運行データの帳票を翌日のKY活動に活用することにより運行現場に合った具体的な指示が可能となった。
- ③ 運行管理の状況を作業日報として帳票にまとめることにより、事故発生時の状況や現場、運行の状況をさかのぼって閲覧が可能のため時期や時間による危険個所の抽出が可能となった。

参 考 文 献	工事用車両の衝突防止支援システムの開発 建設機械施工：西松建設(株) 加瀬太郎他 pp. 50-53 Vol. 67, No. 5 May 2015
備 考	—

技術名	ドーナツ TBM 工法
番号	No. 4. 2-33
発注者	—
施設名	—
所在地	—
工事名称	—
施工期間	—
施工者	株木建設(株)
キーワード	TBM

(1) 概要

本研究開発である DTBM 工法は、TBM の前面中央部分を開けることで切羽の直視を可能にし、この中空部から不良地山に対して従来から培われてきた山岳トンネル技術をそのまま使い対応を図るものである (図-1)。



図-1 ドーナツ TBM 概念図

(2) 技術詳細

DTBM 工法、山岳トンネル掘削方式 TBM 工法の改良型に属し、一種のリーミング型 TBM であり、当工法は多くの実績がある技術である (図-2)。全断面 TBM 方式との違い

は、トンネル断面を外殻と内部に二分割することで、真中に中空部を設けたことである。外殻を DTBM でドーナツ状に掘進し、内部の核部を残し、進んだ分だけ汎用機械で破碎掘削しながら連続掘進するシステムである (図-3)。

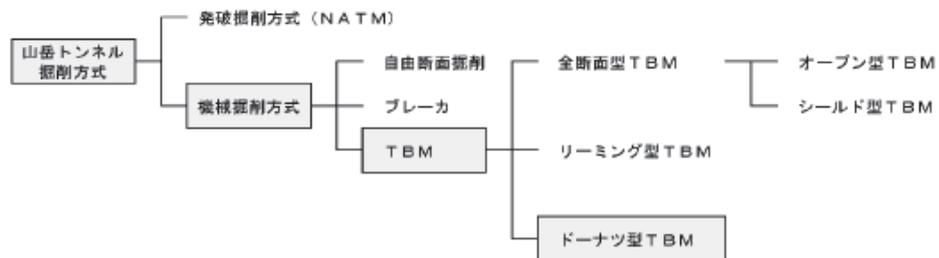


図-2 山岳トンネル掘削方式分類

1) ドーナツ型TBMの主要掘削設備

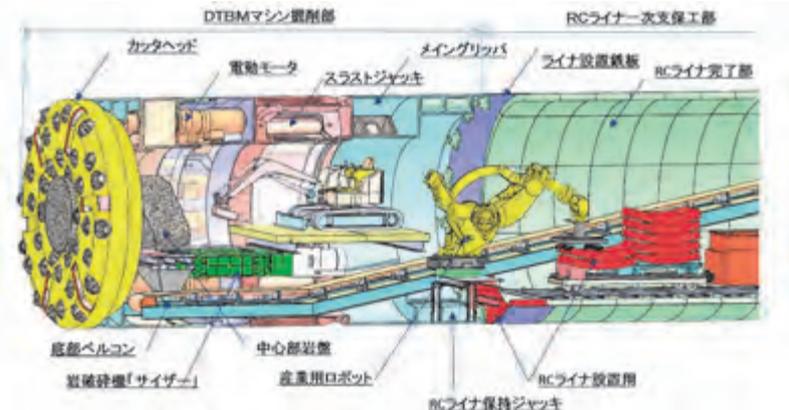


図-3 DTBM マシン本体

2) ドーナツ型TBMの掘削メカニズム

- ① 外周部はカッターヘッドによりドーナツ状に、回転と推進力とで剥ぎ取るように掘削する。掘削ズリは、頂部の120° 排出口から動力を使わずに自然排出される。
- ② 残された中心部は、核残しの役目を果たしながら突き出てきた岩塊を、2軸式岩破砕機「サイザー」により20cm以下に破碎する。バックホウ型ブレーカは、マシン掘削ズリの目詰まり除去や中心部岩塊の補助掘削用として、オペレータにより遠隔運転する。
- ③ 掘削ズリは、底部に配置したベルトコンベアにより坑外まで運搬される。中心部の開口比率については、開口部を汎用機械類が通過できることや中心部の破碎掘削がクリティカル作業にならないことを考慮しつつ、地質性状に合わせて設定する。

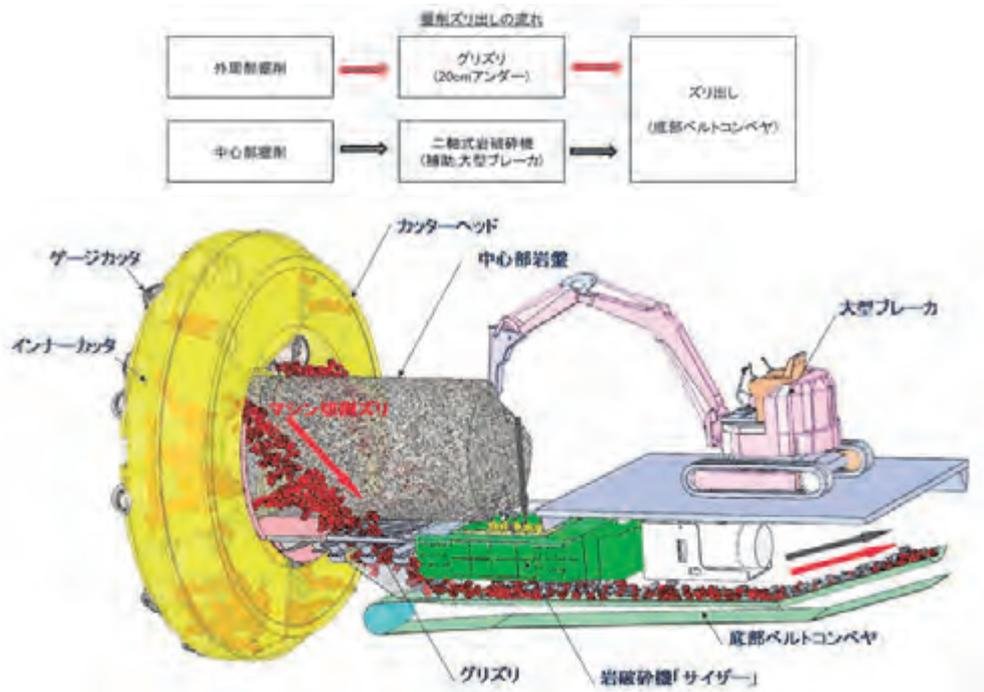


図-4 掘削フロー図

(3) 導入の効果

1) 工期短縮

1日当り作業時間のロス時間を見込み12時間稼働、1月当たり22日稼働として、標準地山に対する掘削速度を試算すると、月間平均で528mの掘削が見込まれる。

(マシン外径6m、一次支保工としてRCライナを採用した場合)

2) 省力化

ドーナツ型TBM工法のメリットである高速施工が実現できれば、全体作業員の大幅な減少が可能となる。また、産業用ロボットの導入等による機械化や自動化により、作業を単純化できる。

例えば、トンネル延長5kmに対する作業員数

ドーナツ型TBM : 15人/方×2方×22日×15ヶ月=9,900人 (平均月進528mの場合)

NATM : 10人/方×2方×22日×52ヶ月=22,880人 (平均月進100mの場合)

3) コストの縮減・環境負の影響

コスト面では、ディスクカッタの磨耗量が少ないと見込まれることから、取替え作業を含めたランニングコストの低減が図られる。

環境面では、工期短縮による自然環境への負荷軽減が図られる。

安全面では、全断面型TBMと同様に鋼製殻の中での作業によるメリットが確保できる。

(4) 今後課題・展開

本研究は開発助成の採択を受けて、従来の産・学に官を加えた体制を構築して研究を進めることにより、実現場での試行、さらに実用化への道筋を見出していくものである

参考文献	・電力土木技術協会 電力土木、363号、p84-86、2013年1月 ・平成27年度 建設技術研究開発助成制度「ドーナツ型TBMを活用した新たな山岳トンネル工法の開発」一般財団法人先端センターより
備考	—

4.2.3 シールドトンネル

【地下施設／シールドトンネル】

技術名	切羽探知レーダーシステム
番号	No. 4. 2-34
発注者	—
施設名	—
所在地	—
工事名称	—
施工期間	—
施工者	戸田建設(株)
キーワード	切羽前方探査、電磁波レーダ、障害物探知

(1) 概要

密閉式シールド機の面板に電磁波レーダーを装備することで、掘削しながら、かつリアルタイムに掘削断面の土質や前方の障害物を探査、表示できる密閉式シールド機の前方向探知システム。(図-1)。

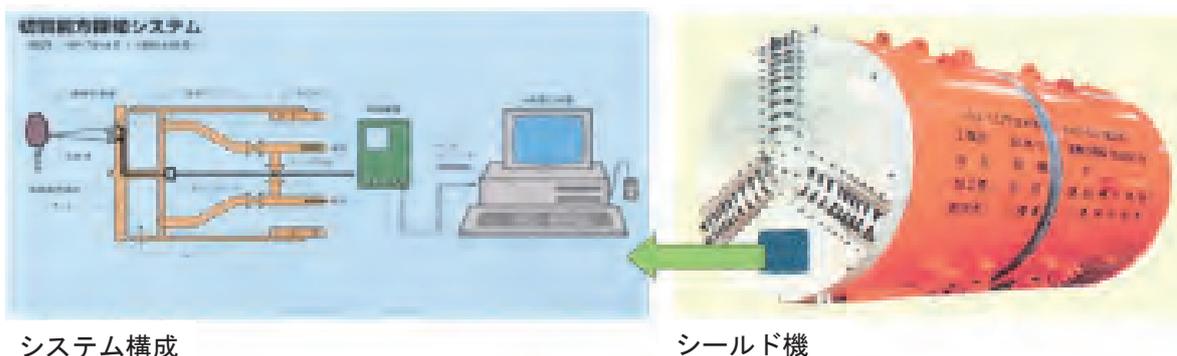


図-1 切羽探知レーダーシステムの概要

(2) 技術詳細

1) システムの概要

2-1-1 切羽探知レーダーシステム

切羽探知レーダーシステムの特徴を、下記に示す。

- ① シールド機カッターフェースに電磁波を発信、受信するアンテナを搭載。
- ② シールド前方に存在する既設構造物（管渠、マンホール、杭等）や障害物（残置杭、シートパイル、H型鋼等）を探知。
- ③ 電磁波の特性を利用して、土質（腐植土、粘性土、シルト砂、砂質土）を判定。
- ④ シールド切羽の土質を判別し、施工管理に役立てることができる。
- ⑤ カッター側面にアンテナを搭載すると、近接する構造物との離隔が把握できる。
- ⑥ カッター1回転で探査して結果を表示するため、リアルタイムの計測が可能。

1-1-2 レーダー探査 メカニズム

レーダー探査は、送信アンテナから地山に向けて電波を発信し、返ってくる応答波（反射波、表面伝播波）を分析して、障害物の探知や土質の区分を行う。

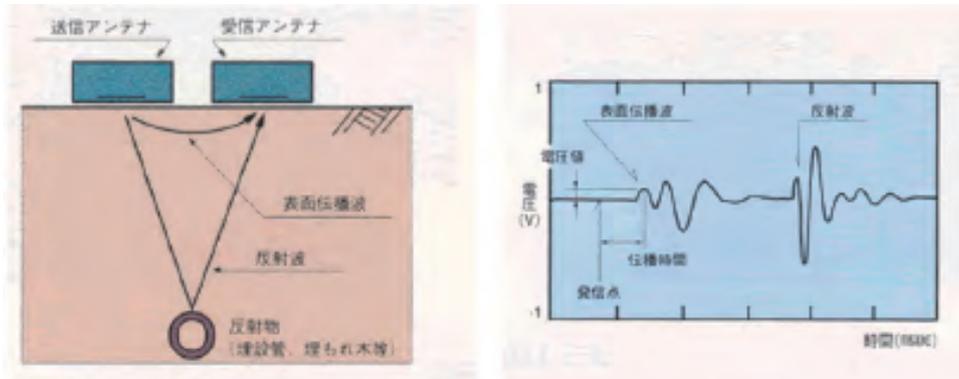


図-2 レーダー探査概要

(3) 結果

1) 現場への適用事例

〈障害物探査〉

適用工事では、シールド発進直後探査モニターに反射物を捉えた。事前の調査では、その位置に障害となるものは認められなかった。図-3 に反射物を捉えた時のモニターを示す。図左上の矢印の先にある三日月状の模様が反射物であり、190 度と 350 度付近の二箇所に表示されている。シールド断面に反射物位置をプロットすると杭の存在を推定することができた。これらの結果を踏まえ、再調査した結果、水道管人孔の支持杭であることが判明した（図-3 右側参照）。この支持杭はφ1300mm の鉄管杭であり、深礎を施工することにより、人孔を受け替えた後撤去し、無事通過することができた。

その他現在まで、土質調査のボーリングロッド、隧道の基礎杭（コンクリート杭及び木杭）、到達部坑口防護体（コラムジェット改良体）等の探査事例がある。

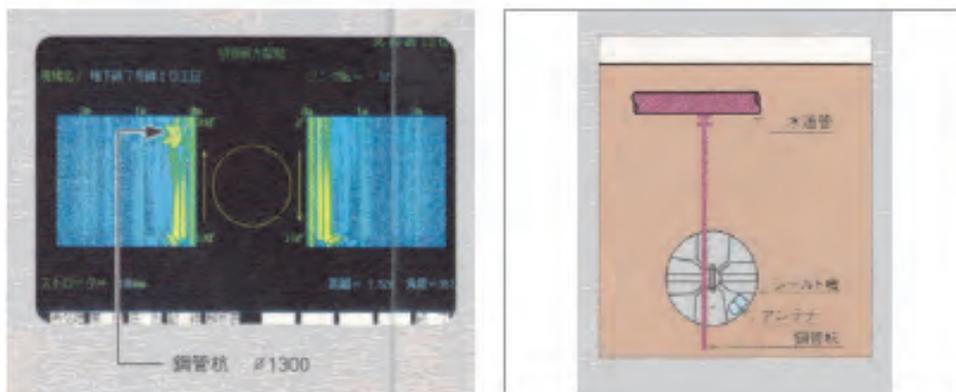


図-3 探査実施結果例

〈土質判別探査〉

また別工事の事例では、シールド断面下部が砂質土、上部が粘性土で構成される互層面であった。本システムが判別した土質が的確であるか否かを検証するために、該当地点において土質ボーリングを行い、システム判別と同等な土質結果が得られた。

本システムで掘削中の土質構成をリアルタイムで把握することにより、加泥材の選定や注入量設定の目安として施工管理に反映した。またシステムは、土質判別探査により乾砂量を演算・表示する機能を備えており、泥水式シールドにおいては、差圧密度計により得られた乾砂量と対比し、より精度の高い土量管理を行うことができる。

2) 今後の課題・展開

本システムは前方を目視できない密閉式シールド工法において、障害物の探査及び掘進土層をリアルタイムに把握することができ、輻輳化した地下空間を施工にあたり有意義な情報を提供するものである。本システムは、既に十数件の実績があるが、探査距離の増大やソフトの改良など取り組む課題は残されている。今後はこれらの課題の研究を行い、また実工事での探査例を積み重ね、本システムをさらに完成させていきたいと考えている。

参 考 文 献	電磁波を用いたシールド機切羽前方探査システム トンネル切羽前方探査に関するシンポジウム・講演会：戸田建設(株) 請川 誠他 pp. 101-106
備 考	—

【地下施設／シールドトンネル】

技術名	シールド情報統合管理システム
番号	No. 4. 2-35
発注者	滋賀県
施設名	琵琶湖流域下水道東北部長浜第二幹線
所在地	滋賀県
工事名称	琵琶湖流域下水道東北部長浜第二幹線松原磯工区管渠工事
施工期間	2009年3月～2011年1月
施工者	(株)奥村組
キーワード	セグメント情報管理、路面変状管理、資材管理、受入検査管理、写真管理

(1) 概要

「シールド情報統合管理システム」は、図-1に示すように「掘進管理」・「測量管理」の主幹システムを軸として新規開発の「資材管理システム」、「受入検査管理システム」、「路面変状管理システム」、「セグメント情報管理システム」および「写真管理システム」を要素技術として各々連動させ一元管理を実現するシステムである。

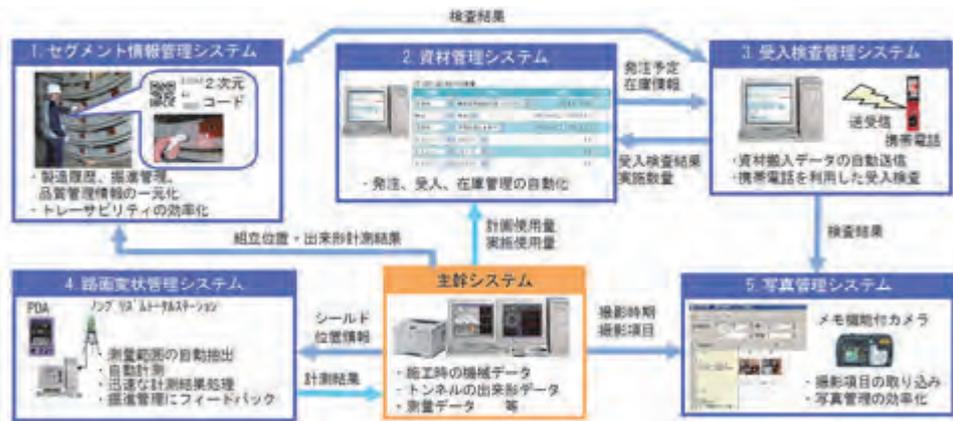


図-1 シールド情報統合管理システム

(2) 技術詳細

1) セグメント情報管理システム

① システム概要

開発したシステムは、セグメント製造時の品質管理情報、出荷、受入れ、組立などの使用履歴に関する情報、受入検査、工程内検査に代表される施工時の品質管理情報を各セグメントピースの固有情報としてデータベース化し、管理を一元化することで、瞬時に検索・追跡（トレース）できるシステムである（図-2）。さらに、セグメントの品質記録図、製造履歴に加え、掘進管理や品質も組合せた「トンネル情報シート」を作成し、データベースを電子納品することでトンネル供用後の維持管理性に容易に使用できる。

② トレーサビリティ管理

a) セグメントピースの識別

工場製作時に全てのセグメントピースに対して、識別情報（以下 ID とする）を与え、製造時の品質管理情報（骨材産地、コンクリート品質管理データ等）とともに 2 次元コードに変換し、各セグメントピースに 2 次元コードを貼付けることで、セグメント 1 ピースごとの識別管理を行う（写真-1）。

b) セグメントピースの追跡

工場出荷時からセグメント組立までの各施工段階でセグメントを追跡し、セグメントに貼付けた 2 次元コードをスキャナーで読取り、時系列でセグメントの ID を収集する。収集したデータは、ネットワークを通じてシステムのデータベース（図-3）に転送される。

c) トンネル情報のデータベース化

データベース化においては、各情報のセグメント ID を照合し、トンネルのリング番号をキーとして整理することにより、セグメントの品質記録図、製造履歴に加え、掘進管理や品質管理情報を一元的に管理する。「トンネル情報シート」（図-4）を作成することで、リング番号から容易にデータの閲覧や抽出ができる。さらに、製品証明や入荷伝票の PDF



図-2 セグメント情報管理システム

	1	2	3	5	6
1	トレーサビリティデータ				
2	T2			S2	S3
3	セグメントID	セグメント種別	セグメント番	製造工場	コンクリート打設日
4	除コード			丸山 上田	
5	830A1	A1	1000 MNWSP-SK	20.04.25	10:00:00
6	830A2	A2	1000 MNWSP-SK	20.04.26	10:00:00
7	830A3	A3	1000 MNWSP-SK	20.04.26	10:00:00
8	830B1	B1	1000 MNWSP-SK	20.04.26	10:00:00
9	830B2	B2	1000 MNWSP-SK	20.04.26	10:00:00
10	830K	K	1000 MNWSP-SK	20.04.26	10:00:00
11	832A1	A1	1000 MNWSP-SK	20.04.28	10:00:00
12	832A2	A2	1000 MNWSP-SK	20.04.28	10:00:00
13	832A3	A3	1000 MNWSP-SK	20.04.28	10:00:00
14	832B1	B1	1000 MNWSP-SK	20.04.28	10:00:00
15	832B2	B2	1000 MNWSP-SK	20.04.28	10:00:00
16	832K	K	1000 MNWSP-SK	20.04.28	10:00:00
17	823A1	A1	1000 MNWSP-SK	20.04.25	13:00:00
18	823A2	A2	1000 MNWSP-SK	20.04.25	13:00:00
19	823A3	A3	1000 MNWSP-SK	20.04.25	13:00:00
20	823B1	B1	1000 MNWSP-SK	20.04.25	13:00:00
21	823B2	B2	1000 MNWSP-SK	20.04.25	13:00:00
22	823K	K	1000 MNWSP-SK	20.04.25	13:00:00
23	823A1	A1	1000 MNWSP-SK	20.04.26	10:00:00

図-3 セグメントデータベース



写真-1 2次元バーコードの読取り



図-4 トンネル情報シート

データを取り込むことにより、紙ベースの製造・受入情報を含めた記録を行うことが可能となる。

③ システムの適用範囲

セグメント情報管理システムをコンクリート二次製品である RC セグメントを用いるシールド工事に、適用する。共同溝、地下鉄、下水道等の二次覆工省略型の管渠においては、供用後の維持管理を含め、その有用性が特に高い。

2) 路面変状管理システム

① システム概要

シールド路面変状管理は、掘進に伴う先行沈下や後続沈下等の変状の把握を目的としている。一般的に、トンネル中心線とその両側に測点を設け、シールド通過前と通過後の一定範囲の水準測量を行う。

路面変状管理の手順は、

- a) シールドの切羽位置から測量範囲を抽出
- b) 水準測量の実施
- c) 測量結果を掘進管理に反映

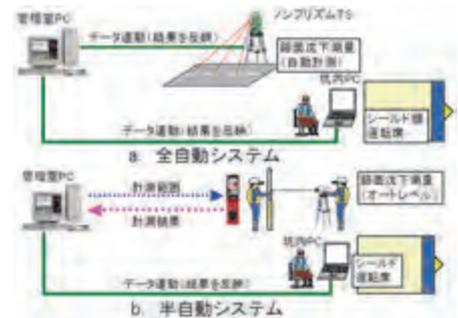


図-5 路面沈下管理システム概要

である。これまでは b) から c) に至るまでに半日程度のタイムラグが生じており、路面陥没等のトラブル要因となっていた。路面変状管理システムは、管理のタイムラグ防止し、この一連の手順を自動化するシステムである。さらに、管理対象や測量頻度など施工条件に応じて、ノンプリズムトータルステーション（以下、ノンプリズム TS）、オートレベルの2種類の計測機器を使い分けるシステムである(図-5)。計測機器別に各手順におけるシステム概要を以下に示す。

I. ノンプリズム TS を使用した全自動システム

- i. 主幹システムのシールド現在位置データから測量範囲を自動抽出する
- ii. ノンプリズム TS を用いて路面を自動計測する
- iii. 計測データを無線操作機でシステムに転送し、測量結果の計算と図化を自動で行う
- iv. シールド運転席に即時に結果を表示し、路面変状管理値を超過した場合は警告を自動表示する

II. オートレベルを使用した半自動システム

- i および iv のシステムは上記システムと同一である。オートレベルを用いて路面を計測し、携帯電話端末からシステムに転送、測量結果計算と図化を行うとともに測量ミスの確認を自動で行う。

② システムの適用範囲

路面変状管理システムは、現場状況に応じて任意に計測機器選択が可能なシステムであり、全てのシールド工事について適用できる(図-6)。例えば、初期掘進時や重要構造物近接施工時など、測計測頻度を高く設定しなければならない区間についてはノンプリズム TS を用いた計測管理を選択し、それ以外の区間についてはオートレベルを用いた計測による管理を選択

することも可能である。

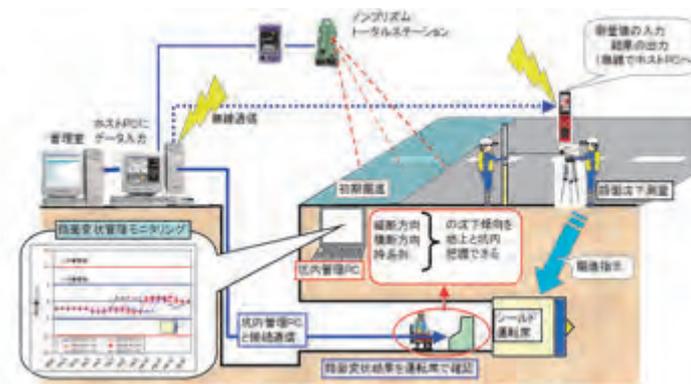


図-6 路面変状管理システムの適用イメージ

さんがログイン中です

警告表示

10月28日(水)現在の在庫量 発注が必要なお品があります。

品名	ITC	在庫	訂入
セグメント	ACコンクリート	0kg	発注が必要です
セグメント	ACコンクリート	0kg	発注が必要です
素コンクリート	伸縮剤	-2950t	
素コンクリート	防錆剤	11,740t	
素コンクリート	安定剤	537,340kg	
素コンクリート	防錆剤	7,440㎥	
素コンクリート	伸縮剤	720,000kg	
数量	20kg以上	6	発注
数量	重量10kg以上(3000)	4	発注
数量	重量1kg以上	1	発注
数量	重量5kg以上(20kg)	1	発注
数量	重量	64.0㎥以上(71.837上)	

図-7 資材管理システム管理画面

3) 資材管理システム・受入検査管理システム

① 資材管理システムの概要

本システムは、主幹システムから資材の使用量と使用実績データを受け取り、かつ現場条件、工程（日進量、休工予定日）を設定することで、シールド工事に使用する資機材の在庫管理および発注管理を自動化するシステムである。従来は、FAX と電話により資材の発注・確認作業を行っていたが、本システムでは発注予定策定機能により作成した予定をシステム上で発注することで、材料メーカーへ Web 発注ができる。また、材料不足が予測される場合は発注警告を表示し、発注予定策定時、ストック量オーバーが予測された場合にはストックオーバー防止警告を表示する（図-7）。

② 受入検査管理システムの概要

本システムは、セグメントなどの資材受入時に、現場職員が所有する携帯電話の通信機能を利用して、資材の品質管理を迅速に行うシステムである。資材管理システムサーバーから携帯電話に資材の入荷予定データが Web 送信される。現場職員は、表示される受入検査項目に従って検査を行い、入荷写真と検査結果を携帯電話からメール送信することで、受入検査の全数実施が効率的かつ確実に実施できる（図-8）

③ 不適合品発生時の処理

受入検査で不適合品の入荷が発生した時は、以下の方法で不適合品発生時の処置と記録を行う。

- a) 携帯電話を用いて不適合の詳細と該当部の写真を添付し、システムサーバーにメール送信を行う（図-9）。
- b) システムサーバーはメールを受信すると、管理責任者へ不適合発生連絡メールを自動送信する（図-10）
- c) 管理責任者と発注者で不適合処置を決定後、パソコンもしくは携帯電話から処置を記入する（図-11）

④システムの適用範囲

インターネット環境があり、携帯電話通信が可能な地域内にあるシールド工事全てに適用可能である。

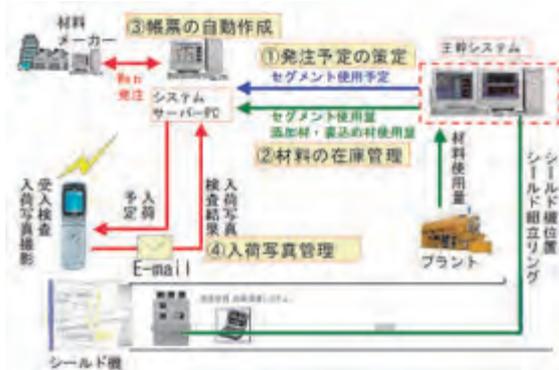


図-8 資材管理システムと受入検査管理システムの連携



図-9 携帯による受入れ検査状況



図-10 不適合発生連絡メール

材料名		RCセグメント						
規格・仕様								
No.	検査項目	適合判定基準値	検査方法					
1	形状寸法	注文種別との適合	内品点検と実物照合					
2	変形・損傷の有無	目視・目録	目録					
3	変形・損傷の有無	クラックの幅(0.1mm以上)	目録、クラックスケール					
検査日	形状	数量	検査項目	合格判定	検査担当者	不適合品の処置		再検査日
6/12	Sサイズ2	1	1	○	安竹	不適合の理由	処置方法	
			2	○			□不要	
			3	○			□不採用	
6/12	Sサイズ2	1	1	○	安竹		□不要	
			2	○			□不採用	
			3	○			□不採用	
6/12	Sサイズ2	1	1	○	安竹	クラック0.2mm	■不要	
			2	○			□不採用	
			3	○			□不採用	

図-11 受入検査結果

4) 写真管理システム

① システム概要

本システムは、写真撮影項目を撮影リストデータとしてカメラに取り込む。写真撮影時に対応する項目を選択することで、写真データがリストに対応した固有情報を持ち、写真データ管理を迅速かつ効率的に行うことができる。さらに、リストで管理することで、容易に写真データの検索ができる。

システム導入時の初期設定において、撮影項目管理ソフトに施工サイクル写真の項目を入力し、写真管理を以下のフローで行う。

- メモ機能付きカメラに撮影項目を取込む
- カメラで該当する撮影項目を選択し、写真撮影する
- メモ機能付きカメラと撮影項目管理ソフトを連携する
- 写真欄のチェックマークにより写真の撮り忘れを確認する(図-12)



図-12 写真管理システム

e) 電子納品する場合は、写真管理ソフトへ XML 形式で出力し、取り込むことで撮影項目ごとに自動で整理する

② システムの適用範囲

シールド工事の施工サイクルの写真に適用可能である。ただし、撮影に用いるデジタルカメラには、撮影リストのデータを認識できるメモ機能付きカメラが必要である。

(3) 結果

1) セグメント情報管理システム

セグメント情報管理システムの導入により、製造時、受入れ時、施工時のデータの一元管理が、セグメントのリング番号毎に整理されたトンネル情報シートによって可能になった。

また、トンネル情報シートを用いて、リング番号をもとに維持管理を行うことで、リング番号に関わる情報を容易に検索できる。そのため、仮に不適合品が発生した場合においても、原因追及が従来方法より迅速化でき、不適合原因と製造不適合発生のおそれがあるピースの再検査をメーカーへ指示することで、現場への搬入を防止できる。また、今後、トンネル情報シートを発注者へ電子納品することにより、維持管理にも有効な情報を提供できると考える。

2) 路面変状管理システム

路面変状管理システムの導入により、シールドの切羽直上の路面変状を把握できた。さらに、路面変状を掘進管理のパラメーターとして活用し、変状に応じて切羽土圧や裏込め注入圧力などの掘進管理値を変化させることで切羽部の先行沈下、テール部での後続沈下を防止できた。オートレベルに替えてノンプリズム TS を用いれば、近接施工や土質層境等のリアルタイム重点管理が可能である。

3) 資材管理システム・受入検査管理システム

- ① Web 発注と使用量予測と実施使用量から自動作成された受払い簿により資材管理が効率化できた
- ② 携帯電話による受入検査と写真撮影で、受入検査記録と材料写真整理を省力化できた
- ③ 警告機能により、材料の過不足やヒューマンエラーによるトラブルを防止できた
- ④ 携帯電話を用いたセグメントの全数受入検査により、未検査品および不適合品の使用から生ずる品質低下を防ぐことで、シールドトンネルの品質を確保できた

4) 写真管理システム

- ① 施工サイクル写真の撮影項目のチェック機能により、写真の撮り忘れを防止できた
- ② 撮影写真の項目（工種、場所、内容等）の入力とフォルダ整理を全て自動化できた
- ③ 写真管理ソフトへ取込むことで、施工サイクル写真の管理を効率化できた

参考文献	(株)奥村組技術年報、No. 36、pp65-70、2010. 8
備考	—

【地下施設／シールドトンネル】

技術名	シールド自動方向制御、セグメント自動組立、セグメント自動搬送
番号	No. 4. 2-36
発注者	国土交通省 近畿地方整備局
施設名	大津放水路トンネル
所在地	自) 滋賀県大津市石山一丁目地先、至) 滋賀県大津市若葉台地先
工事名称	大津放水路トンネル第一工区建設工事
施工期間	1995年3月23日～2004年3月10日
施工者	清水・鹿島特定建設工事共同企業体
キーワード	真円度測定、テールクリアランス自動測定、スペクトル拡散無線、自動追尾トランシット

(1) 概要

1) 工事概要

工法：泥水式シールド工法、仕上がり内径 10.80m（二次覆工を含む）
掘進延長：1784m

2) 技術概要

① セグメント自動組立

坑内輸送、後続台車内に搬入されたセグメントは、ホイストで把持した後、ストックコンベア、供給装置を経てボルト締結までの組立を全て自動で行った。また、セグメントを通しボルトタイプのものとし、ナット供給においても自動供給装置を採用した。このシステムは既に東京湾横断道路での当社 JV 工区にて採用されたものではあるが、さらなる組立時間のスピードアップ、精度の向上を図ることを目標とした。

② 自動搬送システム

セグメントの搬入から立坑投入、C-BOX 内のシール貼付用ストックヤードへの入庫、その後坑内、切羽への出庫、搬送との行程となるが、その大半の行程において自動・無人搬送を行った。

③ 自動測量

線形管理においては、自動測量はジャイロを用いるのが主流であるが、本工事では、職員による人為測量と同じ作業をロボットのトランシットが代わりにを行い、常時観測出来るシステムを採用した。

(2) 技術詳細

1) セグメント自動組立

より真円にセグメントを組立てるためには、正確な真円度測定が出来ることと、その修正能力にある。真円度測定においては、通常エレクターがその測定作業を阻害することにより、タイムリーな測定が出来ないのが現状である。そのため、自動組立装置を使用している利点

(自動組立ではエレクターの伸縮、その他のデータを有している)を利用し演算させ、それをセグメントの真円度に置き換えることにより可能とした(図-1)。

次に、組立精度の確保においては、テールクリアランスを適切に確保するための情報を常に得る必要があるため、テール部の左右、上部の3箇所に自動テールクリアランス測定装置を設置した。これは、CCDカメラとレーザーポインタ及び照明装置をジャッキ格納側に固定し取り付け、照明により影をつくり出し、セグメントエッジを検出、2本の平行なレーザ照射により基準距離を得ることによって、CCDカメラの画像により処理計測を行うものである(図-2)。



図-1 真円度測定

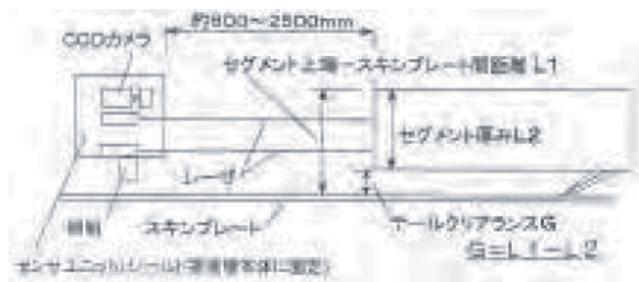


図-2 テールクリアランス自動測定装置

2) 自動搬送システム

搬送台車の自動位置制御・管理には、SS無線とマーカーを使用した。SS無線は、トンネル内に設置した複数のアンテナ中継固定局と搬送台車との間で送受信し、現在の台車位置、状態をリアルタイムに把握し、緊急時には非常停止指令を送ることが出来る、複数の電波とも干渉しないスペクトル拡散無線である(図-3)。

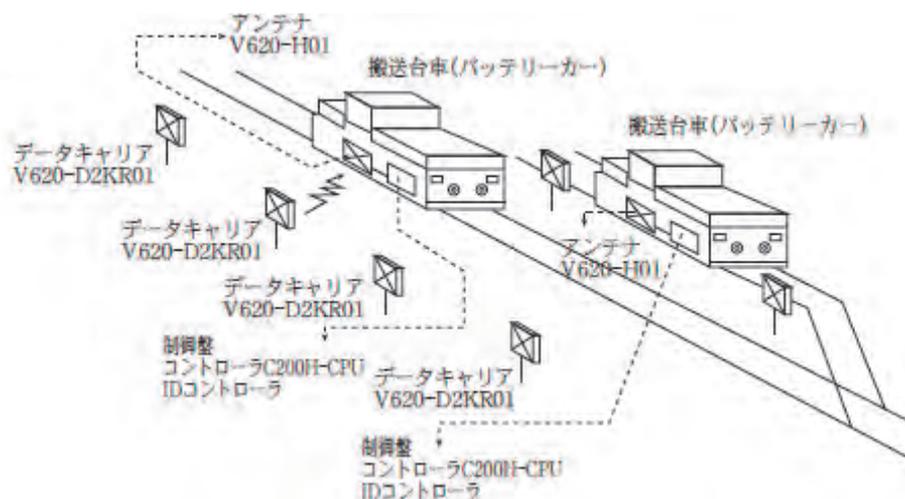


図-3 自動搬送システム概要図

マーカは切羽、立坑、他制御の必要な箇所に予め設置しておき、停止、減速等の指令を台車に送るものである。

3) 自動測量

シールド機後方にロボットのトランシットを設置し、シールド機方向を確定する2点（実際はチェックを含め3点）と後視点にプリズムを設置し、トランシットが設定時間ごとに、自動的に首を振り、プリズムである測点を追い計測する。このデータを計画線形に載せ、シールド機位置を常に把握出来るシステムである（図-4）。

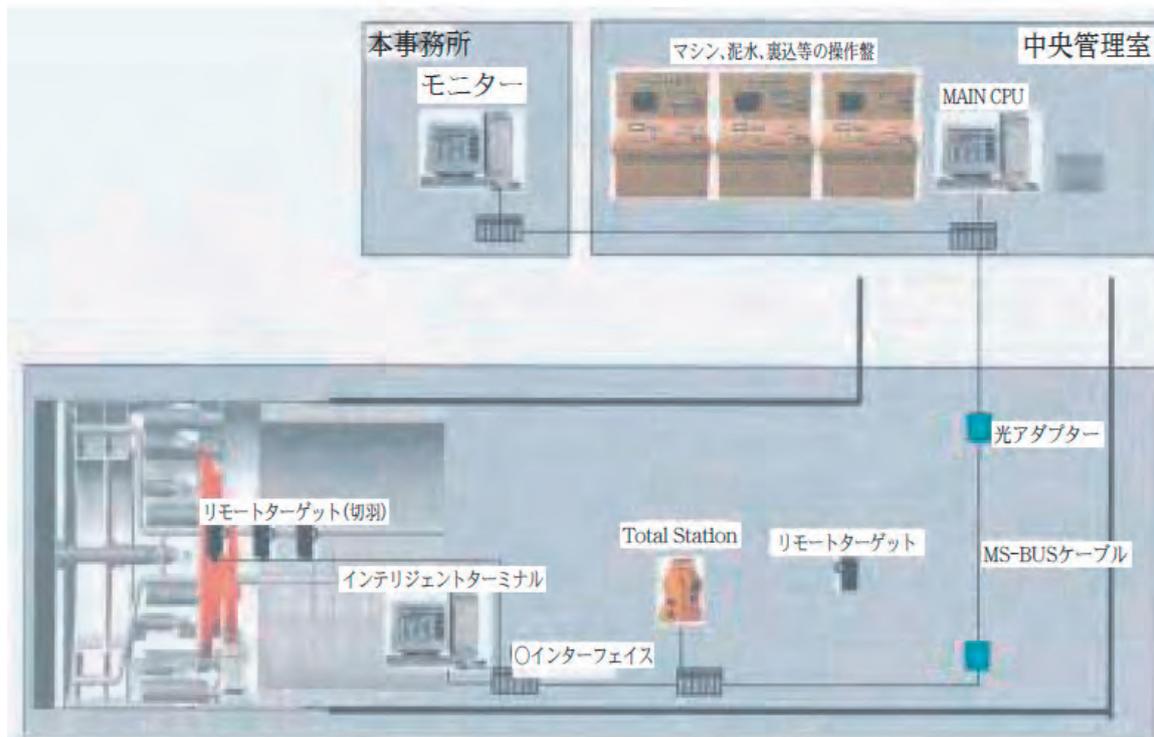


図-4 自動測量概念図

(3) 結果

1) セグメント自動組立

真円度測定結果は、組立完了時即座にモニター化して入手出来るため、次のステップ、その修正が次の組立作業にて可能となった。修正作業については、組立システム内にて強制的に目違いを発生させる指示を行うことで対応することが出来た。また組立てたセグメントにおいては、真円保持装置を固定式、移動式の2基装備させ、段取り替え作業時においても必ず1基が支持できるものとし、形状の確保に努めた。

このようにして、自動組立装置の持つデータを有効に利用し、また工夫により、真円度が確保出来、漏水のないトンネルを構築することが出来た。

組立精度の確保を目的に設置した自動テールクリアランス測定装置は、間接非接触であるため、大口径シールドにおいても安全で、かつセグメントの汚れによる計測不能という事もなく、正確なデータを供給することが出来た。



写真-1 自動組立状況

2) 自動搬送システム

自動搬送システムを使用することで、複数の台車の位置関係を把握したうえで、必要な制御を含めた搬送を無人で安全に行うことが出来た。また、このシステムに拡がりを持たせ、見学者への対応及びイメージアップを図るため、見学者用人車で自動・無人運転を導入した。今後はこのように複数の作業の自動化を更に組み入れ、また作業員の介入する箇所をなくすことにより、このシステムにさらに安全、効率化、そしてコストダウンを求めることが出来ると考える。



写真-2 自動搬送状況

3) 自動測量

常時観測出来るシステムを採用したことでジャイロの持つ誤差を解消すると共に、シールド機位置を常に把握し掘進精度の向上と省力化となった。

参考文献	土木クォータリーNo. 143：清水建設(株)、P2-42、2004年8月
備考	—

【地下施設／シールドトンネル】

技 術 名	セグメント組立同時掘進「F-NAVI」システム
番 号	No. 4. 2-37
発 注 者	東京ガス(株)
施 設 名	鋼製ガス管
所 在 地	神奈川県横浜市磯子区新磯子町 34 番地先～泉区新橋町 153 番地先
工 事 名 称	新根岸幹線シールド工事
施 工 期 間	2007 年 1 月 10 日～2012 年 1 月 15 日
施 工 者	清水建設・大林組・鹿島建設共同企業体
キーワード	同時掘進、姿勢制御、首振り、自動追従型エレクター

(1) 概 要

1) 工事概要

工法：泥水式シールド工法、一次覆工 内径φ 2,000mm（鋼製セグメント）

延長：13,961.8m（根岸工区 4,698.3m、東戸塚工区 4,508.5m、新橋工区 4,755.0m）



写真-1 シールド機（中折れ有り）

2) 技術概要

「F-NAVI シールド工法」とは、Front-Navigate シールド工法の略称で、前胴部がシールド機を正しい方向に誘導するということである。本工法は、シールド機の前胴部で姿勢制御を行うため、従来のシールドジャッキのパターン選択に関係なく進行方向を自由に制御できる。これにより、シールド掘削とセグメント組立を同時に行うことが可能になり、時代のニーズにマッチした高速施工が実現した。

根岸工区、新橋工区のシールド機は、曲線半径 32m および 35m という急曲線が存在するため、最大 5.8° の中折れ機構を装備した。東戸塚工区では、最小曲線半径が 200m と比較的緩やかな線形のため、中折れは装備していない。シールド機は、高速掘進を実現するため、3 機ともに F-NAVI 仕様とした。

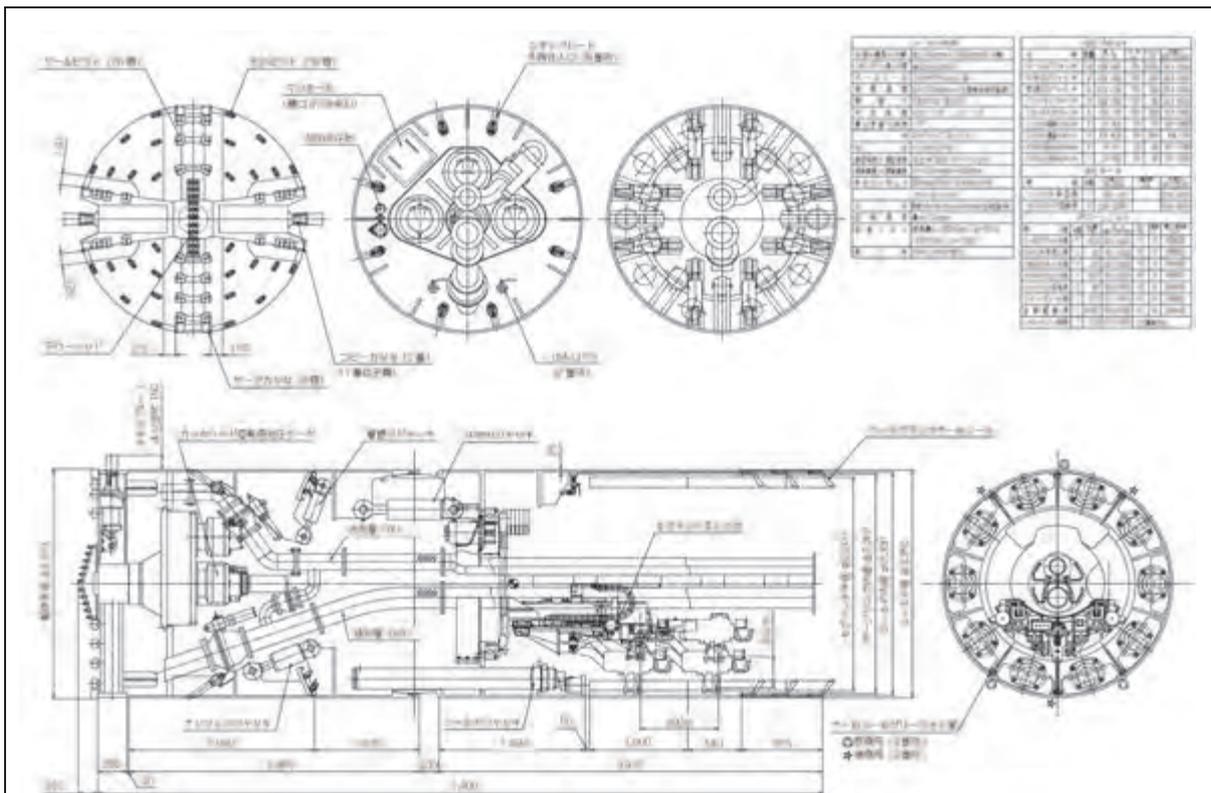


図-1 シールド機全体構造図

(2) 技術詳細

1) F-NAVI シールド機の構造

F-NAVI シールド機はシールド「本体部」と「前胴部」からなり、この2つをつなぐ「テンションジャッキ」と姿勢制御（前胴部の首振り）を行う「球面座」および「アーティキュレートジャッキ」、そして同時組立を可能にする「自動追従型エレクター」と「ロングストロークジャッキ」から構成される（図-2）。

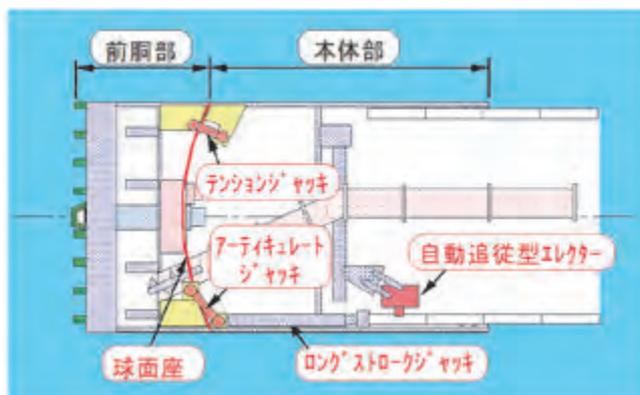


図-2 F-NAVI シールド機の概要図

F-NAVI シールド機の特徴を以下に示す。

- 掘削とセグメント組立の同時掘進による高速施工が可能である。

- ・ シールドジャッキの選択により姿勢を制御する。
- ・ 球面アーティキュレートにより、上下左右どの方向にも迅速な姿勢制御が行える。
- ・ 前胴部が曲線に沿って屈曲でき、余掘りが少なく地盤への影響が低減できる。

2) 方向制御の原理

F-NAVI シールド機による方向制御の原理を図-3 に示す。

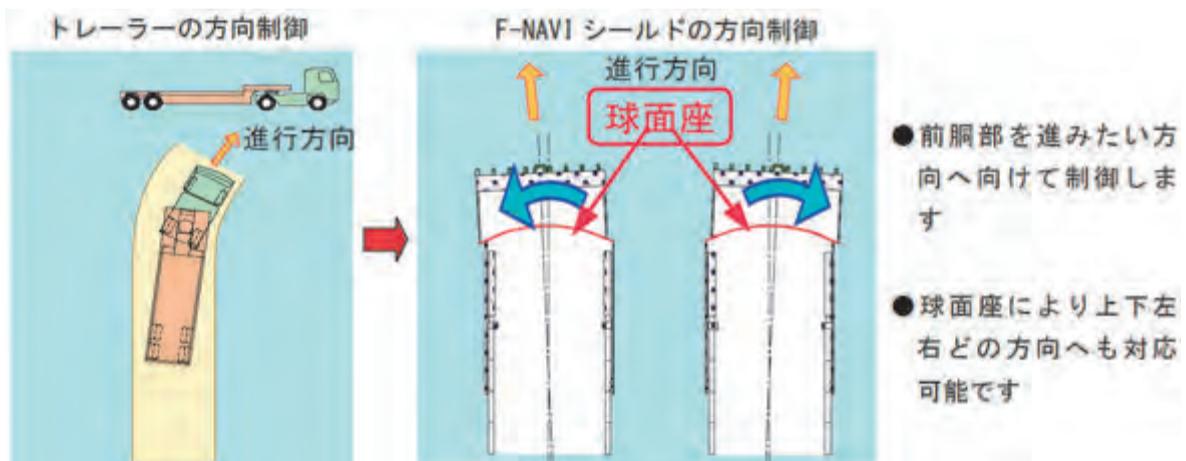


図-3 F-NAVI シールド機の方向制御の原理

(3) 結果

本シールド工事は4,500m から4,750m の長距離掘進であるため、路線後半では坑内移動時間の増加による日進量の低下と機械メンテナンスの増加による掘進稼働日数の減少を想定し、「本掘進期間の平均月進量300m」を目標とした。これに対して、本工事での最大月進量は、平成21年9月に新橋工区が掘進した551mであった。これは、9月1日から9月30日までの実稼働日数23日間に片番平均12R(12m)を維持して達成したものであり、25日稼働日換算では、599mという月進量であった。

本シールド機はF-NAVI シールド機ではあるが、シールド機の位置、姿勢およびジャッキ盛替えに応じて自動で首振りを行うような自動方向制御システムを採用しなかった。このため、首振りの操作はすべて、指示書に基づき中央制御室のオペレータが手動で行った。中央制御室のオペレータは、多岐にわたる制御を集中して行っており、同時掘進時のジャッキ盛替えに応じて毎回首振りを手動で操作して方向を制御するという管理は非常に困難である。このことから、施工時の姿勢制御は、シールド機が中心線に対して右側にいる時は首を左に振り、徐々に中心線に近づけるような制御方法をとった。

各工区での同時掘進の実施状況は以下の通りである。

1) 根岸工区

路線前半部に曲線半径の小さいカーブが連続しているため、本格的に同時掘進を開始したのは700リング(600m)を過ぎてからであった。曲線半径45mの急曲線部以外はほとんど同時掘進を行い、曲線半径200m～1,000mの曲線区間(12カ所、延長約1,280m)についても、

セグメントの組み方が同時掘進の甲乙組と合う場合には同時掘進を行った。本工区での同時掘進適用率は、路線延長の 85.3%であった。

2) 東戸塚工区

掘進速度が 40mm/min 以下であれば同時掘進により掘進組立サイクルの時間を短縮することができたが、掘進速度が 40mm/min を超える場合は、同時掘進を行っても組立中に掘進を停止することになり、逆に掘進組立サイクルが若干、長くなってしまった。このため、通常掘進を行うケースが多くなり、本工区での同時掘進適用率は、路線延長の 20.3%であった。

3) 新橋工区

路線前半部に急曲線区間が多いため、本格的に同時掘進を開始したのは 2,500 リング (2,180m) を過ぎてからであった。路線後半部には曲線半径 200m ~800m の曲線区間が 9カ所 (延長約 880m) あったが、セグメントの組み方が同時掘進の甲乙組と合う場合には同時掘進を行った。本工区での同時掘進適用率は、路線延長の 59.0%であった。

本工区は東戸塚立坑への到達となるため、当初計画では、カッタヘッドのみをエントランスから押し出し切断撤去し、シールド機内設備を撤去して、スキンプレートを一次覆工構造部材として使用する予定であった。しかしながら、F-NAVI シールド機は内部を切断撤去しても、止水性確保のために首振り部が大きく残り、トンネル内空を侵害することとなる。特に、坑口部付近は、シールドトンネル完了後の配管施工時に縦吊りした管を坑内に引き込むため、トンネル内空の確保が重要となる。このため、実施工ではシールド機後胴約 2m 部分を残して到達立坑内に押し出し、前胴および後胴のほとんどを切断搬出する計画に変更した (図-4)。

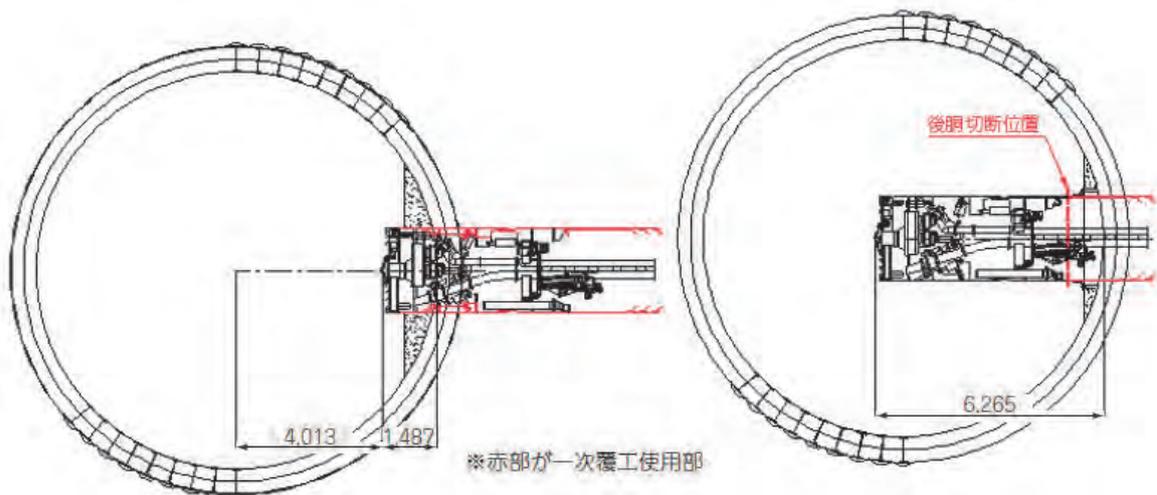


図-4 立坑到達形状変更図 (左 : 当初計画、右 : 変更後)

参考文献	土木クォータリー Vol. 167 : 清水建設(株)、P45-65、2010年8月
備考	—

【地下施設／シールドトンネル】

技術名	ICタグによる維持管理トレーサビリティ
番号	No. 4. 2-38
発注者	国土交通省 近畿地方整備局
施設名	大阪北共同溝
所在地	大阪府交野市
工事名称	大阪北共同溝交野寝屋川地区工事
施工期間	2008年2月～2011年2月
施工者	(株)間組(現・(株)安藤・間)
キーワード	ICタグ, 維持管理, トレーサビリティ

(1) 概要

より効率的な維持管理計画の立案を支援するため、ライフサイクル全体における情報を一元管理し、これら情報を可視化することで容易に情報の利活用が可能なトレーサビリティシステムを開発し、現場へ適用した。

本システムは、ライフサイクル全体を通して維持管理に必要な情報を場所情報と連携させて一元管理し、これら情報を三次元的に可視化するための「三次元情報システム」、現場内で特に維持管理に必要な情報を登録・閲覧するための「ICタグとリーダーライタ」から構成される。なお、現場の状況に応じて、「三次元情報システム」のみ、または「ICタグとリーダーライタ」のみの選択も可能である。

(2) 技術詳細

1) 三次元情報システム

「三次元情報システム」は構造物トレーサビリティシステムの中核となるシステムで、対象となる構造物を三次元的に表示し、各ブロックに構造物の設計情報や施工情報などを登録し、一元管理する仕組みになっている。また、一元管理されている情報群から任意の条件で検索を行うことができ、該当する情報を抽出するとともに、それに関連付いた構造物の部材部品をライトアップ表示する機能も有している。

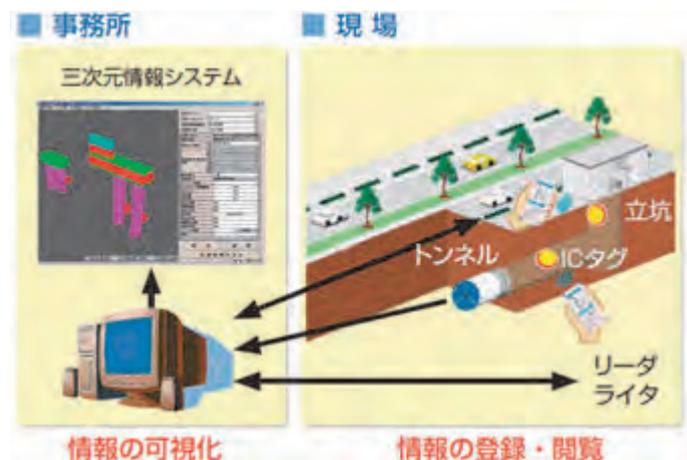


図-1 システム全体図

従来の紙図面や平面的なCADデータと、その場所における必要な情報など様々な資料から採り出すという長時間の情報収集作業から解放されるだけでなく、担当者間で空間把握に関する

る共通の認識を持つことができ、誤認も少なくなるといったメリットもある。共同溝や上下水道管など実際の構造物を外から立体的に確認することが難しい地下構造物では非常に有効なシステムである。溶岩ドーム崩落による危険に対し、無人化施工による RCC 工法を採用した。

2) IC タグとリーダーライタ

現場内で管理の対象となる部材部品に読み書き可能な IC タグを取り付けることで、専用のリーダーライタにて現地での情報の登録および閲覧が可能になる。

例えば維持管理時における点検情報などを点検直後にその場で情報登録することにより、誤登録や未登録などを防ぐことができる。さらに、部材部品の現認と同時に過去の点検履歴や補修履歴の閲覧も可能になり、より効率的な維持管理が期待できる。

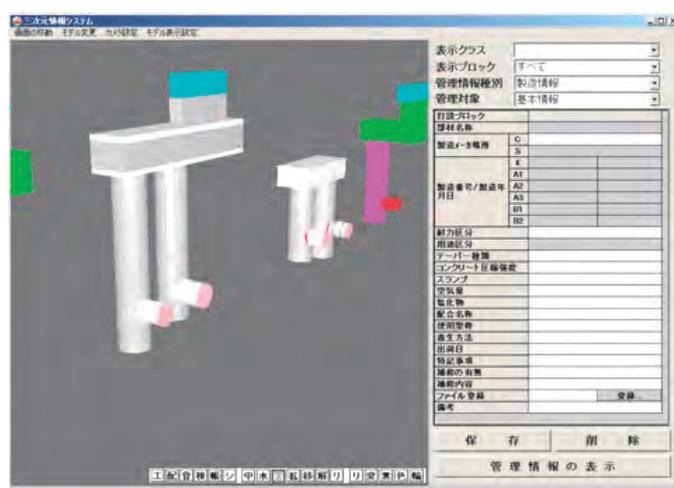


図-2 三次元情報システム
(分岐室、分岐シャフト、横坑のモデル図)

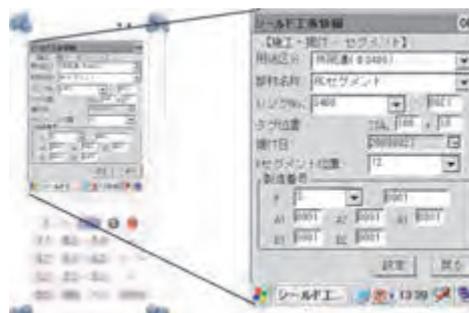


写真-1 IC タグ (左) とリーダーライタ (右)

(3) 結果

1) シールドトンネル (共同溝) への適用

総延長約 3,900m の共同溝工事において「三次元情報システム」と「IC タグとリーダーライタ」を導入し、トレーサビリティの対象となる 3100 リングのセグメントと 150 ブロックに区分した現場打ちコンクリートについて、設計、製造、施工、点検など 5 項目 100 種類の情報を一元管理した。

セグメントは 1 リングごと、現場打ちコンクリートは打設ブロックごとにそれぞれコイン型の IC タグ 1 個を取り付け、100 種類の中から現場内で登録・閲覧する必要がある情報を選別・登録し、登録後は無線 LAN で「三次元情報システム」と接続して常に最新の情報を管理する処理を行った。

実際の運用では、まず、セグメントが所定の位置に据え付けられると、担当者がセグメントに IC タグを取り付け、製造情報や施工情報をリーダーライタを介して IC タグへ登録する (写真-2)。施工時または維持管理時の点検情報、補修情報などは後から登録することができるので、

常に最新の情報を現場内に“残す”ことが可能になっている。なお、IC タグは、セグメントおよび現場打ちコンクリートに傷をつけることなく、かつ容易に取り付け・取り外しができるようにするため、セグメント専用の取付キャップ、現場打ちコンクリート専用のアクリルプレートを新規に作成し、そこに IC タグを埋め込む手法を採用した（写真-3）。



写真-2 IC タグの取り付け（左）、情報入力（中央）、情報登録（右）



写真-3 取付キャップ（左、中央）とアクリルプレート（右）

2) 推進管（用水路）への適用

総延長約 520m の用水路工事において「IC タグとリーダライタ」を導入し、トレーサビリティの対象となる 205 本のヒューム管について、ヒューム管 1 本につき IC タグ 1 個を取り付け、設計、製造、受入検査の 3 項目 15 種類の情報を一元管理した。

本案件では、ヒューム管本体の品質確保も重要な目的の一つであることから、ヒューム管の製造工場にて設計情報、製造検査の登録を行うとともに、現場に搬入した際の受入検査として IC タグの情報確認、受入検査結果の登録およびヒューム管の目視確認を行うことで二重チェックを行った。使用した IC タグは 1) で使用したものと同様に、ヒューム管への取り付けは、直接グラウトキャップに接着剤で取り付け、その後内面を平滑化するためにコンクリートを充填した（図-3 参照）。なお、コンクリート内に埋設した IC タグとの通信は、事前に弊社技術研究所で確認済である。

3) コンクリート構造物への適用

橋脚下部工工事や沈埋函工事、カルバート工事などのコンクリート構造物や、建物内部の配管管理、地下発電所水路など、現場内での情報登録や閲覧の頻度が少ない工事については、「三次元情報システム」のみの導入となっている。現場内での情報登録・閲覧はできないが、IC タグとリーダライタの購入費および専用ソフトの開発費が抑えられるため、容易に導入できるメリットがある。

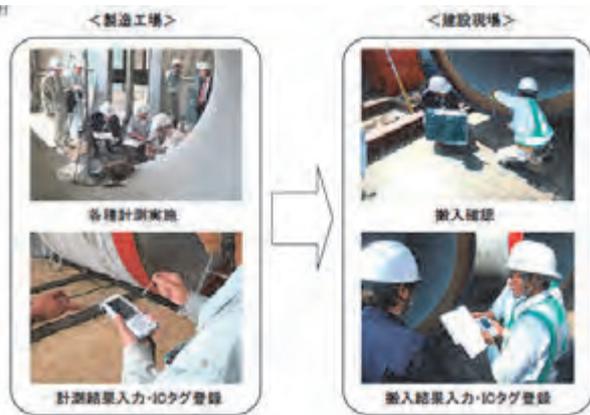


写真-4 IC タグによる品質管理の状況

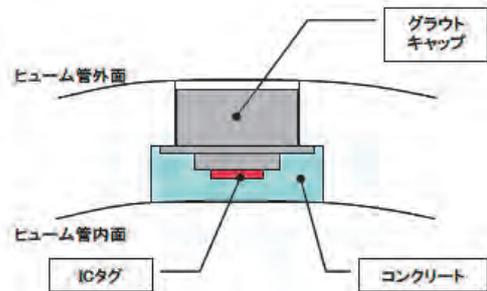


図-3 ヒューム管への IC タグ取付状況

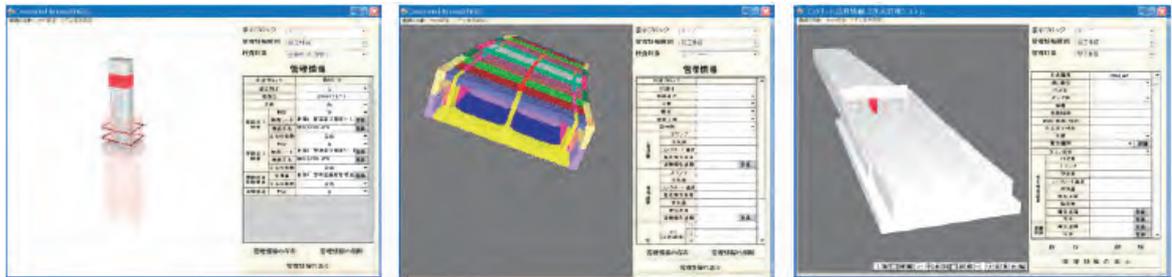


図-4 橋脚下部工事（左）、沈埋函工事（中央）、カルバート工事（右）への適用事例

4) まとめ

全延長約 560m、打設ブロック約 840 箇所の沈埋函製作工事において、特定の打設ブロックにおける打設コンクリートの試験練中間報告書、打設年月日、施工状況の写真などを収集するのに要した時間を実測したところ、本システムでは電子納品の書類から取得する場合と比較して、平均して 10 分の 1 にまで減少させることができました。また、導入現場数もすでに 20 を超えており、システムの改良を含め引き続き導入現場を増やしていきたいと考える。

参考文献	北陸地方整備局 北陸地方建設事業推進協議会 平成 24 年度建設技術報告会論文集：(株)間組 澤正樹他、pp52-55、2012. 10
備考	—

【地下施設／シールドトンネル】

技 術 名	IC タグによるバッテリーロコ運行管理システム
番 号	No. 4. 2-39
発 注 者	千葉県水道局
施 設 名	—
所 在 地	千葉県松戸市
工 事 名 称	江戸川～古ヶ崎線(仮称) φ1,200mm 配水本管布設工事(その2)
施 工 期 間	2003年12月10日～2007年3月18日
施 工 者	戸田建設・熊谷組・飛島建設共同企業体
キーワード	ICタグ、バッテリーロコ、入坑管理システム

(1) 概 要

- シールド一次覆工 施工延長 3684.9m
 - 泥水式シールド φ2146mm
 - 鋼製セグメント φ2006mm
- シールド二次覆工 ダクタイル鋳鉄管 φ1200mm
 - 発泡モルタル充填工
- 地盤改良工 発進防護工 薬液注入、高圧噴射攪拌
 - 到達防護工 薬液注入、高圧噴射攪拌
- 開削工 発進基地、到達基地

入坑管理システムと IC タグを使用したバッテリーロコ運行管理システムの2つの新しい方法を採用。坑内歩行時、坑内作業時の安全確保を目的としてトンネル内を走行するバッテリーロコの走行方向および、走行位置を監視する。

今回の工事は小断面であり、バッテリーと歩行者通路を区分することができない。従って、安全確保のためにバッテリーロコの位置を明示するシステムと歩行者にバッテリーロコの接近を所持者の PHS に知らせるシステムを工夫した。

(2) 技術詳細

1) システムの概要

2-1-1 入坑管理システム

入坑管理システムは、入坑者全員に PHS を携帯させることにより坑内 300mごとに設置したアンテナで所在を認識し、入坑者の退坑管理・所在管理を行う。入坑者の位置が立坑入口、中央監視室のモニタに表示されるため、坑内人員の位置とともに緊急時の退避状況が確認できる。また、PHS 通信により坑内、坑外への通信ができるための確な指示ができ、作業性と安全性が向上するシステム (図-1)。

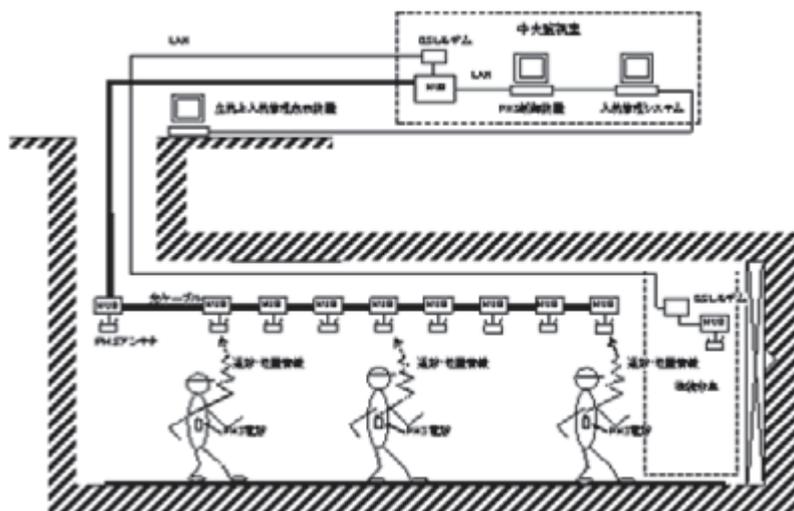


図-1 入坑管理システムの概要図

2-1-2 バッテリーロコ運行管理システム

バッテリーロコ運行管理システムは、坑内歩行時、坑内作業時の安全確保を目的にトンネル内を走行するバッテリーロコの走行方向および、走行位置を監視するシステム（図-2）。

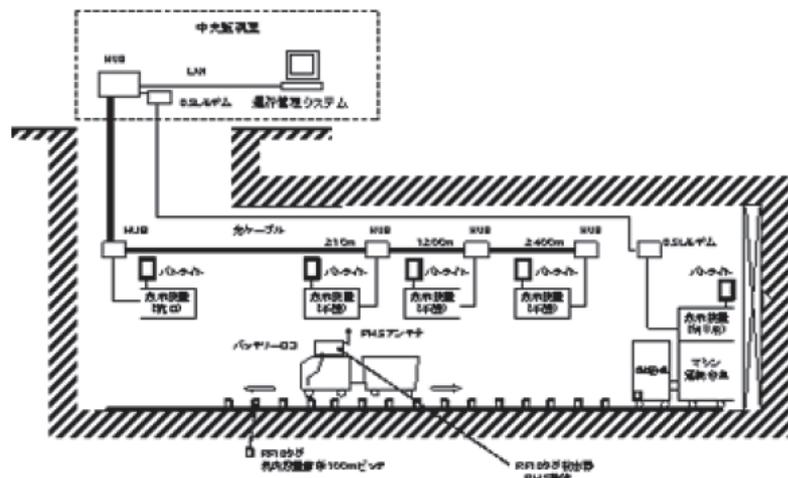


図-2 バッテリーロコ運行管理システムの概要図

2) 現場へ導入したシステムの構成

システム構成としては、坑内100mごとに設置したICタグ（RFIDタグ）の位置情報をバッテリーロコに取り付けたアンテナにより読み取り、位置を検出しPHS通信網を通じて中央監視室に電送して、バッテリーロコの位置と方向を表示する。また、坑口、坑内、後続台車に表示装置を設置し、坑内でもバッテリーロコの走行方向および走行位置が確認できるとともに、各表示装置にバッテリーロコが接近してきた時はパトライトとブザーで知らせることにより危険を回避できるシステムとした。また、入坑者はPHSに接近メッセージが送られてくると近くの待避所でバッテリーロコの通過を待つことができる。



写真-1 レールに取付けた IC タグ設置状況



写真-2 管理モニタ

(3) 結果

1) 現場での判定結果

システムの採用により労務災害のリスクが低減するとともに、バッテリーロコの位置を把握することによる作業サイクルの効率化を期待。

2) 今後の課題・展開

山岳トンネル工事への適用も視野に入れ、システムの改善を進め、“より長くなる坑内を快適な作業空間に”を目指した方策に積極的に取り組んでいく予定。

<p>参考文献</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・IC タグを利用したシールド工事バッテリーロコ運行管理システム 土木学会第 60 回年次学術講演会：戸田建設(株) 伊藤耕一他 pp. 285-286 平成 17 年 9 月 ・IC タグを利用したトンネル坑外軌条バッテリーロコ安全運行支援システムの開発 土木学会第 62 回年次学術講演会：戸田建設(株) 伊藤耕一他 pp. 125-126 平成 19 年 9 月 ・戸田建設(株)ホームページ：ニュースリリース 2005 年 3 月 9 日 http://www.toda.co.jp/news/2005/20050309.html
<p>備考</p>	<p>—</p>

4.3 港湾施設

港湾施設建設にあたって調査・測量、浚渫、基礎、本体、航行安全、施工管理で活用できる技術 22 編について調査シートに取りまとめた。

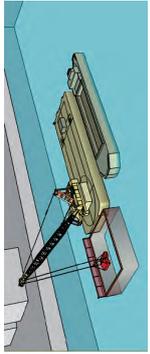
表 4.3 文献調査シート一覧 (1/2) (港湾施設)

No.	分類	技術名	工事名 (発注者)	キーワード
4.3-1	調査・測量	水中測位システム	-	水中超音波計測、トランスポンダ、ワイドベースライン
4.3-2	調査・測量	水中ポジショニングシステム	-	水中測位、侵入検知、軌跡記録、トランスポンダ
4.3-3	調査・測量	4D ソナーによる施工管理システム	-	水中作業、リアルタイム水中可視化、4次元測量、作業効率向上、水中構造物
4.3-4	調査・測量	自動ベルーガ	-	自律航行、深淺測量、堆砂量調査
4.3-5	調査・測量	PU-NAVI (ピンポイント水中位置誘導システム)	大阪港北港南地区 航路 (-16m) 附帯施設基礎等工事 (第1工区) (国土交通省近畿地方整備局)	水中位置誘導、潜水作業
4.3-6	浚渫	水質監視システム	響灘3号埋立地内岸壁および中仕切護岸設備等の海上工事 (電源開発)	水質監視、モニタリングブイ、汚濁拡散防止
4.3-7	浚渫	環境浚渫工法 (END 工法)	-	港湾施設、汚濁拡散防止、密閉式グラブ、水平掘削、超音波データ伝送
4.3-8	浚渫	グラブ浚渫トータル管理システム	広島港廿日市地区航路 (-12m) 浚渫工事 (国土交通省中国地方整備局)	浚渫管理、余掘量低減、リアルタイム計測管理
4.3-9	浚渫	掘削断面連続測深システム	広島港廿日市地区泊地 (-12m) 浚渫工事 (国土交通省中国地方整備局)	浚渫管理、余掘量低減、リアルタイム計測管理
4.3-10	基礎	気海象予測システム・捨石均し管理システム	洋上風力発電施設建設工事 (NEDO、電源開発)	据付精度の向上技術、遠隔制御、気海象予測
4.3-11	基礎	自動潜水管理システム	-	自動潜水管理、水深センサ
4.3-12	基礎	無線式ガット船捨石投入支援システム	大阪港北港南地区航路 (-16m) 附帯施設基礎等工事 (第二工区) (国土交通省近畿地方整備局)	捨石投入、ガット船、投入位置管理
4.3-13	基礎	海底山脈築造技術	五島西方沖地区湧昇マウンド礁工事 (水産庁)	大水深、捨石投入管理

表 4.3 文献調査シート一覧 (2/2) (港湾施設)

No.	分類	技術名	工事名 (発注者)	キーワード
4.3-14	本体	UCIS(ケーソン無人化据付システム)	東通原子力発電所建設工事(東京電力)	放水口護岸、ケーソン無人化据付、遠隔操作、作業効率向上、環境対策
4.3-15	本体	海上工事における無人化・自動化施工技術	-	水中捨石均し機、ケーソン無人化据付、自動操船、作業効率向上、無人化施工、遠隔操作、高精度化、深層混合処理
4.3-16	本体	ケーソン据え付け誘導システム	志布志港(若浜地区)防波堤(沖)築造工事(国交省九州地方整備局)	防波堤ケーソン、無人化施工、遠隔操作、注水自動化、トータルステーション
4.3-17	本体	ケーソン据付の安全性・施工性向上技術	那覇港浦添ふ頭防波堤築造工事(沖縄総合事務局)	ケーソン無人据え付け、トータルステーション、監視カメラ
4.3-18	航行安全	COS-NET(船舶航行監視システム)	博多港(中央航路地区)航路(-12m)浚渫工事(北9工区)(国土交通省九州地方整備局)	位置管理、運航管理、船舶航行
4.3-19	航行安全	ブイ位置遠隔監視システム	大分10号別大拡幅高崎山地区第11工区改良工事(国土交通省九州地方整備局)	浮標灯、遠隔監視
4.3-20	施工管理	水中転落者早期検知システム	-	IC タグ、落水者検知
4.3-21	施工管理	自動測量・掘削土量管理システム	1.2号機C/C 発電設備新設工事(沖縄電力)	取放水設備、推進工法、掘削土量管理
4.3-22	施工管理	水中騒音振動監視システム	水島港水島玉島地区臨港道路(渡河部)橋梁下部工事(その4)(国土交通省中国地方整備局)	水中騒音振動、遠隔監視、海洋生物

浚渫



- 4.3-6 水質監視システム p340
- 4.3-7 環境浚渫工法 (END工法) p343
- 4.3-8 グラブ浚渫トータル管理システム p345
- 4.3-9 掘削断面連続測深システム p348

調査・測量



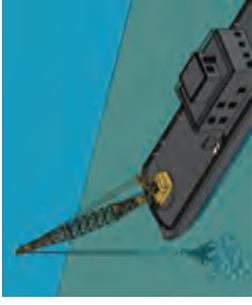
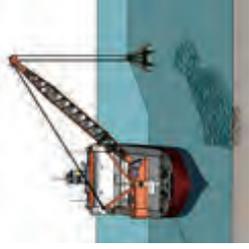
- 4.3-1 水中測位システム p323
- 4.3-2 水中ポジショニングシステム p325
- 4.3-3 4Dソナーによる施工管理システム p329
- 4.3-4 自動ペルーガ p334
- 4.3-5 PU-NAVI(ピンポイント水中位置誘導システム) p337

本体

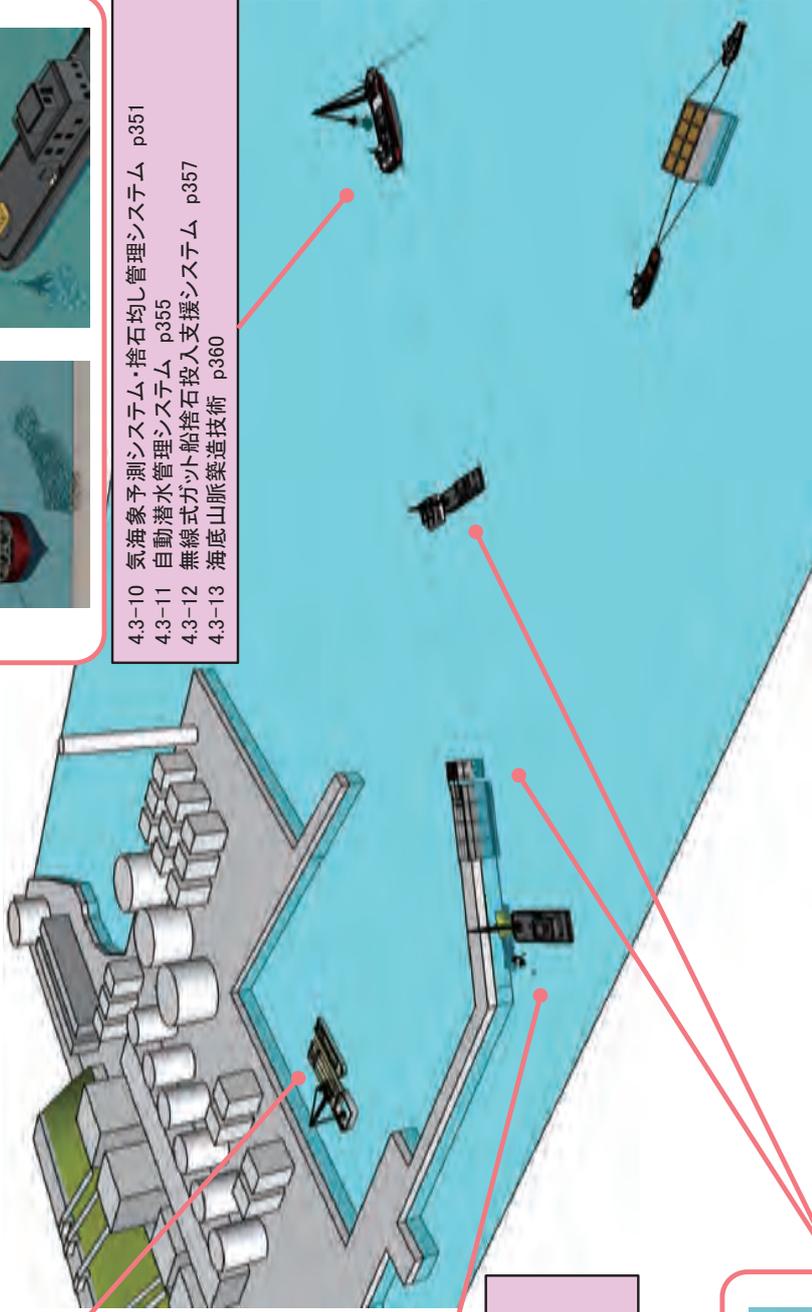


- 4.3-14 UCIS(ケーソン無人化据付システム) p364
- 4.3-15 海上工事における無人化・自動化施工技術 p370
- 4.3-16 ケーソン据え付け誘導システム p375
- 4.3-17 ケーソン据付の安全性・施工性向上技術 p379

基礎



- 4.3-10 気海象予測システム・捨石均し管理システム p351
- 4.3-11 自動潜水管理システム p355
- 4.3-12 無線式ガット船捨石投入支援システム p357
- 4.3-13 海底山脈築造技術 p360



航行安全・施工管理

- 4.3-18 COS-NET(船舶航行監視システム) p382
- 4.3-19 プイ位置遠隔監視システム p384
- 4.3-20 水中転落者早期検知システム p387
- 4.3-21 自動測量・掘削土量管理システム p390
- 4.3-22 水中騒音振動測定システム p394

4.3.1 調査・測量

【港湾施設／調査・測量】

技 術 名	水中測位システム
番 号	No. 4. 3-1
発 注 者	—
施 設 名	港湾施設
所 在 地	—
工 事 名 称	—
施 工 期 間	—
施 工 者	五洋建設(株)
キーワード	水中超音波計測、トランスポンダ、ワイドベースライン

(1) 概 要

わが国における海洋開発の必要性が高まる中で、沖合・大水深海域における海洋構造物の施工技術が重要な課題となっている。沖合・大水深海域の海洋構造物の工事は、厳しい施工条件の中で高い施工精度が求められる。このようなニーズに対応するため、長年の港湾海洋工事で培った水中超音波計測技術を応用し、独自のワイドベースライン方式による水中測位システムを開発したことで、沖合約 10 km・水深約 75m の海底における人工湧昇流漁場造成工事に適用した。

(2) 技術詳細

海洋構造物を吊り下げた大型のクレーン船の回りに、GNSS や超音波送受波器を搭載した測量船（3 隻）を深度に合わせて配置し、GNSS により受信された測位のデータと超音波測定装置によって得られた測距データを組み合わせることより、構造物に取り付けられた水中トランスポンダの位置を精度良く計測する。

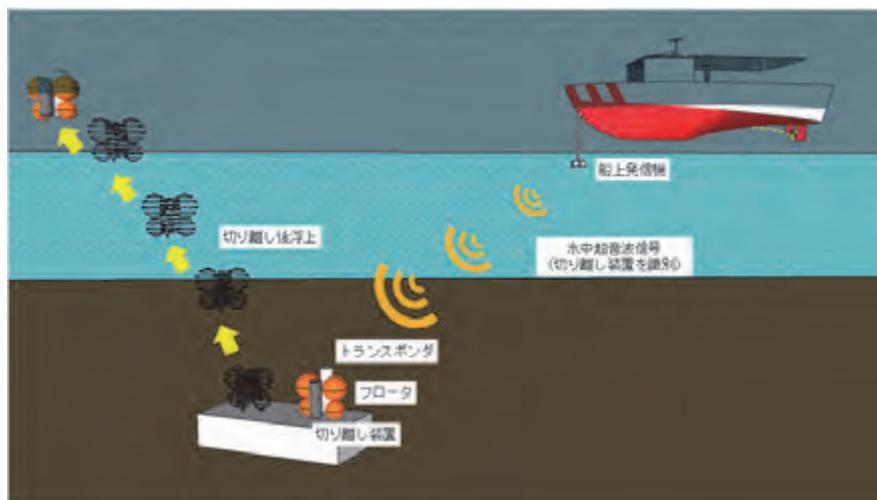


図-1 システム概略図

(3) 結 果

沖合約 10km・水深約 75m の海底における、人工湧昇流漁場造成工事において、設置精度 1.0m 以内で施工することができた。本方式は、誘導から設置に至るまでのトータルシステムであり、リアルタイムに表示されることにより施工管理へ即座にフィードバックできる。水中トランスポンダの確実な回収および転用を可能とする装置で、船上より、切り離し装置部へ専用の超音波信号を送信する。切り離し装置部では当信号を受信することにより、水中にてフック部を確実に切り離し浮上させる。



図-2 人工湧昇流設置状況図

参 考 文 献	五洋建設(株)ホームページ： http://www.penta-ocean.co.jp/business/tech/civil/oceanic/wbl.html
備 考	NETIS 登録技術（登録番号 KTK-040007-A）

技 術 名	水中ポジショニングシステム
番 号	No. 4. 3-2
発 注 者	—
施 設 名	—
所 在 地	—
工 事 名 称	—
施 工 期 間	—
施 工 者	五洋建設(株)
キーワード	水中測位、侵入検知、軌跡記録、トランスポンダ
<p>(1) 概 要</p> <p>水中でのブロックや構造物の据付けでは潜水士による誘導や玉掛け、玉外し作業が伴う。水中の潜水士位置はクレーンオペレータから目視確認することは難しく、クレーンオペレータは潜水士が吐く気泡の位置や水中電話によるやりとりで潜水士位置を見当つけている。しかし、気泡は海流によって流されたり、視界の悪い水中では潜水士本人が吊荷に対する位置を見誤ったりして正確な位置を知るのは困難である。そこでクレーンオペレータが水中の潜水士の位置を把握して、作業の安全性を向上する目的で開発された。</p> <p>水中位置監視システムは、従来の潜水士作業や構造物の水中据付作業で不可欠であった対象物（潜水士や吊荷など）の測位・監視を行うシステムである。</p> <p>対象物の測位・監視作業は、対象物にトランスポンダを取付け、潜水士船や作業台船に送受波器、GPS、コンパスを設置して行う。送受波器から特定のトランスポンダを呼び出し、トランスポンダが応答を返す。この伝搬時間を解析して送受波器からみた対象物の位置を特定し、GPS およびコンパスの指示値から対象物の絶対位置を算出する。同システムでは、トランスポンダごとに異なる信号を割りつけているため、どの対象物がどこにいるかを特定できる。</p> <p>(2) 技術詳細</p> <p>1) 特 徴</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 同時に6つの対象物を作業半径150m×水深30mの範囲で測位可能。 ② 対象物の水中位置を作業船上のモニタで監視することにより潜水士を誘導することや、ブロック据付時の起重機船オペレータが潜水士や吊荷の位置を確認しながら作業を行うことが可能。 ③ 管理範囲内に対象物が入るとモニタに警告を表示し注意喚起をすることが可能。 ④ 対象物に取り付けるトランスポンダはワイヤレスのため作業性がよい。 	

2) システム構成図

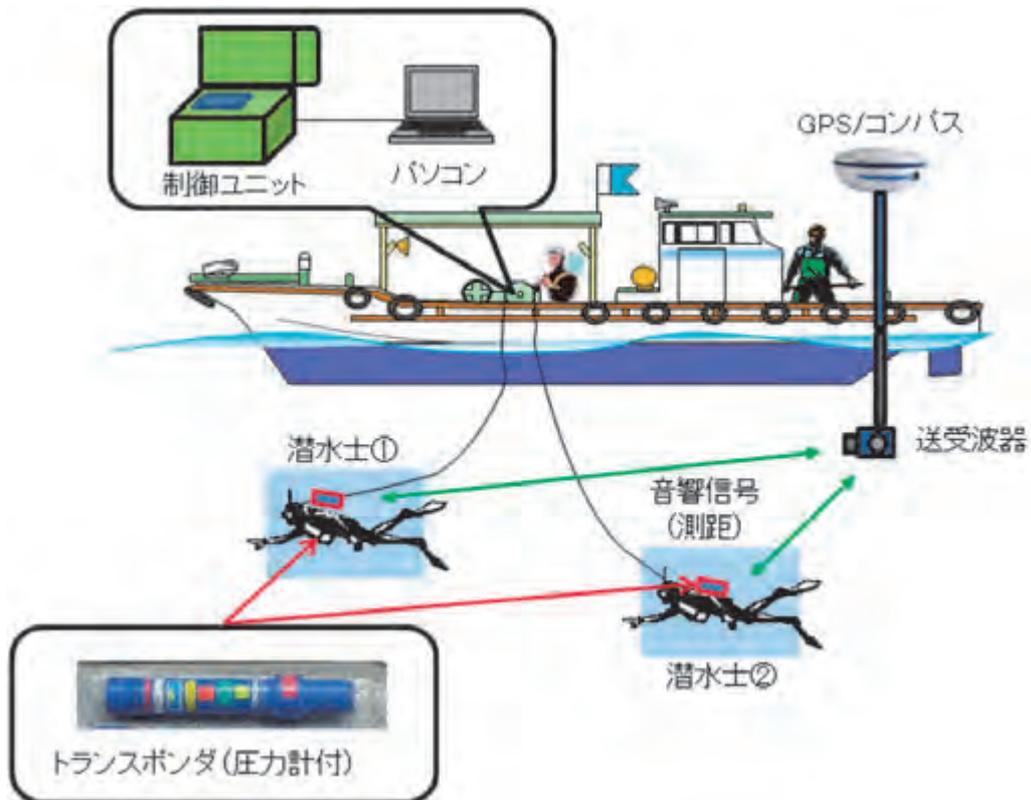


図-1 システム構成図

3) 位置監視概要図

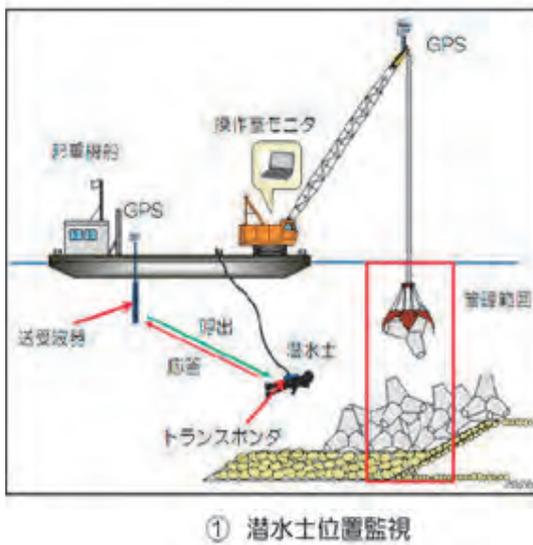


図-2 ブロック据付時のシステム概要図

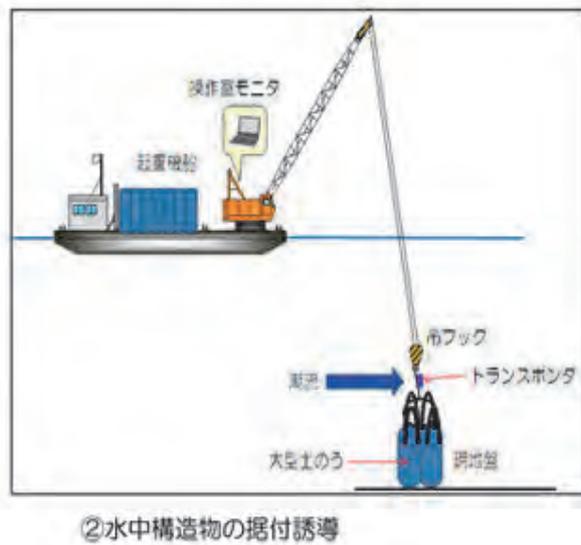


図-3 土のう据付時のシステム概要図

(3) 結果

1) システムの測位精度の検証と評価

- ① 平面測位精度は適用範囲において送受波器とトランスポンダ間の距離の±4%、測深精度は±50cm以下で対象物の位置を特定できることが確認された。
- ② 3つの対象物の位置を同時に把握できることが確認された。
- ③ 水中の管理範囲に対象物が侵入したことを検知できることが確認された。
- ④ 対象物の移動軌跡を記録できることが確認された。(平面精度検証試験、測深精度検証試験結果による。)

2) 導入事例の紹介

① 潜水士の位置把握

ブロック据付・撤去作業では潜水士が吊荷位置の誘導や、吊荷の玉掛け・玉外しを行うが、クレーンオペレータは直接潜水士の位置を確認することはできない。そこで、クレーンブーム先端部を吊荷中心とした任意の半径範囲を管理範囲として、潜水士位置に重ねてクレーンオペレータ席に取り付けたモニタに表示した。クレーンオペレータはこのモニタで潜水士位置を確認して吊荷作業を行った。写真-1にクレーン操作状況を示す。水中電話と合わせて視覚的に潜水士位置を確認できるので上下作業の防止、挟まれ・接触事故防止が図れた。図-2にブロック据付時のシステム概要図を示す。



写真-1 クレーン操作状況

② 水中構造物の据付誘導

大深度や潮流のある海域での構造物据付では、吊荷が流されてしまい起重機船のブーム先端を吊荷位置として管理することができないため、個別に吊荷の測位が必要となる。そこで、図-3の土のう据付時のシステム概要図のように吊荷の真上にトランスポンダを取付けて、クレーンオペレータが吊荷位置を確認しながら精度のよい据付作業を行った。

3) 今後の展開

本システムは一般財団法人沿岸技術研究センターに港湾関連民間技術の確認審査・評価を依頼し、評価証を2012年7月に取得した。これまでケーソンの被覆ブロック据付・撤去時の潜水士の位置監視、水深50m、最大潮流4～5ノットの海域での土のう設置、最大潮流1.7ノット、水深300mでのブロック据付など8現場の導入実績（2012年5月現在）を積んでいる。

本システムは超音波を使った水中音響測位がコアとなっている。海上工事では近傍にケーソンなどの構造物や他の作業船があり、音響反射や干渉によって測位に影響を及ぼす劣悪な水中音響環境といえる。構造物や吊荷、作業船などが輻輳する現場ほど潜水士の安全確保のために位置監視は重要な技術となる。そのため、信号処理方法などの試行錯誤を重ねて、より安定した測位ができるシステムの確立に継続して取り組んでいきたい。

今後も現場導入とシステムの安定性を高めてデータの蓄積を行い、大深度や狭隘な施工場所への導入など適用範囲の拡大やシステム信頼性の向上に努めたいと考えている。

参考文献	<ul style="list-style-type: none">海中ロボット：浦環・高川真一、(株)成山堂書店、1997年4月28日CDIT：(一財)沿岸技術研究センター機関誌、Vol. 36、2011年10月
備考	—

技術名	4D ソナーによる施工管理システム
番号	No. 4. 3-3
発注者	—
施設名	—
所在地	—
工事名称	—
施工期間	—
施工者	五洋建設(株)
キーワード	水中作業、リアルタイム水中可視化、4次元測量、作業効率向上、水中構造物

(1) 概要

4D ソナーによる施工管理システムは、海底や水中構造物の形状を4次元 (X, Y, Z, 時刻) で計測し、表示および記録することができるシステムである。ソナーを艀装した船体の動揺を計測して瞬時に補正することができ、超音波のノイズデータの除去も自動で行うため、従来不可能であった位置情報を有するリアルタイムな水中可視化計測による施工管理が可能となった。

(2) 技術詳細

1) システムの内容

4D ソナーシステムは、海底地形や水中構造物の形状を超音波にて立体的に計測し、表示および記録することができる施工管理システムである。ソナーにより $50^{\circ} \times 50^{\circ}$ の範囲を 128×128 (16,384) 本のビームで最大 150m の距離まで計測することができる。

16,384 個の計測点は、各々4次元 (X, Y, Z, 時刻) データであるため、計測結果は立体映像として可視化される。

データ更新レートは、最大 12Hz であるため、水中の動体計測も可能である。また、ソナーを艀装した船体の動揺を計測して補正することができ、超音波のノイズデータの除去も自動で行うため、従来は不可能であったリアルタイムな4次元の測量結果の表示が可能である。ソナー部を遠隔操作や自動操縦でパン(水平方向)、およびチルト(鉛直方向)可動させることができるため、ソナーの計測範囲である

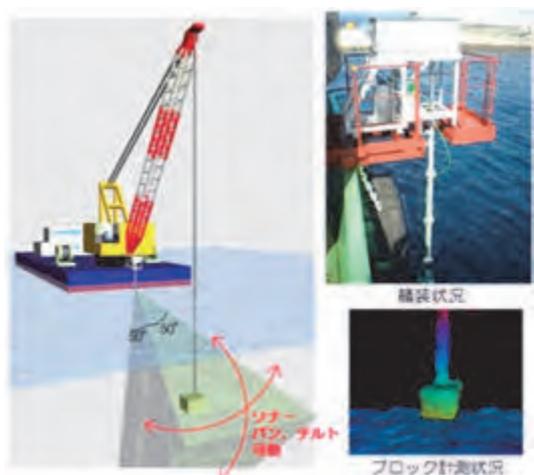


図-1 システム概要

50° × 50° 以上の範囲を計測して表示することも可能である。4D ソナーシステムにより、捨石投入、捨石均し、浚渫、ブロック据付、障害物撤去などの海上工事において、潜水士の誘導なく、船舶機械の重機オペレータが水中作業状況をリアルタイムに確認しながら作業を行えるため、作業効率および安全性の向上が実現される。

2) システムの検証

4D ソナーシステムの精度を検証するために、他の計測方法との比較を行った。まず、超音波計測機器であるナローマルチ測量と同一箇所を測量し、取得したデータの比較を行った。ナローマルチ測量は、水路測量に使用されており、適用可能な機器の精度については、“海上保安庁告示第 102 号”および“マルチビーム（浅海用）音響測深実施指針”に記載されている。実験で使用したナローマルチビームソナーと構成機器は、水路測量において広く使用されている機種であり、ビームフォーミング方式とインターフェロメトリ

表-1 実験に使用した構成機器の仕様

機 器	項 目	4Dソナーシステム	ナローマルチビームソナー (SEABAT8125i)
ソナー	受信信号処理方法	ビームフォーミング	ビームフォーミング インターフェロメトリ
	ビーム数	16384	240
	最大レンジ	150m	120m
	計測範囲	50° × 50°	120° × 1°
INS	方位計測精度	0.01°	
	ロール計測精度	0.01°	
	ピッチ計測精度	0.01°	
	ヒープ計測精度	5% or 5cm	
RTK-GPS	精度	水平	8mm+1ppm RMS
		垂直	15mm+1ppm RMS
音速・圧力センサ	音速度計測精度	±0.05m/s	
	音速度測定範囲	1400~1600m/s	
	圧力計測精度	±0.05%FS	
	圧力測定範囲	100m	

方式を組み合わせそれぞれ的方式における特性を生かし、海底の様々な形状を計測できるようになっている。特にソナーの直下付近で取得する反射波はビームフォーミング方式を採用している。ビームフォーマーは複雑な海底形状を捉える場合に適した方式である。4D ソナーシステムもビームフォーミング方式を採用しているため、同様の結果が予想される。表-1 に実験に使用した 4D ソナーシステムとナローマルチビームソナー、およびその構成機器の仕様を示す。

次に超音波とは異なる方法により海底地形を計測し、本システムの計測結果と比較する。海底計測方法として、レッド測深や水中スタッフによる測量があるが、より精度の高い水中スタッフ測量、および水中水準測量器により、各々 2m ピッチで計測を行った。

表-2 計測機器一覧

計測は、沖防波堤のケーソンマウンドの基礎捨石部で実施した。捨石マウンド天端部は、水深約 11m で、法面箇所は水深約 19m まで 1 : 2 の法となっている。基礎捨石は 1 t/個である。使用した計測機器一覧を表-2 に示す。

項目	4Dソナーシステム	ナローマルチビームソナー (SEABAT8125i)	水中スタッフ + トータルステーション	水中水準測量器
計測項目	平面座標 (xy)	平面座標 (xy)		
	水深	水深	水深	水深
	傾斜			
測深精度	実験により検証	実験により検証	5mm (測距離200m、測角精度5°)	±20mm

①ソナーによる計測

測量船に4Dソナーシステムとナローマルチビームソナーを設置し、予め設定した2側線を25回ずつ測量する。計測時の航行速度は、約3knotで4Dソナーシステムは、5Hzでデータ収録を行った。RTK-GPSと船体の動揺を計測するINS(Inertial Navigation System)は、本システムとナローマルチビームソナーで共有して同じデータを使用している。

②水中スタッフ、水中水準測量器による計測

水中スタッフにミラーを取付け、予め設定した測点をトータルステーションで測量すると共に、水中水準測量器で計測した。測点は、側線上に2mピッチで設定した。計測概念を図-2に、計測状況を写真-1に示す。



写真-1 水中スタッフと水中水準測量器による計測状況

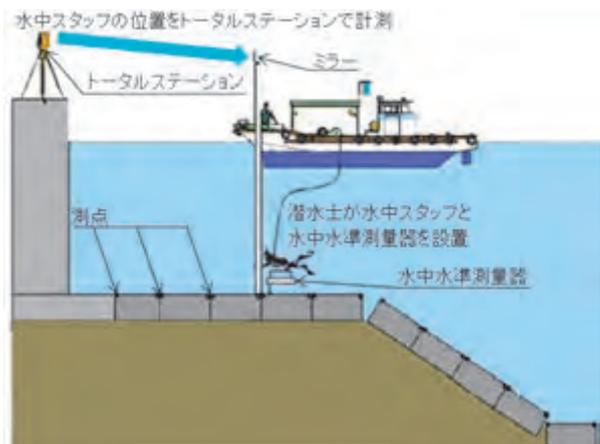


図-2 水中スタッフと水中水準測量器による計測

(3) 結果

1) 実験結果

比較断面を図-3に示す。水中スタッフによる計測は、スタッフを最大限使用し、-13mまでのデータを取得できた。

ナローマルチビームソナーの計測結果は、水中スタッフおよび水中水準測量器の計測結果より深くなる傾向となり、4Dソナーシステムの計測結果は、より水中水準測量器に近い値となった。

4Dソナーシステムとナローマルチビームソナーの25回分の測定データを2mピッチの各測点毎(c1~c16)で平均し、他の計測方法と比較した。

水中水準測量器の計測値を真値と仮定すると、図-3より、ナローマルチビームソナーの誤差は、最大0.77mで平均0.35mであった。

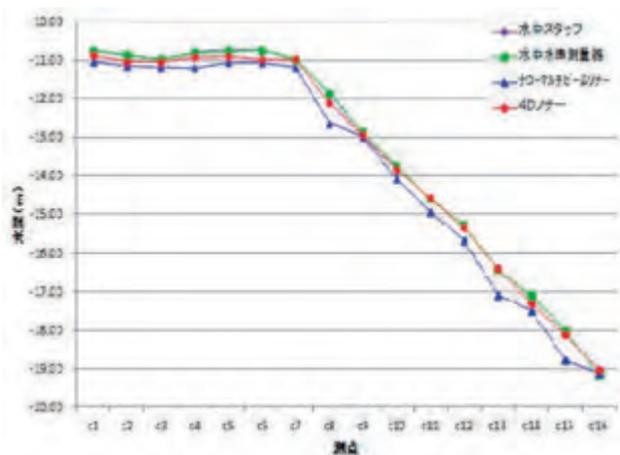
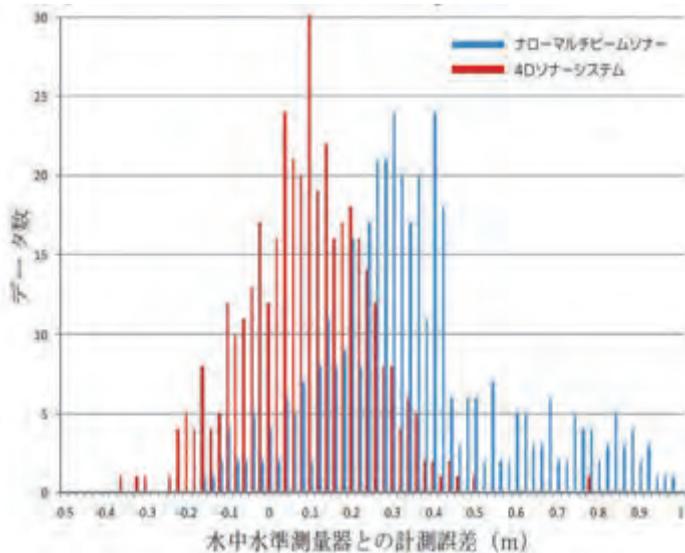


図-3 各測点における計測値比較

一方、4D ソナーシステムでは、最大 0.25m で平均 0.08m であった。

各測点における 4D ソナーシステムとナローマルチビームソナーの水中水準測量器との計測差の頻度分布を図-4 に示す。水中水準測量器と 4D ソナーシステムの計測差の平均値 ± 2σ に含まれるデータ数は、全データ数の 96% であった。



4D ソナーシステムの計測差

標準偏差 0.149m

平均値 0.082m

ナローマルチビームソナーの

計測差

標準偏差 0.240m

平均値 0.349m

図-4 水中水準測量器との計測差の頻度分布 (標本数 400)

2) 構造物工事 (ブロック据付) における効果の検証

4D ソナーシステムを活用した据付と従来工法による据付について、据付精度の比較検証を行った。精度確認のための測量は、ナローマルチビームソナーを用いブロック 1 個につき 3 点を計測して、据付位置や向きを算出した。

比較は、通常施工箇所のビーハイブ (30t 型) 9 個とホロスケヤー (40t 型) 6 個を対象とした。表-3、表-4 に示すように、据付位置および据付方向ともに、4D ソナーシステムによる誘導据付が良い結果となっているが、顕著な差ではなく、本実証工事では施工数量が少なかったため、今後の施工実績の蓄積により評価したいと考える。

表-3 ブロック中心座標の差の標準偏差

検証項目	工事形態	目標との差の標準偏差(m)
据付位置精度	システムによる誘導据付	0.20
	通常施工	0.36

表-4 方位角度差の標準偏差

検証項目	工事形態	向き	目標との差の標準偏差(°)
据付方位精度	システムによる誘導据付	法線平行	2.45
		法線直角	1.92
	通常施工	法線平行	2.56
		法線直角	2.99

<p>参 考 文 献</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ (一社)日本埋立浚渫協会 marine voice 21 Spring 2015 vol.289 ・ (一財)沿岸技術研究センター 港湾関連民間技術の確認審査・評価報告書 第12004号 ・ 国交省中国地方整備局 中国技術事務局ホームページ http://www.cgr.mlit.go.jp/ctc/tech_dev/kouryu/T-Space/ronbun/pdf/26_hirosima/H26_hiroshima_07.pdf
<p>備 考</p>	<p>(一財)国土技術研究センター 第15回国土技術開発賞 優秀賞</p>

技 術 名	自動ベルーガ
番 号	No. 4. 3-4
発 注 者	—
施 設 名	—
所 在 地	—
工 事 名 称	—
施 工 期 間	—
施 工 者	東亜建設工業(株)
キーワード	自律航行、深浅測量、堆砂量調査
<p>(1) 概 要</p> <p>本システムは、工具を必要としない組立式の小型双胴船を使用し、ナローマルチビーム測深機を搭載して自動航行を行うことにより、深浅測量の省人化および省力化を可能にするものである。また、RTK-GPS を用いて高精度に位置管理を行うとともに、ナローマルチビーム測深機の採用によって地形を面的に捉えることが可能となり、測量効率の向上に寄与できる。当該システムの導入により、湖底や法面部の詳細な測量が高精度かつ広範囲に行うことが可能となり、ダムの貯水池において堆積物の状況を効率的に把握することができる。</p> <p>(2) 技術詳細</p> <p>1) 特 徴</p> <p>① 人力で運搬可能で、組立は工具不要。</p> <p>② 一般の船が搬入困難な水域での測量が可能であり、喫水が浅く、慣性力が小さいので水深のない水域（海域）での測量が可能。</p> <p>③ 自律航行をはじめ遠隔操作、手動操作が可能であり、陸上基地局では測量状況やバッテリーの残量等を監視できる。</p> <p>④ バッテリーの充電に時間が掛かることやバッテリーの交換に手間が掛かることから、最近ではゴムボートで押すこともある。</p> <p>⑤ 取得データは、解析システム（ベルーガアナライザー）にて管理する事により、日々の施工管理情報を容易に集約する事が可能。</p> <p>2) 適用分野</p> <p>① 浚渫、土捨、埋立等一般海洋土木工事の詳細な深浅測量</p> <p>② 海域他、ダム貯水池の堆砂量調査</p>	

3) 適用条件

- ① 山間部等の場合、上空視界状況による。
- ② 航行速度=2knot (最大)、1.4knot (通常)
- ③ 波高0.5m 以下
- ④ 長時間化運転不可 (4~5 時間まで)

4) 概要図、計測状況およびシステム画面

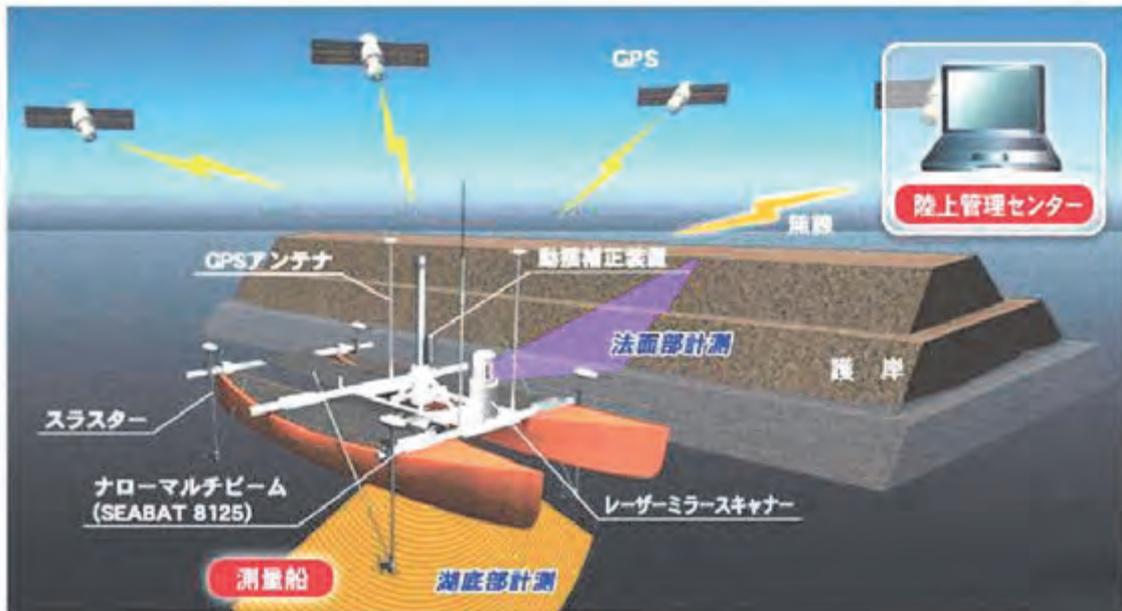


図-1 概要図



図-2 計測状況

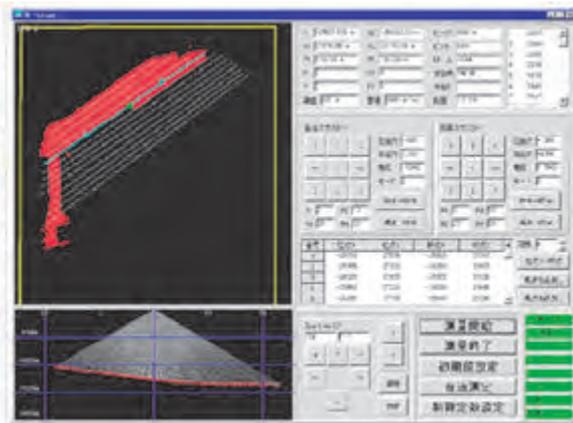


図-3 陸上基地局監視画面

<p>参 考 文 献</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 東亜建設工業(株)ホームページ： http://www.toa-const.co.jp/techno/civileng/surveying/m01/index.html ・ 国土交通省ホームページ： http://www.mlit.go.jp/common/001083016.pdf 次世代社会インフラ用ロボット開発・導入の推進 水中維持技術の現場検証・評価の結果（2015年3月19日） 次世代社会インフラ用ロボット現場検証委員会 水中維持管理部会
<p>備 考</p>	<p>—</p>

【港湾施設／調査・測量】

技術名	PU-NAVI（ピンポイント水中位置誘導システム）
番号	No. 4. 3-5
発注者	国土交通省 近畿地方整備局
施設名	－
所在地	大阪府此花区夢洲東1丁目地先
工事名称	大阪港北港南地区 航路(-16m) 附帯施設基礎等工事(第1工区)
施工期間	2013年1月～2014年1月
施工者	東亜建設工業・大本組・本間組共同企業体
キーワード	水中位置誘導、潜水作業
<p>(1) 概要</p> <p>1) 背景</p> <p>本工事は、大阪港北港南地区航路(-16m) 浚渫の附帯施設工として工事区域明示のための灯浮標(表示用標識)の移設、撤去及び汚濁防止膜設置並びに埋立護岸基礎工の施工を行うものであった。この中で、汚濁防止膜の設置は港湾区域境界線付近での作業であったため、施工中もこの境界線を越えることなく、かつ水中で作業を行う潜水士の安全も確保しながら設置を行うことが課題であった。</p> <p>2) 技術概要</p> <p>汚濁防止膜の設置において、PU-NAVI（ピンポイント水中位置誘導システム）を応用し、汚濁防止膜専用吊具の両端、及び潜水士に CCD カメラ及びトランスポンダーを設置することで、水中での吊荷位置、及び潜水士の位置をモニターにて監視しながら施工を行った。</p> <p>(2) 技術詳細</p> <p>1) システム概要</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 水中の吊荷や潜水士の位置の把握が可能 ② 吊荷位置の誘導だけでなく、台船位置誘導及びブーム先端位置誘導も可能 ③ 潜水士と吊荷の接近をモニター上で確認できる ④ リアルタイム性に富む位置誘導が可能(無線 LAN の通信速度に依存) ⑤ トランスポンダーとトランスデューサ間に遮蔽物がある場合は使用不可 ⑥ 水中に気泡がある場合は、気泡が消散するまで使用不可 	

2) 平面図、断面図および監視モニター等

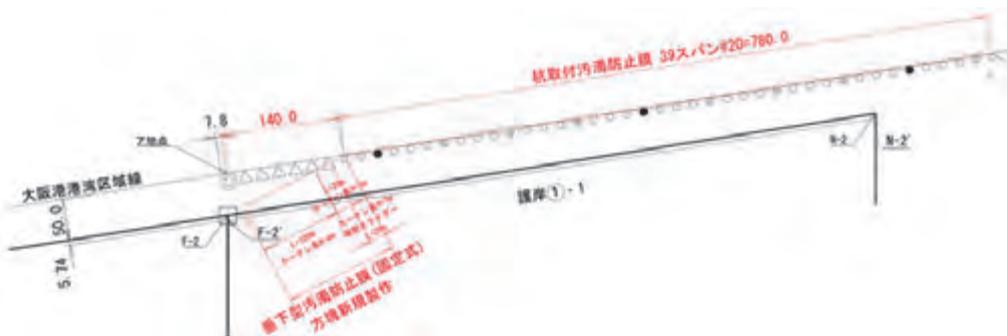


図-1 平面図

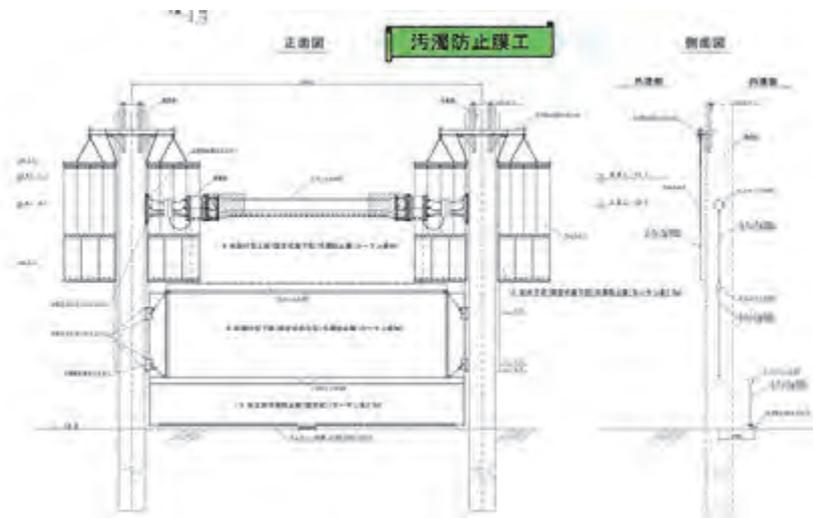


図-2 断面図（汚濁防止膜詳細図）

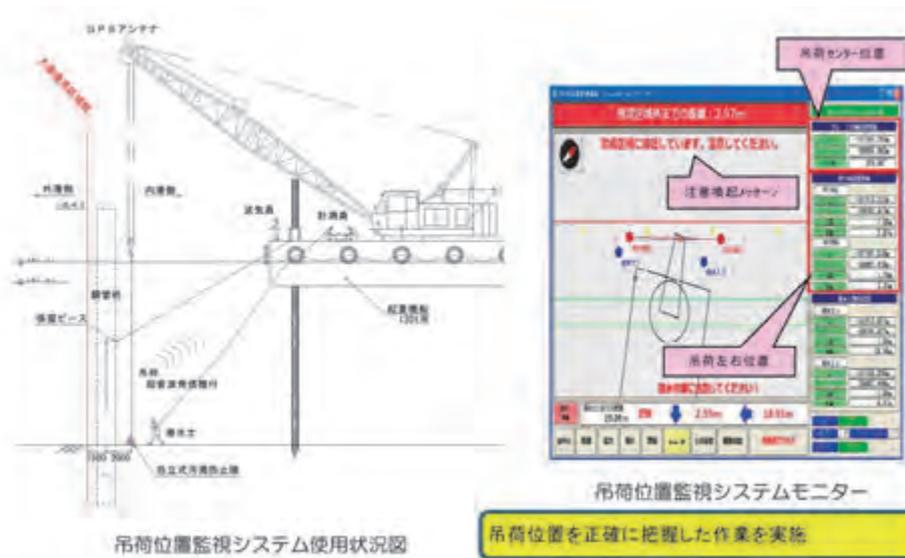


図-3 監視モニター参考図



写真-1 専用吊具



写真-2 吊荷位置監視状況



写真-3 汚濁防止膜設置状況



写真-4 汚濁防止膜設置完了

3) 汚濁防止膜概要

種類	規格・形状寸法	単位	数量	取付位置	備考
固定式	自立型	H=2.5m、フロートφ300、#300	セット	39	鋼管杭部 杭間20m

(3) 結果

本システムの採用により施工中も港湾区域境界線を越えることなく、かつ水中で作業を行う潜水士の安全を確保して工事を行うことができた。

参考文献	東亜建設工業(株)ホームページ： http://www.toa-const.co.jp/techno/civileng/surveying/m14/index.html
備考	<p>【工法（特許、NETIS登録等）】 NETIS登録番号（KTK-120005-A）</p> <p>【工事实績】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・須崎港湾口地区防波築造工事 （国土交通省 四国地方整備局 工期：H25.10～H26.3） ・鳥取県千代地区防波堤（第1）（西）築造工事 （国土交通省 中国地方整備局 工期：H24.3～H24.11） <p style="text-align: right;">他</p>

4.3.2 浚 渫

【港湾施設／浚渫】

技 術 名	水質監視システム
番 号	No. 4. 3-6
発 注 者	電源開発(株)
施 設 名	若松総合事業所若松総合事業所
所 在 地	福岡県 北九州市沖
工 事 名 称	響灘3号埋立地内岸壁および中仕切護岸設備等の海上工事
施 工 期 間	2007年1月～2010年9月
施 工 者	五洋建設(株)
キーワード	水質監視、モニタリングブイ、汚濁拡散防止
<p>(1) 概 要</p> <p>響灘は日本有数の魚場であるとともに、関門海峡を通り国内外各地の港を結ぶ航路となっており、海上には多数の船舶が航行している地点である。</p> <p>海上工事の実施にあたっては、全国的に周辺水域環境および地元漁業活動に極力影響を与えない施工方法が求められている。海上工事で漁業活動に影響を与える懸念が高いものとしては、浚渫および石材投入等の施工により発生する濁水の拡散が挙げられる。濁りの発生や水質変化を最小限にするための直接的な対策として汚濁防止膜の設置を行っているが、濁りと工事との関連性について取りざたされる例もあることから水質環境監視（モニタリング）が重要であり、工事の円滑な進捗のためにも必要不可欠なものである。</p> <p>上記課題を解決するために、水質汚濁など周辺水域環境への影響をリアルタイムで把握し、連続した水質変化記録取得を目的とした水質監視システムを導入したので紹介する。</p> <p>(2) 技術詳細</p> <p>水質監視システムは、濁度、クロロフィルなどを計測する海上局（モニタリングブイ）と、海上局から送信されたデータを受信し、水質監視を行う陸上局（事務所のパソコン）によって構成される。</p> <p>1) 海上局の概要</p> <p>海上局は、モニタリングブイ内に携帯電話式データ伝送設備（通信ユニット）、計測・演算・制御設備（制御ユニット）および電源ユニットを搭載し、水深-0.5m付近と水深-5mの2地点の濁度、クロロフィル、水温及び水深-0.5m付近の流向流速を計測する装置である。</p> <p>（図-1、写真-1）</p>	

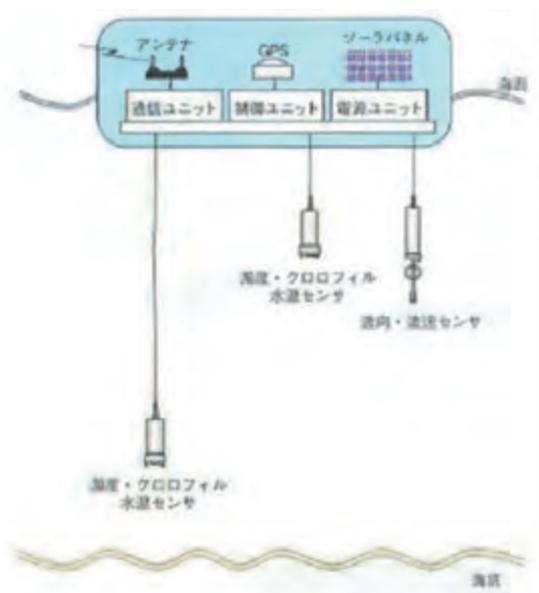


図-1 海上局の構成



写真-1 モニタリングブイの設置状況

海上局の設置位置については、事前に浚渫や捨石投入による濁りの拡散影響を数値シミュレーション（図-2）で評価し、濁りの影響をとらえやすい位置を観測点として選定し、バックグラウンドとして比較する基準点の選定を行った。

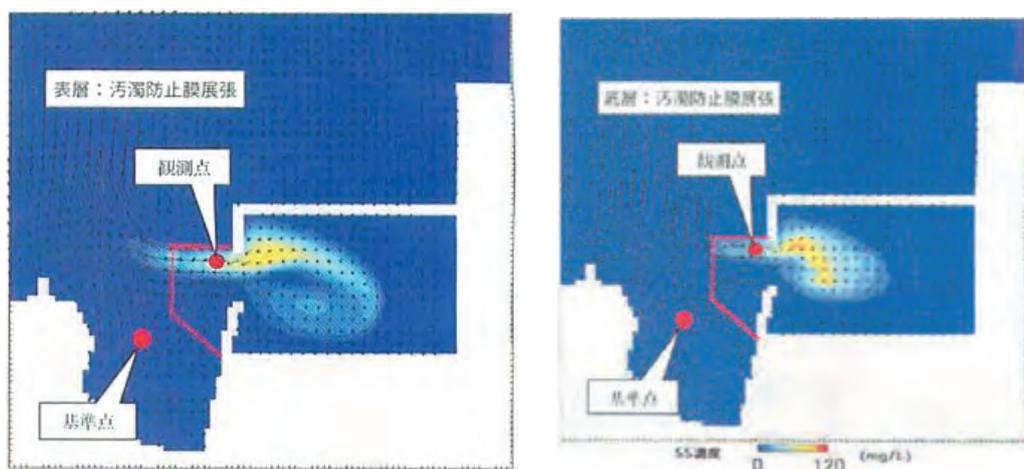


図-2 数値シミュレーション（左：表層部、右：底層部）

2) 陸上局の概要

海上局より送信されたデータは、インターネットを介して現場監視所及び事務所に設置したパソコンで計測データを受信し、テキストおよび計測値時系列グラフの表示、収録を行う。収録されたデータは必要に応じてCSV形式で保存した。

モニター表示例を図-3に示す。

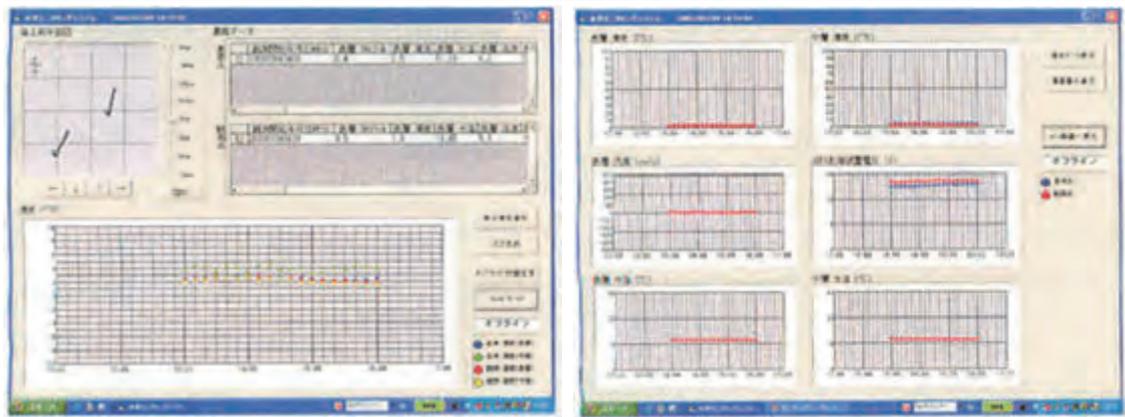


図-3 モニター表示例

3) 水質監視項目

水質監視項目一覧を表-1 に示す。

表-1 水質監視項目仕様

計測項目	仕 様
濁 度	計測範囲：0～1,000[FTU]（ホルマジン検定）
	精 度：±0.3[FTU] or ±2%
	分 解 能：0.03[FTU]
クロロフィル	蛍光強度計測範囲：0～400[ppb]（ウラニン検定）
	精 度：±0.1[ppb] or ±1%
	分 解 能：0.01[ppb]
水 温	計測範囲：-5～40[°C]
	精 度：±0.05[°C]
	分 解 能：0.001[°C]
流 速	計測範囲：0～±500[cm/s]
	精 度：±1 [cm/s] or ±2%
	分 解 能：0.02[cm/s]
流 向	計測範囲：0～360[deg]
	精 度：±3[deg]
	分 解 能：0.01[deg]

(3) 結 果

システム導入のメリットとして以下の項目が挙げられる。

- ① 観測データをリアルタイムに管理し、施工にフィードバックすることで汚濁拡散防止対策を迅速に実施可能
- ② 遠隔監視による海上での計測作業の軽減
- ③ 昼夜連続したデータを収録によるアカウントビリティ向上への寄与
- ④ 携帯電話網利用による信頼性に優れるデータ送信と複数ブイによる広範な水域観測網の構築
- ⑤ インターネットを利用したデータ受信による工事関係者の容易なデータ取得

参 考 文 献	電力土木, 57-61, 2008-05-05 : 海上工事施工に伴うアカウントビリティ向上への取組み
備 考	—

技術名	環境浚渫（END）工法
番号	No. 4. 3-7
発注者	—
施設名	港湾施設
所在地	—
工事名称	—
施工期間	—
施工者	五洋建設(株)
キーワード	港湾施設、汚濁拡散防止、密閉式グラブ、水平掘削、超音波データ伝送

(1) 概要

浚渫工事では掘削時の汚濁拡散防止など環境面への配慮が求められている。従来の浚渫工法では掘削の余剰や不足などの課題から特に薄層の浚渫工事に限界があった。

環境浚渫工法（END 工法：ENvironmental Dredging method）は、ユニークな箱型密閉形状で機械的な水平掘削機構を持つ END グラブと高精度な浚渫管理システムにより、汚濁拡散防止および余掘低減に効果がある環境対応型浚渫工法である。

(2) 技術詳細

1) 余掘が少ない薄層浚渫

END グラブは、機械的に刃先が水平に動く機構により、掘削形状が平坦となり、余掘が少ない浚渫が可能である。また「浚渫管理システム」によりグラブ刃先の掘削深度を正確に設定できるため、精度の高い薄層の浚渫が可能である。

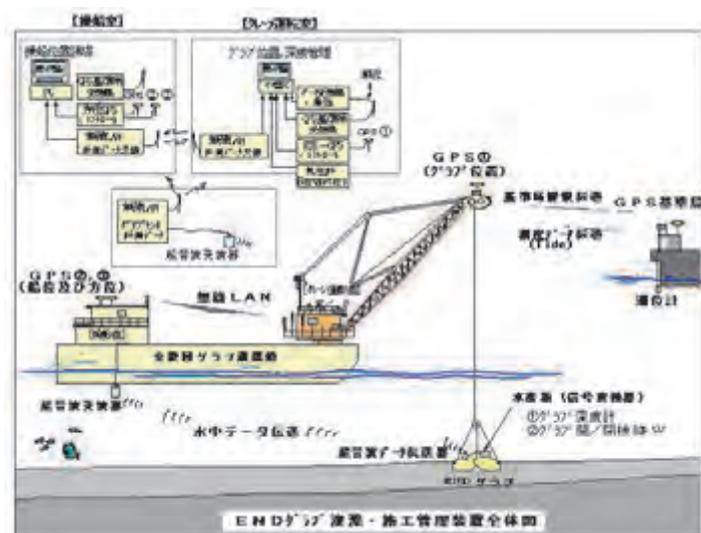


図-1 システム概略図

2) 工期短縮とコスト削減

1回当たりの掘削面積が広いと掘削回数が減少し、また余掘が少ないため、薄層の浚渫工事において、工期短縮と余掘土量減少に伴う後処理などのコスト削減が可能である。

(3) 結果

密閉構造であるとともに、ベンチレーティングシステムなどの効果により汚濁拡散を低減できる。

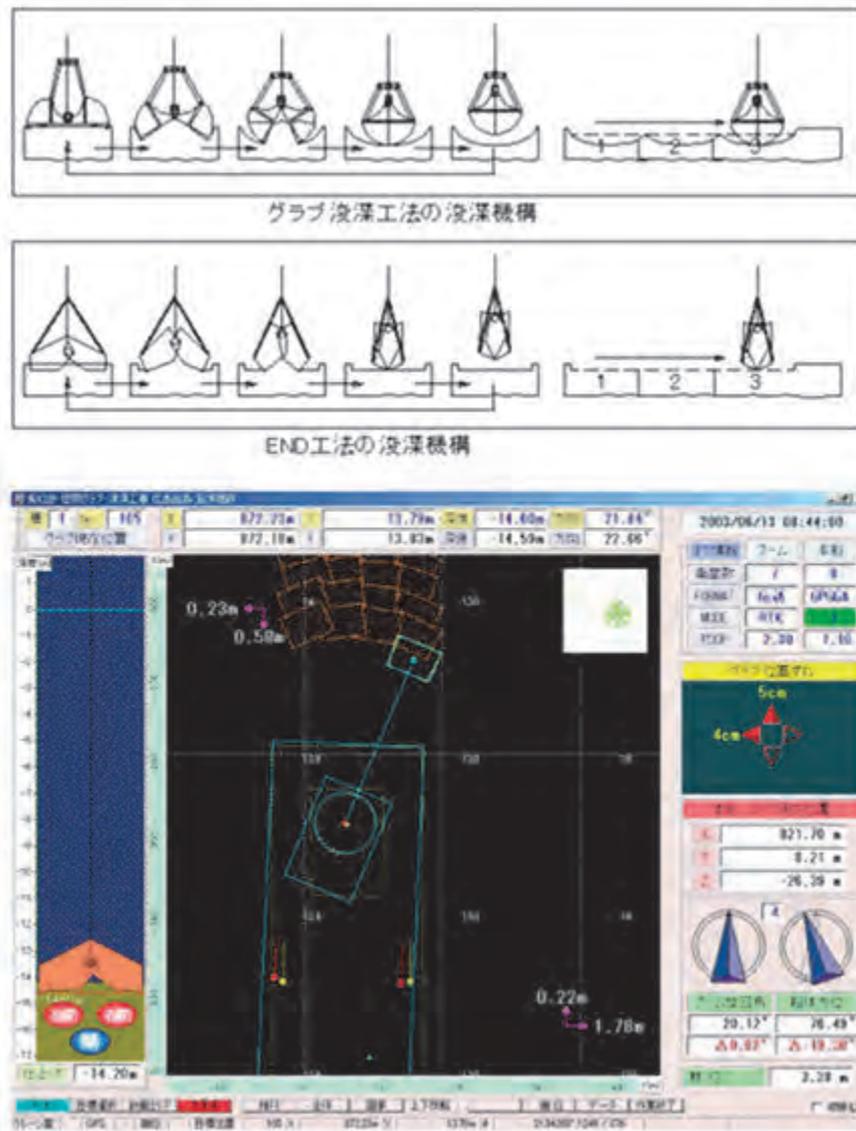


図-2 浚渫管理システム図

参考文献	五洋建設（株）ホームページ： http://www.penta-ocean.co.jp/business/tech/civil/dredging/end.html
備考	NETIS 登録技術（登録番号 KTK-040007-A）

技術名	グラブ浚渫トータル管理システム
番号	No. 4. 3-8
発注者	国土交通省中国地方整備局
施設名	—
所在地	広島港廿日市地区
工事名称	広島港廿日市地区航路（-12m）浚渫工事
施工期間	2015年4月21日～11月13日
施工者	東洋建設(株)
キーワード	浚渫管理、余掘量低減、リアルタイム計測管理

(1) 概要

2015年末に国土交通省から「i-Construction」が発表され、建設現場では情報通信技術「ICT」を活用した「施工の効率化」や「作業の見える化」が進められている。東洋建設では、「グラブ浚渫トータル施工システム」を開発し、グラブ浚渫の「高精度化」「効率化」を進めてきた。本システムは「3D 浚渫施工管理システム」と「3D グラブバケット」を組み合わせることでグラブ浚渫工事をトータルにサポートするシステムである。

(2) 技術詳細

1) 3D 浚渫施工管理システム

従来のグラブ浚渫管理システムは、グラブバケットの平面位置と深度を計測し掘り跡を記録していた。開発した 3D 浚渫施工管理システムは、目標浚渫深度を 3 次元情報として設定しておくことで、グラブバケットの平面位置から目標浚渫深度を表示するガイダンスシステムである。法面浚渫を行うときには法面の勾配に合わせてグラブバケットの位置によって浚渫深度を変えて掘削する必要があり、ガイダンスに従って施工することで過不足なく掘削することが可能となり浚渫精度が向上する。

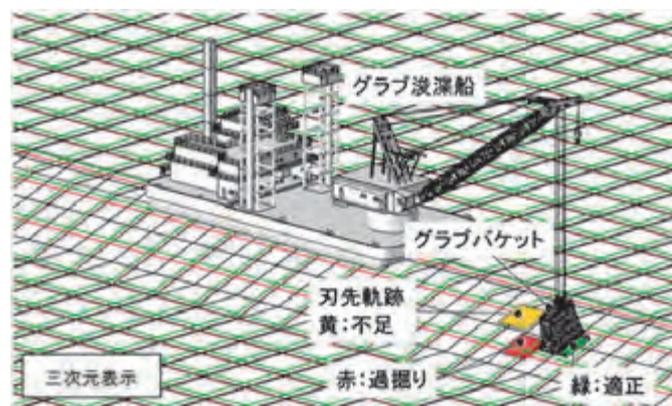


図-1 システム概念図

システムの機能

- ・ 浚渫目標深度を3次元情報として設定することで、法面部においてバケットの平面位置から演算した目標浚渫深度と、バケット刃先深度との差をリアルタイム表示する
- ・ グラブバケットの掘削時の刃先の軌跡を3次元で掘り跡として表示
- ・ 岸壁・防波堤等の構造物を表示
- ・ 浚渫必要範囲の表示

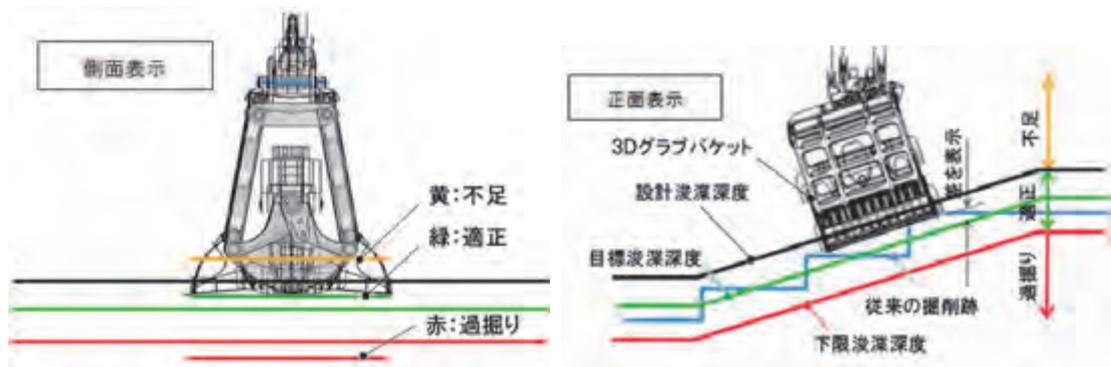


図-2 目標深度と掘り跡判定

2) 3D グラブバケット

従来、法部の浚渫は階段状に掘削する必要があった。また、薄層浚渫や仕上げ掘りでは、グラブバケットの容量に対してつかむ土量が少なく、バケット内に多くの水が混入するという問題があった。このため、浚渫土を土運船に積込む際には船倉に大量の余剰水が混入し、運搬効率が低下するとともに汚濁発生の原因となっていた。開発したグラブバケットは、法面勾配に合わせてバケットを傾けて浚渫することができ、また浚渫厚に合わせて容量を変えることが可能である。このバケットと法面浚渫深度を管理する「3D 浚渫施工管理システム」を組み合わせることによって、より一層高精度かつ効率的な浚渫が可能となった。グラブバケットの容量は、シェルカバーを上下に移動させることで 25m³と 20 m³に切り換えることができる。また、シェルカバーの内側には直方体の鋼製枠があり、鋼製蓋をボルト止めすることで更にバケット容量を 15m³まで減少させることができる。

● グラブバケット諸元

- ・ 容量：25m³、20m³、15m³（可変）
- ・ 自重：64.0ton（直巻能力 100ton 以上のグラブ浚渫船に対応）
- ・ 支持ロープ：φ52mm、開閉ロープ：φ52mm

● 法面浚渫対応

- ・ 吊点を変えることで 1:2、1:3、1:4、1:5、1:6、水平の6段階で勾配切り替えが可能

(3) 結果

グラブバケットによる浚渫工事では、施工範囲の境界において掘削未施工の部分と掘削箇所が法面となる。従来は法面部分を階段状に施工することで設計よりも多くの土砂を掘削する必要があったが、本システムを使用することで設計面と同じ面と平行な法面を掘削することができ、3次元でグラブバケットの位置を管理することで余掘り削減につながった。



図-3 3D バケット使用イメージ

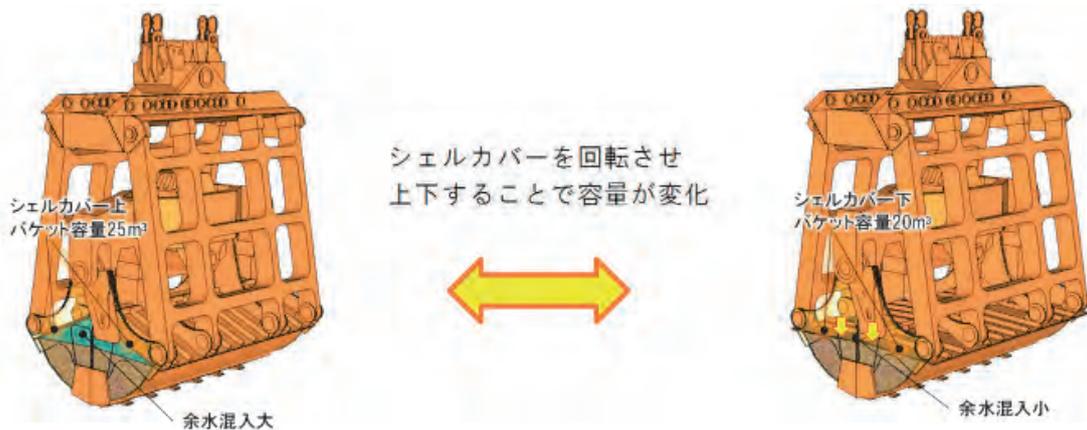


図-4 3D バケット容量変更説明図

<p>参考文献</p>	<p>東洋建設(株)ホームページ： http://www.toyo-const.co.jp/topics/technicalnews-6402</p>
<p>備考</p>	<p>特開 2015-121022(グラブバケットおよびグラブバケットの容積変更方法)</p>

技術名	掘削断面連続測深システム
番号	No. 4. 3-9
発注者	国土交通省 中国地方整備局
施設名	—
所在地	広島県廿日市市木材港南 12 地先
工事名称	広島港廿日市地区泊地 (-12m) 浚渫工事
施工期間	2014 年 6 月～2014 年 11 月
施工者	東亜建設工業・みらい建設工業共同企業体
キーワード	浚渫管理、余掘量低減、リアルタイム計測管理

(1) 概要

1) 背景

本工事は、広島港廿日市地区において取り扱う LNG（液化天然ガス）の輸送効率化・安定供給に向けた輸送船の大型化に対応するため、航路・泊地を水深-12.0m に増深する事業のうち、浚渫工、土捨工を行うものであった。この中で、浚渫時における余掘量の低減に資する施工が課題であった。そこで、掘削直後の海底面をリアルタイムに計測することにより掘削深度管理の精度を向上させるため「掘削断面連続測深システム」を採用し、余掘量の低減を行った。



(出典：「広島港 廿日市地区 航路・泊地整備事業」平成 23 年 9 月 国土交通省港湾局)

図-1 全体平面図

2) 技術概要

従来、ポンプ浚渫工における深度管理は、舷側からのレッド測量によって管理されており、掘削直後の水深を把握することが難しく、浚渫区域全体を面的に測量するには無理があった。

そこで、掘削断面連続測深システムは、ポンプ船の先端にナローマルチビーム測深ソナーを取り付け、ポンプ船のスイングを利用して深淺測量を行うことによって、浚渫直後の水深をリアルタイムに測量でき、浚渫状況を面的に管理する事が可能となった。

(2) 技術詳細

1) システム概要

① 余掘り厚の減少

掘削断面連続測深システムは、高精度に掘削深度を測深し、オペレーターにフィードバックすることで、深度管理技術が向上し、余掘り厚を低減することが可能である。その結果、扱ひ土量が減少し、工事単価の削減と工期の短縮が可能となる。

② リアルタイムかつ高精度な測量

ナローマルチビーム測深ソナー、動揺補正装置、RTK-GPS、乾舷計および潮位計を使用し高精度な測深データをリアルタイムで計算できる。

③ 水深の表示機能

掘削面を連続的に計測しリアルタイムに水深値に合わせたカラーコンタを画面上に表示できる。また、サブ画面で掘削断面をリアルタイムに確認することができる。なお、表示画面の拡大、縮小、回転、移動は任意に行うことができる。

2) 施工概要

① オペレーターは、3D 浚渫深度管理システムのモニター画面で、カッターの3次元位置とスイング時の軌跡を確認しながら、事前に設定した誘導深度に合わせて、カッター深度を調整し浚渫を行う。

② 浚渫直後の掘り跡は、3D ソナーにてリアルタイムに3D 測深を行い、高速演算処理された浚渫出来形と設計深度に対する過不足を、カラーコンターで面的にモニター表示する。オペレーターは、これらのデータを対比しながら、カッター深度を再調整する

3) システム構成等

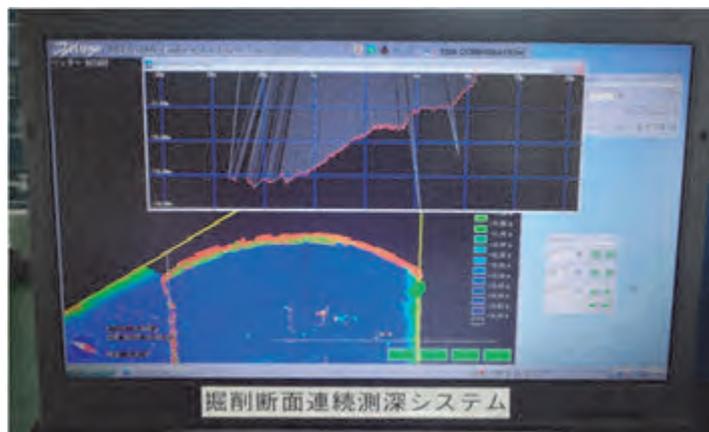


図-2 システム管理画面

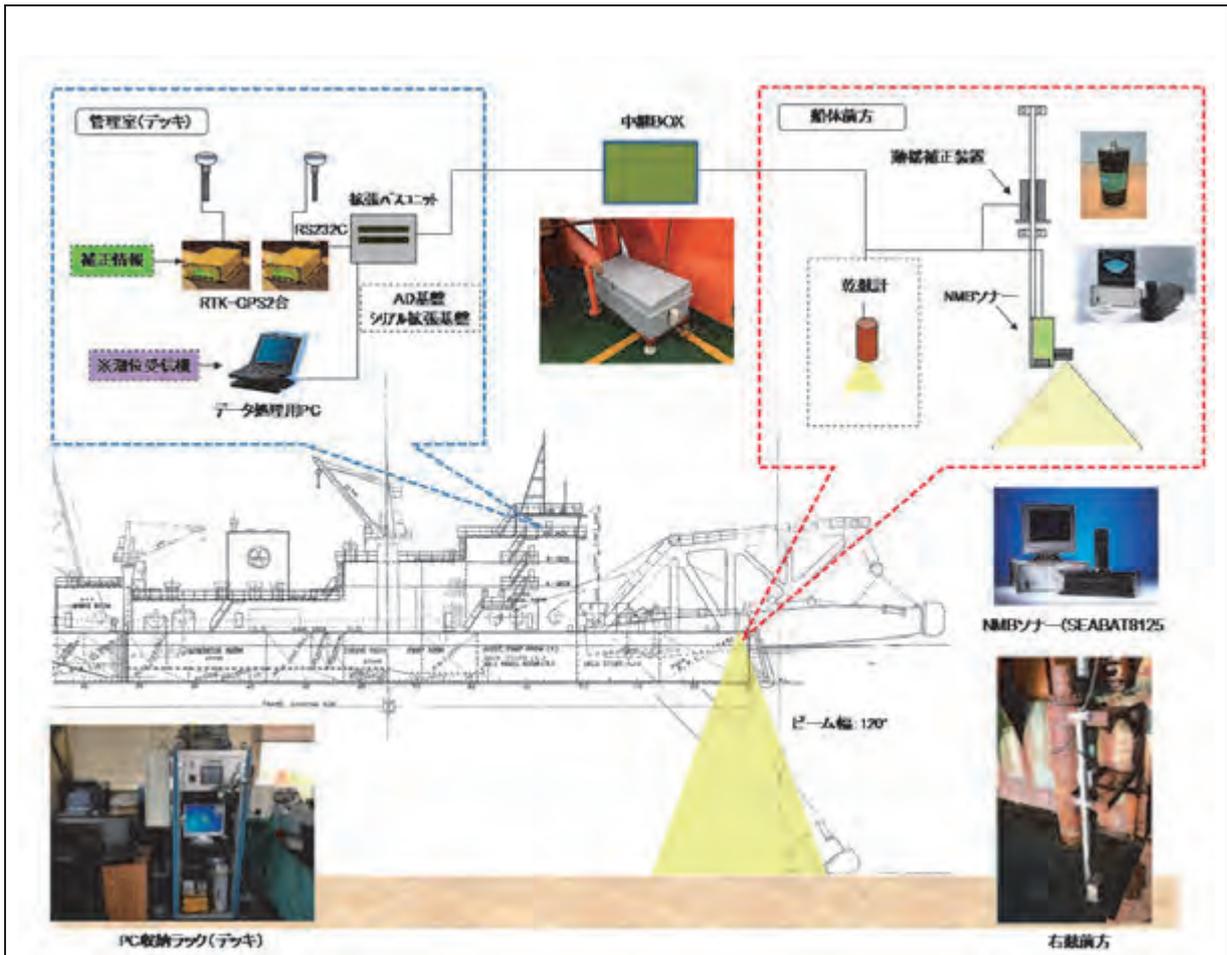


図-3 システム構成図

(3) 結果

本システムの採用により、浚渫時の水深をリアルタイムに計測でき、浚渫状況の面的な管理が可能となり、余掘量の低減を行うことができた。

参考文献	—
備考	<p>【工法（特許、NETIS 登録等）】 NETIS 登録番号 (KTK-120006-A)</p> <p>【工事実績】 苫小牧港東港区中央泊地-14m 浚渫工事 (国土交通省 北海道開発局 工期：H16.7～H17.3)</p>

4.3.3 基礎

【港湾施設／基礎】

技術名	気象予測システム・捨石均し管理システム
番号	No. 4. 3-10
発注者	国立開発研究法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)、電源開発 (株)
施設名	洋上風力発電施設、洋上風況観測施設
所在地	福岡県 北九州市沖
工事名称	洋上風力発電施設建設工事
施工期間	2011年8月～2013年5月
施工者	五洋建設 (株)
キーワード	据付精度の向上技術、遠隔制御、気象予測

(1) 概要

1) 工事概要

国立開発研究法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) が取り組む「洋上風力発電システム実証研究」および「洋上風況観測システム実証研究」の枠組みの中で、電源開発株式会社からの発注のもと、当社は 2011 年 8 月から 2013 年 5 月まで、北九州市沖での洋上風力発電施設の基礎構造設計・製作・据付と風車組立、および洋上風況観測塔の基礎製作・据付、観測塔組立に取り組んだ。



写真-1 風力発電施設の設置状況

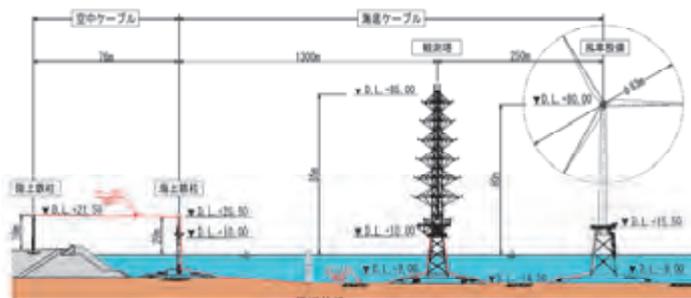


図-1 実証研究設備模式図

風車が建設される場所は福岡県北九州市の沖合約 1.4km にある水深約 14m 地点。そこに 2MW 級の風車 1 基と風況観測塔 (高さ 85m) を建設した。

今回、基礎構造には鋼管と鉄筋コンクリートを併用した「ハイブリッド重力式支持構造物」が採用された。鋼管部分はジャケット構造になっており、波が透過するため、通常のケーソン堤などに比べ大幅に波力を低減できる。また、鉄筋コンクリート底版が最下部にあり、重心が低いいため地震時の安定性にも優れている。

2) 施工法の概要

工場所は日本海に面し、冬季の季節風や波浪が厳しい海域である。事業工程では、風車建

設完了（電設工事は除く）は2013年3月末である。大臣認定取得からわずか1年間で風車建設を完了させるために、厳しい気象条件下での建設工事が始まった。

① 捨石マウンドの築造

風車建設には鉛直精度の確保が至上命題である。通常、陸上の風力発電施設では鉄筋コンクリート基礎の天端面をレベル調整し風車タワーと接合される。今回は耐久性や安全性の観点から接合部でのレベル調整は行わないこととしたため、支持構造物の鉛直精度、すなわち捨石マウンドの水平精度がそのまま風車の鉛直精度に反映される。

そこで、捨石マウンドの築造には転圧が可能な「重錘落下による機械式での均し作業」を行った。その結果、洋上風車、風況観測塔とも高い鉛直精度を確保することができた。また、「自動追尾型トータルステーションによる管理システム」の導入が鉛直精度の確保に大きく寄与した。

② 支持構造物の製作・据付

洋上での作業を最小限とするため、支持構造物は「プレキャスト化」している。そのため重量は4,000tを超えており、製作・据付には浮力が活用できるフローティングドックと3,700t吊の大型起重機船を併用した。

支持構造物の据付完了は2012年10月。工程を考えると引き続き風車タワーの建設に取り掛かるところであるが、現地海域の海象面は日本海特有の厳しい時期にあたる。そこで、10月から1月までは越冬期間として工事を中断し、工事再開に備えた。

③ 風車の組立

現地の海域は、季節風の影響により、通常であれば2～3月は工事ができるような海象状況ではない。しかし、2013年3月の完工に向けて、高波浪の合間をぬって施工することが求められた。

そこで、当社独自の「気象予測システム」をさらに高度化し、施工管理に活用した。その結果、予報的中率は90%を超え、細やかな施工管理、工程管理を可能にした。洋上風力発電のマーケットが成熟している欧州とは違い、風車据付専用船が存在しないことや、風車部品やクローラクレーンをSEP船に積み込む際に岸壁の耐力が不足するなど港湾インフラの面で厳しい状況ではあったが、発注者や協力会社、関係各署の協力のもと、2013年3月23日、洋上風車が完成した。



写真-2 重錘落下による機械式での均し作業



写真-3 大型起重機船による支持構造物の据付



写真-4 SEP 船を活用した洋上での風車組立

(2) 技術詳細

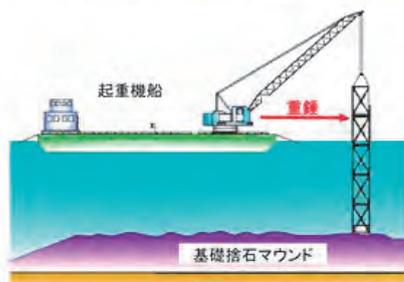
1) 風車据付精度の向上技術

① 重錘落下による機械敷均し

- 風車設置に要求される水平精度を基礎部の造成及び支持構造の製作精度で確保
- 支配的な基礎部造成及び設置時の精度に対する管理手法の構築と検証を実施

- ✓ 基礎捨石マウンドは重錘落下による機械敷均し
- ✓ 重錘落下の位置管理はRTK-GPSを利用、高さ管理は自動追尾型トータルステーションを利用
- ✓ 支持構造物の設置精度には据付管理システムを適用

基礎部の重錘敷均し(イメージ)



基礎部の重錘敷均し状況



設置精度の確認状況



図-2 重錘落下による機械敷均しと設置精度確認状況

② 気象海象予測システム

施工時期が限定されるため、ピンポイント地点の気象海象予測システムを活用し、予想される気象海象条件に合わせた合理的な工程を立案することで円滑な施工管理を行った。

③ 据付精度の確保

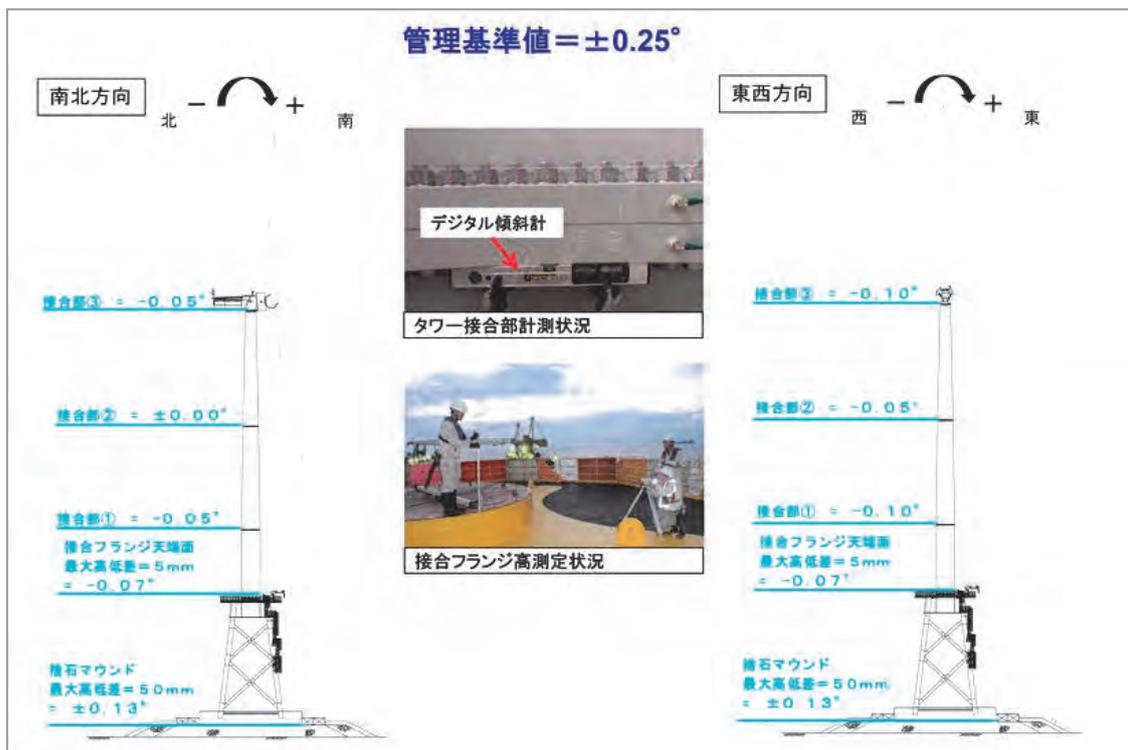


図-3 デジタル傾斜計による据付精度の確保

2) 維持管理手法の高度化技術

正確な健全性判断および寿命予測のため、風車内に温湿計や加速度計などの各種センサー及び主要箇所にて Web カメラを設置し、陸上から常時モニタリングできる遠隔制御システム (SCADA) を適用し、稼働率の向上と維持管理手法の確立を目指した。

(3) 結果

平成 24 年 10 月の風況観測開始、平成 25 年 6 月の風車運転開始により、洋上風況データの確実な取得・解析を通じて、我が国における洋上風況、海象特性を明らかにし、風車本体・支持構造物の挙動をとらえ、海域環境課での構造物の耐久性や洋上風車の運転管理に関する技術上の課題を解明していく。

参考文献	<ul style="list-style-type: none"> ・五洋建設(株)ホームページ: http://www.penta-ocean.co.jp/project/pj_story/2013/13.html ・NEDO ホームページ: http://www.nedo.go.jp/fuusha/doc/20130627_04.pdf ・洋上風力発電施設の施工管理について, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol. 69, No. 2, I_114-I_119, 2013.
備考	—

技 術 名	自動潜水管理システム
番 号	No. 4. 3-11
発 注 者	—
施 設 名	—
所 在 地	—
工 事 名 称	—
施 工 期 間	—
施 工 者	五洋建設(株)
キーワード	自動潜水管理、水深センサ
<p>(1) 概 要</p> <p>港湾工事において、潜水作業（捨石投入・均し、被覆石均し）に関係する事故は 17 件発生し、内 7 件が減圧症である。（(社) 日本潜水士協会調査、平成元年～平成 15 年 1 月）減圧症は“ベテラン潜水士でも陥る事故”という特性があり、その防止対策は潜水士自身の自己管理に委ねられていた。また、潜水計画の立案や変更は煩雑であるため、人為的ミスに起因する減圧症などを発症する危険性がある。</p> <p>自動潜水管理システムは、潜水士に水深センサを装着させて、潜降開始から浮上までの一連の作業時間と潜水深度をパソコンで自動計測することで、潜水深度に応じた潜水時間、浮上方法とその時間、2 回目以降の潜水時の浮上時間などを演算処理し、潜水士船上の作業員、および遠隔地の安全管理者にアナウンスするものである。システムは、遠隔地に設置した管理者用サーバーパソコンと、潜水士船のクライアントパソコンで構成され、潜水管理画面は、潜水士船だけでなく、インターネットを経由して遠隔地でリアルタイムに監視することができるものである。</p> <p>(2) 技術詳細</p> <p>1) 特 徴</p> <p>① 潜水計画を自動的に作成</p> <p>高気圧作業安全衛生規則に則った潜水計画を自動的に作成できる。</p> <p>② 適切な潜水管理指示が可能</p> <p>潜水時間、潜水深度、浮上時間、およびガス圧減少時間を自動計測することで、送気員や安全管理者が潜水状況をリアルタイムに監視し、適切な潜水管理指示を行うことができる。</p> <p>③ 2 回目以降の計画を自動的に修正</p> <p>自動計測された潜水データに基づき、煩雑な 2 回目以降の潜水計画を自動修正できる。</p>	

2) システム構成

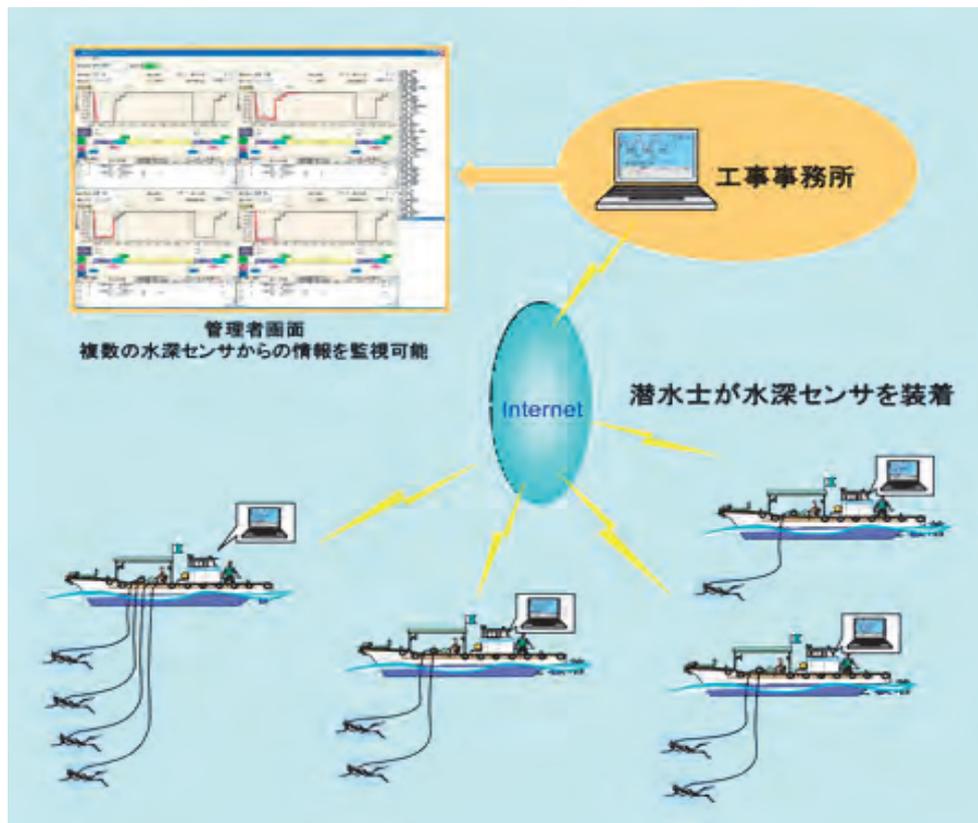


図-1 システム構成図

(3) 結果

1) 効果

- ① 高気圧作業安全衛生規則に則した潜水計画を自動的に作成することができるため、潜水計画立案時のミスを防止することができる。
- ② 潜水士以外の者が潜水状況（潜水深度、潜水時間、浮上速度など）を監視できるため、リアルタイムかつ客観的な潜水管理を行うことができる。
- ③ 潜水計画修正のための潜水時間、潜水深度、浮上時間及びガス圧減少時間を自動計測できるため、適正な潜水管理を実施することができる。
- ④ 自動計測された潜水データに基づき、潜水計画を自動修正できるため、煩雑な潜水計画の変更作業を行う必要がない。

2) 技術評価等

- ① 平成 22 年 4 月 16 日に（一財）沿岸技術研究センターより、評価証を取得。

<p>参考文献</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・五洋建設(株)ホームページ：http://www.penta-ocean.co.jp/business/index.html ・建設業労働災害防止協会ホームページ：http://www.kensaibou.or.jp/
<p>備考</p>	<p>特許番号 第 4942002 号 平成 22 年度建設業労働災害防止協会より顕彰基金による顕彰受賞</p>

技術名	無線式ガット船捨石投入支援システム
番号	No. 4. 3-12
発注者	国土交通省 近畿地方整備局
施設名	—
所在地	大阪府此花区夢洲1丁目地先
工事名称	大阪港北港南地区航路(-16m) 附帯施設基礎等工事(第二工区)
施工期間	2013年3月～2014年1月
施工者	東亜建設工業(株)
キーワード	捨石投入、ガット船、投入位置管理
<p>(1) 概要</p> <p>1) 背景</p> <p>捨石の投入箇所に不陸があったため、投入に偏りが生じると急勾配や偏荷重が発生し堤体が不安定となる懸念があった。このため、捨石層を均一に仕上げることが目的として、無線式ガット船捨石投入支援システムを用いた。</p> <p>2) 技術概要</p> <p>投入支援システムは、投入作業支援機能及び堆積形状予測機能を有し、オペレーターや投入指示者が、直接モニターや携帯端末（PDA、タブレット等）で投入状況を確認できる。なお、当システムは入域してきたガット船に短時間で取り付けることが可能。</p> <p>投入作業支援機能は、GPS 無線ユニットを投入船のブーム先端に取り付けることで、捨石の投入位置及び履歴を正確に確認できる。堆積形状予測機能は、投入位置と投入回数に応じた投入後の層厚や体積形状が予測可能。</p> <p>予め堆積形状を予測して投入間隔や投入回数を決定することで、不陸の多い現況に合わせて仕上がり天端を調整し、均一な捨石層が構築できるため、法面の崩壊を防止して堤体の安定性を確保した施工が可能。</p> <p>(2) 技術詳細</p> <p>1) システム概要</p> <ol style="list-style-type: none"> ① ブーム先端部への GPS ユニット設置・撤去の時間短縮 ② 5回/秒のデータ取得可能な DGPS の採用によるリアルタイムかつ高精度な誘導 ③ 投入履歴記憶機能、履歴の画面表示により効率的な捨石投入作業が可能 ④ 施工エリアが GPS 測位可能 ⑤ ブームトップに GPS アンテナ架台を取り付けることが可能な非駆動部が必要 ⑥ ブームトップが磁石で固定できる材質 	

2) 施工状況および投入支援機能モニター等



図-1 全体平面図

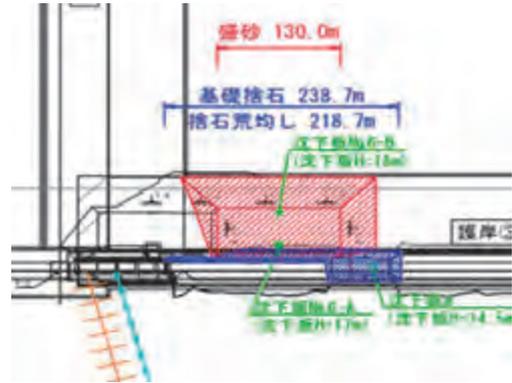


図-2 平面図（基礎捨石投入エリア）

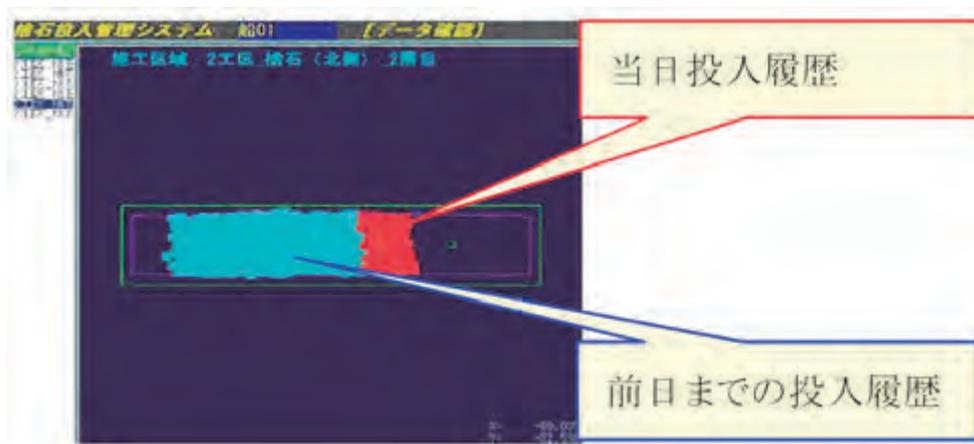


図-3 投入支援機能モニター



写真-1 捨石投入状況



写真-2 機器設置状況
(ガット船ブーム先端)

3) 実施規模

基礎工 基礎捨石 10~200kg/個 (30,745 m³)

(3) 結 果

本システムの採用により捨石層を均一に仕上げることができ、法面の崩壊を防止して堤体の安定性を確保した施工ができた。

参 考 文 献	東亜建設工業(株)ホームページ： http://www.toa-const.co.jp/techno/civileng/surveying/m17/index.html
備 考	【工法（特許、NETIS 登録等）】 NETIS 登録番号（KTK-110005-A） 【工事实績】 ・大阪港北港南地区航路（-16m）附帯施設基礎等工事（第一工区） （国土交通省 近畿地方整備局 工期：H25.1～H26.1） ・高知港三里地区防波堤（東第一）築造工事 （国土交通省 四国地方整備局 工期：H23.8～H24.8） 他

技 術 名	海底山脈築造技術
番 号	No. 4. 3-13
発 注 者	水産庁 漁港漁場整備部
施 設 名	五島西方沖地区湧昇マウンド礁
所 在 地	五島西方沖
工 事 名 称	五島西方沖地区湧昇マウンド礁工事
施 工 期 間	2011 年 9 月～2015 年 10 月
施 工 者	東洋建設(株)
キーワード	大水深、捨石投入管理

(1) 概 要

防波堤や護岸などの捨石基礎マウンドを築造する場合、ガット船により捨石を投入後、潜水士による均し作業で計画断面に仕上げるのが一般的である。潜水作業が困難な大水深に捨石基礎マウンドを築造する場合には、底開式バージによる直接投入施工を行う。底開式バージによる直接投入は、大量で急速に施工ができる反面、計画断面との差異が大きくなりやすいため、捨石の堆積形状を予測した投入計画に基づいた効率的な施工が課題となる。

「大水深捨石投入施工管理システム」は、人工海底山脈築造工事と防波堤基礎捨石マウンド造成工事における捨石の投入計画立案から施工管理までを網羅するトータルシステムである。

(2) 技術詳細

本システムは、主に堆積形状予測サブシステム、投入計画支援サブシステム、施工管理サブシステムの各サブシステムから構成される。

1) 積形状予測サブシステム

個別要素法を用いた三次元固液混相流モデルにより、底開式バージから海中に投入された捨石が相互に衝突しながら落下して海底に堆積する形状を予測する。このサブシステムでは、水深、バージ形状、捨石の重量などの諸条件をパラメータとして直接考慮できるため、現場条件に合わせた捨石の堆積形状の予測が可能である。



図-1 個別要素法による捨石の堆積形状解析例

2) 投入計画支援サブシステム

堆積形状予測サブシステムの予測結果から作成した1投入分の堆積形状パターンを重ね合わせることで、計画断面を効率的に築造する投入計画の立案を支援するシステムである。また、実際の投入で実測した堆積形状をデータベースとして蓄積する機能も併せ持つシステムである。

3) 施工管理サブシステム

高精度な施工管理を目的とした4つのサブシステムで構成される。

- ① 投入位置補正サブシステム：潮流による投入位置と堆積位置のずれを事前に予測し、投入位置を補正する。
- ② 底開バージ誘導サブシステム：各作業船の位置情報を無線LANで共有・可視化し、投入位置へ誘導する。(図-2)
- ③ 投入状況計測サブシステム：バージの軌跡や開扉の状況などを計測管理し、投入方法を検証する。
- ④ 深浅測量サブシステム：RTK-GNSSを利用したナローマルチビームによる深浅測量をおこない、出来形管理と堆積形状を検証する。

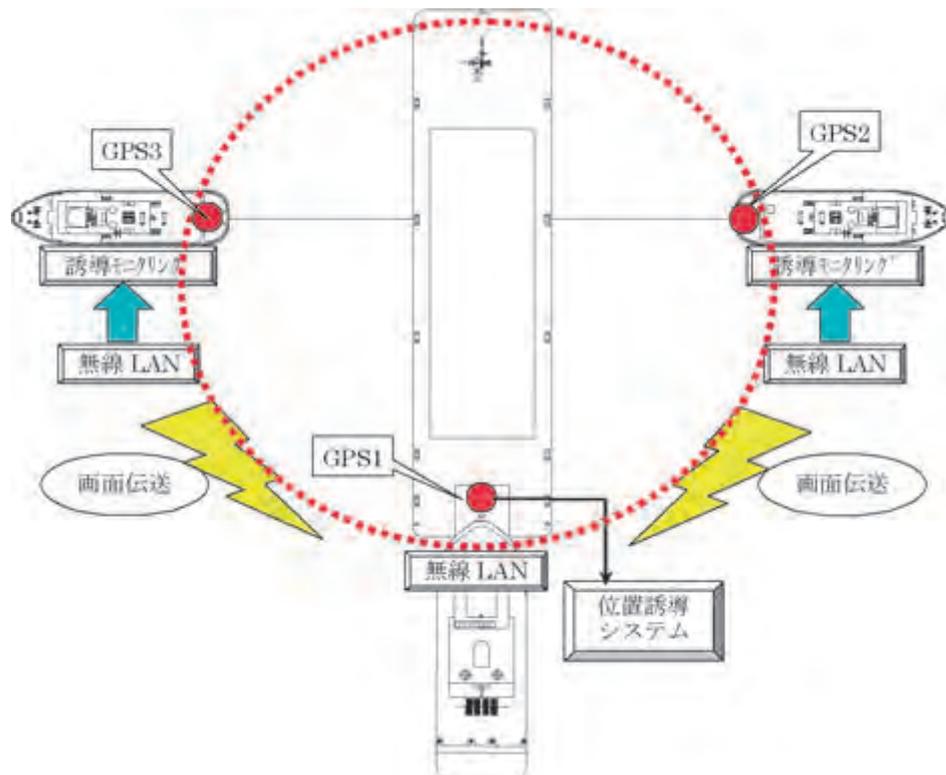


図-2 底開バージ誘導サブシステム概念図

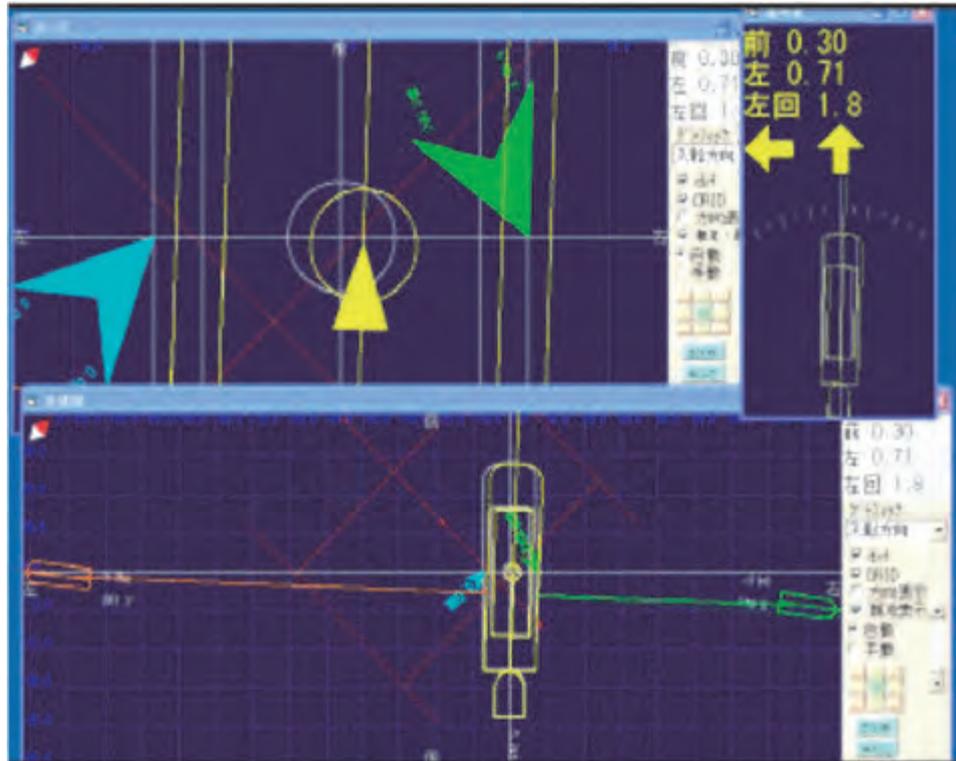


図-3 誘導画面

(3) 結果

個別要素法による堆積形状シミュレーション結果を基に施工管理を行った結果、設計形状に対して十分満足する海底山脈を築造することが出来た。特に峰の形成においては、投入中心と堆積中心の位置が精度よく制御できたことで、すべての測線において管理基準である法線±5mの範囲に施工ができた。



図-4 システム稼働状況

導入実績

- ・長崎県人工海底山脈築造工事（水深約 76m, 高さ 15m, 延長 41.2m）
- ・名瀬港防波堤基礎捨石マウンドの造成工事（水深約 47m）
- ・五島西方沖地区湧昇マウンド礁工事（水深約 150m、高さ 30m、延長 124m）

参 考 文 献	・ 電力土木, No. 340, pp. 101-103, 2009.3 「大水深における高精度な捨石マウンド築造技術」 ・ 作業船, No. 294, pp. 35-40, 2009.1 「海底山脈の築造と施工管理（その3）」 ・ 建設の施工企画, No. 713, p. 92, 2009.7 「大水深捨石投入施工管理システム」 ・ 港のたより, Vol189, No. 6, pp. 19-20, 2009 「個別要素法を用いた大水深捨石施工管理システム」
備 考	・ 特許 5176169 堆積材料の水底投下方法及びその施工管理装置 ・ 特許 5348589 バーヂ

4.3.4 本 体

【港湾施設／本体】

技 術 名	UCIS（ケーソン無人化据付システム）
番 号	No. 4. 3-14
発 注 者	東京電力(株)
施 設 名	東通原子力発電所
所 在 地	青森県下北郡東通村
工 事 名 称	東京電力東通原子力発電所建設工事
施 工 期 間	2007年3月～2008年3月
施 工 者	五洋建設(株)
キーワード	放水口護岸、ケーソン無人化据付、遠隔操作、作業効率向上、環境対策
<p>(1) 概 要</p> <p>1) 背 景</p> <p>東京電力東通原子力発電所建設工事では、平成 20 年 1 月から 3 月の冬季期間中に放水口護岸のケーソン全 7 函を据付する工事を実施した。本工事は、温排水用の通水路を有する特殊ケーソンを 36km 離れた仮置場所から約 10 時間をかけて曳航し据付けるものであり、曳航中の浸水リスクや据付時の品質・安全管理面で課題の多い施工となることが想定された。そこで、ケーソン内への浸水の有無やケーソンの傾斜量をモニタリングし、遠隔操作で注排水制御できる情報化施工技術をケーソン曳航・据付作業等の全工程に適用した。</p> <p>2) 工事概要</p> <p>東電東通原子力発電所専用港湾は、沿岸方向 700m、岸沖方向 700m の規模で新たに建設するものである。外郭防波堤は、総延長約 1,600m で消波ブロック被覆捨石式傾斜堤を基本構造とした。また、放水口護岸は、南防波堤の沖合、水深-9.0m に位置しており、全 7 函(約 150m)で構築した。また、港内に物揚場施設(総延長:約 650m)、敷地護岸(総延長:約 400m)も建設する計画である。</p> <p>3) 施工条件とリスク</p> <p>本工事海域は、港湾供用係数「8」に相当する国内有数の高波浪海域であり、通常施工の場合でも施工安全リスクに配慮が必要である。特に、有孔ケーソンの場合は、浮上時の安定性と据付に必要な喫水を確保するため、ケーソン進水、仮置、再浮上等の一連の工程において注排水を繰り返す必要があり、“仮設止水蓋の締付けボルトの緩み”や“止水パッキンの損傷”等による止水機能の低下から曳航時の被災リスクが予想された。一方、周辺海域は、磯漁やヒラメ、サケ漁などの良好な漁場で、水産資源保全の面でも配慮が必要</p>	

な海域でもあり、ケーソン据付時の中詰材投入に伴う余剰水の排水による海域汚濁リスクも予想された。

このため、放水口護岸の施工に際しては、通常のケーソン据付よりも高度な技術と安全および環境対策が必要と判断し、UCIS(ケーソン無人化据付システム)を用いた情報化施工を活用することとなった。

(2) 技術詳細

1) ケーソン曳航時リスクの評価

ケーソン曳航時の被災モードは、止水蓋の機能低下による通水路への浸水の発生、その後、ケーソン喫水の増加、更にはケーソンの傾斜に伴う乾舷の減少によるケーソン天端までの波浪遡上という一連の現象が予想された。ケーソン天端には銅製の曳航蓋が設置されているものの、構造的には水密構造でなく、仮に遡上した水塊が隔室内に浸入すると、ケーソンが曳航不能状態に陥るとともに最悪の場合には、沈没するリスクも想定された。

具体的なリスクとしては、以下に示すケーソンの浮体安定性を確認した。

①浮体としての安定性

ケーソン浮遊時の安定性は(1)式により判定する。

$$I/V - CG = GM \geq 0.05D_f \dots (1)$$

ここに、

V:排水容積(m³)

I:喫水面の長軸に対する断面2次モーメント(m⁴)

C:浮心高(m)

G:重心高(m)

M:傾心高(m)

D_f:ケーソン喫水(m)

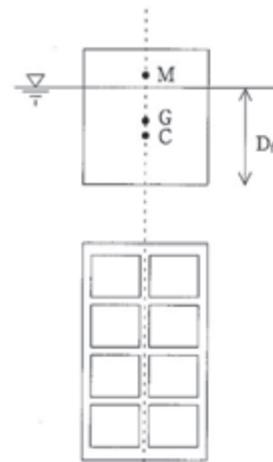


図-1 浮体安定検討の概念

②ケーソン天端への波の遡上の有無

曳航中のケーソンに対して来襲する波浪は、ケーソン壁にぶつかり壁面を遡上する。当該ケーソンは前壁上部が斜面形状になっていることから、波浪の遡上高は(2)式により算定する。

$$R = 2.0 \times H \dots (2)$$

ここに、

R:斜面壁を考慮した波浪の遡上高(m)

H:来襲波浪(有義波高)(m)

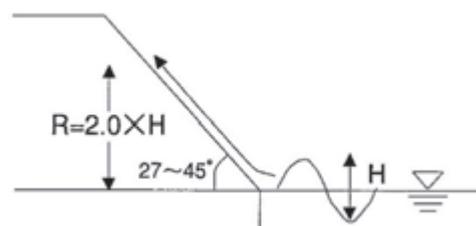


図-2 波浪遡上高の概念

図-3 に浸水によりケーソンが傾き曳航不能となる場合の概念を示す。

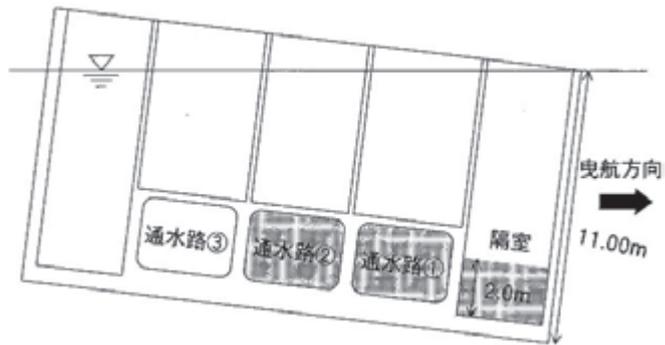


図-3 浸水により曳航不能となった場合のケーソン

表-1 に示すように、通水路①および②に浸水した状態においてケーソンの喫水高は9.47mとなる。今回の曳航時においては、ケーソンの浮心を支点に曳航するため、曳航時の函体潜行量は喫水高と同一量程度と判断され、ケーソンの函体乾舷量は1.53m (=11.0m-9.47m)と評価された。

一方、曳航中の来襲波浪別のケーソンに対する波浪の遡上高Rは、表-2 に示す結果となる。施工計画では曳船の能力を勘案し、曳航時限界波高を $H_{1/3}=0.8\text{m}$ として設定しているが、曳航時の波高が $H_{1/3}=0.7\text{m}$ 以上においては、ケーソン天端まで波が遡上する可能性が高くなり、函体乾舷量を越えることで、曳航蓋周辺からもケーソン隔室内に浸水するリスクが高まるものと評価された。

さらにケーソン隔室内が浸水し、底版天端から水位 $h=2.0\text{m}$ (水量 129m^3)となった

場合(図-3 に示す状態)には、喫水がケーソン天端まで達し、この段階で浮遊時の安定性が保てず、ケーソンの曳航不能・水没状態に至ると予想された。

表-1 浸水状態ごとのケーソン浮体安定

項目	記号	通常状態	通水路①②浸水	通水路①②および隔室内2m浸水
ケーソン形状	L×B×H(m)	24.8×21.5×11.0		
ケーソン重量	Wc(kN)	37057		
ケーソン内水重量	Ww(kN)	0	5818	7121
重心	G(m)	4.06	4.54	4.45
喫水	D _T (m)	6.88	(*) 9.47	11.00
浮心	C(m)	3.44	3.98	4.10
排水量	V(m ³)	3669	4245	4374
断面2次モーメント	I(m ⁴)	20539	19246	一部没水
傾心	I/V(m)	5.60	4.53	一部没水
傾心高	GM=I/V-CG	OK	OK	NG

表-2 来襲波浪別ケーソン浸水リスク評価

通水路①②浸水の場合 [R=2.0×H _{1/3}]			
H _{1/3}	R(遡上高)	ケーソン乾舷量	浸水リスク(※)
0.5m	1.00m	1.53m (*) (=11.00-9.47)	小
0.6m	1.20m		中
0.7m	1.40m		高
0.8m	1.60m		高

2) UCIS を用いたケーソン曳航管理

本工事では、UCIS の持つ隔室内水位の遠隔監視ならびに自動注排水ポンプ機能を適用し、上述のケーソン曳航時のリスクを低減することを試みた。当システムでは、曳航時の浸水現象やケーソン全体の安定性を監視するため、水位センサー17 台や傾斜計1 台を設置するとともに、万が一浸水した場合でも10 分以内に排水可能となるよう排水ポンプを6 台(24m³/min)設置した(図-4)。さらに、曳航が長時間・夜間作業となることや風浪の影響によりケーソンの動揺が大きい場合にも備え、浸水監視ならびに水中ポンプの遠隔操作が可能となるよう無線制御盤や自動発停発電機を設置した。これにより、ケーソン上に人が搭乗することなく安全に浸水監視および排水することが可能となり、曳航時のリスク回避を図った。

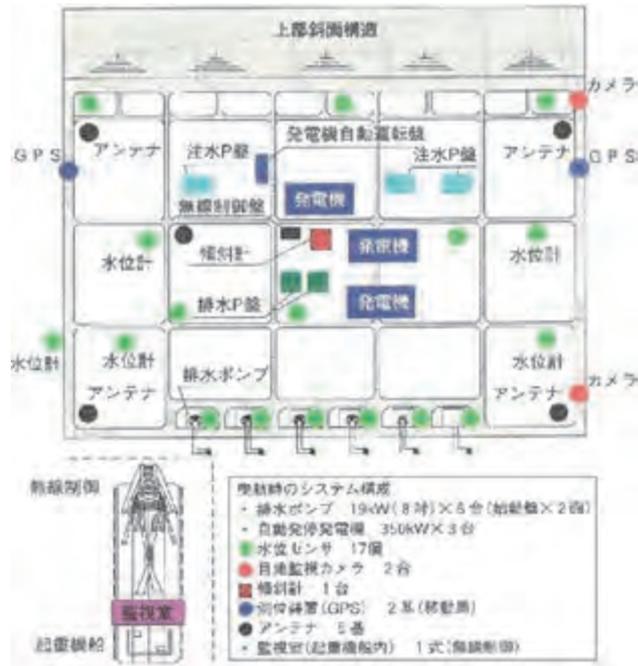


図-4 システム関連機器配置図

表-3 ケーソン曳航時の気象海象状況と曳航時間

名称	曳航日	曳航時間	天候	風速	風向	波高	周期	浸水
有孔面①	1月28日	10.0h	曇り	3m/s	WSW	0.38m	9.8s	無
有孔面②	2月15日	10.5h	晴れ	3m/s	W	0.41m	4.7s	無
有孔面③	2月20日	14.5h	晴れ	3m/s	W	0.42m	10.6s	無
有孔面④	2月29日	10.0h	晴れ	5m/s	SW	0.42m	6.6s	無

表-3 にケーソン曳航時の気象海象状況ならびに曳航時間等を示す。

3) UCIS を用いたケーソン据付管理

本工事では、有孔ケーソンの曳航後に行われた据付作業においても、引き続き UCIS を適用した施工を実施した。本来、UCIS はケーソン据付の支援を目的として開発されたもので

あり、注排水ポンプだけでなく据付ウインチの遠隔操作を含む完全無人化に対応することが可能である。ただし、本工事では、GPS 3 基、目地監視カメラ 2 台に曳航時の水位センサー、注排水ポンプの遠隔操作機能のみを用いることとした。

据付作業に際して、すべての作業を人力により実施した場合、注排水ポンプ操作等を含

表-4 ケーソン据付出来形

単位: mm

項目	測定位置	有孔面①		有孔面②		有孔面③		有孔面④	
		許容値	実測値	許容値	実測値	許容値	実測値	許容値	実測値
法線出入り	南側	±300	+70	±300	±0	±300	-10	±300	-18
	北側	±300	+105	±300	-25	±300	+5	±300	+3
目地間隔	港内側	300以下	160	300以下	164	300以下	155	300以下	207
	港外側	300以下	200	300以下	205	300以下	127	300以下	188

めケーソン上の作業員は約 15 名必要と考えられた。しかし、UCIS の持つ遠隔監視機能を用いることで据付作業に必要な情報がリアルタイムに確認可能となり、作業合図や目地緩衝材設置のための必要最低限人数である 5 名に削減できた。また、一連の据付作業の判断が正確かつ一元的に実施でき、作業の効率化が達成された。表-4 に据付出来形結果を示す。

4) UCIS を用いたケーソン中詰排水管理

東通原子力発電所港湾工事においては、サイト近傍海域が良好な漁場であることから、環境への影響を低減することが不可欠となっている。

特に、ケーソンの据付作業においては中詰材投入時の余剰水による濁りが発生することが多く、本工事においてもこれらを低減するための施工的な工夫が必要となった。このため、前工程と同様に UCIS を利用し、中詰材投入時に隔室内水位ならびに濁度をリアルタイムに計測し、排水量および周辺海域への濁度拡散防止を管理した(図-5)。

STEP①:ケーソン着底時に必要最低限の注水をする。

STEP②:ケーソン隔室間の通水孔を特殊治具にて閉塞し、各隔室部を独立した構造にする。また、水位調整用隔室部となる『A』を確保した上で、その他の隔室から『濁りのない余剰水』を 1 次排水する。

STEP③:排水を実施した隔室に中詰材を 1 次投入し、ケーソン中詰材の締固めにおいて必要最低限必要な水位を維持し、その上で『A』から濁りのない余剰水の 2 次排水を行う。

STEP④:全隔室内に中詰材の 2 次投入を行い、中詰投入を完了する。

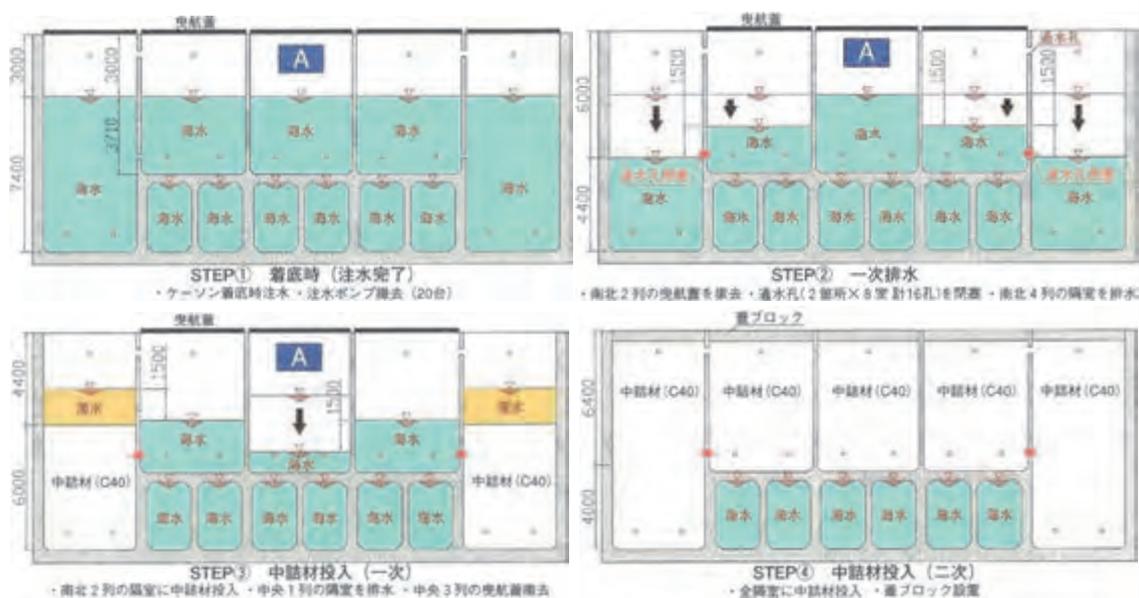


図-5 中詰・排水管理方法

(3) 結 果

ケーソンの曳航・据付・中詰排水管理の一連の作業において、UCIS を用いた情報化施工を実施し、各施工段階で以下に示す主な成果を得た。

1) ケーソン曳航管理について

通水路部からの浸水リスクが想定されたが、遠隔操作・監視機能を適用し、曳航時のリスク評価を踏まえた安全かつ確実な施工が実施できた。

2) ケーソン据付管理について

注排水ポンプの自動発停止等の遠隔操作を有効に活用し、安全かつ高い据付精度を確保した施工が実施できた。

3) ケーソン中詰排水管理について

排水ポンプの遠隔操作機能を適用することで、隔室内水位をリアルタイムに観測し、排水量を管理した。その結果、中詰材投入時に発生する余剰水の濁りを全く発生させず、周辺漁協関係者を含め高い評価を得た。

参 考 文 献	<ul style="list-style-type: none">・ 電力土木 No. 339 東通原子力発電所専用港湾における放水口ケーソン施工への情報化技術の適用 (一社) 電力土木技術協会 2009年1月 PP. 53~57・ Development of Unmanned Caisson Installation System(UCIS) ISARC (国際建設ロボットシンポジウム)2006 発表論文集 真鍋匠 PP. 62~65・ 実際に役立つ港湾の計算例 土木施工設計計算例委員会編 1975年 PP.89~98
備 考	(一財) 沿岸技術研究センター 港湾関連民間技術評価番号 (第 06004 号) NETIS 登録番号 KTK-060006-V「UCIS(ケーソン無人化据付システム)」

技術名	海上工事における無人化・自動化施工技術
番号	No. 4. 3-15
発注者	—
施設名	—
所在地	—
工事名称	—
施工期間	—
施工者	五洋建設(株)
キーワード	水中捨石均し機、ケーソン無人化据付、自動操船、作業効率向上、無人化施工、遠隔操作、高精度化、深層混合処理

(1) 概要

気象・海象条件が厳しく、波浪や潮位などの影響を受けやすい海上工事では、作業効率の向上と安全性の確保が重要であり、無人化施工や自動化施工技術の確立が望まれている。

このため、それらのニーズに応え水中ロボットを使用し無人で捨石マウンドの均し作業を行う「水中捨石均し機」、無人・遠隔操作によってケーソン据付作業を行う「ケーソン無人化据付システム」および自動で改良位置への移動と地盤改良を行う「深層混合処理船の自動化」の3つの施工技術を開発した。

(2) 技術詳細

1) 水中捨石均し機 (SEADOM)

遠隔操作による無人での水中均し作業を可能とした施工ロボットである本機は、水中の均し作業を行う「均し機本体」、揚重機能を有し、均し機を運転・操作する制御室を配置した「支援母船」および陸上に設置される GPS 基準局から構成される。

均し機は、ガット船等で捨石を所定の区域へ投入した後に均し作業を行う 8 脚歩行式の水中ロボットである。8 脚は、各々 4 脚づつ本体脚および移動脚より構成され、支援母船上より均し作業に必要なすべ

での動作が遠隔操作される。均し機には、GPS 移動局 (RTK-GPS) を設置し、本体に搭載したジャイロと連動させることにより、高精度な平面位置および深度を管理している。均し作業は、均し機に装備したレーキで捨石を均した後、ローラで転圧を行う。



図-1 均し機による施工概念図

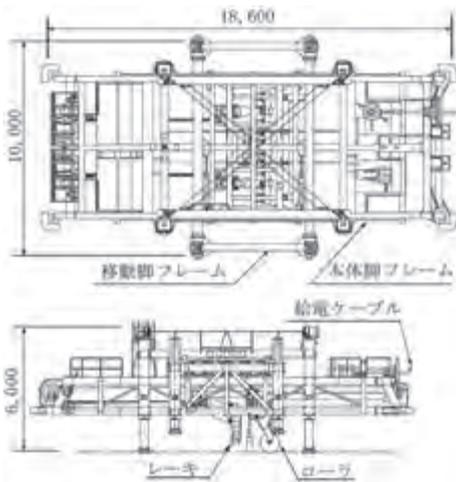


図-2 水中捨石均し機概略図

[特 徴]

- ・標準均し面積で約 200(m² /日)といった大量急速施工が可能
- ・均し作業の操作がすべて海上から遠隔操作できるため安全性が向上(人力による潜水均し作業が不要)
- ・大水深(-35 m)における均し作業が可能
- ・レーキによる均し後, ローラによる転圧を行うことにより捨石の規格に応じた均しが可能
- ・RTK-GPS を使用した高精度な位置出しが可能
- ・均し精度が± 5 cm と高い
- ・作動油に地球環境にやさしい生分解性タイプを使用

① 自動歩行等高度な制御技術

均し機は、前後および左右への移動およびレーキやローラの移動・伸縮等の動作用の各種油圧シリンダやウィンチ位置や移動量を計測するための最新のセンサが搭載されている。これらの情報をすべて一元管理し、状況に応じて自動歩行や手動運転を実現するための高度な制御技術を搭載している。また均し機は、高さ調整や水平調整機能等を装備しており、RTK-GPS やジャイロ等のデータを基にリアルタイム表示される画面を注視しながら精度よく、かつ確実に均し作業を行うことができる。

② リアルタイムに捨石面高さを測定する技術

均し機は、転圧用ローラ近傍に左右 1 台ずつ計 2 台の超音波を利用した地形測定器を有している。この計測結果はリアルタイムに操作卓に直接表示される。そのためオペレータは、捨石均しの出来形状況を把握しながら作業が可能のため、手戻りのない効率的な均し作業が可能となる。

③ ワンマンコントロール可能な操作卓

遠隔操作を行う操作卓は、均し機の位置や状況を表示する画面や、すべての操作をワンマンコントロールできるボタンやスイッチを備えている。オペレータは、均し機の状態が一見して判断できる画面を常に注視し、自動/手動運転が容易に行えるスイッチ等を操作することにより状況に応じた運転を実現している。

④ 高精度な位置出し技術

均し精度± 5 cm 以内を実現するためには、高精度な平面位置 (X, Y 方向) とともに深度方向 (Z 方向) においても、センチメートル単位の位置出し方式が必要となる。均し機は、RTK-GPS とジャイロを組み合わせることにより、高精度な位置出しを可能としている。

2) ケーソン無人化据付システム (UCIS)

ケーソン無人化据付システムとは、ケーソン据付け時にケーソン上から作業員を排し、遠隔操作でケーソンを据付けるためのシステムである。

本システムを使用することによりケーソンの位置、傾斜や各隔室の水位測定をリアルタイムに一元管理しながら据付作業を行えるため、作業の高効率化、高精度化を可能とし、ケーソン上から作業員を排することで作業の安全性も確保できる。

図-3 に示す通り、ケーソン上には、ケーソンの位置および方位を計測する RTK-GPS 受信機、ケーソンの傾きを計測する傾斜計、各隔室の水位を計測する水位計、ケーソンの喫水を計測する吃水計、引寄せウィンチ、注排水ポンプ、監視カメラ、および無線制御盤を搭載している。また、遠隔操作室には、ケーソン上の装置を遠隔地から監視・操作する操作盤を設置している。

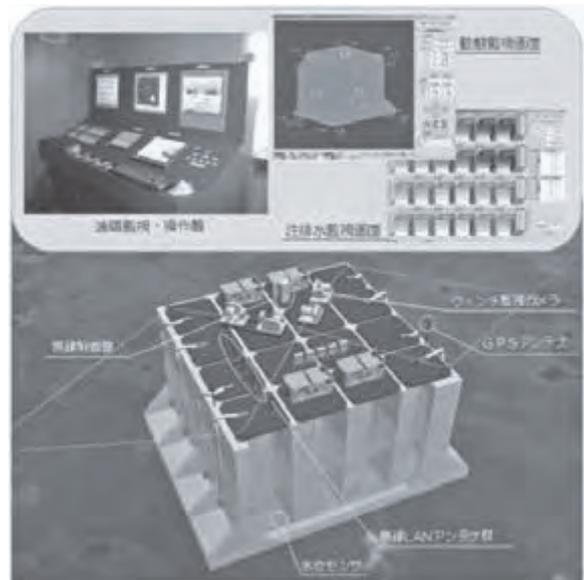


図-3 ケーソン上配置機器と遠隔監視・操作盤

[特徴]

- ・従来と同等以上の作業効率で据付が可能
- ・据付ケーソン上に作業員を配置せず安全に据付が可能
- ・作業状況のリアルタイムな一元管理により高精度な据付が可能
- ・遠隔監視・操作盤により、ワンマンオペレーションが可能

① 遠隔監視技術

ケーソンの位置、傾斜、各隔室の水位、およびウィンチや注排水ポンプの動作状況をデータや映像等で遠隔地から監視を行う。

② 遠隔操作技術

ウィンチや注排水ポンプの遠隔操作を行う。

③ 多重安全回路技術

非常停止通信を複線化し無線 LAN の 1 系統がリンクダウンしても他系統の無線 LAN で緊急停止させる。また、ウィンチの遠隔操作には自己保持回路を採用せず、作動信号を連続で送信している。万一、無線 LAN が通信不通になった場合、ウィンチを自動停止させる。

④ 危険予測・回避技術

ウィンチや注排水ポンプの負荷状態を遠隔監視するとともに、過負荷の状態に陥った場合は、警報で通知する。また、ウィンチには任意に設定した荷重以上の力がワイヤーに働いた場合、自動的にワイヤーをリリースするトルクリミッタを設けている。

3) 深層混合処理船の自動化

ポコム12号は、2010年に建造された最新鋭の深層混合処理船であり、自動操船システムや自動打設システムなどで数々の自動化を図っており、改良機の昇降や本船の移動、スラリープラントの運転等、集中コントロールによるワンマン運転が可能となっている。

① 自動操船システム

自動操船システムは、GPSの位置情報と6台の操船ウィンチが連動し、予め登録されている地盤改良の設計座標に自動で本船を誘導し、位置決めが出来るシステムである。半自動モードでは前後左右のレバーだけで本船の移動も可能であり、従来6台のウィンチを別々に操作していた場合と比較して、ワイヤーの乱巻を心配することもなく、簡単にかつ安全に本船の移動が可能となっている。ワイヤーの乱巻を防止するには、繰り出される側のワイヤーを常に張っておく必要がある(以下、バックテンション)、ハーフブレーキや油圧リリーフで行われることが一般的であるが、本船ではインバータ駆動の電動モータで常にバックテンションをコントロールして安全性を高めたとともに、ワイヤーが繰り出されるときにエネルギーを電源回生することで環境面にも貢献している。

② 自動打設システム

自動打設システムは、改良機の貫入から引抜、回転軸の速度変更、セメント系安定処理剤の吐出といった地盤改良における一連の動作を自動で行うものである。潮位計、喫水計、傾斜計、改良機の荷重計などのデータを基に、トリムおよびヒールに対応した自動バラストシステム、自動調整型クランプなどとも連動し、ヒューマンエラーの防止と施工精度の向上に役立っている。本船ではLANによりネットワーク化されており、打設管理画面や船位管理画面は、操作室以外の事務室、食



図-4 深層混合処理船全景

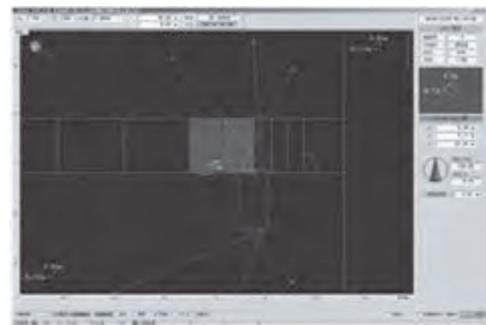


写真-1 船位管理画面



写真-2 打設管理画面

堂、応接室、休憩室などでも大型ディスプレイで表示している。また無線 LAN は携帯型 IP 電話、Web カメラなどにも活用され、施工状況の把握や乗組員間の連絡に役立っている。

(3) 結 果

1) 水中捨石均し機 (SEADOM)

1日当たりの作業能率は約 200m²であり、潜水作業員による均し作業と比較して約 20~40 倍の効率化が可能となる。

2) ケーソン無人化据付システム (UCIS)

現在、本システムを使用したケーソンの据付実績は、20 函以上であり、無事故無災害で作業を完了している。また、過去据付実績の作業効率の向上と作業の安全性から、本システムの有効性と安全性が確認できている。

3) 深層混合処理船の自動化

集中コントロールによるワンマン運転により施工精度の向上や省力化を図ると同時に乗組員に対する安全性も向上した。

参 考 文 献	建設の施工企画 (2012 年 5 月) PP. 28~32
備 考	—

技 術 名	ケーソン据え付け誘導システム
番 号	No. 4. 3-16
発 注 者	国土交通省九州地方整備局
施 設 名	志布志港
所 在 地	—
工 事 名 称	志布志港(若浜地区)防波堤(沖)築造工事
施 工 期 間	2012年4月～現在
施 工 者	東洋建設(株)
キーワード	防波堤ケーソン、無人化施工、遠隔操作、注水自動化、トータルステーション
<p>(1) 概 要</p> <p>近年、安全性の向上、品質の確実な確保、生産性向上・工期短縮の観点から情報化施工技術の研究・開発が進み、情報化施工技術を用いた無人化・自動化システムの導入・普及が進んでいる。しかし海洋工事においては、気象・海象が複雑であることから、まだ陸上施工ほどの導入実績は多くない。特にケーソン式防波堤築造工事は、厳しい条件のもとで施工が行われ、ケーソンを操る操函ワイヤーの破断によるはねられ事故や、ケーソン動揺による作業員の海中転落などの危険作業を伴う。そこで当社では海洋工事での無人化・自動化施工について取り組みを行う中で防波堤ケーソン据付における無人化施工システムを構築し運用しており当システムをより安全性の向上、品質確保を進めるため注水管理を自動化すると共に、高精度の三次元管理が可能となるシステムである。</p> <p>(2) 技術詳細</p> <p>ケーソン据付は、製作されたケーソンを所定の据付位置まで曳航し、ケーソン上に設置してある操函ウィンチを用いて正確な位置決めを行い、注排水ポンプを用いて隔室内にバランスよく注水し水平性を保ちながらケーソンをマウンド上に着底させる。</p> <p>無人化施工システムの品質と作業効率の向上を目指し、注水作業を自動化する手法を開発し現場での運用を行っている。注水作業を自動化することで、水平性を保つための注水管理から解放されることで、位置誘導に集中することが可能となる。</p> <p>自動注水管理方法の構成を図-1に示す。注水管理システムにおけるケーソン情報は2軸の傾斜計と各隔室内に設置してある水圧計の情報を元に演算しており、誘導システムと合わせて三次元管理を行っている。気象・海象条件が複雑に変化する海洋での自動化には、高速な処理能力と安定性が求められるため、制御部にはPLCを用いた。PLCは階層制御、フェイルセーフ制御、監視制御、高度な演算制御が可能である機種を選定している。注水システムの計測値をPLCに伝送し、PLCのプログラムにより、ポンプの稼働、停止の制御を行った。制</p>	

御は隔室の水位とケーソンの傾斜により行われる。

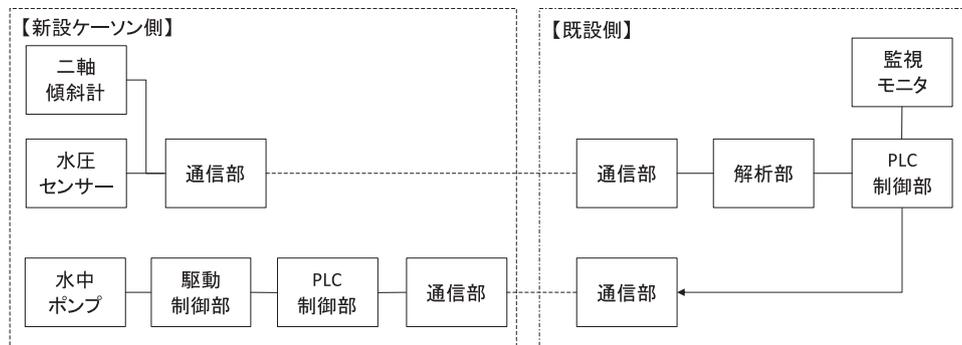


図-1 自動注水管理構成図

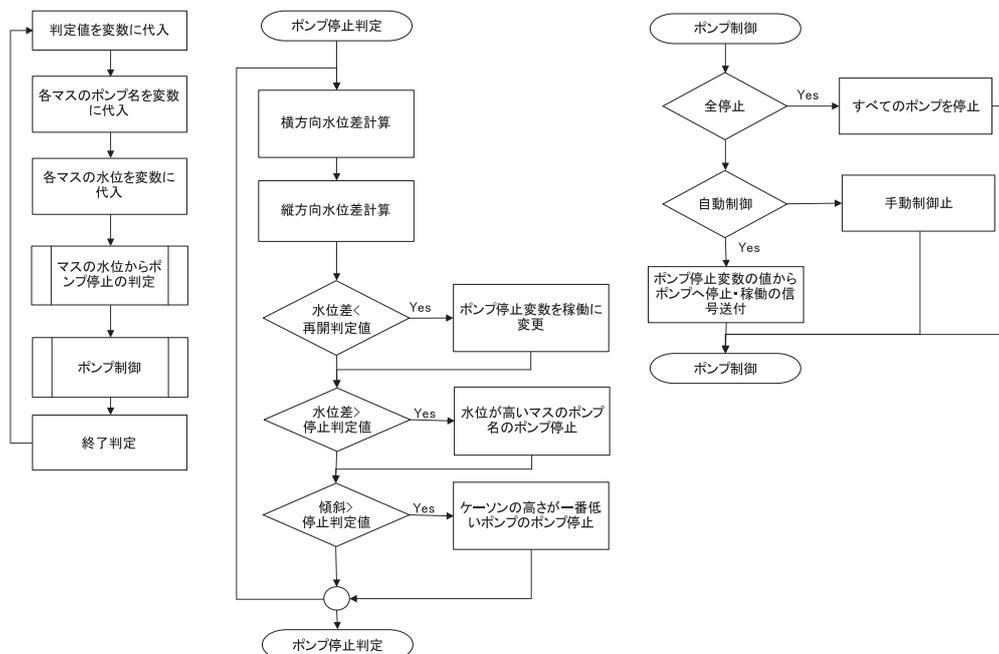


図-2 自動注水制御フロー図

ケーソンは、形状や注水の状況による傾きのほかにうねりによる外的な要因により動揺する。ケーソンの傾斜を正確に把握するには、外的な動揺を取り除くことで現在のケーソンの状況把握をすることができる。自動注水管理システムでは外的な動揺を、移動平均法を用いて取り除いており、注水によるケーソンの水平性を把握しやすくしている。注排水制御方法についてのフローを図-2に示す。ポンプの停止判定は隣接する隔室の水位差を設定しておき、設定よりも水位差が大きくなったときにポンプを停止し、水位差が小さくなったときにポンプを再稼働させる。ケーソンの傾きが大きくなったときにもポンプを制御して傾きを修

正する。つまりケーソンの傾きの上限値を事前に設定しておき、設定値よりも大きくなったときにケーソン天端の一番低い箇所のポンプを停止させ、傾きが小さくなったときには、ポンプによる注水を再開する。また安全対策として、ポンプを再稼働させる際には、発電機への負荷軽減の為、同時起動を防ぐ手法を取り入れている。

(3) 結果

本システムを用いてケーソン据付施工を行った例を示す。ケーソンの形状を図-3に示す。ケーソンは20m×25m×16m (L×B×H)、4×5 (20室)の隔室を有する形状である。注水制御を行うため、隔室を大きく4ブロックに分け、各ブロックに2台ずつ計8台の注水ポンプをセットし制御した。制御値は隔室間の水位差が80cm以下かつケーソンの傾きが1%以下になるように制御を行った。図-4に運用した際のシステム画面及び施工状況図を示す。運用結果はケーソン傾斜平均が1°以内に制御しかつ、隔室内水位の最大差は75cmで制御することができた。また複数ポンプの運転操作を自動制御することで、人為的な錯誤の発生をなくし、精度の高い据付を行うことができた。

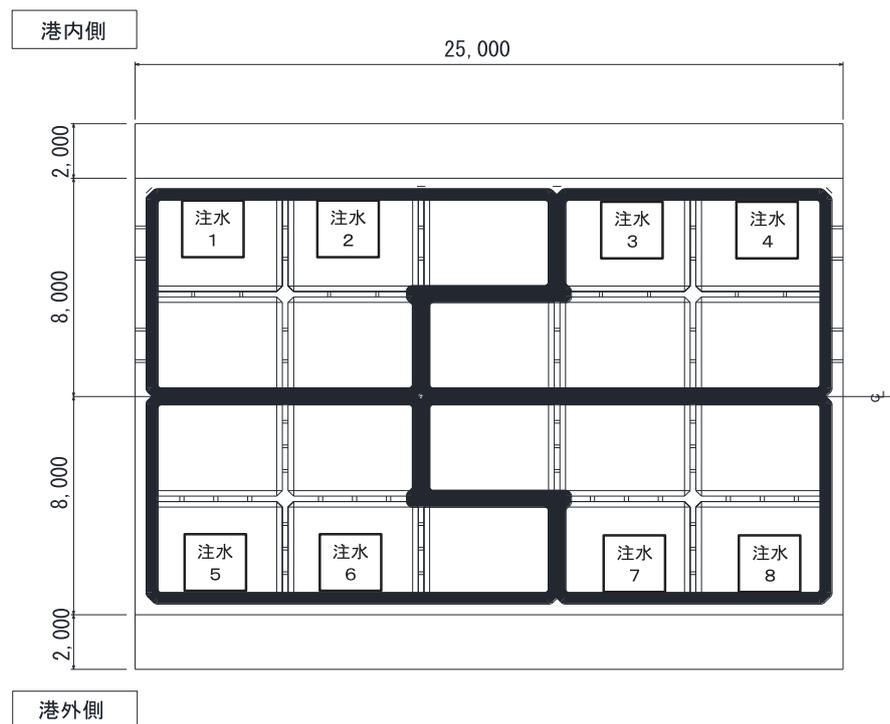


図-3 ケーソン形状図



図-4 注水管理サブシステム図



写真-1 自動注水制御図



写真-2 システム運用状況図

<p>参考文献</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・防波堤ケーソン据付における無人化施工、土木学会年次講演会講演概要集 No. 6、pp. 555-556、2012 ・ケーソン据付無人化施工における自動注水管理、土木学会年次講演会講演概要集
<p>備考</p>	<p>NETIS 登録番号 (CBK-130002-A) ケーソン据付システム 函ナビ</p>

技 術 名	ケーソン据付の安全性・施工性向上技術
番 号	No. 4. 3-17
発 注 者	沖縄総合事務局
施 設 名	港湾施設
所 在 地	—
工 事 名 称	那覇港浦添ふ頭防波堤築造工事
施 工 期 間	2014年3月～2015年3月
施 工 者	(株)本間組
キーワード	ケーソン無人据付、トータルステーション、監視カメラ
<p>(1) 概 要</p> <p>ケーソン据付工事は、作業員のつまずき・転倒、ワイヤロープとの接触などへの安全対策が重要である。また、情報錯綜による誤操作への対応として、連絡指示システムの効率化・一元化や、作業指揮者の経験の度合いによる据え付け精度のばらつきが生じていたため、据付精度の確保も望まれている。</p> <p>本技術は、「HONMA 函体据付システム」に加え、集中制御室で函体水位・函体位置制御用ウインチを遠隔監視および遠隔操作することでケーソン据付作業を、一元監視管理、制御するシステムである。</p> <p>(2) 技術詳細</p> <p>本技術は、4つの技術を連携させ、ケーソン据付時のケーソン上での作業を無くし、集中制御室からの遠隔一元監視、管理、制御出来るシステムである。</p> <p>1) トータルステーションと水中カメラ技術</p> <p>3台の自動追尾型トータルステーションにより函体の位置と向き・傾きを計測する。 水中カメラにより、ケーソンフーチング付近の目地間隔を監視する。</p> <p>2) 水圧センサー</p> <p>函内の注水状況を監視し遠隔操作により注水ポンプを操作する。</p> <p>3) 作業状況監視カメラ</p> <p>ウインチカメラ、注水監視カメラ、目地部監視カメラにより据付状況を遠隔地から監視する。</p> <p>4) 函体位置制御用ウインチ遠隔操作システム</p> <p>遠隔地からウインチを操作し函体を所定の位置へ据付ける。</p>	

4つの技術を連携させ、ケーソン掘削時のケーソン上での作業を無くし、集中制御室からの遠隔一元監視、管理、制御できるシステムです。



図-1 システム概念図

HONMA固体掘削システム、掘削水位、各監視カメラ映像が集中制御室で一元管理できます。

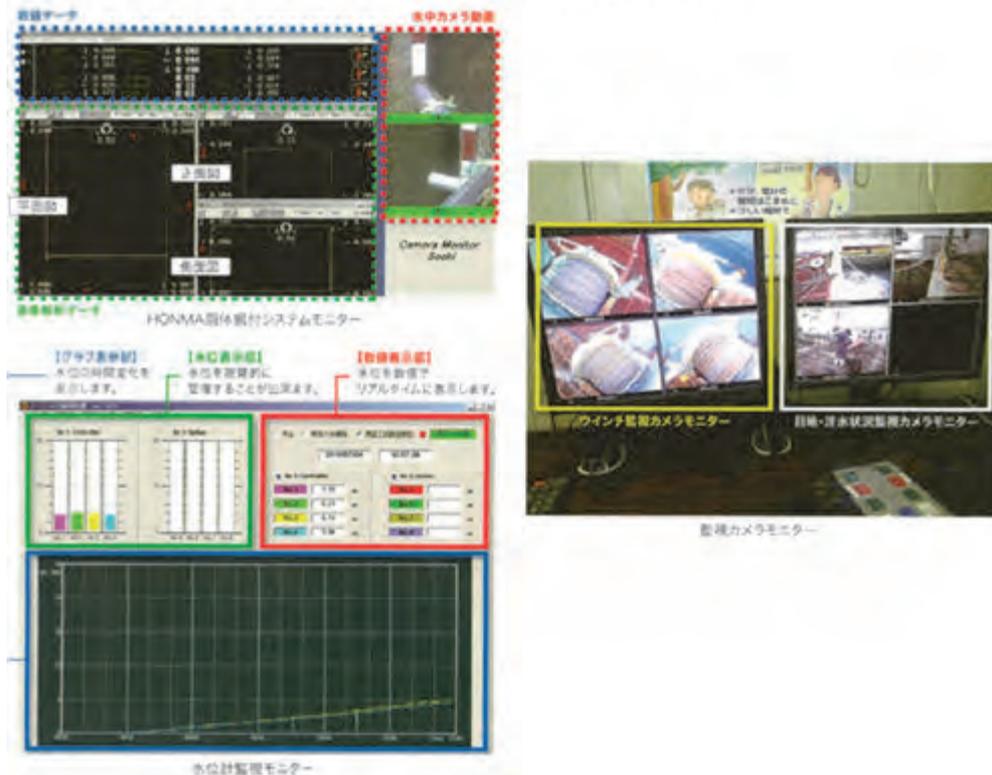


写真-1 システム画面

(3) 結 果

1) ケーソン据付の効率化と安全性の確保

- ① 集中制御室で一元監視、管理、制御を行うことで、情報伝達や機器操作の面で効率化を図る。
- ② 函内水位およびケーソンの位置の制御に関するケーソン上の作業をなくすことでそれに伴う危険を排除することができ、安全性が向上する。
- ③ 水中部、気中部における新設ケーソンと既設ケーソンの近接状況を動画監視することができるので接触防止をより確実に図ることができる。

2) ケーソン据付精度の確保

- ① ケーソンの据付許容範囲内で設置できるだけでなく、ケーソンの平面的な位置や姿勢をリアルタイムに定量的かつ視覚的に把握することで、的確な誘導指示を行うことができる。

適用事例：

平成 26 年度内閣府沖縄総合事務所 那覇港（浦添ふ頭地区）防波堤（浦添第一）築造工事にてシステムを適用した。



写真-2 システム適用事例

参考文献	(株)本間組：ケーソン据付の安全性・施工性向上技術（技術リーフレット）
備考	・NETIS HRK-110002-A 「HONMA 函体据付システム」 ・NETIS HRK-160002 「函体据付効率化施工システム」 ・特許 第 5557163 号

4.3.5 航行安全

【港湾施設／航行安全】

技術名	COS-NET（船舶航行監視システム）
番号	No. 4.3-18
発注者	国土交通省 九州地方整備局
施設名	—
所在地	福岡県福岡市中央区那の津5丁目地先
工事名称	博多港（中央航路地区）航路（-12m）浚渫工事（北9工区）
施工期間	2013年12月～2014年7月
施工者	東亜建設工業・みらい建設工業共同企業体
キーワード	位置管理、運航管理、船舶航行

(1) 概要

本工事は、博多港（中央航路地区）での航路浚渫を行うものであった。この中で、一般航行船舶の可航幅を確保するために、グラブ浚渫船の位置管理や土運船の運航管理、および一般航行船舶の動静を確認する必要がある。そこで、工事中船舶の位置情報を随時把握するために「COS-NET（船舶航行監視システム）」を用いた。

(2) 技術詳細

1) システム概要

- ① インターネット回線があれば、全国どこでも運行状況の確認が可能
- ② モニター付端末では、詳細な地図データによるナビゲーションが可能
- ③ AISからの情報を受信して表示が可能
- ④ 必要な位置データ収集間隔と、負担可能なコストバランス
- ⑤ パケット通信料は位置収集間隔に依存する
- ⑥ 事務所には、インターネット接続環境が必要

2) 作業状況および COS-NET 画面等



図-1 全体平面図



写真-1 浚渫状況



写真-2 浚渫土砂運搬状況



写真-3 COS-NET による船舶動向の確認



図-2 COS-NET 画面

3) 実施規模

浚渫工 グラブ浚渫 (278, 231 m³)、土捨工 (1 式)

(3) 結果

本システムの採用による工事用船舶の位置管理、運航管理、および一般航行船舶の動向確認を行い、一般航行船舶の可航幅を確保して安全に工事を行うことができた。

参考文献	—
備考	<p>【工法 (特許、NETIS 登録等)】 NETIS 登録番号 (CBK-120001-A)</p> <p>【工事实績】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・撫養港海岸桑島瀬戸地区堤防改良工事 (その 4) (国土交通省 四国地方整備局 工期 : H26. 1~H26. 5) ・関門航路 (六連島西側地区) 航路 (-15m) 浚渫 [暫定-14m] 工事 (国土交通省 九州地方整備局 工期 : H25. 6~H26. 3) <p style="text-align: right;">他</p>

記入者	ブイ位置遠隔監視システム
番号	No. 4. 3-19
発注者	国土交通省 九州地方整備局
施設名	—
所在地	大分県大分市大宇神崎地内
工事名称	大分 10 号別大拡幅高崎山地区第 11 工区改良工事
施工期間	2009 年 10 月～2011 年 10 月
施工者	東亜建設工業(株)
キーワード	浮標灯、遠隔監視
<p>(1) 概要</p> <p>1) 工事背景</p> <p>本工事は、大分県国道 10 号別大拡幅事業の一環として、高崎山地区の護岸工事を行うものであった。その際、工事区域を明示した浮標灯の位置が護岸から 300m 離れているため、目視での常時監視を行うことは不可能であった。そこで、GPS を利用したブイ監視システムにより浮標灯の位置を常時監視し、一般船舶への工事区域明示が確実に行われていることを確認して、一般航行船舶の安全を確保した。</p> <p>2) 技術概要</p> <p>浮標灯に簡易 GPS を取付け、定時的に浮標灯の位置データを事務所のパソコンに受信・監視することで、浮標灯の位置を常時監視し、維持管理を行った。これにより、夜間・荒天時においても現在位置を確認し、一般船舶への工事区域明示が確実に行われていることを確認して、一般航行船舶の安全を確保した。また、1 時間ごとに位置情報を事務所で受信する設定や流出時に警報を鳴らす設定を行うことにより、流出時の対応を迅速に行うことが可能であった。</p> <p>(2) 技術詳細</p> <p>1) システム概要</p> <ol style="list-style-type: none"> ① GPS 機能付パケット通信端末を特殊ケースと組み合わせてブイへ設置し、動静を把握 ② 任意の設定時間で全てのブイの位置を把握可能 ③ 稼働中の船舶航行管理システム「COS-NET」を利用。高い信頼性を確保 ④ ブイの流出などの異常をメールにて管理者に通知。迅速な対応が可能 ⑤ 事務所にインターネット接続環境が必要 ⑥ 携帯電波状況と上空視界の確保が必要 ⑦ 効率のよい電源の使用方法の検討が必要 	

⑧ 専用モニタリング端末の開発が必要

2) 全体平面図、GPS 取付状況、および管理画面

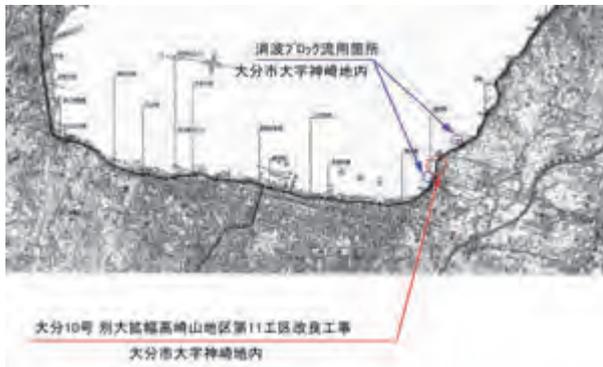


図-1 全体平面図

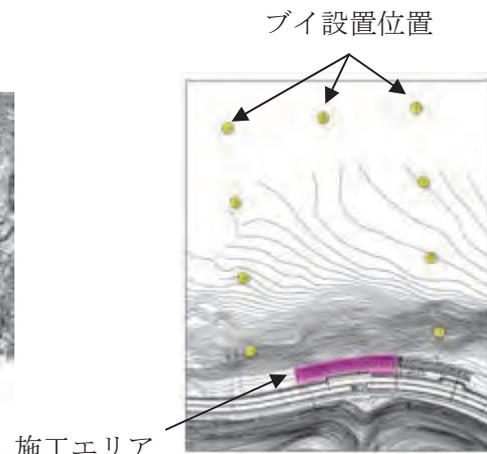


図-2 平面図



写真-1 GPS 取付状況



写真-2 管理画面

3) 工事規模、仕様

護岸延長：126m

作業区域：200m×300m

ブイ側端末仕様：端末ケース寸法（縦：25cm 横：8cm）

電池ケース寸法（縦：35cm 横：10cm）＜単1電池×12本収納＞

トータル重量：5Kg 程度



写真-3 ブイ側端末



写真-4 浮標灯設置

(3) 結果

本システムの採用により浮標灯の位置を常時監視し、一般船舶へ工事区域の明示が確実に行われていることを確認することにより、一般航行船舶の安全を確保することができた。

参考文献	NETIS ホームページ：ブイ位置遠隔監視システム(KTK-110001-A)
備考	<p>【工法（特許、NETIS 登録等）】 NETIS 登録番号（KTK-110001-A）</p> <p>【工事实績】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・新潟港（西港地区）第二西防波堤築造工事 （国土交通省 北陸地方整備局 工期：H22.4～H22.11） ・熊本港（夢咲島地区）航路（-7.5m）浚渫工事（第2次） （国土交通省 九州地方整備局 工期：H22.2～H22.9） <p style="text-align: right;">他</p>

4.3.6 施工管理

【港湾施設／施工管理】

技 術 名	水中転落者早期検知システム
番 号	No. 4. 3-20
発 注 者	—
施 設 名	—
所 在 地	—
工 事 名 称	—
施 工 期 間	—
施 工 者	五洋建設(株)
キーワード	IC タグ、落水者検知
<p>(1) 概 要</p> <p>海上工事では、万が一の水中転落に備えてライフジャケットを着用しているが、人が水に浮いた状態で生きていられる時間は、水温 0℃で約 20 分、10℃で約 1 時間、20℃で約 6 時間（いずれも生存確率 50%）といわれている。つまり、救命には早期の発見・救助が必須である。従来は水中転落者がライフジャケットに付属している笛を吹いて水中転落を知らせていたが、笛の音が周囲に聞こえない場合や、水中転落者自身が笛を吹けない状況などもあり、水中転落者の発見に関して有効な手段がなかった。そこで、作業員が IC タグを携帯することで、水中転落の発生を即座に検知し報知するシステムを開発した。</p> <p>本システムは、作業員が水中へ転落した際に、転落を検知・報知するものである。作業員はアクティブ型無線 IC タグ（子機）を携帯し、作業船のブリッジ等にはレシーバー（親機）を設置する。IC タグとレシーバーは常時無線で通信を行うが、作業員が水中に転落して通信が途絶えた場合、30 秒程度で警報を発するとともに、あらかじめ登録した電話番号へ自動通知し、電子地図上に水中転落が発生したときの作業船の位置を表示する。</p> <p>(2) 技術詳細</p> <p>1) 特 徴</p> <p>① 水中転落者の発生を確実に検知できる。</p> <p>作業員はアクティブ型無線 IC タグ（子機）を携帯し、作業船のブリッジ等にはレシーバー（親機）を設置する。IC タグとレシーバーは常時無線で通信を行う。本システムは、IC タグから水中転落情報を無線送信するのではなく、水中転落で IC タグが水没することにより IC タグとレシーバーの常時通信が途絶えて、検知する仕様としている（電波は、海や川などの水中では減衰が激しく、ほとんど伝播しないため）。IC タグから水中転落情報を無線送信する仕組みでは、電波障害などにより水中転落情報が届かない場合や、IC タグの電池切れにより作動しない危険が想定されるが、本システムの仕組みでは、確実に水中転落の発生を検知できる。また、常時通信の途絶が連続で 30 秒間程度継続した場</p>	

合、水中転落の発生と認識する設定にしており、IC タグとレシーバー間の常時通信の瞬断による誤検知を防止している。なお、IC タグは水深 5 cm 以上の水没時に検知できるため、ライフジャケットを着た人が水中転落した場合、確実に 5 cm 以上水没する腰部に専用ベルトで装着する仕様としている。

② 水中転落者の発生を 30 秒程度で、指定した場所に報知できる。

作業員が水中に転落して通信が途絶えた場合、30 秒程度で警報を発するとともに、あらかじめ登録した電話番号へ自動通知する。

③ 水中転落後の対応を迅速に行うため、水中転落者を特定できる。

IC タグには ID が付いているため、どの作業員が水中に転落したか特定できるシステムとなっており、レシーバーは最大 20 機の IC タグを識別することができる。

④ 水中転落時における作業船や曳航体の位置、および時刻を記録し表示する。

電子地図上に水中転落が発生した時の作業船などの位置と時刻を表示する（図-1）。

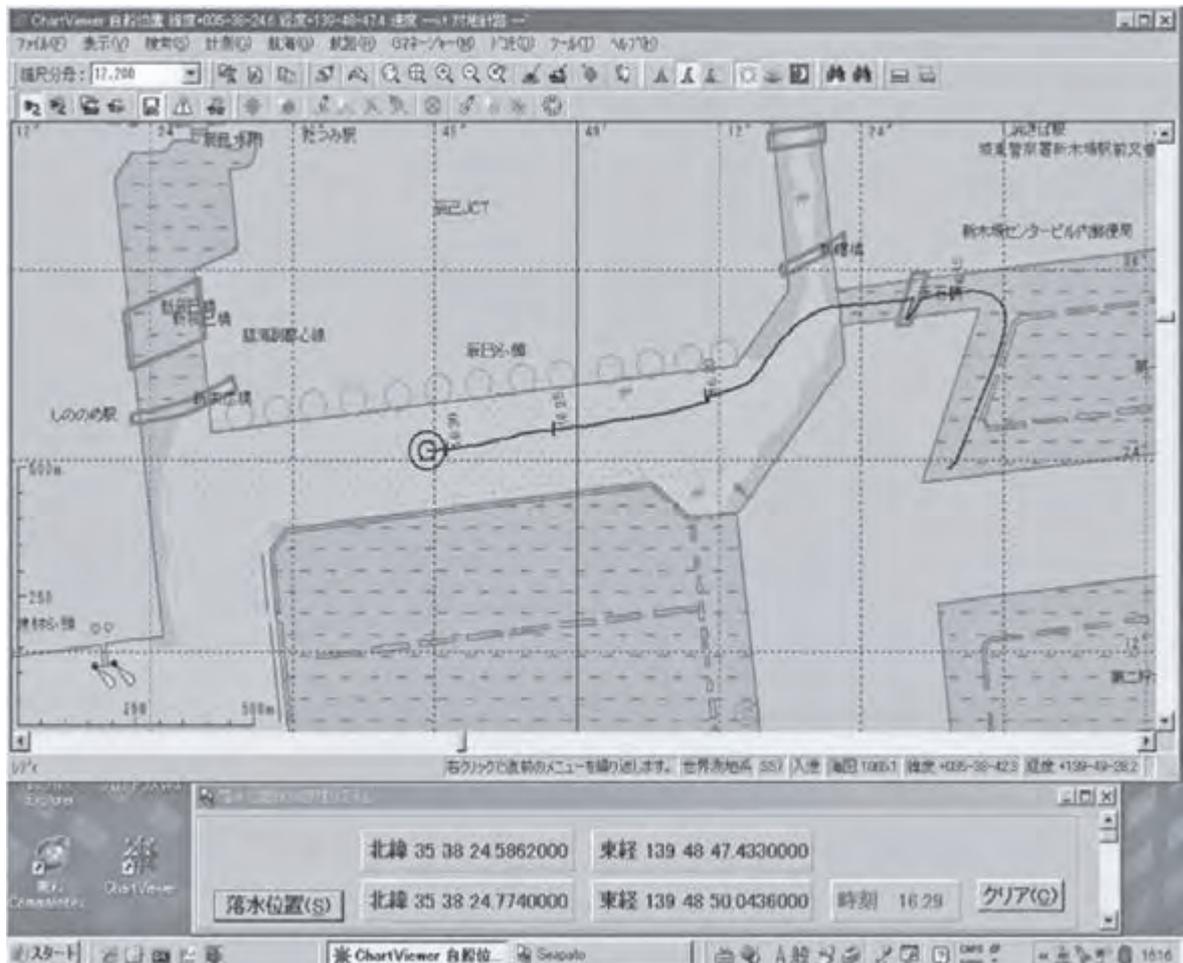


図-1 電子地図上の作業船の位置情報

2) システム概要



図-2 システム概要図

(3) 結果

1) 性能確認試験結果及び効果

IC タグによる水中転落者早期検知システムを活用することにより、

- ① 性能確認試験結果から、水中転落が確実に検知され、システムが作動したことが確認された。
- ② 性能確認試験結果から、水中転落が確実に報知され、約 30 秒で指定した場所(警報、携帯電話、パソコン)に報知したことが確認された。
- ③ 性能確認試験結果から、水没した IC タグ (水中転落者) が特定できたことが確認された。
- ④ 性能確認試験結果から、落水の発生、落水時の作業船や曳航体の位置および落水時刻が記録されていることを確認した。

2) 実績及び評価

同工法は、2008 年から使用され始めて、2014 年 4 月現在では 22 件の施工実績がある。

また、平成 22 年 6 月 11 日に (財) 沿岸技術研究センターから技術評価証を取得。

施工実績：久慈港港湾口地区防波堤 (南堤) 基礎工事 (その 3) 他

<p>参考文献</p>	<p>・五洋建設(株)ホームページ： http://www.penta-ocean.co.jp/business/tech/civil/oceanic/detection_system.html ・建設の施工企画：新工法紹介、P. 70、2011 年 2 月</p>
<p>備考</p>	<p>特許番号 第 5559488 号</p>

技 術 名	自動測量・掘削土量管理システム
番 号	No. 4. 3-21
発 注 者	沖縄電力(株)
施 設 名	火力発電所
所 在 地	沖縄県
工 事 名 称	1・2号機 C/C 発電設備新設工事
施 工 期 間	2007年1月～2013年9月
施 工 者	清水建設(株)、なお本技術は(株)大林組の保有技術である。
キーワード	取放水設備、推進工法、掘削土量管理

(1) 概 要

1) 工事概要

本発電所建設工事において最も大規模な土木設備は取放水設備である。本発電所では前面海域が遠浅であったため取放水口は沖合に設けられ、環境（サンゴ）保全のため取放水管に推進工法が採用された結果、我が国でも最大規模の大口径・長距離推進、かつ水中到達の工事となった。

取放水管は大口径（ $\phi 2,800\sim 3,000\text{mm}$ ）、長距離（ $L=565\sim 663\text{m}$ ）、水中到達という条件に加えて、最少土被り厚 $5.0\sim 5.5\text{m}$ の区間もあるなど特殊な施工条件のため、緻密な施工管理が重要となった。



写真-1 発電設備エリア

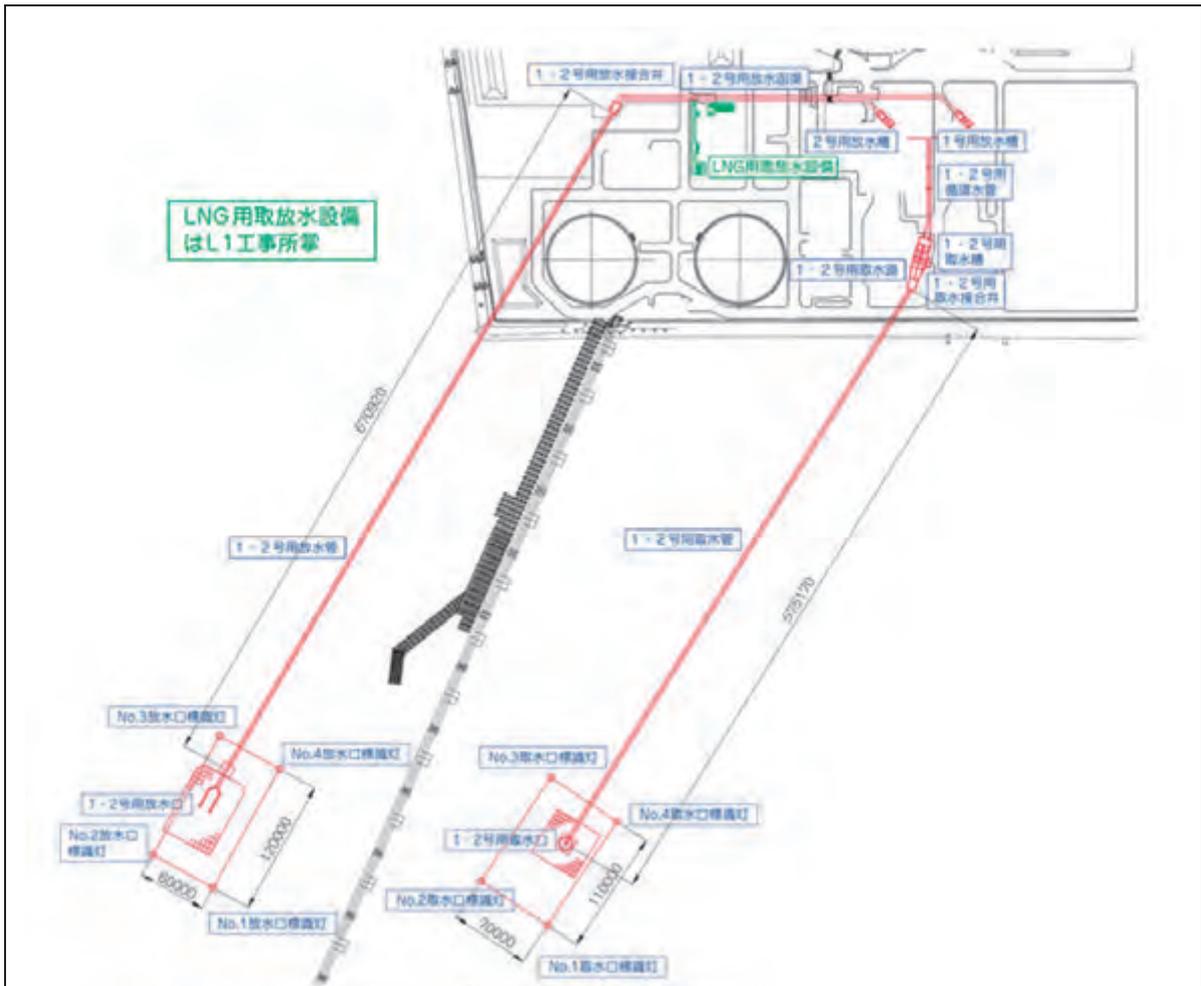


図-1 取放水設備全体平面図

2) 施工法の概要

① 取水口・放水口

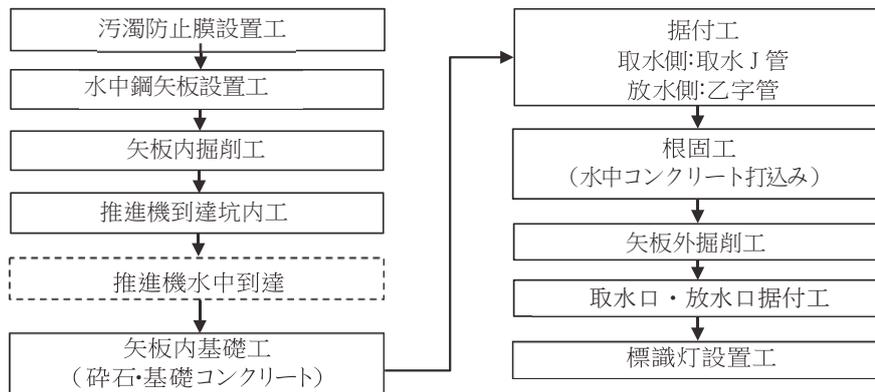


図-2 取水口・放水口施工フロー

取水口・放水口の施工は工程短縮やコストの観点から全て水中施工で実施した。取水J管、取水口、放水乙字管・Y字管、放水管は350t吊級起重機船を使用し、所定の位置に設置した。本工事において使用する仮設資機材は近隣の漁港を借用し、都度運搬した。浚渫残土については、仮設栈橋供用開始前であったため、借用した漁港に一旦荷揚げし、その後発電所盛土施工箇所へ再運搬した。

当発電所は中城港湾内に建設されたことから、近隣漁港への影響を最小限に抑えるため、通常の汚濁防止膜の設置に加え、特に海底を改変する鋼矢板工・浚渫・根固工施工時には施工範囲に汚濁防止枠を設置し、定期的に周辺海域の濁度監視も行いながら、海域の汚濁防止に細心の注意を払った。また、多発する台風や悪天候による大しけが発生する都度、船舶退避や汚濁防止膜の養生作業が発生し、通常作業に復帰するのに1週間程度の期間を要したため、工程確保に苦心した。



写真-1 取水口 J管設置状況



写真-2 放水口設置状況

② 取水管・放水管

取水管 ($\phi 3,000\text{mm}$, $L=565.228\text{m}$, 最小土被り厚 5.5m), 放水管 ($\phi 2,800\text{mm}$, $L=663.870\text{m}$, 最小土被り厚 5.0m) の推進工法は土質条件からは泥水式, 土圧式共に施工可能であったが, 海中到達・推進機回収という特殊な条件であることから, 施工実績のある泥水式推進工法を採用した。また, 大口径, 長距離推進であることを考慮し, 低推力で推進可能であるアルティミット泥水推進工法を採用し, 緻密な施工管理が重要となった。



写真-3 推進機全景



写真-4 掘進状況



写真-5 海中到達状況

(2) 技術詳細

取放水管の施工管理にあたっては大林組（取放水設備工区JV）、施工業者を含めた着前検討会を行い、以下の点に留意して行った。

- ・ 土被りの小さい区間での泥水の海中への噴発を防止するために、潮の干満を考慮した切羽泥水圧の管理（切羽圧 \leq 水圧）。
- ・ 掘削土量管理システムを導入した掘削土量・乾砂土量の自動計測。
- ・ 切羽泥水圧・電磁流量計・密度計・ジャッキストローク・推進力の自動計測（図-3）。

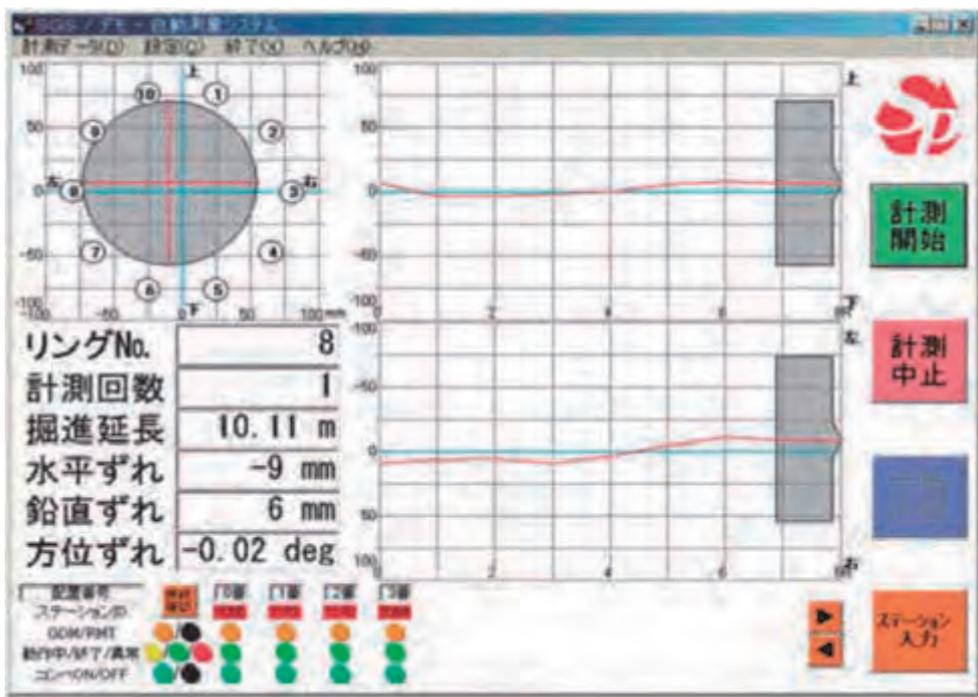


図-3 自動計測システム画面

(3) 結果

- ・ 自動計測による掘削土量管理システムを導入することで土質の変化へ迅速に対応できた。
- ・ 自動計測システムの導入により、掘進情報を監視室で一元管理することができた。

参考文献	清水建設(株) Aug. 2014 土木クォーターリー Vol.183 第Ⅱ編 発電設備
備考	—

技 術 名	水中騒音振動監視システム
番 号	No. 4. 3-22
発 注 者	国土交通省 中国地方整備局
施 設 名	—
所 在 地	岡山県倉敷市高梁川河口
工 事 名 称	水島港水島玉島地区臨港道路（渡河部）橋梁下部工事（その4）
施 工 期 間	2012年 11月 16日 ～ 2013年 4月 4日
施 工 者	東亜建設工業(株)
キーワード	水中騒音振動、遠隔監視、海洋生物

(1) 概 要

1) 工事背景

バイブロハンマや油圧ハンマにより鋼管矢板を打設する施工区域周辺には、多様な海洋生物が生息しており、工事によるこれら生物への影響をできる限り抑える必要があった。従来から濁りの発生については注意しているが、これに加えて鋼管矢板打設時の水中騒音や振動の抑制にも配慮し、水中騒音振動監視システムにより施工中の水中騒音・振動の監視を行った。

2) 技術概要

水中騒音振動監視システムは工事に伴う水中の騒音や振動が、周辺に生息する水生生物に影響を及ぼさないよう監視するものである。水中騒音振動計を水底に設置して（写真-1）騒音および振動を自動測定し、洋上ブイに設置した通信制御装置（写真-2）によって測定データを自動送信・解析する。解析データは、事務所のパソコンや携帯電話など様々な場所から監視が可能である（図-1）。



写真-1 本監視システムの全景



写真-2 通信制御装置の設置状況

(2) 技術詳細

1) システム概要

水生生物を対象とした騒音・振動の規制基準は設けられていないため、これまで蓄積した工事中の水中騒音・振動のデータを基に事前に生物実験を行い（写真-3）、その結果と社団法人日本水産資源保護協会の資料を参考に管理基準値を設けた。計測結果が管理基準値に近づくと警報メールが工事担当者に送付されるように設定した。

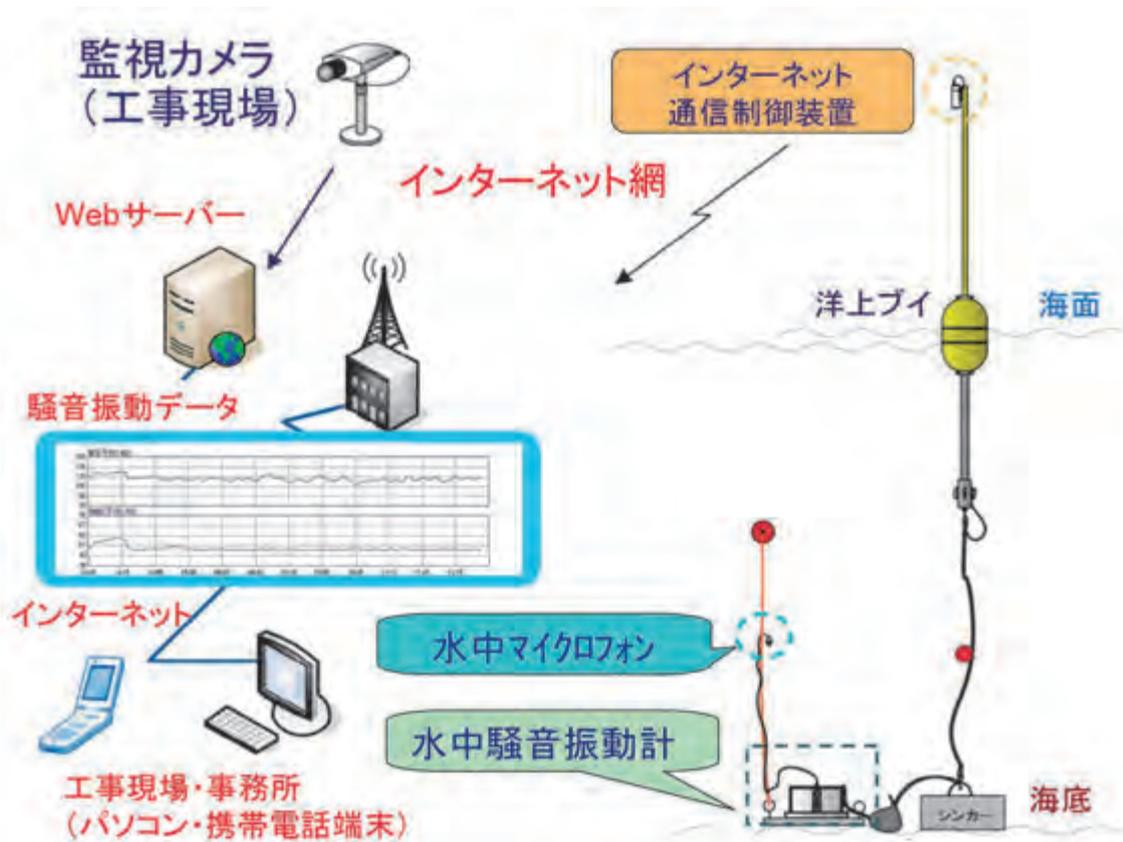


図-1 監視システムの概要



写真-3 管理基準値設定のための生物実験
(水槽内の貝に加振器で振動を与え影響を判定)

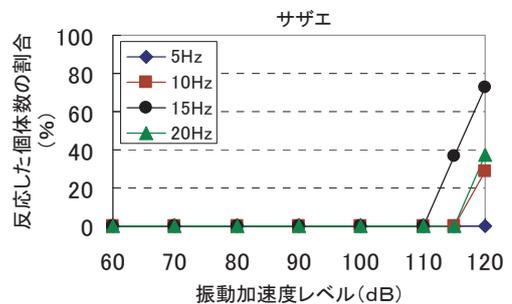


図-2 基準値設定のための
生物実験結果の一例

(3) 結 果

施工中の水中騒音や振動を継続して自動計測が可能となったことにより、比較的容易に水中への工事の影響を定量的に把握できた。

参 考 文 献	・ 貝類を対象とした海底振動による影響評価実験： 玉上和範 田中ゆう子、土木学会第 68 回学術講演会講演集、 VII-017 pp. 33-34、2013。 ・ 東亜建設工業(株)ホームページ： http://www.toa-const.co.jp/techno/civileng/environment/h18/index.html
備 考	—

5. その他の ICT 活用技術

その他の ICT 活用技術として、点検・劣化診断、検査、運行管理、計測管理、廃棄物管理、環境配慮などに活用できる技術 17 編について調査シートに取りまとめた。

表 5 文献調査シート一覧（その他の ICT 技術の活用）

No.	分類	技術名	工事名（発注者）	キーワード
5-1	点検・劣化診断	「音カメラ」による音源探査システム	-	音源探査装置、劣化度の可視化
5-2	点検・劣化診断	既設コンクリート構造物の強度診断方法(局部載荷試験)	-	コンクリート構造物、劣化診断
5-3	検査	音声認識を用いた鉄筋検査システム	-	鉄筋検査、帳票自動作成、音声ガイド、PDA 端末
5-4	運行管理	ETC による車両事故防止&運行管理システム	-	ETC、車両入退場管理、電光掲示、運行管理、接近警報
5-5	運行管理	携帯電話を利用した移動体管理システム	-	モバイル通信回線、第三者安全確保、工事車両
5-6	計測管理	計測管理システム	東京港臨海大橋(仮称)橋梁基礎工事(国交省関東地方整備局)	計測管理、Web モニタリング、安全性確保、鋼管矢板基礎
5-7	計測管理	桁送り出し総合管理システム	新幹線 336K670 付近六番町 B0 新設(名古屋高速道路公社)	桁送り出し総合管理、集中管理、自動制御
5-8	計測管理	計測管理システム	広島南道路太田川工区橋りょう新設工事(広島市道路交通局)	橋梁上部工、上げ越し計測管理
5-9	計測管理	トータル打設管理システム	大阪港夢洲トンネル沈埋函(4号函)製作工事(国交省近畿地方整備局)	コンクリート打設管理、運航管理
5-10	計測管理	打込み杭のリバウンド・貫入量計測技術	横浜港南本牧地区岸壁(-16m)(耐震)鋼管杭打込等工事(その2)(国交省関東地方整備局)	打込み杭、支持力管理、PSD カメラ
5-11	計測管理	加速度センサーを用いた「コンクリート打ち重ね時間管理システム」	-	加速度センサー、コンクリート打設管理
5-12	計測管理	現場情報統合システム	代々木上原駅・梅ヶ丘駅間線増連続立体交差工事(小田急電鉄)	自動計測、土留め壁変位計測、軌道変状計測、地下水計測
5-13	計測管理	電源と外部配線がいないはずみ計測システム	-	非接触計測、健全性確認、IC タグ、コンクリート構造物
5-14	計測管理	イージーモニタリング監視システム	一般国道 345 号道路更新防災等対策(国道改築)旭橋下部工工事(国交省北陸地方整備局)	杭誘導システム、ネットワークカメラ、ガイド線誘導
5-15	廃棄物管理	遮水シート安全管理システム	鎮西最終処分場建設工事(佐賀県環境クリーン財団)	遮水シート、漏水検知、線電極・電流方式
5-16	廃棄物管理	放射性廃棄物データ管理システム「TOMIC(トミック)」	-	放射性廃棄物データ管理システム、IC タグ
5-17	環境配慮	TO-MINICA(低炭素施工システム)Web版	-	低炭素施工システム、CO ₂ 排出削減

5.1 点検・劣化診断

【その他／点検・劣化診断】

技 術 名	音源探査システム
番 号	No. 5-1
発 注 者	—
施 設 名	—
所 在 地	—
工 事 名 称	—
施 工 期 間	—
施 工 者	(株)熊谷組
キーワード	音源探査装置、劣化度の可視化
<p>(1) 概 要</p> <p>1) 背 景</p> <p>橋梁における伸縮装置の損傷は、通行車両に危険を与えるだけでなく、場合によっては橋の構造にも影響を与えることとなる。フィンガージョイント部の劣化メカニズムについては検討が行われており、疲労試験や数値解析が進められている。</p> <p>伸縮装置とその周辺の維持管理は、特に慎重な配慮と頻度が要求される。一般的に、伸縮装置の日常点検は走行する車上もしくは路面や伸縮装置下面からの目視で行われ、数年に1回または何か異常を発見した場合、車線規制などを実施してたたきや超音波などを使った詳細点検を行っている。日常点検では点検者の経験的判断に頼るところが大きく、簡単な装置で劣化度などが可視化できるシステムができれば点検の精度や効率が向上すると考えられる。</p> <p>2) 実験概要</p> <p>鋼製フィンガージョイントをハンマなどで加振した場合、劣化の度合いによって発生する音に変化すると考えられる。フィンガージョイントにおけるフェイスプレートのくし形部分を一定の加振力でハンマ打撃し、その発生音を測定した。発生音の測定には音源探査装置（音カメラ）を用いた（図-1～図-4）。</p> <p>音源探査結果において表示閾値を適切に設定することで、フィンガージョイントの劣化度を推定することができる可能性を確認した。フィンガージョイントの劣化度を定量的に評価するためには、設置条件を考慮して発生音との関係をさらに調査して検討する必要がある。</p>	



図-1 調査対象のフィンガージョイント

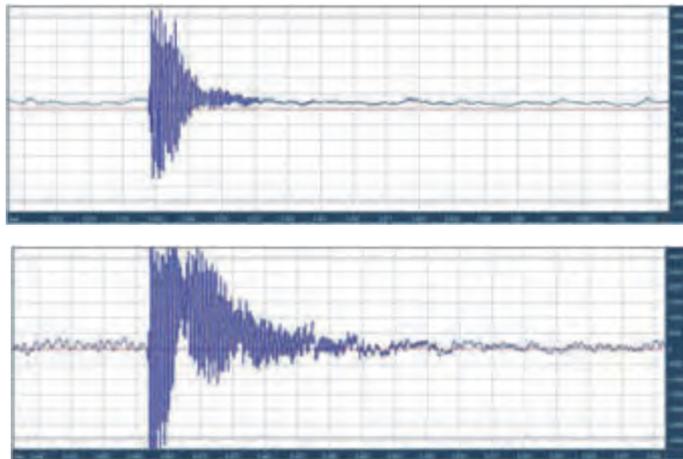


図-2 ハンマ加振時の発生音の例

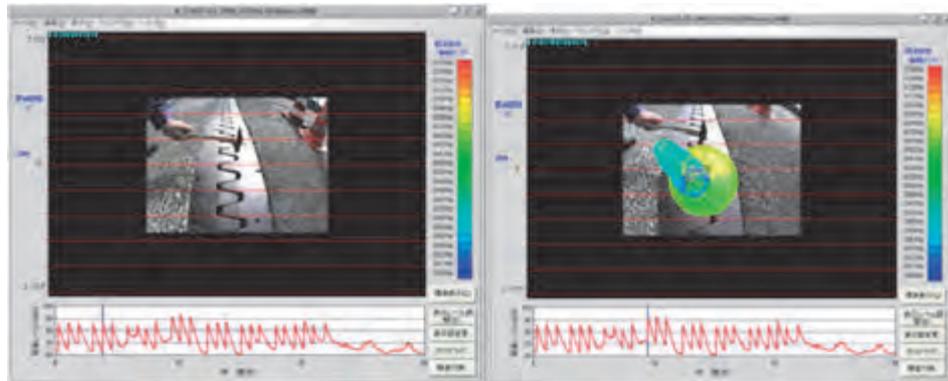


図-3 音源探査装置測定結果の例

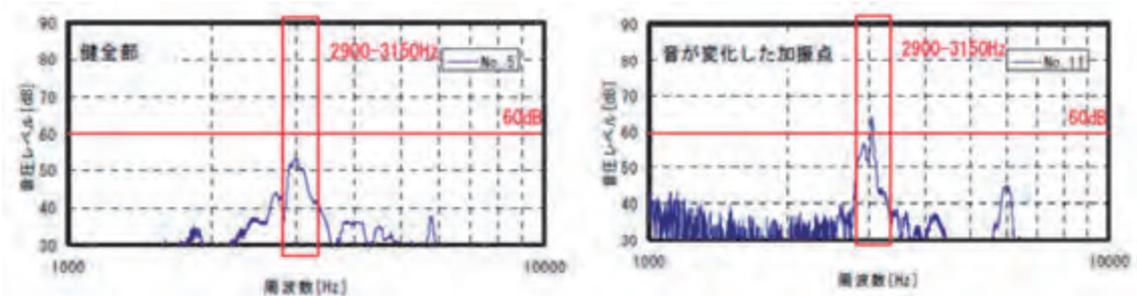


図-4 発生音の周波数特性の例

(2) 技術詳細

従来の音源探査装置「音カメラ」は、5本のマイクロホンを用いてその位相差から音源の方向を推定することができるシステムである。この装置は音源の方向を示すことができるが、位置を把握するためには、音カメラの位置を移動させて複数点で測定する必要がある。音源探査装置「キョリモ」は、測定位置の移動が困難な場合にも対応できるようにマイクロホン群を2組用いて、測定位置から音源対象物までの距離をリアルタイムに把握し、可視化できるものである（写真-1、写真-2）。

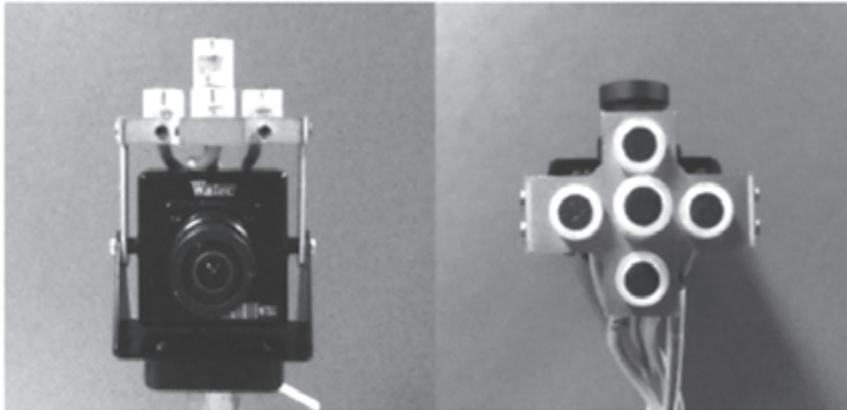


写真-1 音源距離推定装置（センサー部）



写真-2 音源距離推定装置（前景）

参考文献	・ 土木学会第 67 回年次学術講演会（2012 年 9 月） VI-222、223 No. 370 電力土木 2014.3 プレスリリース：「リアルタイム音カメラ」 の開発について ・ (株)熊谷組ホームページ：プレスリリース（2007 年 3 月 15 日） http://www.kumagaigumi.co.jp/press/2006/pr_070315.html
備考	—

【その他／点検・劣化診断】

技 術 名	既設コンクリート構造物の強度診断方法(局部載荷試験)
番 号	No. 5-2
発 注 者	—
施 設 名	—
所 在 地	—
工 事 名 称	—
施 工 期 間	—
施 工 者	戸田建設(株)
キーワード	コンクリート構造物、劣化診断
<p>(1) 概 要</p> <p>財政赤字が続く昨今、社会資本施設を「長く、大切に」供用していくことが求められている。限られた予算で社会資本施設の長寿命化を図っていくためには、構造物建設時のコスト縮減と同時に高品質、高耐久化技術が必要であり、また、建設後の効率的、効果的な調査技術や補修・補強技術の開発が急務となっている。</p> <p>劣化したコンクリート構造物を効率的、効果的に維持管理していくためには、第一に劣化の範囲や深さを的確に把握する必要がある。しかしながら、構造物の任意の深度でコンクリートの性状を現位置で確認し、劣化深度を特定できる試験方法はこれまでなかった。</p> <p>戸田建設と川崎地質は、劣化したコンクリート構造物に対して、現位置で簡易に劣化深度の特定が可能な「孔内局部載荷試験器」を開発した。この結果、断面修復等の補修工事におけるはつり取りの範囲や深さなど、最適な補修スペックの把握が可能となる。また、補修スペックの最適化により、施工範囲の最小化や工事費の縮減、さらに、補修工事で発生する廃棄物も最小限に抑えることが可能となる。</p> <p>(2) 技術詳細</p> <p>「孔内局部載荷試験」とは、コンクリート構造物の劣化深さの把握を目的とした新しい試験方法である。削孔したコア孔内（φ42mm）に試験器を挿入し、任意の深度において載荷試験を実施することで、その場でコンクリート強度の推定値を確認することが可能である。試験装置は現場での運搬・測定作業を前提に、小型、軽量化し、試験操作も簡単である。</p>	

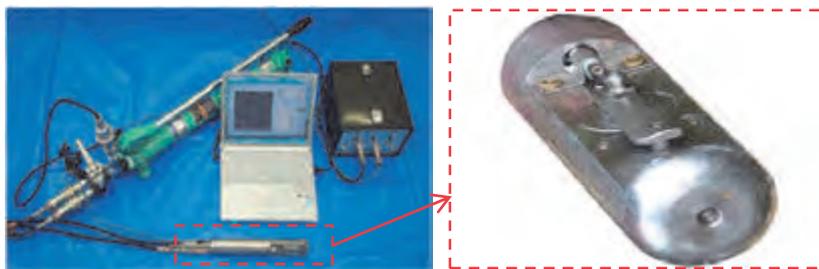


写真-1 孔内局部载荷試験器全景

1) コア削孔

調査したい位置にコア削孔する。削孔径は $\phi 42\text{mm}$ が基本である。なお、専用のアタッチメントを使用することで75mm、100mmでも試験可能である。



写真-2 コア削孔 ($\phi 42\text{ mm}$)

2) 試験器の設置

コア孔内に試験器を挿入し、コンクリート強度を知りたい深度に固定する。深さ1cm毎の試験が可能で、深度方向の強度分布を詳細に把握できる。



写真-3 試験器の設置

3) 孔壁への载荷

試験器の载荷先端を孔壁へ貫入し、荷重と貫入量データを取得する。試験は横向き、上向き、下向きなどいずれの方向でも試験可能である。最大測定可能深度は約5mである。



写真-4 孔壁への载荷

4) データ解析

荷重-貫入量曲線から貫入抵抗値を算出し、コンクリート強度を推定する。これまでに実施した室内試験や実構造物での試験結果から、同じ深度で6点のデータを取得し、平均貫入抵抗値を4倍することでコンクリート強度(N/mm^2)を精度よく推定することができる。

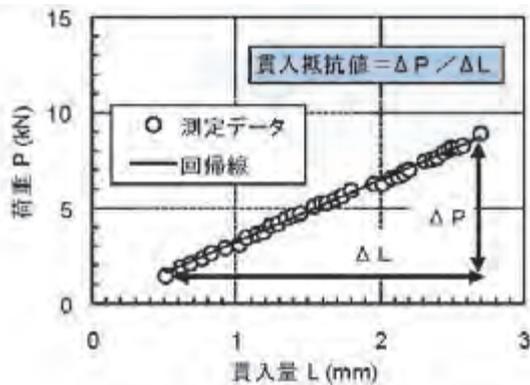


図-1 貫入抵抗値の算出

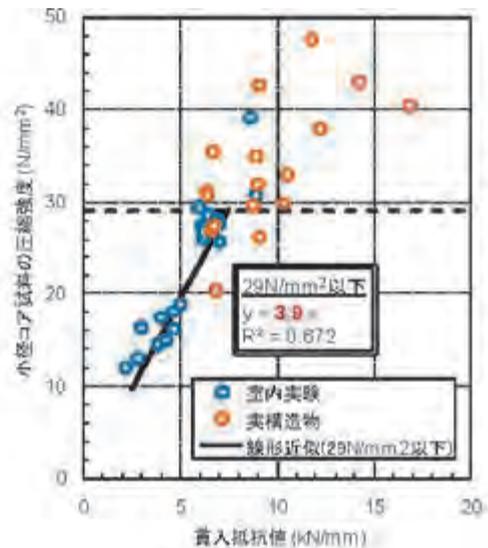


図-2 コンクリート強度の推定

(3) 結果

1) 主な適用実績

- ① 国土交通省近畿地方整備局琵琶湖河川事務所発注業務
「瀬田川砂防管内砂防えん堤調査業務」により、砂防堰堤の長寿命化検討。
- ② 国土交通省四国地方整備局高知河川国道事務所発注業務
「新居海岸堤防護岸調査作業」により、海岸堤防の健全度調査。
- ③ その他数件

参考文献	戸田建設(株)ホームページ：ニュースリリース、2011年1月13日、 http://www.toda.co.jp/news/pdf/20110113.pdf
備考	特許番号 第4584734号

5.2 検査

【その他／検査】

技 術 名	音声認識を用いた鉄筋検査システム
番 号	No. 5-3
発 注 者	—
施 設 名	—
所 在 地	—
工 事 名 称	—
施 工 期 間	—
施 工 者	戸田建設(株)
キーワード	鉄筋検査、帳票自動作成、音声ガイダンス、PDA 端末
<p>(1) 概 要</p> <p>柱・梁主筋の鉄筋全数検査は、検査対象部材が多いため多大な労力を必要とする業務である。よって、鉄筋全数検査に音声認識技術を使った「音声認識を用いた鉄筋検査システム(音声認識鉄筋検査システム)」を利用することで、鉄筋本数等を発声するだけで簡単に検査結果の入力ができ、より確実性の高い検査が可能となる。</p> <p>また、検査前のチェックシート用紙作成作業や検査終了後の帳票作成作業を自動化し、検査業務全体の効率化を図り工期短縮を実現した。</p> <p>(2) 技術詳細</p> <p>1) システムの構成</p> <p>① 利用ハードは、主に PDA 端末 (SHARP RZ-H220) と騒音抑制型イヤホンマイクで構成される。</p> <p>② 利用ソフトは、音声認識鉄筋検査システムと検査帳票出力ソフトを使用。</p> <p>2) 作業手順</p> <p>① 騒音抑制型イヤホンマイクから流れる音声ガイダンスに従って柱や梁の位置、鉄筋本数、鉄筋径、鉄筋間隔 (ピッチ) を音声にて入力。</p> <p>② 入力された音声はイヤホンマイクと連動する PDA 端末が音声認識しデジタルデータとして保存。</p> <p>③ 現場事務所にて保存されたデータを所定のチェックシートに出力し構造図と照合。</p>	



写真-1 鉄筋全数検査の様子



写真-2 PDA 端末



写真-3 抑制型イヤホンマイクと装着状況

(3) 結果

- ① 検査前のチェックシート用紙や検査後の帳票が自動で作成されるため、検査の帳票作成業務を省略できる。
- ② 紙のチェックシートが不要になるため、雨の日でも検査が可能となる。
- ③ 音声認識した結果が復唱されるため、入力ミス、転記ミスが無くなる。
- ④ 両手、両耳を塞がないため、現場の中でも安全に検査ができる。

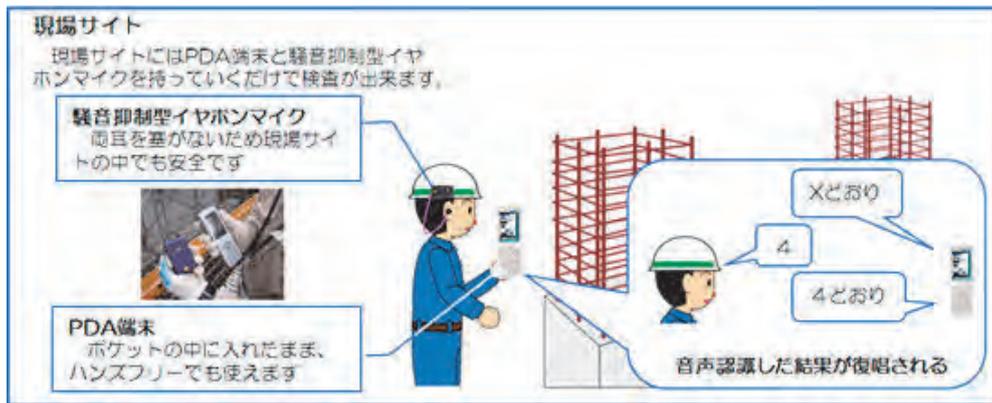


図-1 現場サイトでの配筋チェック作業

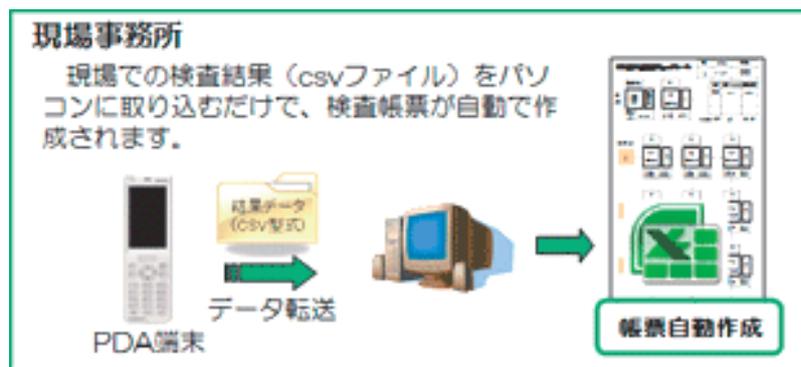


図-2 現場事務所での配筋チェック帳票作成作業

参考文献	戸田建設(株)ホームページ：ニュースリリース(2010年12月27日) http://www.toda.co.jp/news/2010/20101227.html
備考	—

5.3 運行管理

【その他／運行管理】

技 術 名	ETCによる車両事故防止&運行管理システム
番 号	No. 5-4
発 注 者	—
施 設 名	—
所 在 地	—
工 事 名 称	—
施 工 期 間	—
施 工 者	五洋建設(株)
キーワード	ETC、車両入退場管理、電光掲示、運行管理、接近警報
<p>(1) 概 要</p> <p>全国に広く普及しているETC（電子料金収受システム）を応用した技術開発を行った。</p> <p>都市部など交通量が多い地域の工事現場では、工事車両の一般交通に対する安全管理が課題となっている。従来は工事車両運搬経路上に配置した交通誘導員が工事車両の接近を確認し、工事車両出入口の交通誘導員へ車両の接近を無線で通知することにより工事車両の誘導と一般車両、通行者への安全確保を行った。</p> <p>従来は工事現場内の軽作業員が搬出車両を日報に記入したり、搬出車両から伝票を受領し日報へ記入していた。ETC 車載器を搭載した工事車両が工事現場を退出するときに、自動的に日時・車両No.等を記録するシステムを開発した。</p> <p>(2) 技術詳細</p> <p>1) ETC 車両事故防止システム</p> <p>工事現場近くに設置したアンテナがETC 車載器を搭載した工事車両等を検知し、後続の一般車両に対して「工事車両減速注意」を、歩行者に対して「工事車両接近注意」等の注意喚起を電光掲示板でするとともに、交通誘導員に回転灯・スピーカーで工事車両の接近を通知する。</p>	

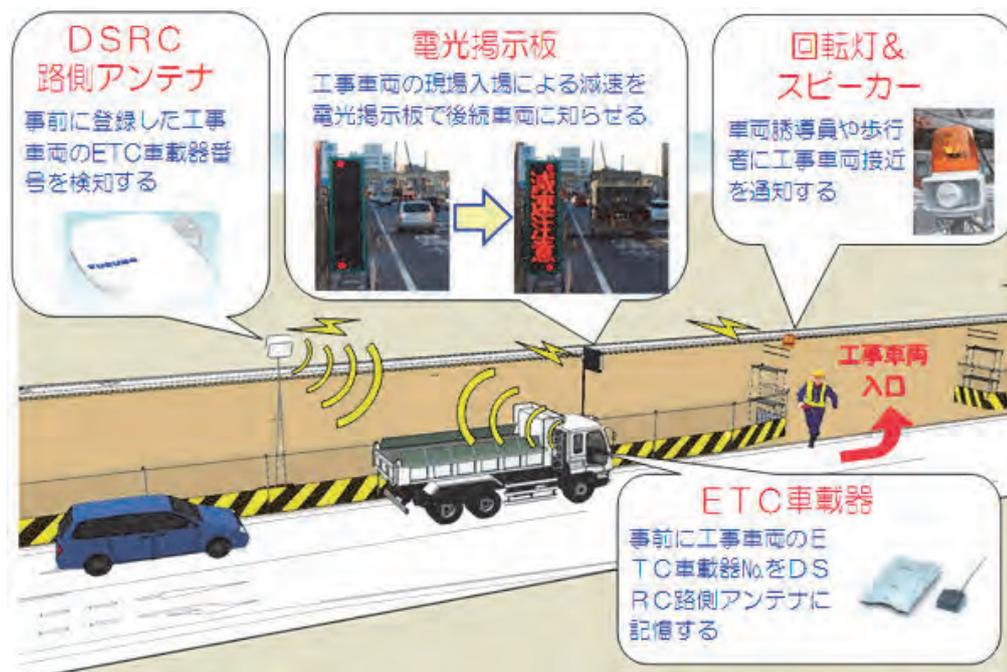


図-1 ETC 車両事故防止システム 概念図

2) ETC 車両運行管理システム

工事現場ゲートにアンテナの設置することにより、ETC 車載器を搭載した工事車両等を検知し、日報への入力及び車両集計を自動的に行う。

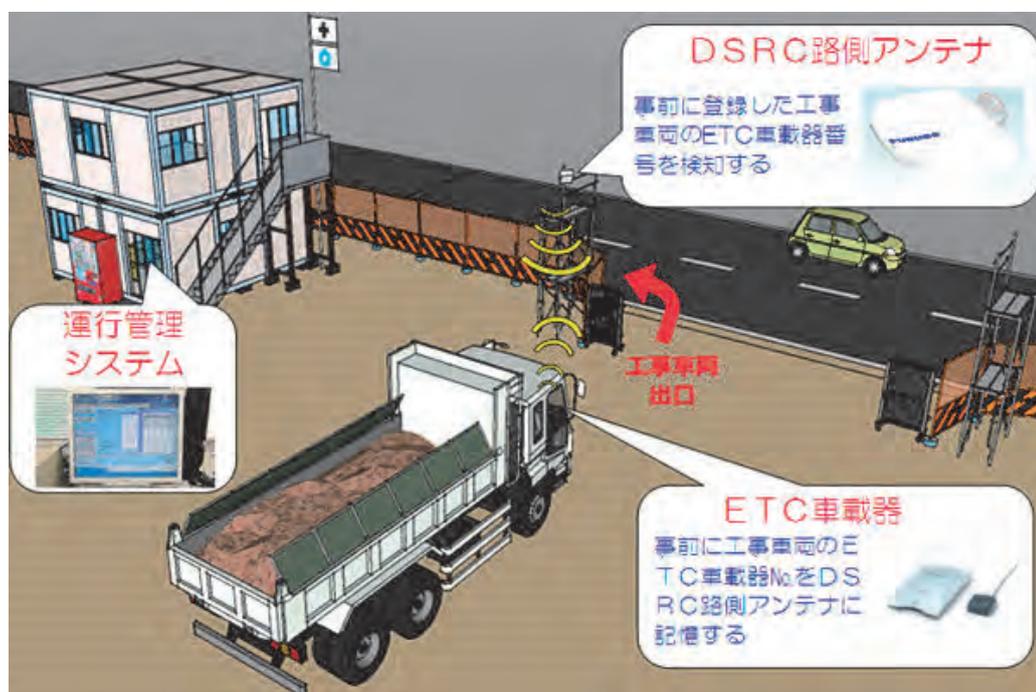


図-2 システム概略図

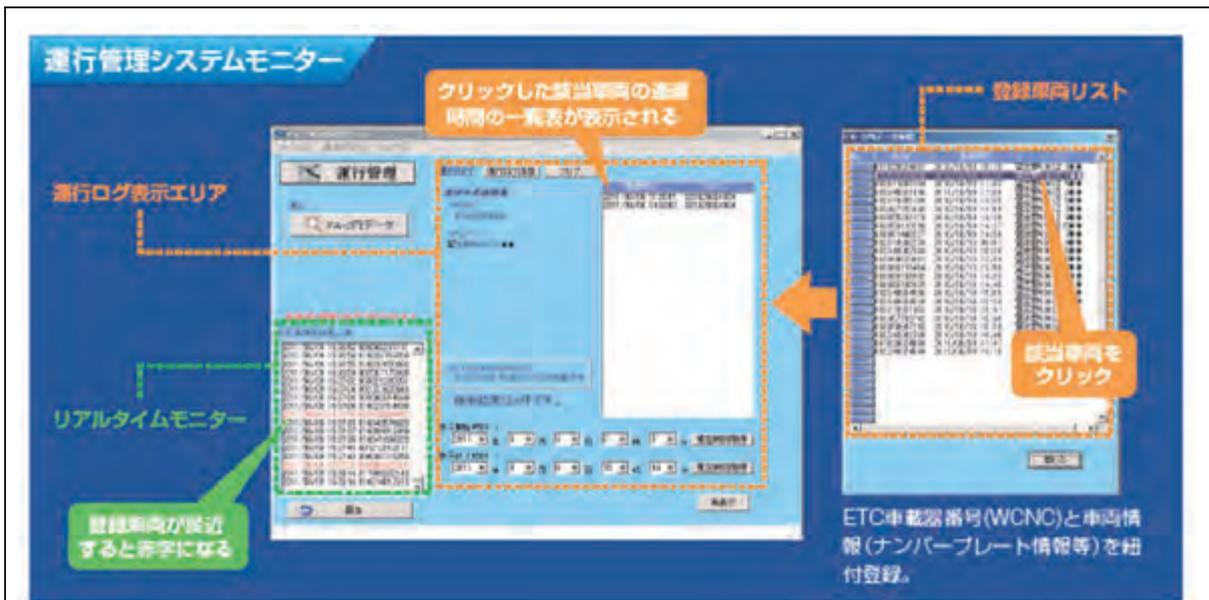


図-3 システムモニターイメージ

(3) 結果

工事車両等の接近通知方法を交通誘導員の無線からETCに変えたことによるコスト縮減と、交通誘導員への車両接近の合図をETCを利用して自動通知できるようにしたことにより人的ミスがなくなり、早期かつ確実に工事車両の接近を知ることができ、安全に車両を誘導することができた。さらに、夜間時や雨天時等の視認性低下時や通過大型車両の死角になる場合、工事車両の接近を早期に把握できるため、関係車両でない車両の誤誘導をなくすことができた。

工事現場では工事車両の退場管理を記録する人を配置する必要がなくなる。また工事車両の集計作業を、手入力から自動入力に変えたことにより、人的な入力ミスがなくなり、運行管理の精度を向上することができ、さらに車両集計にかかる時間の短縮が図れるなどの効果が期待できる。

ETC車両事故防止システムとETC車両運行管理システムはDSRCアンテナとソフトウェアで基本構成されている。システム側にETC車載器番号を予め登録することにより使用することができるので、管理する車両に市販のETC車載器が搭載されていれば、車両に新たな投資は必要ない。また、本システムはETC車載器番号を管理するシステムなので、工事現場に限らず、特定車両の入退場が頻繁に行われるバスセンターや物流センター等においても導入が可能である。

<p>参考文献</p>	<p>五洋建設（株）ホームページ： http://www.penta-ocean.co.jp/business/tech/civil/auto/etc.html</p>
<p>備考</p>	<p>NETIS 登録技術</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ETC 車両事故防止システム：HR-110026-A ・ETC 車両運行管理システム：HR-110027-A

技術名	携帯電話を利用した移動体管理システム
番号	No. 5-5
発注者	—
施設名	—
所在地	—
工事名称	—
施工期間	—
施工者	五洋建設(株)
キーワード	モバイル通信回線、第三者安全確保、工事車両

(1) 概要

携帯電話は、建設業においても保有率が高い ICT 機器であり、小型でありながら GPS や加速度センサ、通信機能など多くの機能が集約されている。最近では、スマートフォンやタブレット端末のような PC の小型版ともいえる高性能な製品も普及し、日常生活においても馴染みの深い。また、身近でありながらデータの入力機能や通信機能を備えていることからシステム端末としても利用することができる。本システムでは、これら携帯端末を工事車両に設置し、工事車両の位置や運転操作を事務所から監視し、工事車両が経路をショートカットおよび逸脱した場合、その工事車両に対し警告やガイダンスを行うことができる。

(2) 技術詳細

1) システムの構成

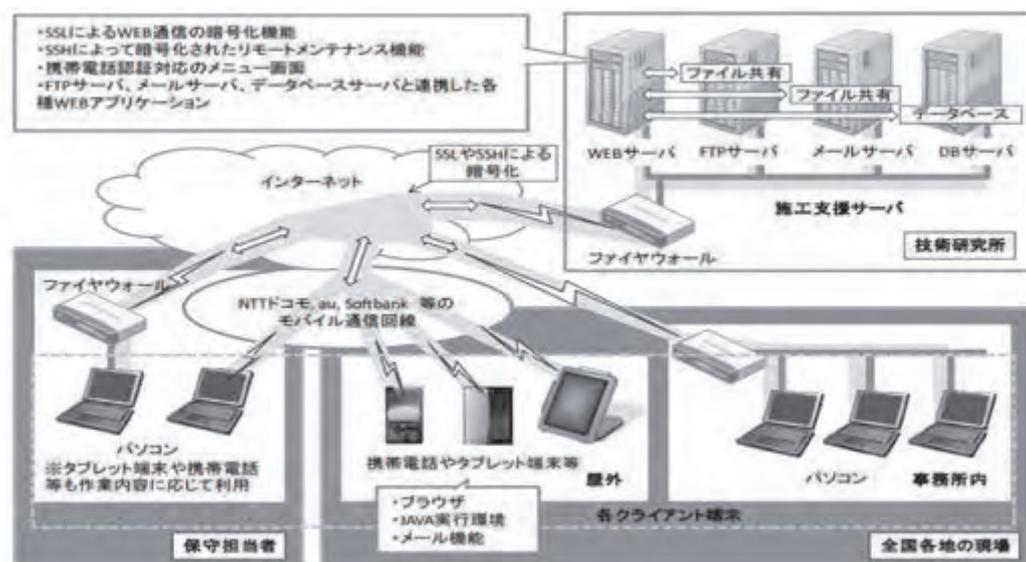


図-1 本システムの機器構成

① 施工支援用サーバ

本システムの施工支援用サーバは、技術研究所に設置しており複数のサーバ機から構成される。WEBサーバ上では通信の暗号化機能、携帯電話認証対応のメニュー画面、WEBアプリケーションの動作環境が稼働しており、比較的容易にアプリケーションを構築することが可能である。

WEBサーバからはFTPサーバ、メールサーバ、DBサーバのデータを利用可能で必要に応じてこれらと連携してWEBアプリケーションを構築している。このサーバには標準的なプロトコルをほぼ組みこんでいるため、多くの社外システムと比較的容易にデータ連携が可能である。なお、各サーバ機は技術研究所内以外の遠隔地からもメンテナンスが可能である。

② インターネットとモバイル通信回線

通信は、インターネットを用いるため、パスワードや秘密データの漏えいを防ぐために通信の暗号化を行う必要があるがこれも一般的なSSL (Secure Socket Layer) やSSH (Secure Shell) による公開鍵認証方式を用いている。

③ 現場側の利用環境

現場で用意する機器も一般的な携帯電話やインターネットに接続可能なパソコンのみである。本システムは、基本的にサーバ上のWEBアプリケーションのみで機能するが、圏外や地域など携帯電話の通信速度が十分確保できない場合や大容量のデータを扱う場合など、補助的に簡単なアプリケーションをパソコンや携帯電話にインストールする場合もある。また、山間部等の携帯電話が通じない地域などでは3G/4G回線が利用できないため、代わりに無線LANアクセスポイントを設置して運用することも可能である。

サーバ上のソフトウェアは、ほとんどがオープンソースであり、一般的なソフトウェアを組み込むことにより他社のシステムとの連携も行いやすく、拡張も容易である。

表-1 本システムで用いるソフトウェア一覧

項目	名称	備考	
施工支援サーバ	共通部分	RedHatEnterpriseLinux あるいは互換OS	サーバ用途向けのLinuxディストリビューションのひとつ
		OpenSSH	ログオン時のユーザ情報の暗号化、操作内容の暗号化等に用いる
	WEBサーバ	Apache HTTP Server2.2	利用者のWEBブラウザと通信するHTTPサーバ
		Apache Tomcat6.0	HTTPサーバと連携するJAVAアプリケーションサーバ
		PHP5.3	WEBページ生成に用いるプログラム言語
		OpenSSL	HTTP通信の暗号化(HTTPS)に用いる
	FTPサーバ	Vsftpd	ファイル転送サーバ(FTPサーバ)
		OpenSSH	暗号化の必要があるファイル転送に用いる
	メールサーバ	Postfix	メール送信/メール転送サーバ(SMTPサーバ)
		Dovecot	メール受信サーバ(POP/IMAPサーバ)
DBサーバ	PostgreSQL8.3	リレーショナルデータベース	
	PostGIS	PostgreSQLの地理情報向け拡張機能	
クライアント端末	事務所内のパソコン	WEBブラウザ	Microsoft Internet Explorer等
		メール機能	Microsoft Outlook, Lotus Notes等
	現場の携帯電話等	WEBブラウザ	imodeブラウザ他、各端末内蔵のブラウザ
		JAVA実行環境	i-appli他、各端末用のプログラム実行環境
保守担当者のパソコン	メール機能	各端末内蔵のメール機能	
	SSH対応ターミナルソフト	SSHにより暗号化可能なターミナルソフト	
	SSH対応ファイル転送ソフト	SFTP, SCP等の暗号化対応ファイル転送ソフト	

2) 機能の詳細

本システムの基本的な機能は、①経路逸脱、②安全運転状況、③指定エリアへの接近や進入、④速度超過等の監視である。多くの場合は、これらの監視結果に合わせて自動的に音声案内や警告を行っている。他にも位置情報や時刻、加速度センサを利用した判定であれば、サーバでの自動音声案内／警告が可能である。

① 経路逸脱

あらかじめ地図上で指定した経路を走行しているかどうかを監視する。指定した経路を外れた場合に警告を行うことができる。経路は往路と復路を個別に指定したり、それぞれ複数の経路を指定することも可能となっており、個々の現場の状況に応じて細かく設定することができる。

② 安全運転状況

急加速、急ブレーキ、急ハンドルといった危険運転を検出し警告を行う。これらの検出は、道路の状況によりやむを得ない場合も多いため、回数を記録し一日に一定の回数を超えた場合に警告を行うという例もある。

③ 指定エリアへの接近や進入

あらかじめ地図上で指定した範囲に対して接近した場合や進入した場合に検出し、音声案内や警告を行う。

④ 速度超過

移動速度を算出し、速度に合わせて音声案内や警告を行う。速度のしきい値は、範囲によって個別に指定することができる。

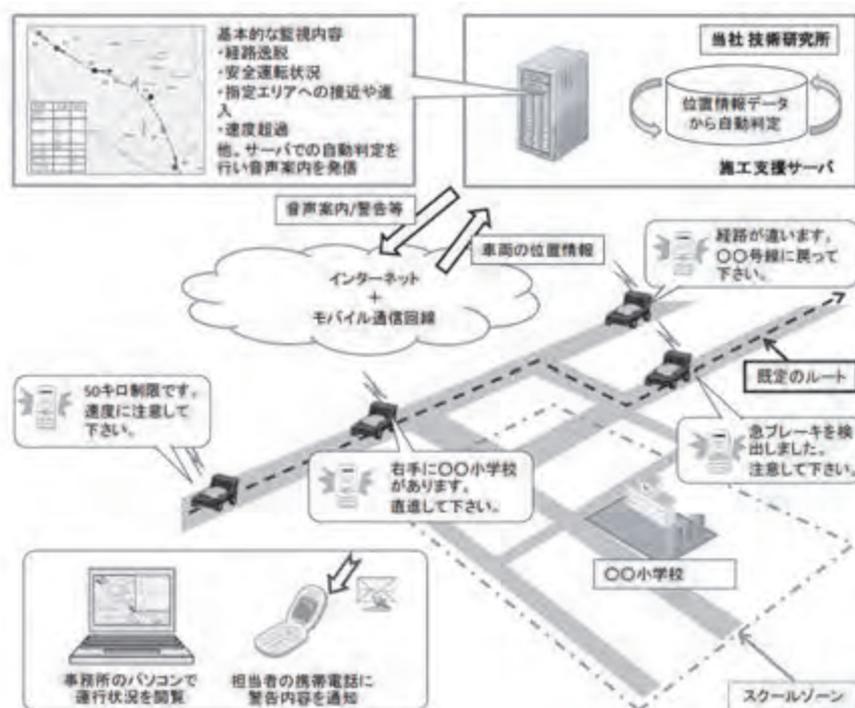


図-2 移動体管理システムの例(工事車両の運行管理システム)

表-2 のような自動判定の他、事務所のパソコンから手動で任意の音声案内／警告を行うことも可能であり、現場のニーズに合わせやすいシステムとなっている。各車両の運行状況は事務所のパソコンで監視することができ、また、現場担当者の携帯電話にもメールで警告内容を通知することができる。

表-2 音声案内および警告の例

種類	説明	例
案内	位置	指定範囲に近付いた時や進入した時にあらかじめ設定した音声案内 ・スクールゾーンです。 ・この先右折禁止です。 ・右側に〇〇中学校があります。注意して下さい。
	時刻	指定時刻になった時にあらかじめ設定した音声案内 ・通勤時間帯です。〇〇橋の通行を中止して下さい。
警告	経路逸脱	指定の経路を外れた場合 ・指定の経路を外れています。〇〇号線に戻して下さい。
	速度超過	区間ごとに設定した速度を超えた場合 ・速度超過です。注意して下さい。 ・速度を落として下さい。〇キロ制限です。
	アイドリング	長時間のアイドリングを行った場合 ・停車中のアイドリングを控えて下さい。 ・アイドリングが10分を超えました。
	急ハンドル	乱暴なハンドル操作を行った場合 ・急ハンドルを検出しました。注意して下さい。 ・急ハンドルの回数が〇回を超えました。注意して下さい。
	急ブレーキ	急ブレーキ操作を行った場合 ・急ブレーキを検出しました。注意して下さい。 ・急ブレーキの回数が〇回を超えました。注意して下さい。
	急加速	急加速操作を行った場合 ・急加速を検出しました。注意して下さい。 ・急加速の回数が〇回を超えました。注意して下さい。

(3) 結果

本システムは、サーバ上のアプリケーションを容易に書き換えることができるため、工事車両だけでなく、船舶の航行監視等にも広く活用することができる。船舶に対応する場合、大まかな変更点は、背景の地図、音声案内の内容程度であり多くの場合、工事車両よりも単純な設定で済む。なお、必要に応じAIS (Automatic Identification System: 船舶自動識別装置) 情報やレーダー情報との連携を行っている。

設置については、写真-1 のように車両の場合と同様に窓際に GPS 携帯電話を置くだけでよい。なお、この例では携帯電話からの自動音声案内を行っており、音声聞こえにくい場合は、状況に応じて外付けスピーカーを利用することもできる。



写真-1 船舶への設置状況(自動音声案内による航行安全システム)

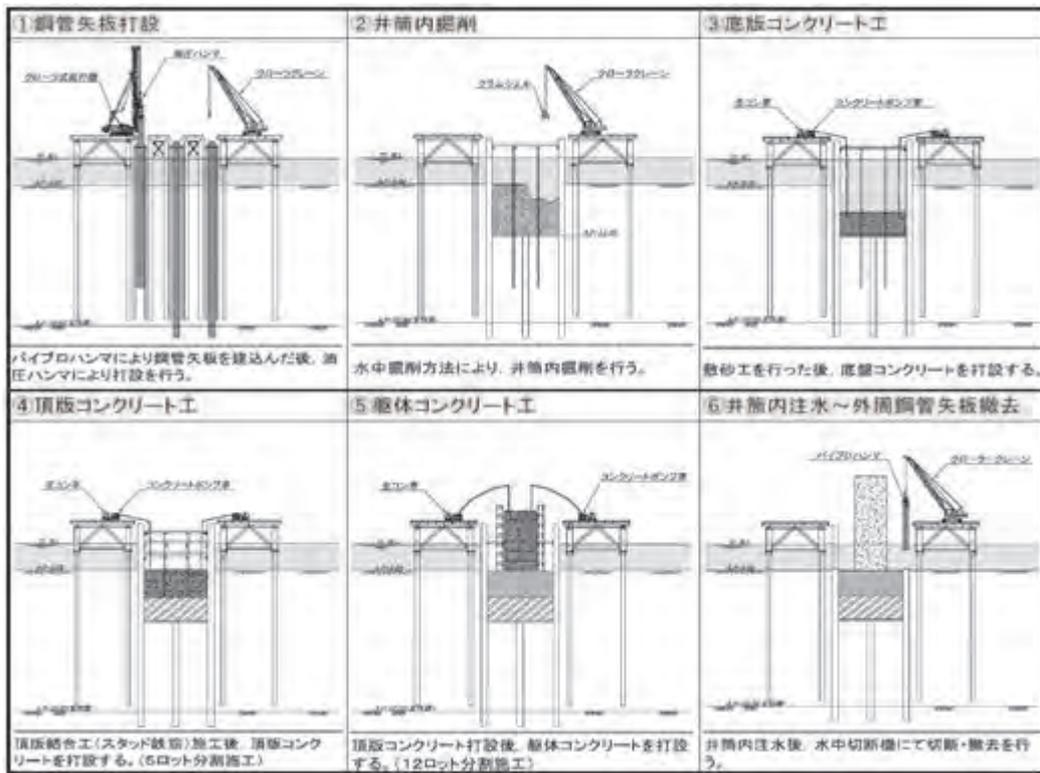
参考文献	<ul style="list-style-type: none"> ・建設の施工企画 (2012年11月) PP. 43~48 ・石田 仁, 「五洋建設における携帯電話を用いた建設現場支援システムの運用~汎用性の高いITツールとして広く適用~」(2008年度 NEC C&C システムユーザー会論文) ・石田 仁, 「携帯電話を活用した建設現場の管理システム」(2007年4月号 コンクリートテクノ セメント新聞社)
備考	—

5.4 計測管理

【その他／計測管理】

技 術 名	計測管理システム
番 号	No. 5-6
発 注 者	国土交通省 関東地方整備局 横浜港湾空港技術調査事務所
施 設 名	橋梁
所 在 地	東京都江東区若洲 他
工 事 名 称	東京港臨海大橋(仮称)橋梁基礎工事
施 工 期 間	2005年1月12日～2007年3月23日
施 工 者	五洋建設(株)
キーワード	計測管理、Web モニタリング、安全性確保、鋼管矢板基礎
<p>(1) 概 要</p> <p>東京港で建設中の東京港臨海大橋(仮称)のうち、海上部に架かる橋梁の基礎工として仮締切り兼用方式の鋼管矢板基礎が採用された。本方式の鋼管矢板基礎は、基礎本体部の外壁鋼管矢板を水面上まで立上げ、本体鋼管矢板と仮締切り壁体を兼用することで合理性を高めたものである。しかし、仮締切り時に生じる応力が本体鋼管矢板に残留するため、各施工段階で変動する鋼管矢板の応力の状況を把握し、設計との整合を確認しながら施工を行う必要があった。</p> <p>1) 設計概要</p> <p>東京港臨海道路Ⅱ期事業の一環として建設中の東京港臨海大橋(仮称)は、総延長2,933mの橋梁であり、このうち東京港第三航路を跨ぐ主橋梁部(橋長760m)は、中央径間長440mを有する鋼3径間連続トラス・ボックス複合橋である(図-1)。</p> <p>海上部橋梁が建設される付近の海底は、N値0～1の沖積粘性土層が30m以上堆積する超軟弱地盤であったため、海上施工により深い支持層まで確実な施工を行うことができる基礎形式として、仮締切り兼用方式の鋼管矢板基礎が採用された(図-2)。本方式の鋼管矢板基礎は、基礎本体部の外壁鋼管矢板を水面上まで立上げ、本体部鋼管矢板と仮締切り壁を兼用するものであり、鋼管矢板基礎特有の施工方式である。</p> <p>外壁鋼管矢板と仮締切り工を同時に施工できるため、工期が短く水域占用面積も小さく済み合理的性の高い基礎形式であるが、仮締切り時に鋼管矢板に発生する応力が本体部鋼管矢板に残留するため、これを踏まえた設計が必要である。また、この残留応力は施工手順により変化するため、設計段階における施工手順の検討とその手順に応じた管理が重要となる。</p> <p>以上を鑑み、本基礎の施工に当って、外壁鋼管矢板の応力、変形および支保工の応力等に着眼した計測管理を実施し、各施工段階における鋼管矢板の残留応力の管理および仮締切り内施工時の安全管理を行った。</p>	

表-2 施工手順概要(主要工種)



(2) 技術詳細

基礎工の設計条件に関する整合性の確認および仮締切り内作業時の安全性を確保することを目的として計測計画を立案、施工管理を行った。

表-3 計測項目と目的

計測対象	計測項目 (計測機器)	目的
仮締切り部 基礎本体部	鋼管矢板の応力 (ひずみゲージ)	・鋼管矢板の応力分布を把握する。
	鋼管矢板の変形 (埋設型補針計、挿入式補針計)	・鋼管矢板の変形状況を把握する。
	鋼管矢板に作用する土圧、水圧 (土圧計、間隙水圧計)	・鋼管矢板に作用する側圧を把握する。
掘削底面	締切り内外の水位 (水位計)	・潮位変動状況を把握する。 ・井筒内排水時の水位管理を行う。
	敷砂層の間隙水圧 (間隙水圧計)	・掘削底面、底盤の安全性を確認する。
支保工	切梁の軸力 (ひずみ計、温度計)	・切梁、腹起し材の安全性を確認する。

表-4 計測機器一覧表

計測項目	計測機器	設置点数				記号
		計測A	計測B	計測C	計測D	
鋼管矢板の応力	ひずみゲージ	32点	—	—	—	●
鋼管矢板に作用する水圧	間隙水圧計	2台	—	—	—	■
鋼管矢板に作用する土圧	土圧計	3台	—	—	—	◆
敷砂層の水圧	間隙水圧計	1台	—	—	—	▼
潮位	水位計	2台	—	—	—	□
鋼管矢板の変形	埋設型補針計	75台	—	—	—	○
	挿入式補針計	1本	—	—	—	◇
切梁軸力	ひずみ計	—	—	3台	3台	⊗

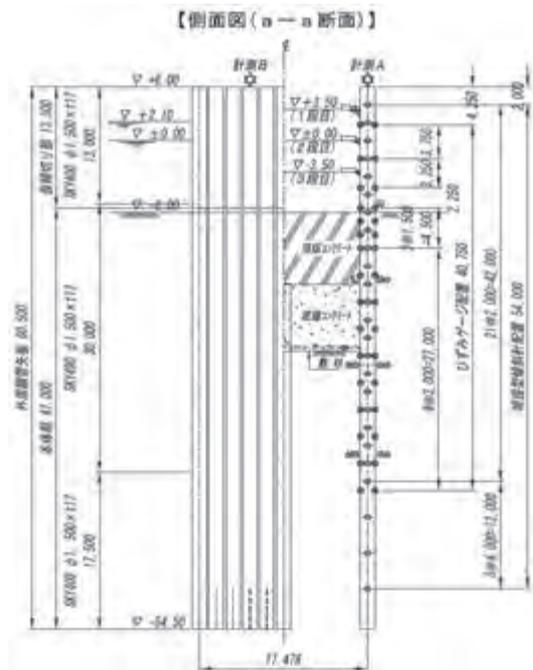


図-4(1) 計測器配置図(側面)

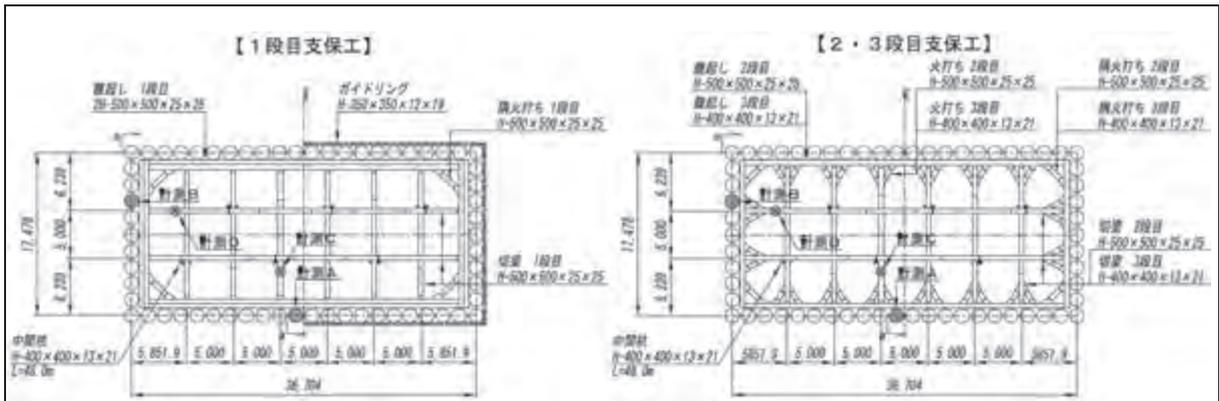


図-4(2) 計測器配置図(支保工)

表-5 計測頻度

井筒内掘削に着手する2週間前から事前測定を実施し、各計測機器が正常に作動することを確認した。計測は井筒内掘削から井筒内注水が完了するまで実施し、計測頻度は表-5を標準とした。

施工段階	測定方法	測定頻度	対象機器
【事前測定】 掘削開始前	自動測定	1回/30分	ひずみゲージ、土圧・水圧計、水浸計、周縁水圧計、切戻ひずみ計、埋設型傾斜計
	2週間以上	手動測定	1回/週
井筒内掘削	自動測定	1回/30分	ひずみゲージ、土圧・水圧計、水浸計、周縁水圧計、切戻ひずみ計、埋設型傾斜計
	手動測定	施工ステップ毎	挿入式傾斜計
掘削完了後	自動測定	1回/30分	ひずみゲージ、土圧・水圧計、水浸計、周縁水圧計、切戻ひずみ計、埋設型傾斜計

現場の計測室に計測データ集録・モニター用のパソコンを設置し、リアルタイム計測を行った。計測値が管理値を超えた場合は、場内に設置した警報機(回転灯)により周囲の関係者に警報を発した。更に、インターネットを介して任意のパソコンにて計測データを監視できる「Webモニタリングシステム」を導入した。これにより、夜間や休日を問わず計測データを監視できる他、計測値が管理値を超えた場合は、自動的にEメールで携帯電話またはパソコンに警報を送付できるため、現場を離れていても仮締切り工および本体鋼管矢板の状況を察知することができた。

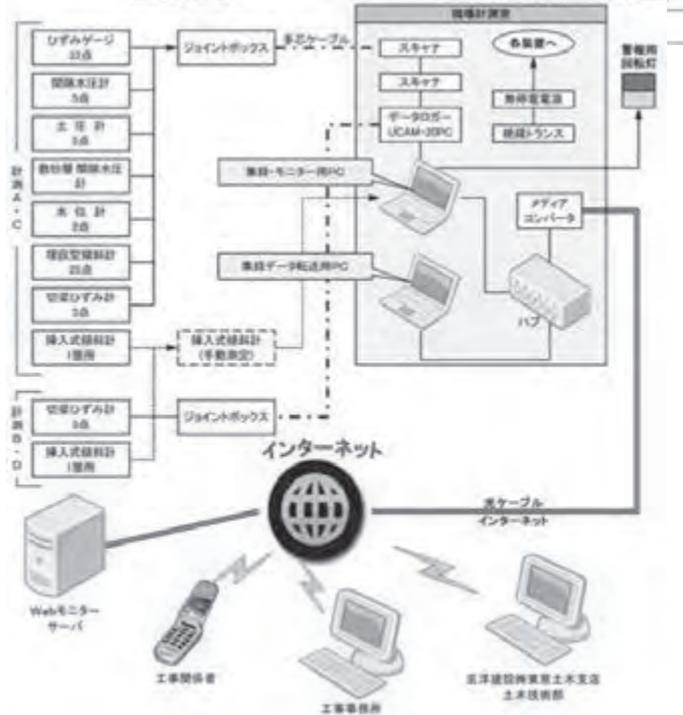


図-5 計測管理システム図

表-6 に示す管理基準値を設定し、得られる計測値の範囲に応じて対処した。なお、対策工の検討、実施に対する余裕を確保するため、二段階(一次・二次)の管理値設定を行った。

表-6 管理基準値

管理項目	一次管理値	二次管理値	管理限界値	
鋼管矢板の応力	仮締切り部	設計値の80%	設計値の100%	許容応力度*
	本体部	設計値の80%	設計値の100%	許容応力度
切梁の軸力	支保工	設計値の80%	設計値の100%	許容応力度*
敷砂層の間隙水圧	掘削底面	設計値の80%	設計値の90%	設計値

*仮締切り部および支保工の管理限界値は、短期許容応力度(許容応力×1.5)とする。

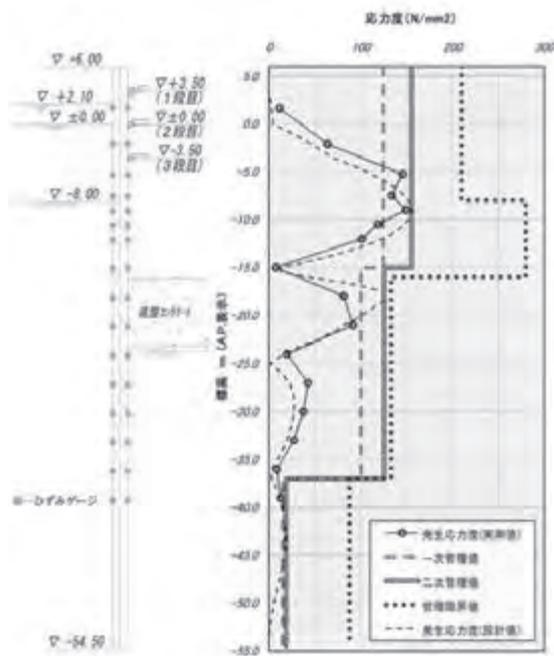


図-7 鋼管矢板の応力分布(井筒内排水完了時)

(3) 結果

今回の計測施工は、基礎完成後における構造上の安全性を確認することを主目的としたが大水深かつ軟弱地盤上の大規模な海上仮締切り工事という性格上、施工時における安全性の確保という側面からも十分に機能を果たすものであった。井筒内排水作業は、昼夜を通じての作業であったが、Web モニタリングシステムの導入により危険度が高まる夜間の現場に臨場することなく任意の場所で複数の関係者によりリアルタイム計測を行うことができ、安全かつ確実に計測管理を行うことができた。

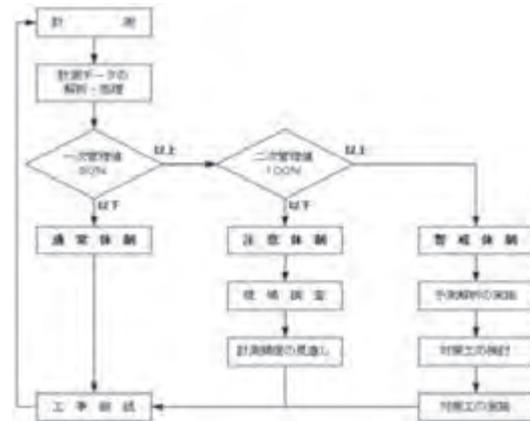


図-6 計測管理フロー図

設計上支配的となる「井筒内排水完了時」における鋼管矢板の応力分布図を図-7 に示す。

鋼管矢板の応力は、全ての計測点で二次管理以下に収まっており、ほぼ設計値に近い分布状況を示した。

本施工段階でピークに達した本体部鋼管矢板の応力は、これ以降の施工過程(頂版コンクリート工~井筒内注水終了)においても、二次管理以内に十分に収まっており、完成後における鋼管矢板基礎の安全性(設計との整合性)を確認することができた。

参考文献

- ・建設の施工企画(2010年4月)PP.9~13
- ・(社)日本道路協会, 鋼管矢板基礎設計施工便覧, 1997年12月

備考

—

技 術 名	桁送り出し総合管理システム
番 号	No. 5-7
発 注 者	名古屋高速道路公社
施 設 名	橋梁
所 在 地	愛知県名古屋市
工 事 名 称	新幹線 336K670 付近六番町 B0 新設
施 工 期 間	2009 年 11 月～2013 年 11 月
施 工 者	清水建設(株)
キーワード	桁送出し総合管理、集中管理、自動制御

(1) 概 要

1) 工事概要

名古屋高速 4 号東海線建設工事の一環として、国道 1 号と市道江川線が交差し、その上空に東海道新幹線のローゼ橋（地上高 22m）が位置する名古屋市熱田区六番一丁目交差点に、六番町跨線橋（支間長 104m 鋼製桁）を「手延式送出し工法」にて架設した。東海道新幹線と主要幹線道路直上で地上約 35m となる高所作業かつ市街地の狭隘な施工条件の下で、鉄道交通と道路交通の安全確保に特段の配慮を伴う難工事である



写真-1 全景



図-1 名古屋高速道路路線概要図

2) 当工事の重要課題

- ① 新幹線構造物・地下鉄構造物に近接した橋脚の施工橋脚基礎は東海道新幹線 336km670m 付近第 2 六番町架道橋橋脚に近接し、さらに地下鉄函体直上に位置しており、土留鋼矢板打設から基礎杭・躯体構築に至るすべての施工が鉄道構造物との近接施工となるため、既設構造物への影響が懸念された。
- ② 東海道新幹線・主要幹線道路直上での桁送出し架設地点が東海道新幹線および国道 1 号・市道江川線の直上となるため、工事の大部分は交通規制を伴う夜間作業となる。

桁架設作業は、列車が運行していない時間帯（深夜約3時間）で、桁移動時は直下（俯角75°範囲）の歩行者・一般車を通行止めするという、限られた時間内で複雑な道路規制を行いながらの施工が必要であった。

- ③ 東海道新幹線直上での桁回転移動施工区間がカーブ区間となっているため架設桁を所定の位置に収めるには、送出し後に回転移動させる必要があった。東海道新幹線の上空では初の試みであり、桁回転移動を成功させることが本工事の最重要課題であった。

(2) 技術詳細

1) 桁送出し総合管理システム

送出し工法では、軌条のわずかな不陸やバント設備の微沈下により送出し反力のバラツキが生じることが想定される。本工事では、新幹線・主要幹線道路直上での施工であり限られた時間の中で安全かつ迅速な送出しが求められたため、対策として送出し総合反力管理システムを導入した。このシステムは、送出し台車に内蔵された油圧ジャッキや到達側駆動シンクロジャッキをリアルタイムで集中管理して、反力を自動制御することができる。

架設設備や桁補強は設計荷重×1.2（不均等荷重20%割増）の荷重条件で設計しているため、設計反力±15%（85%～115%）の範囲で制御する設定として送出し、荷重不均衡を低減させ安定した桁送出しを実現することができた。



写真-2 第1回桁送出し全景



写真-3 駆動シンクロジャッキ

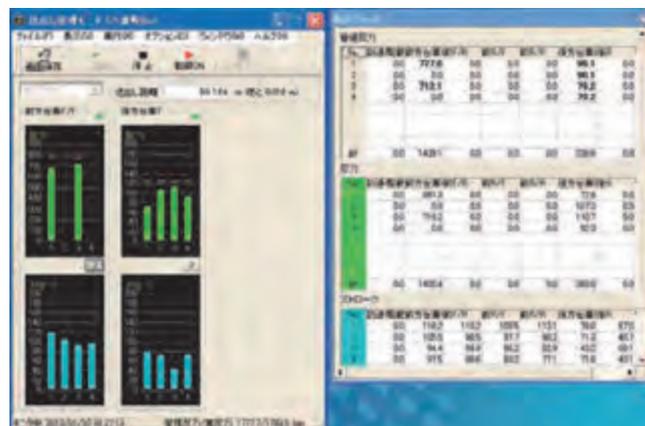


図-2 送出し総合管理システム画面

2) 傾斜修正システム

2軸スライド装置を導入するに当たり、2軸スライドクローラ部の摩擦力増加に伴いクローラ回転前に装置本体の傾斜が懸念された。過去には本体傾斜による不具合が発生した事例もあり、限られた時間内で2軸スライド装置を正常に作動させるために、傾斜修正システムを開発導入した。桁送出しに伴い、2軸スライド装置本体に設置した傾斜センサーの値が 1° を超えると傾斜修正ジャッキが作動し傾斜を自動修正させるようにした。

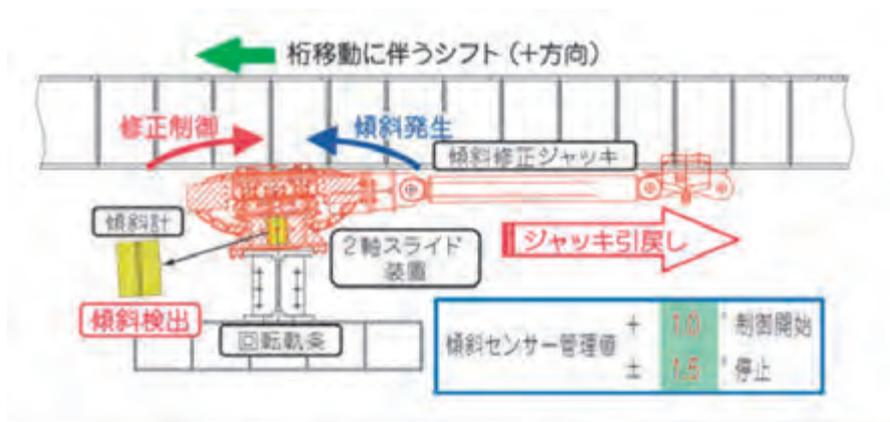


図-3 傾斜修正システム概要図

3) 桁回転総合管理システム

限られた時間内で、安定かつ迅速な桁回転移動が更なる課題であった。回転移動時、支持点が常時変化し反力バランスも常時変化する。この変動が適正範囲外で不均衡を発生させると安定した回転移動が行えない。桁送出し総合管理システム同様、桁回転総合管理システムを導入し、設計反力 $\pm 15\%$ (85%~115%)の範囲での制御を設定して回転移動時の支持点となる油圧ジャッキ鉛直反力をリアルタイムで集中管理・自動制御した。また回転移動量と橋軸方向のシフト量の監視、傾斜修正システムの集中管理・自動制御を行い、荷重不均衡を低減させ回転移動を実施した。

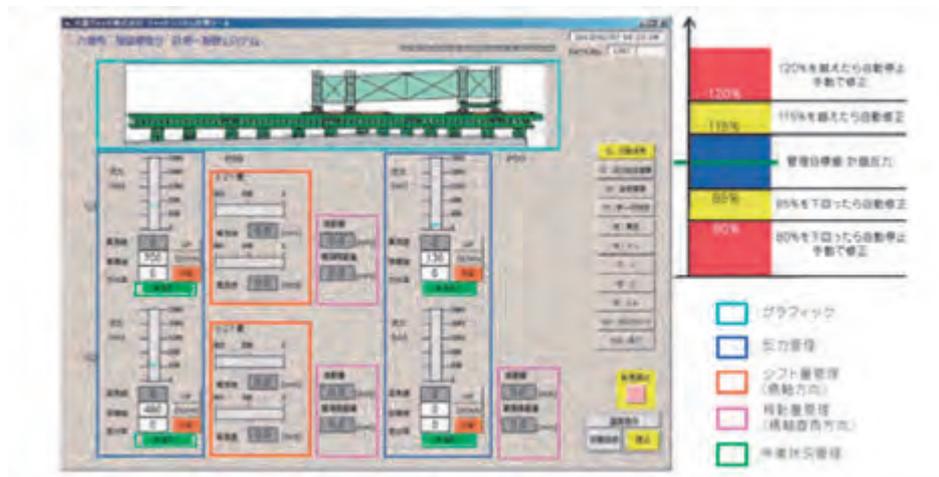


図-4 桁回転総合管理システム画面



写真-4 550t 回転中心ジャッキ



写真-5 300t スライドベース

(3) 結果

回転開始から終了まで計画値とほとんど差はなく（最大 4.3%差）安定した回転移動が行われたと考えられる。

図-5 に 2 軸スライド装置のクローラ方向である橋軸方向の変位量を示すが、計画シフト量とほぼ一致しており（計画と実測の最大差 22mm）、2 軸スライド装置が正常に機能したと言える。また、回転移動中は傾斜修正システムが適切に作動し、2 軸スライド装置の機能を十分に発揮させたことが示された。

これらの結果より、桁回転における回転中心・2 軸スライド装置を用いた桁回転工法と桁回転総合管理システムが有効に働いたことがわかる。

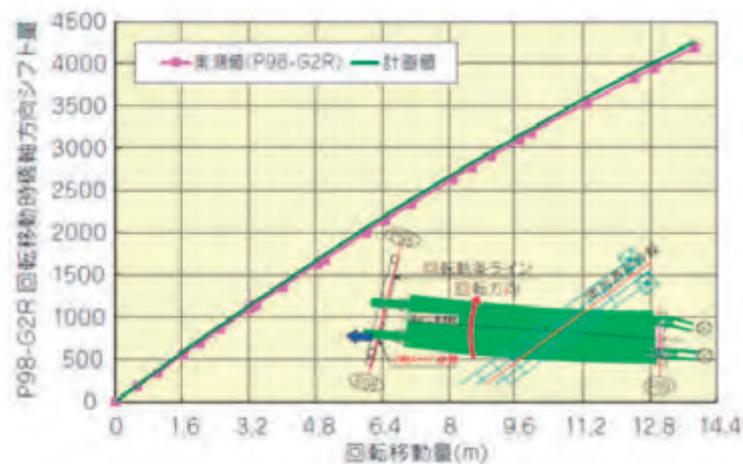


図-5 回転移動量 橋軸シフト量

参考文献	清水建設(株) Feb.2014 土木クォーター Vol.181 施工記録：東海道新幹線・国道1号を跨ぐ高速道路鋼製橋梁（上下部工）の施工
備考	—

技 術 名	計測管理システム
番 号	No. 5-8
発 注 者	広島市道路交通局
施 設 名	橋梁
所 在 地	広島県 広島市
工 事 名 称	広島南道路太田川工区橋りょう新設工事
施 工 期 間	2011年9月～2013年12月
施 工 者	清水建設(株)
キーワード	橋梁上部工、上げ越し計測管理

(1) 概 要

1) 工事概要

太田川大橋は、太田川放水路を渡河する橋長 412m の 6 径間連続鋼・コンクリート複合アーチ橋である。当工事は、河川管理上の制約や広島西飛行場の空域制限等の制約条件の中、上下部工を 27 カ月という短期間で施工された。また、張出し架設の途中段階でアーチ主構の台船一括架設、上下線の連結およびアーチ主構からの主桁の懸垂を行う特殊な構造である。



写真-1 アーチ主構の台船一括架設図



図-1 位置図

本橋は、PC連続ラーメン箱桁橋を鋼アーチ主構で補剛した構造で、主桁とアーチ主構で荷重分担することにより桁高を一定としたスレンダーな桁形状（桁高・スパン比＝約 1/43）である。アーチ主構は上下線間の中央分離帯部に配置され、アーチ基部はフィンバック構造にて橋脚・主桁と剛結されている。張出し架設の途中段階でアーチ主構を一括架設し、アーチ主構からの吊ケーブルにより主桁を懸垂しながら張出し架設する。吊ケーブルは、上下線を連結した吊材横桁に緊張・定着させる。

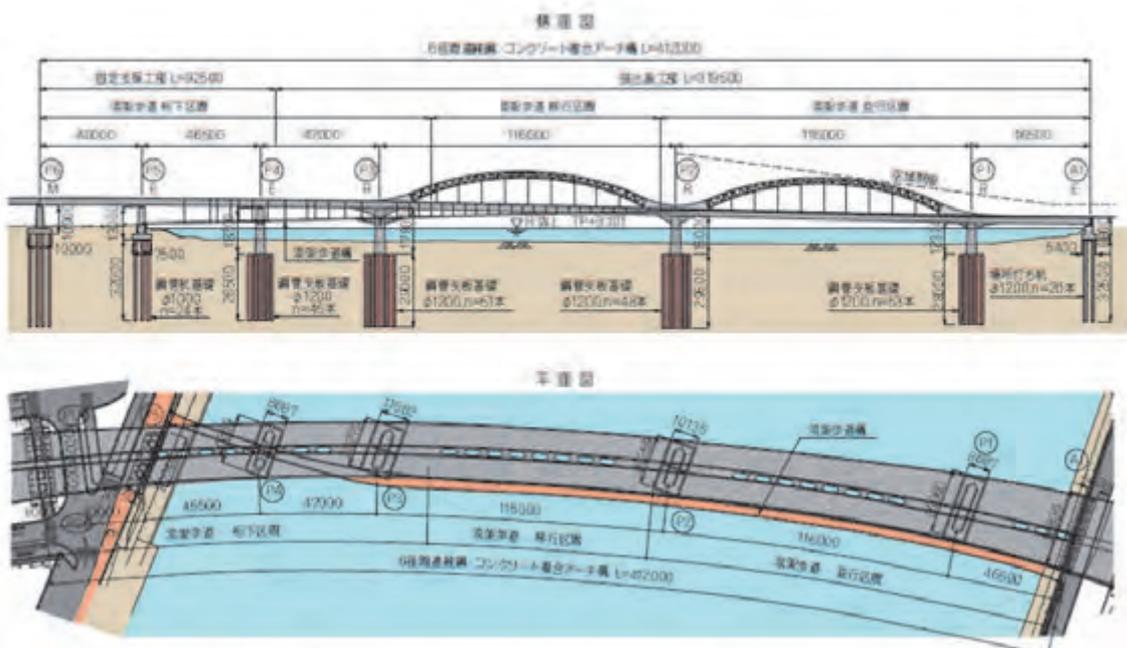


図-2 全体一般図



写真-2 ダミーケーブル



写真-3 計測管理システム



写真-4 振動計測

(2) 技術詳細

1) 温度補正による上げ越し管理

本橋は鋼・コンクリートの複合構造であるとともに複雑な構造形式であるため、温度上昇によって、アーチ温度が上昇しアーチが上凸になり主桁が持ち上げられ、主桁の上床版温度上昇・吊ケーブルの温度上昇により主桁が下にたわむという、相反する現象が発生する。アーチ主構、主桁と吊ケーブルの温度変化は一律ではないため、それぞれの部材に対して温度補正を行った。上げ越し管理は極力早朝のデータを使用するとともに、日中の管理には計測温度による補正した値を用いた。また、吊ケーブル緊張、中央閉合の施工は温度の影響の小さい時間帯で行った。

2) 水平変位計測

本橋はアーチの下路補剛桁がない状態で張出し架設を行うため、張出し架設の進捗とともに橋脚の水平変位が増大する構造である。そのため橋脚基礎の水平地盤バネが全体構造に与える影響が大きいためと考え、張出し架設中に橋脚の傾斜・橋面の水平移動量を計測した。

張出し架設での片側の主桁 BL のコンクリート打込みでアンバランスが発生し、両側の主桁 BL のコンクリート打込み完了後にバランスが取れることを利用して、打込み中の橋脚の傾斜および BL 打込みごとの柱頭部の水平変位の計測を実施した。

3) 吊ケーブル張力の計測

吊ケーブルの張力は加速度計による振動計測により測定した。架設時に緊張力と振動数からキャリブレーションを実施し、仮想ケーブル長を求め振動数と張力の関係式を設定した。以降は施工ステップの進捗ごとに振動計測を実施した。振動計測結果を用いて、吊材張力調整時の調整シミュレーションを行い、吊材張力調整を実施した。

(3) 結 果

1) 温度補正による上げ越し管理

温度補正を行った上げ越し管理により、橋梁完成時の主桁高さはすべて管理値以内となった。

2) 水平変位計測

計測結果より設計値と比較して過大な水平変位は発生していないことを確認した。

3) 吊ケーブル張力の計測

供用開始前の測定結果において吊ケーブル張力はすべて許容値以内となった。

参 考 文 献	清水建設(株) Nov. 2014 土木クォーターリー Vol.184 施工記録：世界でもまれな特殊構造 6 径間連続鋼・コンクリート複合アーチ橋の施工
備 考	—

技 術 名	トータル打設管理システム
番 号	No. 5-9
発 注 者	国土交通省 近畿地方整備局
施 設 名	大阪港夢洲トンネル
所 在 地	大阪府堺市築港新町1-5-1 日立造船(株)堺工場 (3号ドック)
工 事 名 称	大阪港夢洲トンネル沈埋函 (4号函) 製作工事
施 工 期 間	2004年3月23日 ~ 2005年11月30日
施 工 者	東亜・佐伯・神戸製鋼共同企業体
キーワード	コンクリート打設管理、運航管理

(1) 概 要

1) 背 景

スーパー中枢港湾に指定された大阪港で、臨海部に位置する咲洲と夢洲を結ぶ「夢洲トンネル (現：夢咲トンネル)」全長 2.1km が開通した。このうち、海底部の 806m は沈埋工法により建設され、その沈埋函全 8 函のうち 4 函を製作する工事であった。その構造上、コンクリートの打設管理が課題であった。

2) 施工概要

沈埋函は鋼殻とコンクリートの合成構造となっており、下床板は鉄筋とコンクリートによるオープンサンドイッチ式、壁・上層版が鋼板に挟まれた閉鎖空間内にコンクリートを充てんするフルサンドイッチ式によるものであった。合成構造の沈埋函にコンクリートを確実に充てんするために、①品質規格を満たす材料を安定出荷、②材料がなるべくフレッシュな状態で打込む、③打設中の材料切れを発生させないように連続して打込む、という 3 点の必要性があった。そこで、生コン車の運航情報と筒先での進捗が常に工場・運行管理室・筒先の 3ヶ所で情報共有できるよう、「トータル打設管理システム」を導入した。

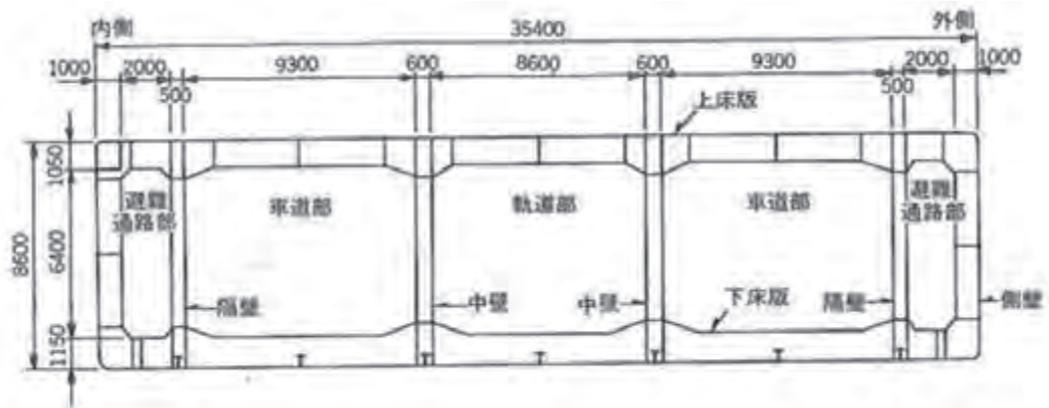


図-1 沈埋函断面図

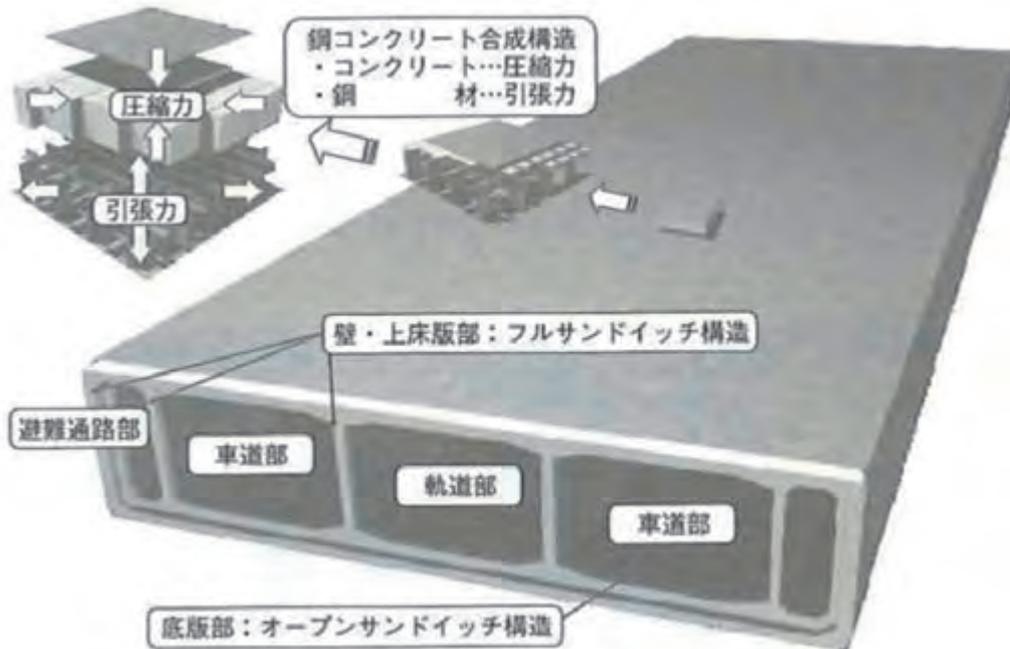


図-2 合成構造沈埋函の構造概要

(2) 技術詳細

1) システム概要

本システムは、生コン車に GPS を取り付け、その運行を管理する GPS 運行管理システム「Liberty-GPS」（日本マイコン神戸製）と、PDA（携帯型 PC）を利用して現場担当者が運行状況の確認、打設状況の分析を可能にした筒先管理システム「ORCA2」の2つのシステムから構成されている。

- ① 「Liberty-GPS」：生コン車に小型 GPS を取り付け、Docomo の Dopa 網を使用して全車両の位置情報を管理するシステムである。生コン車の位置は、工場および運行管理室に設置された PC 画面に全台数分表示され、運行状況が一目で把握できる。
- ② 「ORCA2」：生コン車運行情報の常時確認、および打込み区画の進捗や作業効率の分析が、現場の筒先でできる携帯型打設管理システムである。筒先側では、「Liberty-GPS」とリンクした生コン車の運行情報が、「製造からの経過時間」や「可使時間に対する残り時間」のほか、「到着予定時刻」とともに表示されるようになっており、これから打込みを行う一殻室に必要な分のコンクリートがどのような状態にあるか、常時把握できるようになっている。



図-3 「Liberty-GPS」 運行管理画面



図-4 PDA (携帯型 PC)



図-5 トータル打設管理システム全体図

2) システムの適用分野、条件

- ① 構造物の品質・耐久性が要求される重要構造物（新幹線高架橋など）
- ② 大量打設が頻繁となる現場（1回の打設数量が300 m³程度を目安）
- ③ 打設面積が広いと、打重ね時間間隔の管理が重要となる構造物
- ④ 運搬距離が長く、打込み完了までの許容時間管理が必要な構造物等の施工向き
- ⑤ システム内容としては、一般的なコンクリート構造物であれば全般に適用可能

<p>参考文献</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・合成構造沈埋函への加振併用型充てんコンクリートの適用と IT 技術を組み込んだ施工管理システムの開発 —大阪港夢洲トンネル沈埋函（4号函）製作工事—： 作井孝光 皆川幸弘 北澤真 西川正夫、コンクリートテクノ 25 (2)、pp. 9-15、2006 ・加振併用型充てんコンクリートを用いた合成構造沈埋函の施工 大阪港夢洲トンネル沈埋函（4号函）： 作井孝光 皆川幸弘 北澤真、セメント・コンクリート（714）、pp. 33-39、2006
<p>備考</p>	<p>【工事实績】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・八戸港（受託）東通東防波堤外本体工事 （国土交通省 東北地方整備局 工期：H21.3～H22.3） ・北陸新幹線 富山水橋新堀高架橋 （鉄道・運輸機構 工期：H20.3～H23.3） <p style="text-align: right;">他</p>

【その他／計測管理】

技 術 名	打込み杭のリバウンド・貫入量計測技術
番 号	No. 5-10
発 注 者	国土交通省 関東地方整備局
施 設 名	コンテナターミナルガントリークレーンレール基礎
所 在 地	神奈川県横浜市
工 事 名 称	横浜港南本牧地区岸壁(-16m) (耐震) 鋼管杭打込等工事(その2)
施 工 期 間	2010年 9月 13日 ~ 2012年 3月 30日
施 工 者	東亜・大本共同企業体
キーワード	打込み杭、支持力管理、PSD カメラ

(1) 概 要

1) 背 景

コンテナターミナルに設置するガントリークレーンのレール基礎は、鋼管杭を用いる構造であるが、杭の支持層の隆起が激しい地盤条件となっており、基礎杭施工時には、設計値以上の支持力の確保が課題であった。クレーン基礎杭の打込施工における支持力管理の精度向上を図るために、PSD カメラによる打止め管理手法を用いた。

(参考：設計支持力 (岸壁部 25 本) 16, 295kN 以上、(取付部 8 本) 14, 665kN 以上)

2) 施工概要

本工事は、ガントリークレーンのレール基礎のうち、陸側のクレーン基礎杭 84 箇所を施工したものである。なお、基礎地盤に CDM 改良を行っている 51 箇所については、建込施工、残りの 33 箇所は直接海底面下の支持層に杭を打設する打込施工で施工を行った。

本工事では、鋼管杭 33 本の打設においてより正確に支持力の算定を行うため、打止め時の杭のリバウンド量・貫入量を PSD カメラにより計測した。その後、監督職員指示による支持力算定式を用い、得られたリバウンド量と貫入量から動的極限支持力を算出し、所定の支持力が得られていることを確認することで、打止め管理を実施した。

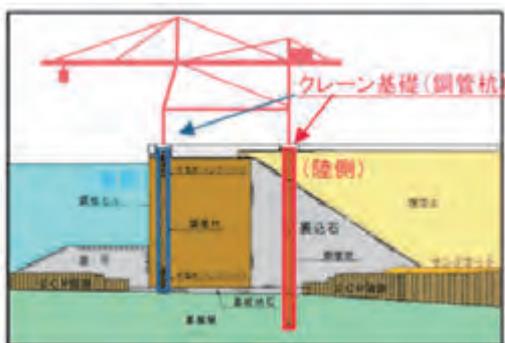


図-1 施工断面図

表-1 鋼管杭仕様、地盤条件

杭 径	φ 1500mm
肉 厚	15mm
杭 長	38.0~41.0m
材 質	SKK490
地盤条件	N値: 0~50

(2) 技術詳細

1) システム概要

PSD (Positioning Sensitive Detector) カメラは、PSD コントローラ、PSD カメラ、LED ターゲット (赤外発光) の 3 システムで構成される。PSD カメラの中にはスポット光の位置 (光の重心位置) を検出出来る PSD 素子が組み込まれており、スポット光の動きをとらえることが出来る。また、PSD コントローラは LED を制御して発光させ、その光をとらえた PSD カメラによって、LED の動きを計測することが可能となる。

杭頭部に固定した LED ターゲットの動きを PSD カメラでとらえ、PSD コントローラにて取り込んだデータを PC に転送する。その後、PC に転送した計測データからリバウンド量と貫入量を求め、これらの値から動的極限支持力を算出することで、支持力を確認する。

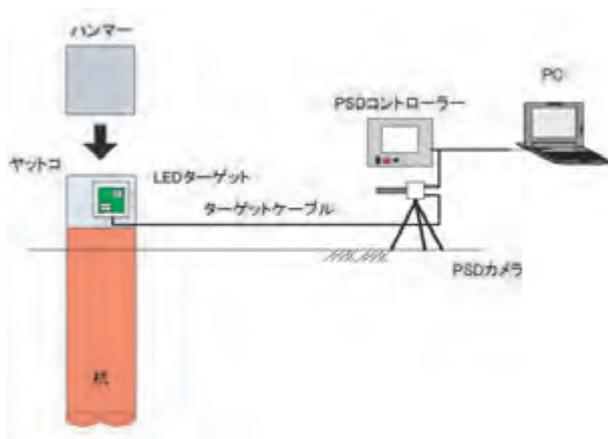


図-2 計測概略図 (PSD カメラ)



写真-1 計測状況 (PSD カメラ)

2) 留意点

計測距離 30m 程度までの PSD カメラの適用性を確認している。

3) 安全性

作業員による従来の計測方法と比較して、施工中に杭直近に近づく必要がなくなり、安全性が格段に向上した。

4) 計測精度

PSD カメラによるデジタル計測のため、データのばらつきが少なく、高い精度で計測が可能となった。

(3) 結果

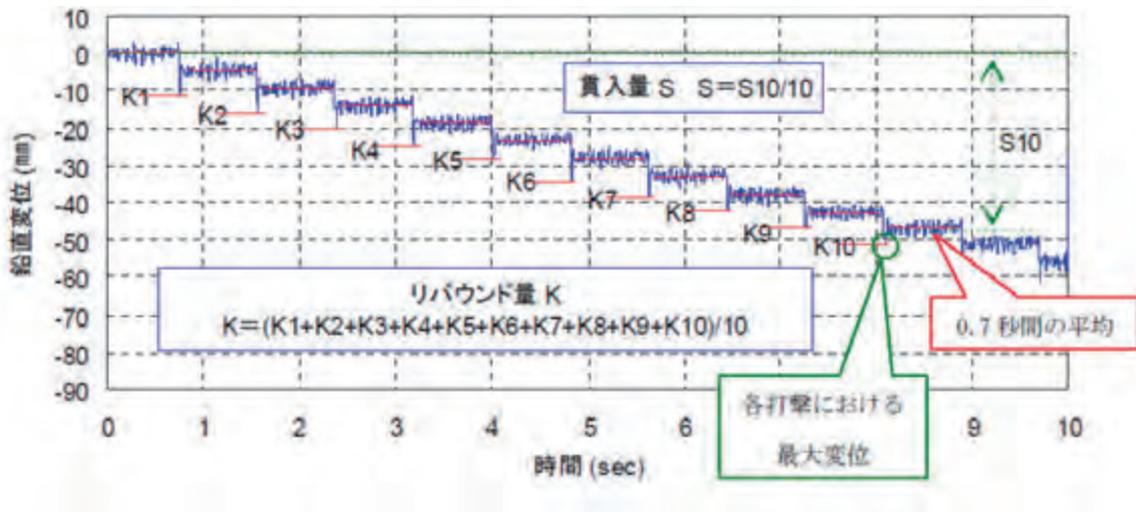


図-3 リバウンド量・貫入量算出の一例

参考文献	—
備考	—

【その他／計測管理】

技 術 名	加速度センサーを用いた「コンクリート打ち重ね時間管理システム」
番 号	No. 5-11
発 注 者	—
施 設 名	—
所 在 地	—
工 事 名 称	—
施 工 期 間	—
施 工 者	戸田建設(株)
キーワード	加速度センサー、コンクリート打設管理
<p>(1) 概 要</p> <p>建設工事におけるコンクリート打設時の打ち重ね時間を正確に管理するために「コンクリート打ち重ね時間管理システム」を開発し、現場適用を開始した。</p> <p>コンクリート打込み時の管理項目の一つに打ち重ね時間の管理がある。現状では、部材毎に打込み開始・終了時刻を紙面等に記録し、終了時刻から次層の打込み開始までの時間が所定の時間をオーバーしないよう、コンクリート工事担当者が配慮しながら打込みを進める必要があり、手間が掛かり厳密な管理が難しい管理項目である。</p> <p>開発した「コンクリート打ち重ね時間管理システム」は、コンクリート打込み時のバイブレータの振動を鉄筋に取り付けた加速度センサーにより検知することで、打込み開始・終了時間を自動で収集、スマートフォンやタブレット端末の画面上でリアルタイムに表示し、各部材の次層までの打ち重ね時間限度を確認でき、音声などで担当者に自動的に通知するシステムである。このシステムを使うことで、正確で効率的な打ち重ね時間管理が可能となり、密実で不具合の少ない高品質なコンクリートを施工することができる。</p> <p>(2) 技術詳細</p> <p>システム画面（図-1）、及び管理帳票例（図-2）を次頁に示す。</p>	



図-1 システム画面

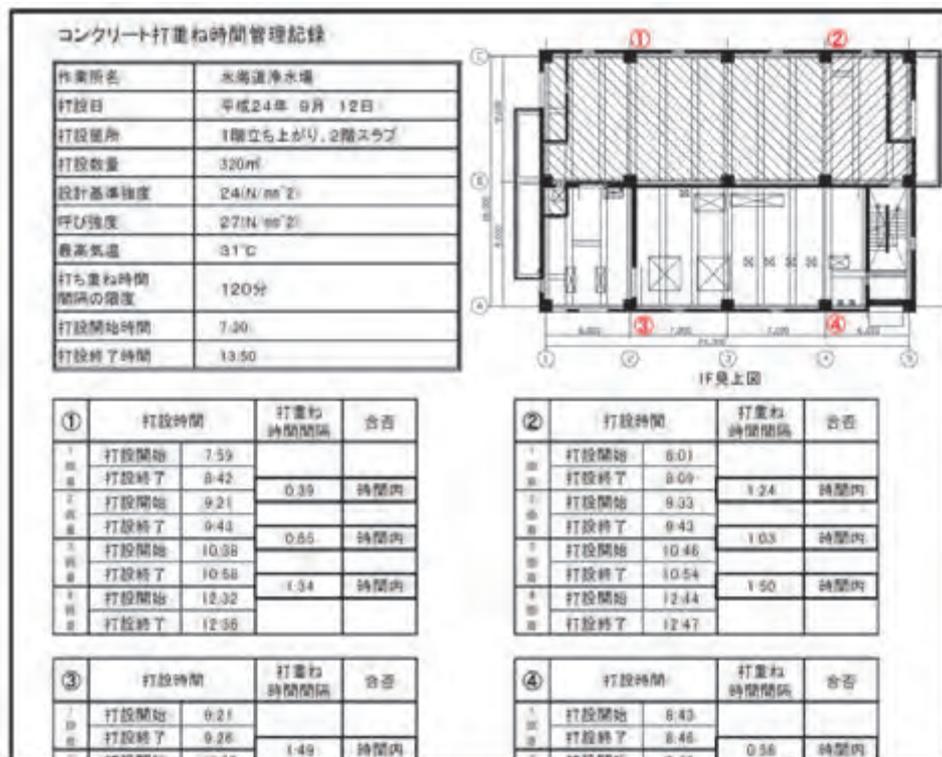


図-2 管理帳票例

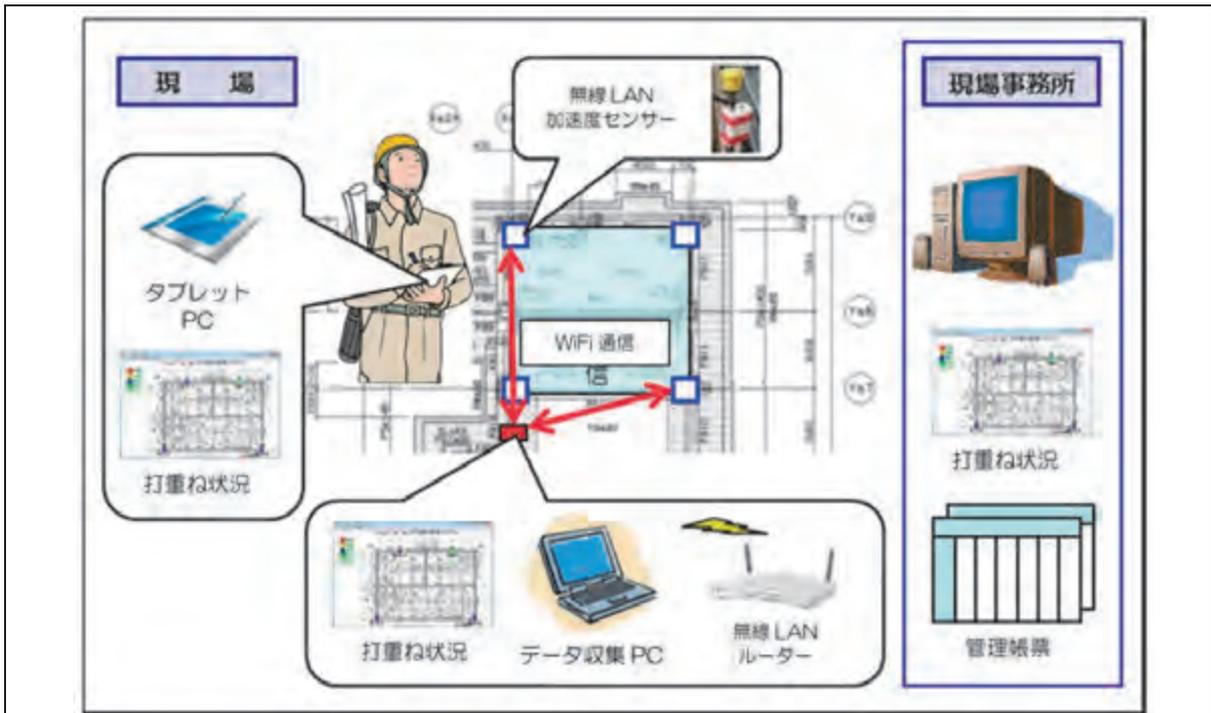


図-3 システム全体イメージ図

(3) 結果

1) リアルタイム管理

コンクリート工事担当者は現場に携帯したスマートフォンやタブレット端末を用いて、打ち重ね時間（所定時間までの残り時間）をリアルタイムに確認しながらの打込みが可能である。道路事情等により打込みが計画より遅延した場合でも早期に状況を把握し、打設順序や打込み高さの変更を行うことで、より不具合の少ない密実なコンクリートの打込みが可能となる。

また、作業所内の拠点や現場事務所などのパソコンでも、同じ画面を確認することができ、コンクリート打込み担当者以外の立会者等も同時に打込み状況を確認できる。打込み作業中でもスマートフォンから音声で自動的に情報を通知できる。

2) 帳票出力の効率化

打設時間記録はエクセル帳票として出力でき、管理帳票の作成が効率化できる。

システム開発が完了し既に建設現場に適用済みで、今後、更に適用現場を増やしていく予定である。また、運用中の「生コン運行管理システム」も同時に適用することで、運行状況に合わせて早期の計画変更が可能となっており、コンクリートの施工品質管理情報を統合化したデータベースの一環として、より高品質な施工を目指す。

参考文献	戸田建設(株)ホームページ：ニュースリリース、2013年3月7日、 http://www.toda.co.jp/news/pdf/20130307.pdf
備考	—

【その他／計測管理】

技 術 名	現場情報統合システム
番 号	No. 5-12
発 注 者	小田急電鉄(株)
施 設 名	—
所 在 地	東京都世田谷区
工 事 名 称	下北沢連立2工区 [代々木上原駅・梅ヶ丘駅間線増連続立体交差工事]
施 工 期 間	—
施 工 者	戸田建設(株)
キーワード	自動計測、土留め壁変位計測、軌道変状計測、地下水位計測
<p>(1) 概 要</p> <p>都市部、特に近隣に家屋や店舗が建ち並ぶ地域での開削工事にあたっては、地下水の低下、土留め壁の変形による背面地盤の沈下などをリアルタイムに把握し、施工にフィードバックする必要がある。加えて鉄道近接工事においては、軌道変状を的確に把握することにより、異常時の早急な対応、運行阻害の防止が求められる。また、本工事のように施工場所に踏切が4か所ある状況では、工事ともなう第三者災害の防止も重要なポイントとなることから、広範囲な現場状況を常時監視することが要求される。</p> <p>このような状況下においては多岐にわたる情報を“見える化”し、“異常時には誰でもわかる”、“どこが異常なのかがすぐに把握できる”ことをシステム化することが重要である。</p> <p>ここでは、土留め変位、軌道変位等の計測と地下水位計測を現場事務所においてリアルタイムに監視できるシステムの採用と、併せて現場状況を常時監視するウェブカメラの設置とその効果について報告する。</p> <p>設計概要は、以下のとおり。</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 留め壁と用地境界との 離隔が最小で 800 mm と狭小であり、境界際には家屋があるため掘削にともなう土留め壁の変形に留意する必要がある。 ② 植土層を介在しており、地下水低下にともなう圧密沈下に留意する必要がある。 ③ 業線を工事桁で仮受けし、その直下を掘削するため、軌道（工事桁）の変形に留意する必要がある。 ④ 区内には踏切が4か所あり、列車運行阻害のリスクに加え、交通災害、第三者災害に留意する必要がある。 	



図-1 事業概要図

(2) 技術詳細

1) 土留め壁の変形計測および切梁軸力計測

① 土留め計測における特徴

計測方法自体は、多段式傾斜計による土留め変形の計測、ひずみ計および温度計による切梁軸力計測と、一般的な計測方法である。本検討は“見える化”をテーマとしているため、“リアルタイムに情報が得られる”、“夜間宿直者も容易に確認できる”、“現場事務所でできる”を主眼として以下のような自動計測システムを採用した。システムフローを図-2に示す。

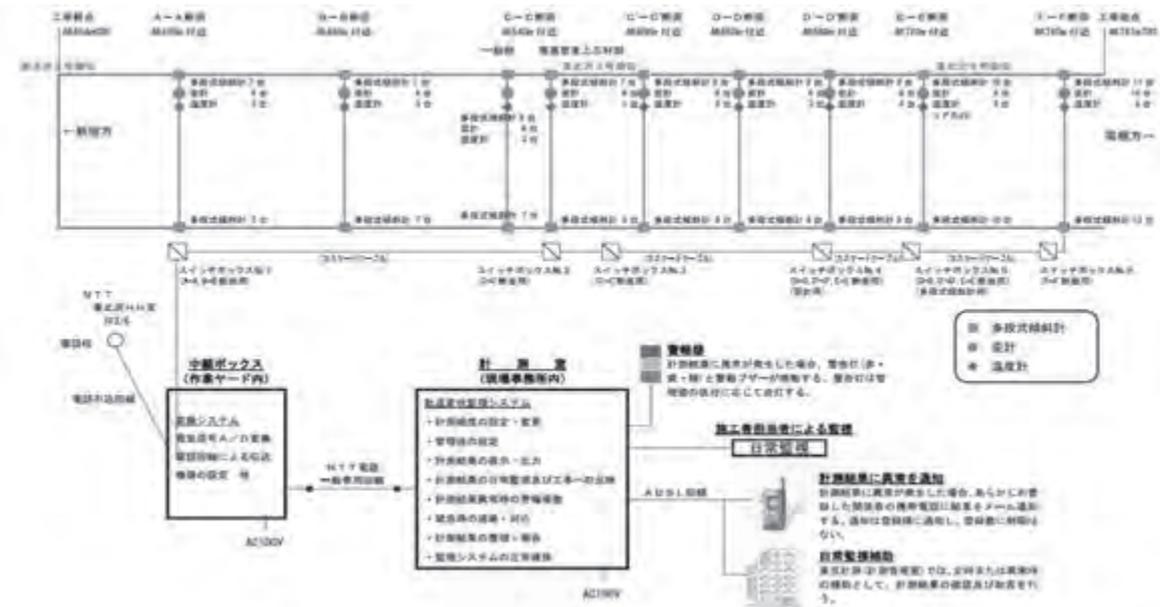


図-2 土留め計測システムフロー



図-3 土留め計測画面例

- ・ 9 計測断面から送られてくる情報を現場内の中継ボックスに送る（有線）。
- ・ 中継ボックスで電気信号変換を行い、NTT 回線を利用して事務所へ転送する。
- ・ 事務所のパソコンに監視システムを導入し、計測頻度の設定・変更、管理値の設定、計測結果の表示・出力等、必要な操作を事務所で行える。
- ・ 事務所では計測データの数値表示をグラフ化したものをモニターに表示し、いつでも誰でも容易に確認できる。
- ・ 異常が発生した場合は、警告灯が回転しブザーが鳴動する。警告灯は緑黄赤の三色で構成され、緑が一次管理値、黄色が二次管理値、赤が限界管理値を超えた場合に回転する。ブザーは、一次管理値を超えた場合に鳴動する。
- ・ 異常値が出た場合は、事前登録しておいた関係者の携帯電話にメールが転送される。

② 自動計測システム採用の効果

- ・ 警告灯の回転とブザーが鳴動することにより、職員が異常値に気づかない状態のまま放置されているというリスクが回避でき、異常時対応が迅速に行える。また、管理値ごとに警告灯の色を変えることにより重大さ、危険度の認識がその場で確認できる。
- ・ 夜間作業の場合のように事務所に職員が不在の場合でも、メールによる確認ができるため、早急な対応が可能である。
- ・ 数値表示と併せグラフ化したものもモニター表示するため、その時の数値だけでなく土留め変形など過去からの傾向を目で確認できる。
- ・ 測定結果の整理・報告が容易である。

2) 軌道変状計測

① 採用にあたっての条件

- ・ 工事区間は、曲線線形を含み縦断勾配の変化がある。→設置の自在性・長期間計測を行う。→環境変化（降雨、温度など）の影響を受けにくい。
- ・ 沈下の際には、対応を即座に行う。→計測結果には即時性が求められる。

② リンク型軌道変状システムの特徴と効果

- ・ 曲線や高低差があっても設置が可能。
- ・ 軌道の高低（鉛直成分）と通り（水平成分）の2方向が計測可能。
- ・ 雨・雪・陽炎・風等気象環境の影響を受けない。
- ・ 土留め計測と同様に異常時は警報を発し、電話回線を通じて携帯電話にメール通報できる。また遠隔操作により、システム設定や状況監視が可能。

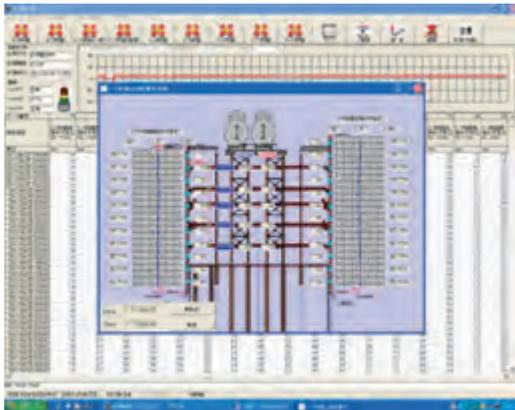


写真-1 軌道計測設置状況



図-4 軌道計測画面例

計測器は仮橋脚ピッチ 10 m を 1 スパンとし、端部とセンターの相対変位量（鉛直変位、水平変位とも）で沈下量を算出する。算出されたデータは作業ヤード内の中継ボックスから NTT 電話一般専用回線を介して計測室（現場事務所）に送られる。そのデータに基づき異常の有無を判定し警告音の鳴動やメール配信がなされ、早期の異常発見が可能となる。ただし電車通過時の動的振動も計測するため、静的挙動か動的挙動なのかを判別する合理的な手法の検討が必要である。また夏季、冬季など鋼材温度による変形も含まれるため、その判別や温度補正手法の検討が必要である。

3) 地下水位計測

① 地下水位計測システムの特徴

- ・ 土留め壁内外に観測井戸を掘り、水位計を設置する。
- ・ 計測値は、スイッチボックス、データロガーを介して計測室に送られる。
- ・ 計測室には定電圧装置、無停電装置を設置し安定したデータ処理、停電時でもデータが途切れることのないよう配慮。
- ・ データ処理された水位は、グラフ化されパソコンで時系列の確認ができる。
- ・ モバイル通信により現場事務所にデータを送り、計測室に常時いることなく水位の動向、異常の有無を視認できる。
- ・ 管理値を超える異常値が生じた場合は、関係する職員に異常をメールで知らせる。

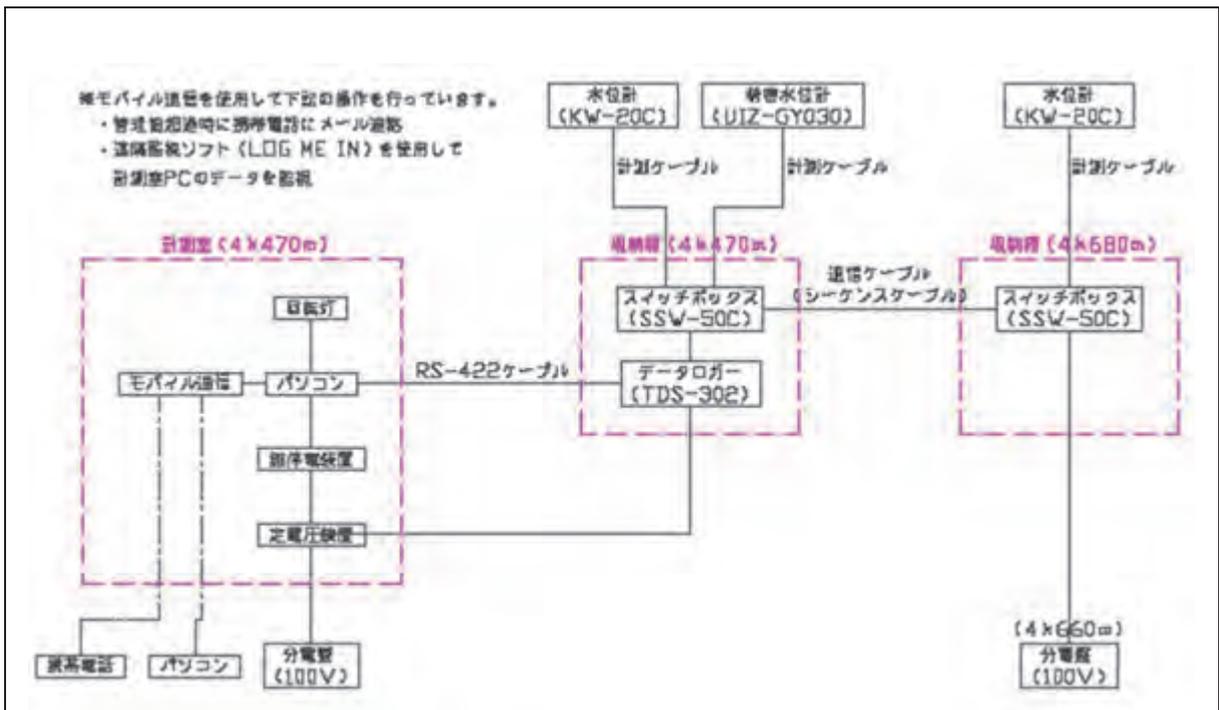


図-5 地下水位計測システムフロー

② 地下水位計測システムの採用による効果

- ・現場事務所でグラフ化された水位と井戸を設置した平面図を確認することができるため、異常時には“いつ発生したか”、“どこで異常が出ているか”、“異常の程度はどのくらいか”が即座に視認でき、迅速な対応を図ることができる。
- ・1分ごとの水位をグラフ表示するため、異常時対応においてその効果をグラフで見ながら確認でき、事務所から現場への指示などが確実性を持って行える。また対応後の地下水位の回復状況も即座に確認できる。
- ・メールで異常を知らせるため、「夜間で気が付かなかった」というリスクが回避される。
- ・データは全て保存されるため、過去に遡ってのデータ整理などが容易に行える。



写真-2 モニター設置写真 (現場事務所内)

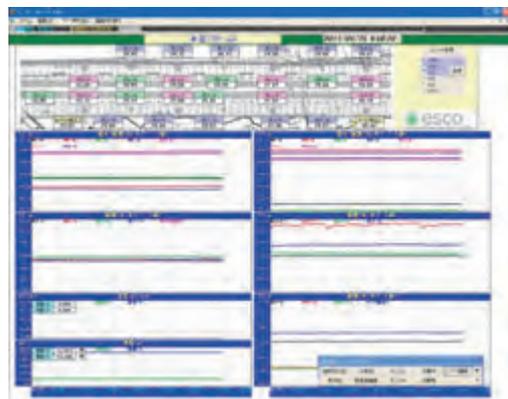


図-6 地下水位計測画面例

4) その他採用技術(ウェブカメラの採用)

鉄道近接工事においては列車運行阻害を起ささないよう、列車防護柵の設置やポンプ配管の養生、桁下防護、誘導員の適切な配置など万全の防護工を行う必要がある。さらに地上を走る線路には踏切がつきものであり、工事車両通過にともなう列車運行阻害、交通災害などが懸念され、それに対する対策とともに常時監視できるシステムを設けることでリスクの低減を図った。

そこで踏切部と主な作業をしている場所を中心に、計9台のウェブカメラを設置した。支障とならない場所に小型カメラを設置し、事務所でも作業の状況や踏切部の誘導状況が確認できるようシステムを構築した。ウェブカメラ採用による利点を以下に示す。

- ・全体の作業状況が把握できる。
- ・踏切部の状況が事務所でも確認できる。
- ・夜間でもモニターで異常の有無を確認できる。
- ・カメラは角度、高低を変えることができる。これにより広範囲の状況確認が可能。

(3) 結 果

ウェブカメラの採用は、本工事において安全、施工の両面にわたって効力を発揮した。広範囲の作業所においては一目で全体を把握できることは難しく、少なくとも作業箇所や踏切のような重点的に管理しなければならない個所を一度に状況把握できることは、現場を安全に進めていく上で重要なことである。

参 考 文 献	(一社) 日本建設機械施工協会「建設機械施工 (2013年10月)」 PP. 32~36 http://jcma.heteml.jp/bunken-search/wp-content/uploads/2013/2013-10.pdf
備 考	—

【その他／計測管理】

技 術 名	電源と外部配線がいらぬひずみ計測システム
番 号	No. 5-13
発 注 者	—
施 設 名	—
所 在 地	—
工 事 名 称	—
施 工 期 間	—
施 工 者	戸田建設(株) なお、共同開発者は太平洋セメント(株)、沖電気(株)
キーワード	非接触計測、健全性確認、IC タグ、コンクリート構造物

(1) 概 要

従来、一般に行われてきた有線式のひずみ計測方法では、計測と電源供給のための外部配線が必要であった。そのため、部材運搬中の配線の破断や、長期計測中における配線の劣化の可能性が高く、その場合には施工性が著しく悪化するため、ひずみ計測は、一部の部材に限定されていた。

今回、戸田建設などが開発した「さくさく SLIT 工法」*1 の実部材による載荷試験および施工試験を行い、構造物の変位・変形を非接触で計測できることを確認するための実証試験を行った。

(2) 技術詳細

「電源と外部配線がいらぬひずみ計測システム」は、電池を搭載しないパッシブ型ひずみセンサー付 RFID タグ*2 をコンクリート内部に埋め込むことにより、構造物に作用する様々な荷重や劣化によって生じる変位・変形を、外部より電波を当てて非接触で測定するものである。当システムでは、コンクリート内部に計測装置を完全に埋め込めるため、通常の部材と同様の運搬・施工性を発揮できるだけでなく、完成後も特殊な配線が不要で構造物の健全性の確認が可能となる。

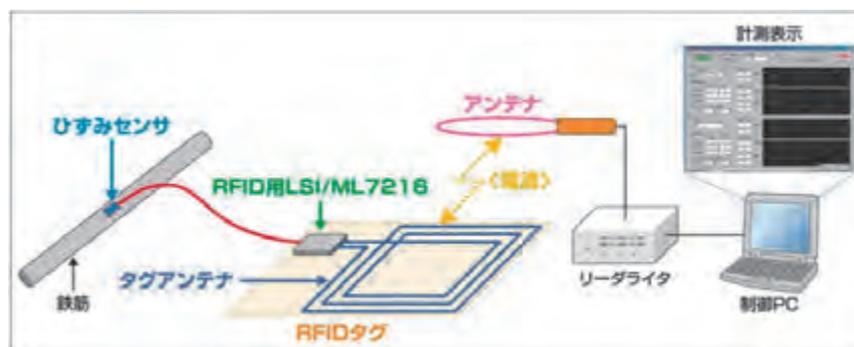


図-1 システムの基本構成

1) 主な特徴

- ① 電池を必要としないパッシブ型ひずみセンサ付 RFID タグは、リーダライタからの電波エネルギーを利用することから、電池寿命を気にせず計測が可能。
- ② 鉄筋に取付けられているひずみセンサと RFID タグをパッケージング化しているため、コンクリート内に容易に設置が可能。
- ③ RFID タグは書換え可能な中容量のメモリを搭載し、また個別 ID を持つことから、維持管理における調査点検結果の記録や、建設時の使用材料の記録など、情報管理に利用できる。
- ④ 周波数は水分による干渉の影響が小さい 13.56MHz 帯を使用し、コンクリート構造物に埋設して使用でき、構造物の耐久性を低下させる心配がない。
- ⑤ RFID タグにはサーミスタ^{※3}を具備し、ひずみ計測とともに温度測定も可能で、温度によって生じる構造物の変形をキャンセルすることができる。

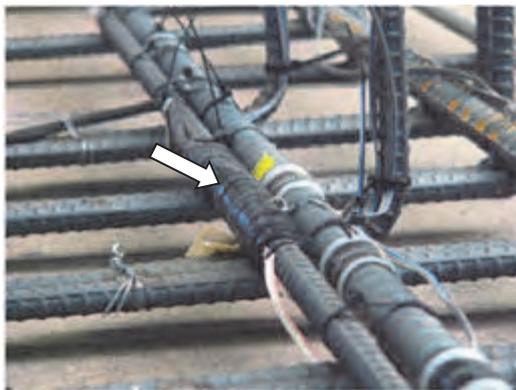


写真-1 コンクリート配筋に設置した RFID タグ用のひずみ検知部



写真-2 コンクリート配筋に設置し RFID タグ



写真-3 ひずみセンサ部と RFID タグ



写真-4 荷重試験によるセンサ RFID の確認試験状況

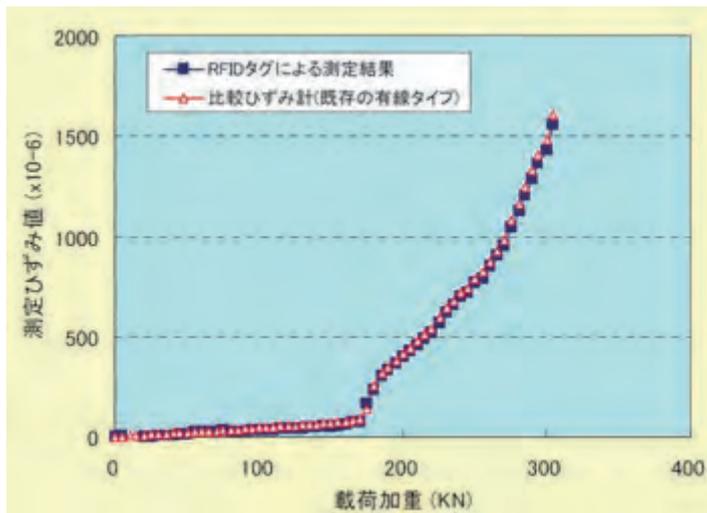


図-2 実物大試験体の載荷による本システムと既存の有線によるひずみ計との比較



写真-5 施工後のひずみ計測状況

(3) 結果

今後、「電源と外部配線がいらぬひずみ計測システム」の実用化範囲をさらに各種建設資材に拡大し、品質の向上ばかりでなく、完成後の維持管理や災害後の構造物の健全性の早期評価など、顧客のニーズにいち早く対応する予定である。

[用語解説]

*1 さくさく SLIT 工法：

戸田建設株式会社・ジオスター株式会社の共同開発したプレキャスト式地下構造物構築法。

*2 パッシブ型ひずみセンサ付 RFID タグ：

RFID (Radio Frequency Identification の略は、パッシブ型は電池を持たず電波を自ら出さないタイプの無線による個別認識技術で、ひずみ計測を可能としたもの。

*3 サーミスタ：

マンガン、ニッケル、コバルトなどを主原料とする酸化物粉末を混合、成型し、高温で焼結したファイン・セラミックである。サーミスタは温度に対して抵抗値が大きく変化するので温度センサとして使用される。

参考文献	戸田建設(株)ホームページ：ニュースレター(2008年5月16日) http://www.toda.co.jp/news/pdf/hizumi080516_1.pdf
備考	—

技 術 名	イージーモニタリング監視
番 号	No. 5-14
発 注 者	国土交通省北陸地方整備局
施 設 名	—
所 在 地	—
工 事 名 称	一般国道 345 号道路更新防災等対策(国道改築)旭橋下部工工事
施 工 期 間	2010 年 6 月～2011 年 8 月
施 工 者	(株)福田組
キーワード	杭誘導システム、ネットワークカメラ、ガイド線誘導
<p>(1) 概 要</p> <p>従来の杭等の建込み時の鉛直性管理方法は、工事管理者二名がトランシットで直交する二方向から常時視準する方法で行っていた。この方法では、重機のオペレータが直接状況を視認できないため、必要な修正指示を合図や無線等で行ない、タイムリーな建込み修正ができないという問題があった。</p> <p>直交二方向に設置された監視カメラにより、杭等の建込み状況と鉛直基準線をリアルタイムに重機オペレータ室内のモニターに表示する。</p> <p>これにより、オペレータ自身が鉛直性を直接視認(確認)し、的確・タイムリーな修正を行い、容易に杭等の鉛直性を確保できる。</p> <p>(2) 技術詳細</p> <p>本システムはネットワークカメラを使用した 2 台の監視カメラと重機オペレータおよび管理者に表示するモニター機器で構成される。</p> <p>本システムは、以下のような特徴を有する。</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 二方向の監視カメラによる動画と鉛直線を同時に重機オペレータの運転席に設置されたモニターに表示し、重機オペレータがリアルタイムに視認(確認)することができる。 ② 簡単な操作で任意に画像の向きを変えたり、拡大・縮小画面に切り換えることができます。吊荷・玉掛者の位置など周囲の状況もモニター上で確認できる。 ③ 重機オペレータと工事管理者が施工状況の確認をモニター上で相互同時に行える。 ④ 施工記録として動画の保存ができる。 ⑤ 対象杭等にマーキングし、建込み中は鉛直下方向に自動追尾するので、重機オペレータは最小限の操作で効率よく作業できる。 ⑥ 重機オペレータ運転席のモニター機器類は全て外付けであり、重機仕様にとらわれずに使用できる。 	



図-1 システム構成機器

(3) 結果

二方向の監視カメラによる動画と鉛直線を同時に重機オペレータ室内のモニターに表示し、リアルタイムに視認(確認)することができる。瞬時にオペレータが判断・修正できるので鉛直性が向上し、品質の確保が図れる。

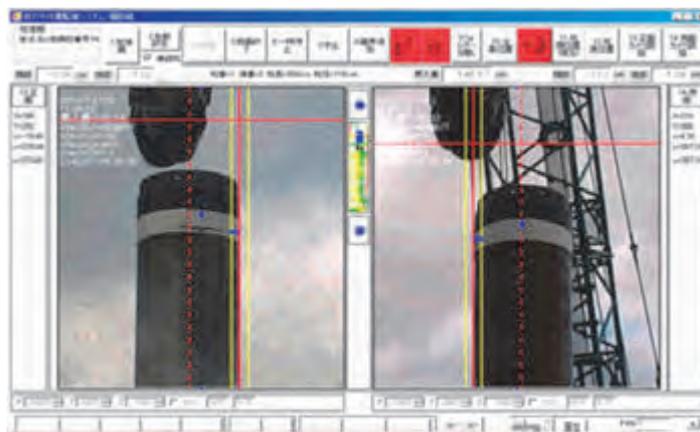


図-2 場所打ち杭施工事例



図-3 鋼矢板施工事例

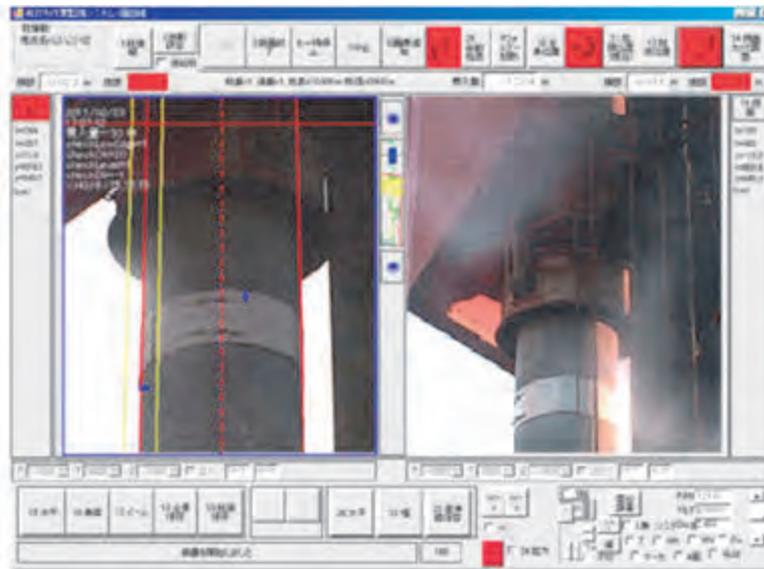


図-4 既製杭施工事例

<p>参考文献</p>	<p>(株)福田組 重機周辺状況確認と杭建込み鉛直性向上モニタリング監視システム</p>
<p>備考</p>	<p>—</p>

5.5 廃棄物管理

【その他／廃棄物管理】

技 術 名	遮水シート安全管理システム
番 号	No. 5-15
発 注 者	佐賀県環境クリーン財団
施 設 名	管理型最終処分場
所 在 地	佐賀県
工 事 名 称	鎮西最終処分場建設工事
施 工 期 間	2003年4月～2006年12月
施 工 者	清水建設(株)
キーワード	遮水シート、漏水検知、線電極・電流方式

(1) 概 要

近年、佐賀県内においても管理型最終処分場の残存容量が減少し、適正な廃棄物処理施設の整備が求められている。鎮西最終処分場建設工事は、佐賀県・市町村・産業界が一体となって設立された、公益法人「佐賀県環境クリーン財団」が佐賀県東松浦郡鎮西町菖蒲地区（現唐津市）の玄海灘を見下ろす丘陵地につくる産業廃棄物処分場建設工事である。本工事は、かねてから民間資本で処分場建設が進んでいた採石場跡地を引継いだ形で廃棄物処理施設整備事業を行うこととなった。

当工事は斜面崩壊に伴う設計変更およびその対策工事として採用された我が国初となる3段法面ベントナイト遮水工の施工および品質管理手法を採用したものである。



写真-1 造成工事竣工時の鎮西最終処分場



図-1 平面図

(2) 技術詳細

漏水検知システムは、施工実績も多く信頼性の高い、線電極・電流方式を用いた坂田電機製『遮水シート安全管理システム』を採用した。処分場に敷設される上層遮水シートを挟むように、遮水シート上側をX方向、下側をY方向にして交差させて測定電極（φ5mm 裸軟銅線）を4m間隔で敷設し、シート破損等による漏水発生時に6.25m²（2.5m×2.5m）以内の精度で位置検知を行い、常に作動状況をコンピュータの画面により監視できるものである。

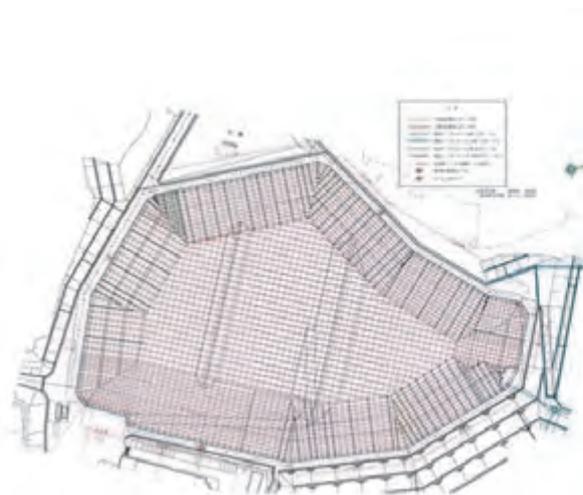


図-2 測定電極敷設平面図

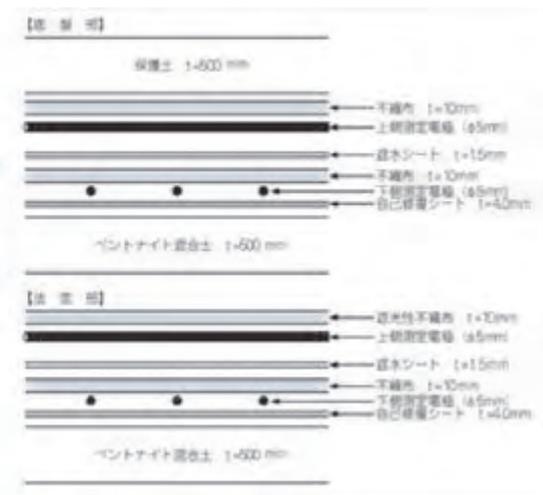


図-3 測定電極敷設断面図



写真-2 電極敷設状況



写真-3 システム確認試験

参考文献	清水建設(株) Feb.2008 土木クォーター Vol.157 施工記録：日本初の3段法面ベントナイト遮水工採用の最終処分場建設
備考	—

【その他／廃棄物管理】

技 術 名	放射性廃棄物データ管理システム「TOMIC(トミック)」
番 号	No. 5-16
発 注 者	—
施 設 名	—
所 在 地	—
工 事 名 称	—
施 工 期 間	—
施 工 者	戸田建設(株)
キーワード	放射性廃棄物データ管理システム、IC タグ

(1) 概 要

昨年販売を開始したTOMコンテナは移動の容易さと遮蔽性能を兼ね備え、かつ割安な自社PC製として開発した。廃棄物を収納し、一度蓋を閉めて固定すると保管場所へ移動してから再度、廃棄物の確認など人の手で蓋を開けることが難しいため、収納した放射性廃棄物に関する履歴情報を書き込めるソフトは無いかという問い合わせがあり、TOMICは開発された。

戸田建設は、昨年開発したTOMコンテナ(Toda Mobile Container：移動式放射性廃棄物用PC製格納容器)の更なる活用をめざし、RFIDタグ^{*1}を活用した放射性廃棄物データ管理システム「TOMIC(トミック)」を開発した。TOMコンテナを製造している戸田建設成田PC工場にて、プレキャストコンクリート部材にRFIDタグを埋め込み、データ管理に必要な情報をコンクリート外部から読み取れるようにした。

管理に必要なデータは、放射性廃棄物収納後に入力出来るようにしており、購入した顧客がニーズに合わせて管理項目を選択し、データ管理を行うことができる。これにより、従来よりも放射性廃棄物管理における作業時間が低減し、かつ仮置き場など移動先での照合確認が容易となる。



写真-1 RFID タグ(上)、タグリーダー(右)、
専用アプリの画面(中央)

写真-2 専用アプリ(管理データ入力画面)

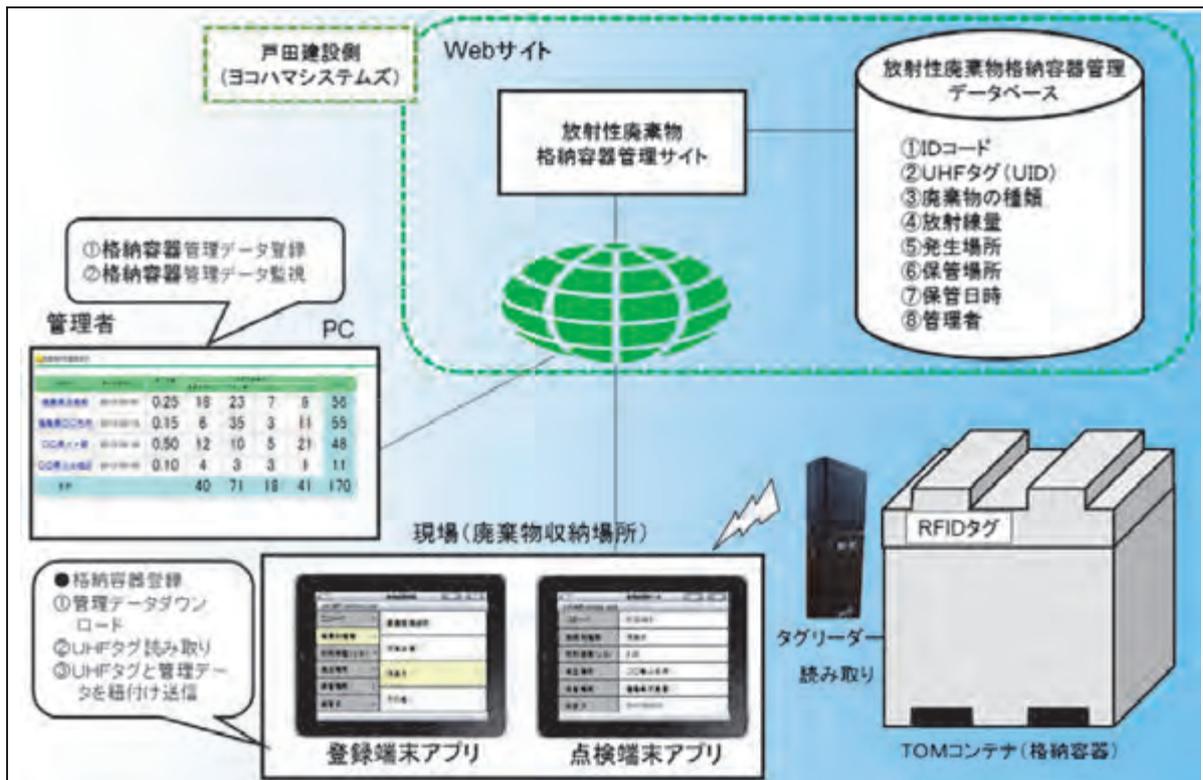


図-1 クラウド型による TOMIC データ管理システムイメージ図

(2) 技術詳細

1) 特徴

2008年に「RFIDタグを活用したひずみ計測システム」を開発済みであり、今回利用するタグは信頼性の高いUHF帯のRFIDタグを使用し放射性廃棄物管理に展開したものである。

このシステムは、TOMコンテナの収納内容に関するデータを、TOMコンテナに埋め込んだRFIDタグを利用し、箱を開けずに確認することができるようにしたものである。同時に、複数のTOMコンテナの情報を専用データベースにて管理可能にしたものである。なお、TOMICは、ICカード、RFIDタグのシステム開発では定評のある㈱ヨコハマシステムズが、製作を行った。

- ① 通信距離に優れたUHF帯のRFIDタグを用いることで、遮蔽性能などに影響を与えず格納容器の外からデータの読み取りが可能である。
- ② データベースには個別の識別番号や、収納物の種類、収納量、放射線量、収納日、保管場所などのデータを登録できる。
- ③ 管理者はデータベースを従来の手書きによる台帳に替えて利用することが可能で、管理にかかる作業時間を大幅に削減できる。
- ④ 仮置き場など移動先でもRFIDタグを読み取ることで、内容の照合確認が容易にできる。
- ⑤ タグリーダーで読み取る情報は、専用アプリを使ってタブレットPCやスマートフォン

ンで内容を表示可能。さらにデータ登録・修正も可能である。OSがAndroid^{※2}であれば、市販のタブレット端末を利用可能で、専用端末を用意する必要はない。

(3) 結 果

TOMコンテナおよび今回開発した管理システム「TOMIC」を利用することで、放射性廃棄物の管理作業をより効率化させることが可能である。今後、放射性廃棄物を管理する自治体を中心に積極的に提案していく。



写真-3 スペーサーに固定した埋込み型のRFIDタグ



写真-4 RFIDタグを埋込んだTOMコンテナ

※1 RFIDタグ：耐環境性に優れた数cm程度の大きさのタグにデータを記憶し、電波や電磁波で読み取り器と交信する。微小な無線チップにより人やモノを識別・管理する仕組み。

※2 Androidは、Google Inc.の登録商標です。

参考文献	戸田建設(株)ホームページ：ニュースリリース、2013年7月1日、 http://www.toda.co.jp/news/pdf/20130701.pdf
備考	—

5.6 環境配慮

【その他／環境配慮】

技術名	TO-MINICA(低炭素施工システム)Web版
番号	No. 5-17
発注者	—
施設名	—
所在地	—
工事名称	—
施工期間	—
施工者	戸田建設(株)
キーワード	低炭素施工システム、CO ₂ 排出削減

(1) 概要

低炭素施工システムとは、施工段階におけるCO₂排出量を削減するため独自に開発したシステムである。2009年に開発に着手し、2010年4月より全国の作業所にて運用を開始している。低炭素施工システム(TodaMinimum Carbon Construction)からTO-MINICAシステム(以下「本システム」という)と呼んでいる。建設ライフサイクルにおけるCO₂発生量を図-1に示す。建物のライフサイクルにおいて発生するCO₂は建物の運用段階での発生量が最も多く66%、次に資材製造における排出量が多く17%である。施工段階における排出量は5%と全体からするとごく少量である。しかしながら、施工段階においてCO₂削減に取り組めるのは我々ゼネコンだけであり、削減に取り組むのはゼネコンの使命である。そこに着目して、「同じ設計図ならば、国内のどの建設会社よりCO₂発生量を少なくする」の理念のもと「本システム」の開発に至った。2015年4月、Web上で、稼働するシステムに改良して、協力会社も含めた関係者で情報共有が可能となり、作業の軽減を図ることが可能となる。



段階	設計	資材	製造・建設	運用	維持	廃棄
CO ₂ ・発生量	0.3%	17.4%	5.1%	66.0%	4.9%	6.3%
関係者	発注者・設計 事務所・ゼネ コン	メーカー	ゼネコン	発注者 (使用者)	ゼネコン 専門工事業者	専門工事業者 ゼネコン

図-1 建設ライフサイクルにおけるCO₂発生量

建設投資は、最も多かった1992年の84兆円をピークに年々減少しており、2010年時点では41兆円であり、ピークの50%近くまで減少している。それに伴いCO₂の排出量も1992年をピークに減少しており、2010年時点ではピーク時の50%となっている。このような背景を受け、(社)日本建設業団体連合会(*1)においては、CO₂削減目標を排出量ではなく、施工高1億円あたりのCO₂排出量(原単位)を削減目標の指標としている。

(*1)全国的に総合建設業を営む企業等が連合し、建設業に係る諸制度をはじめ建設産業における内外にわたる基本的な諸課題の解決等に取り組んでいる。

当社におけるCO₂削減目標も原単位とし、“2020年に1990年比40%削減”という高い目標を掲げ取り組んでいる。国、日建連及び当社のCO₂削減目標値について表-1に示す。

現状として、1990年におけるCO₂排出量原単位は19.3t-CO₂/億円、2008年は16.5t-CO₂/億円である。これを2020年に11.5t-CO₂/億円とすることで40%削減を達成することとなる。“2020年に1990年比40%削減”を達成するための手段である「本システム」においては、

- ① 排出量原単位の基準年を2008年とする。
- ② 2020年に2008年比30%削減するとして、取り組んでいる。

基準年と削減目標の関係を表-2に示す。この目標を達成するため、5つのカテゴリで削減項目を整理して各々に目標値を設定し、削減に取り組んでいる。

表-1 CO₂削減目標値

	国	日建連	当社
削減指標	排出量	原単位	原単位
起算	1990年	1990年	1990年
2010年	6%	12%	18.6%
2020年	25%*2	—	40%

表-2 基準年と削減目標

年	排出原単位 (t-CO ₂ /億円)	削減目標	
		基準年	—
1990年	19.3	基準年	—
2008年	16.5	14.4%	基準年
2020年	11.5	40%	30%

*2 原発事故を受け修正予定

「TO-MINICA Web版」(図-2,3)は、作業所が施工中に排出するCO₂量を事前に計算し、これに対して削減計画を立案、実行し、結果をエネルギーデータとして収集する仕組みである。各作業所は、CO₂削減目標値を達成するためにシステム上でPDCAを回すことができる。

- ① 工事の基本情報から、工事期間中に排出されるCO₂量を工事着工時に把握することができる。
- ② あらかじめ用意された削減リストから削減手法を選択することで、削減計画を容易に作成することができる。
- ③ 計画の実施途中であっても、削減項目の変更や追加を行うことができる。
- ④ 削減計画に基づき実行した結果のエネルギーデータを入力することで、CO₂排出量と削減量が把握できる。
- ⑤ 当社だけでなく協力会社もメンバーの一員としてデータ入力を行う。使用したエネルギー量を毎月1回、パソコン・タブレット端末・スマートフォンを用いて、Web画面から入力する。

- ⑥ 集約されたデータは、コーポレートレポート等に記載される各種環境データを作成する際の基本情報として利用される。



図-2 TO-MINICA Web版トップメニュー

(2) 技術詳細

従来のシステムは、EXCELをベースに構築されており、データ入力は全て作業所のパソコンを用いて当社の社員が行っていた。今回のシステムでは、以下の様に改良した。

- ① Web上で作動するシステムであり、パソコン・タブレット端末・スマートフォンで操作可能である。協力会社の担当者は、自社のパソコンからも入力でき、また、出先からスマートフォン等を用いて入力することもできる。
- ② データの入力忘れを防止するため、登録してある関係者に月毎にメールが自動配信される。
- ③ 協力会社を含め、誰もが操作できるよう、シンプルでわかりやすい入力画面とした。
- ④ システムを活用することで、インプットに係わる作業時間を約55%削減できる。

区分	削減項目	削減項目と内容	削減量	
			CO2 (t)	CO2P (円)
		事務所の照明点灯時間を短縮する <small>作業場の照明の点灯、作業場の照明の点灯、作業場の照明の点灯</small>	点灯時間削減 (h)	
		事務所の不要な照明の点灯をやめる <small>作業場の照明の点灯、作業場の照明の点灯、作業場の照明の点灯</small>	1日あたりの削減時間 (h)	
		事務所の空調の運転時間を短縮する <small>運転時間を短縮する</small>	運転時間削減 (h)	
		事務所の空調の設定温度を変更する <small>夏季設定の運転設定温度を、26℃以下とする → 26℃/℃</small>	1日あたりの削減時間 (h)	
仮設事務所用		現場仮設照明の点灯時間を短縮する <small>作業場の照明の点灯、作業場の照明の点灯、作業場の照明の点灯</small>	点灯時間削減 (h)	削減率 (N)
		空調設備を最新のインバータタイプとする <small>最新のインバータタイプにする → 20%</small>	削減率 (h)	1日あたりの削減時間 (h)
		事務所の断熱性能を高める <small>断熱性能を向上させる → 10%</small>	ペアガラス削減率 (N)	運転時間削減率 (N)
		自販機の設置台数を減らす <small>設置台数を削減する</small>	削減する自販機台数 (台)	設置台数 (台)
		事務所の照明をLED照明とする <small>LED照明の削減率 (N)</small>	LED照明の削減率 (N)	削減率 (N)

図-3 CO₂排出量削減検討シート

(3) 結果

平成27年度から着工する作業所にこのシステムを順次導入していく。1年後には概ね国内140カ所の作業所に展開して行く予定である。作業所からの要望を聞き取りし、システムの改善を加えながら国内の全作業所での使用を目指す。

参考文献	<ul style="list-style-type: none"> ・ 戸田建設(株)ホームページ：ニュースリリース、2015年4月8日、 http://www.toda.co.jp/news/pdf/20150408.pdf ・ 建設の施工企画：2012年12月
備考	—

6. 災害復旧・危険箇所における ICT 活用事例

災害復旧や危険箇所での無人化施工の事例の調査から、活用できる技術 15 編について調査シートに取りまとめた。

表 6 文献調査シート一覧（災害復旧・危険箇所）

No.	分類	技術名	工事名（発注者）	キーワード
6.1-1	無人化施工	原子炉建屋解体がれきの自動搬送システム	福島第一原子力発電所ガレキ収集・運搬業務委託（東京電力）	自律走行、汎用重機、放射線環境
6.1-2	無人化施工	無人化遠隔施工システム	東京電力福島第一原子力発電所解体工事（東京電力）	無線 LAN、光ファイバケーブル、放射線環境、長距離
6.1-3	無人化施工	ネットワーク型次世代無人化施工技術	北股川北股地区河道閉塞緊急対策工事（国土交通省近畿地方整備局）	超長距離遠隔操作、映像伝送、遠隔監視
6.1-4	無人化施工	無人化施工技術	1F ガレキ一時保管施設設置工事（1 期・2 期）（東京電力）	高線量ガレキ減容、高線量ガレキ収容、覆土式一時保管施設
6.1-5	無人化施工	無線 LAN を用いた無人化施工システム	ごみ焼却場立て替え工事	汚染土壌、対策工事、電動駆動式油圧ショベル
6.1-6	無人化施工	次世代無人化施工システム	-	自律制御、慣性航法、自動追尾型トータルステーション
6.1-7	無人化施工	アスベスト除去ロボット	-	多関節形ロボット、有害危険箇所、アスベスト回収システム
6.1-8	無人化施工	ダムテレコンシステム	水無川 1 号砂防ダム越流部建設工事（1～3 期）（建設省九州建設局）	無人化施工基礎技術、掘削管理システム、締固め管理システム
6.1-9	無人化施工	無人化施工鋼製スリット建造システム	水無川 3 号砂防堰堤スリット工事（国土交通省九州地方整備局）	無人化施工、災害復旧、鋼製スリット、高流動コンクリート、無人測量
6.1-10	無人化施工	簡易遠隔操縦ロボット	水無川（赤松谷 1 工区）地区火山地域総合治山工事（長崎県）	搭載型ロボット、映像伝送、無線操縦
6.1-11	無人化施工	無人化施工ロボット	水無川 2 号砂防ダム越流部 II 期建設工事（建設省九州地方整備局）	自律分散型制御、ルート計画モジュール、自律走行モジュール、ファジー推論制御
6.2-1	災害危険箇所関連技術	GPS ダンプ運行管理	災害廃棄物処理業務巨理名取ブロック（岩沼処理区）（宮城県）	GNSS 運行管理、計量・出来高情報統合
6.2-2	災害危険箇所関連技術	リアルタイム GPS 動態観測システム	荒砥沢 II（H21）治山工事（林野庁東北森林管理局）	高精度リアルタイム動態観測、壁面形状計測、映像伝送、無線操縦
6.2-3	災害危険箇所関連技術	フィールドパッド	-	クラウド、情報共有アプリ、施工支援 ICT
6.2-4	災害危険箇所関連技術	放射線量平面分布計測システム	公園等放射線量低減対策業務委託（その 9 総合運動公園）（流山市）	放射線濃度測定、線量マップ、除染作業支援

自治体の減災技術



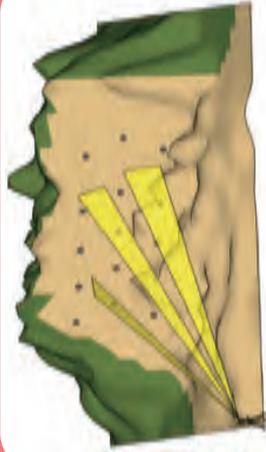
被災地空撮・図面化



UAV(ドローン)による写真測量

動態観測

6.2-2 リアルタイムGPS動態観測システム p.508



トータルステーション

動態観測システム

高速通信網

6.1-2 無人化遠隔施工システム p.466
6.1-3 ネットワーク型次世代無人化施工技術 p.469

光ケーブル敷設ロボ

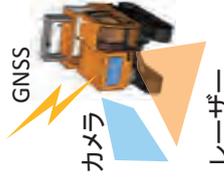


無人化施工技術

遠隔操作

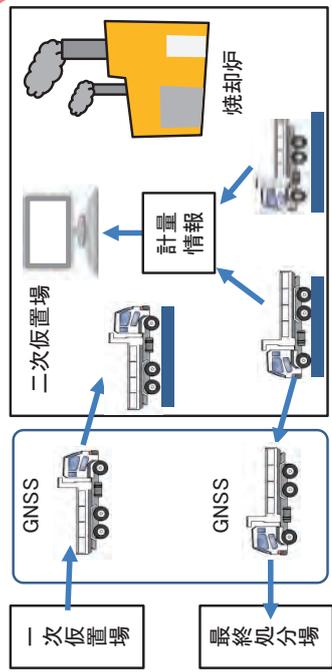


自律走行



運行管理

6.2-1 GPSダンプ運行管理 p.506

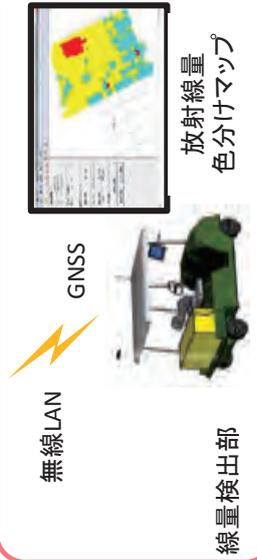


図面管理・工事記録

6.2-3 ファイナルパッド p.512

被災地マッピング

6.2-4 放射線量平面分布計測システム p.516



6.1-1 原子炉建屋解体がれぎの自動搬送システム p.463

6.1-2 無人化遠隔施工システム p.466

6.1-3 ネットワーク型次世代無人化施工技術 p.469

6.1-4 無人化施工技術 p.473

6.1-5 無線LANを用いた無人化施工システム p.477

6.1-6 次世代無人化施工システム p.481

6.1-7 アスベスト除去ロボット p.485

6.1-8 ダムテレコンシステム p.489

6.1-9 無人化施工鋼製スリット建造システム p.494

6.1-10 簡易遠隔操縦ロボット p.498

6.1-11 無人化施工ロボット p.502

6.1 無人化施工

【災害復旧・危険個所／無人化施工】

技術名	原子炉建屋解体がれきの自動搬送システム
番号	No. 6.1-1
発注者	東京電力(株)
施設名	福島第一原子力発電所
所在地	福島県双葉郡大熊町夫沢北原
工事名称	福島第一原子力発電所ガレキ収集・運搬業務委託
施工期間	2012年7月～
施工者	鹿島建設(株)
キーワード	自律走行、汎用重機、放射線環境

(1) 概要

東京電力福島第一原子力発電所の原子炉建屋解体・がれき撤去工事で発生する高線量がれきの構内保管施設への搬送作業は、遠隔操作型や放射線遮蔽型の建設機械を導入することで、搬送作業時の被ばく線量低減が行われてきた。しかし、より放射線量の高いがれきの発生が予想され、一層の被ばく量の抑制、操作ミスの低減、作業効率の向上が更なる課題となった。これに対して、従来の遠隔操作ではなく使用する建設機械の自動化によって、人手を省き、安全で安定した作業効率を実現して、搬送作業に伴う諸課題を一気に解決することを検討した。その結果、知能型移動ロボットなどで利用されている走行経路の自動認識、障害物の自動検知などの計測・制御技術を応用した自律型自動運転システムを開発し、実作業へ投入した。

開発・導入したシステムは、作業用の建設機械にセンサやコンピュータを搭載し、自己位置・姿勢計測、走行路確認、障害物検知などの走行に関わる情報を取得するとともに、その情報を基に自律的に判断し、発進・停止、方向変換、速度調整などを行い、自動走行するものである。今回自動化した具体的作業は次の2つである。

- a. クローラダンプによる屋外での搬送作業（原子炉建屋～構内保管施設の約1km）
- b. フォークリフトによる構内保管施設での搬送作業（地上～地下倉庫内の約800m）



図-1 原子炉建屋解体状況(東京電力 HP より)

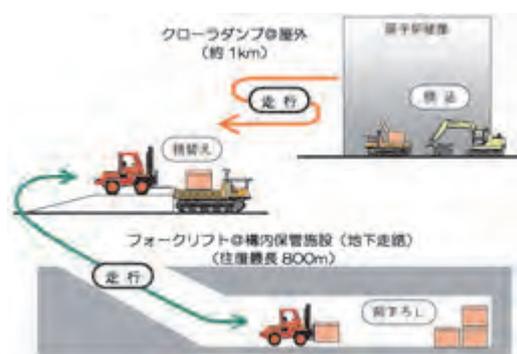


図-2 搬送システムの概要

(2) 技術詳細

1) クローラダンプ自動走行システムの概要

本システムは、高線量がれき（鉄筋コンクリートがら及び鉄骨）を積み込んだ鋼製コンテナを、原子炉建屋解体現場から構内保管施設の入り口までの約 1km をクローラダンプで自動搬送するもので、走行路にはカーブ数箇所を含め、斜路、狭隘な道路が含まれている。クローラダンプに搭載した様々な計測機器とコンピュータにより、事前に設定した走行経路上の前方障害物の有無などの情報をリアルタイムで計測、認識、判断、制御することによって目的地まで無人かつ全自動で走行させるものである。

クローラダンプへの自動走行開始指示や車載カメラ映像の確認はクローラダンプの前方を走行する先導車から行っている。従来は先導車からオペレータが走行路の状態やクローラダンプの様子を直接見ながら遠隔操作で走行させていた。本作業はすべて夜間に行われるため照明が届く範囲という条件もあり、先導車とクローラダンプの離隔距離は 30m 程度しか取ることができなかった。本システムの開発により、先導車のオペレータは走行中に伝送されてくる機械の動作状況を監視するだけでよくなるため、離隔距離を 100m 程度取ることが可能となり、作業員の被ばく量を十分の一以下に低減させることができた。



図-3 クローラダンプへの自動化機器の実装

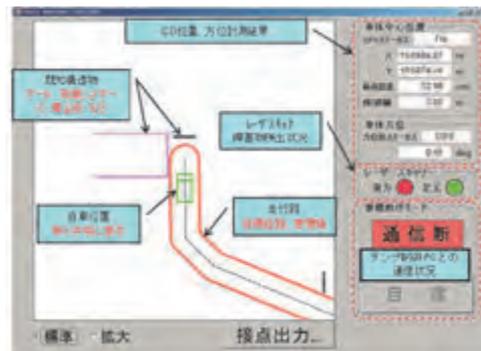


図-4 自動運転状況のモニタ画面

2) フォークリフト自動走行システムの概要

クローラダンプで構内保管施設まで自動走行したのち、コンテナはフォークリフトに積みかえられ、構内保管施設内の保管場所まで搬送される。構内保管施設内の走行路は地上の入口部から保管場所まで傾斜 7%のスロープや切り返し部を含む約 800m の走路（幅：約 5.8m）となっている。



図-5 フォークリフト全景



図-6 遠隔オペレータ室

今回の作業に対応するため、当初、遠隔操作型のエンジンフォークリフトを導入し遠隔操作のみで搬送を行うことが計画されていた。しかし、カメラ映像だけでフォークリフトを安全にスムーズに走行（前・後進、停止、回転、方向転換）をさせることは容易ではなく、オペレータの習熟に時間がかかることや、操作ミスによる構内保管施設への衝突や、積み荷の落下などが懸念されていた。また、自動走行を実現するには車両の位置と姿勢のデータは必要不可欠だが、フォークリフトの走行路は屋内となり衛星観測が行えないため、走行中の位置計測にGPSは利用できない。一方、電磁誘導方式による自動搬送車（AGV）のシステムでは、走行路にあらかじめ信号線等を埋設するための工事が必要となること等により、今回の稼働現場には適用が困難であった。このため、独立行政法人産業技術総合研究所デジタルヒューマン工学研究センターとの共同研究成果であるレーザスキャナ方式の位置姿勢計測技術を活用した。本技術は、フォークリフトの前後左右に設置した4台のレーザスキャナによって車体周囲の空間形状を計測し、その形状から車体の周囲構造物との相対位置姿勢関係をコンピュータで解析するものである。これによって得られる施設内における車体の位置・姿勢データを基に、走行路の状況やフォークリフトの保管施設における位置と姿勢がリアルタイムで計測できるようになり、障害物検知や保管施設との衝突回避を行いながら全自動で走行することが可能となった。

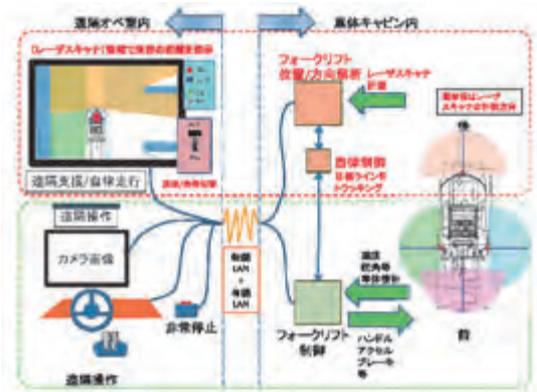


図-7 遠隔操作・自律走行システムの構成

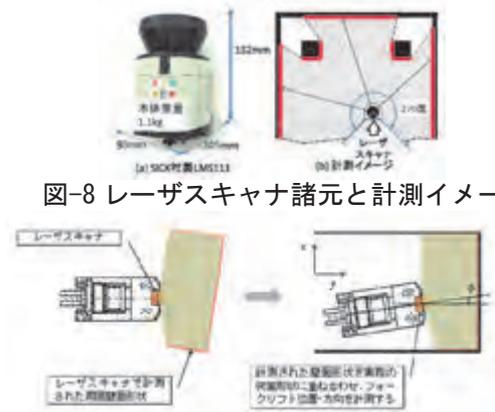


図-8 レーザスキャナ諸元と計測イメージ

図-9 相対位置・姿勢角の推定

(3) 結果

高線量がれきを抱えた状態での狭隘部の走行、方向変換を遠隔操縦で行うことは、オペレータにとって緊張感を維持させなければならない過酷な作業であったが、それを自動化したことで、クローラダンプ自律走行システムシステムと同様に、本システム導入の結果、オペレータの熟練度に関係なく一定時間で搬送作業工程を完了できるようになったとともに、コンテナの積替え・定置に専念することが出来るようになり、負担低減が図れた。

<p>参考文献</p>	<p>放射線環境下における建設機械の自動運転システム（平成 26 年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集・梗概集）：鹿島建設（株）三浦悟、日本建設機械施工協会、1-4 ページ、2014 年 11 月</p>
<p>備考</p>	<p>特許登録番号 特許第 5392700 号「障害物検出装置、及び障害物検出方法」 特許申請番号 特開 2010-86035 「誘導システム及び誘導方法」</p>

【災害復旧・危険箇所／無人化施工】

技術名	無人化遠隔施工システム
番号	No. 6.1-2
発注者	東京電力(株)
施設名	福島第一原子力発電所
所在地	福島県双葉郡大熊町夫沢北原
工事名称	東京電力福島第一原子力発電所解体工事
施工期間	—
施工者	鹿島建設(株)
キーワード	無線 LAN、光ファイバケーブル、放射線環境、長距離

(1) 概要

福島第一原子力発電所3号機災害復旧工事は、原子炉建屋周辺の建屋解体、崩落したガレキの撤去及び燃料プール内の燃料取出し設備を構築するものである。

一般的には解体用重機や大型クレーンを現地で操作し作業を進めることになるのだが、原子炉建屋周辺は放射線量が高く、有人で作業できる時間は放射線防護ベスト等の防護措置を行っても限られてしまう。そこで、作業場所に作業員を配置せずに工事が進められる施工法が必須となり、自然災害復旧工事で用いられてきた「無人化施工システム」をベースに放射線量の低い遠隔地からの操作や狭いエリアでの多数台の解体用重機作業及び大型クローラークレーンの遠隔操作などを可能とする「次世代無人化施工システム」を開発・適用した。解体用重機8台とクローラークレーン2台を同時に500m離れた場所から遠隔操作により、解体・撤去工事を実施した。

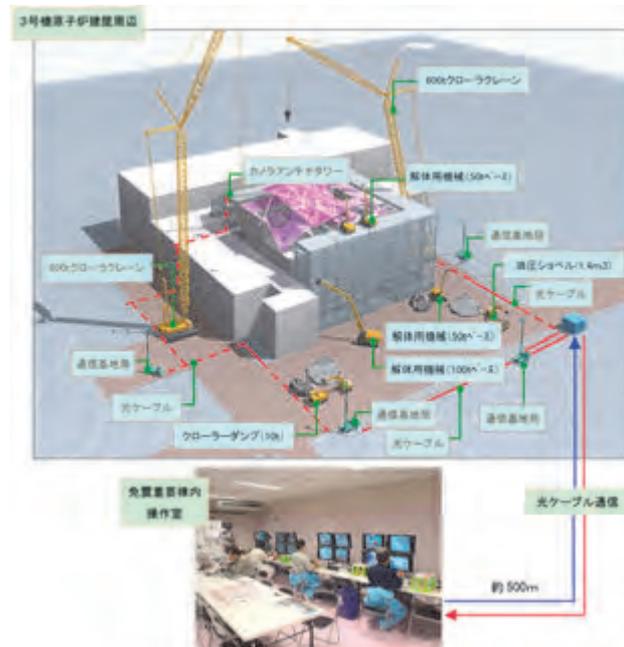


図-1 遠隔操作システムによる原子炉建屋上部の瓦礫解体・撤去イメージ

(2) 技術詳細

1) 建設重機 10 台を同時に無人化施工

複数の重機の操作信号や映像データを確実に伝送するため、作業エリア周囲に張り巡らされた光ファイバーやメッシュ型無線 LAN を用いたネットワークを構築した。これにより重機の位置変化に柔軟に対応し確実に通信できるシステムとなっている。また、建屋上部の瓦礫撤去に用いられる吊り下げカッター機や油圧グラブバケット等の操作については、クローラークレーンジブにアンテナを設置することで正確な無線制御を可能にした。

表-1 主要機械

No.	名称	規格	数量
1	解体用建設機械	100t級 50t級	6台
2	運搬車輛機械	クローラダンプ	2台
3	大型クローラークレーン	500t吊り	2台
4	吊り下げ式解体用ツール	切断 把持	4機種



図-2 遠隔操作解体用油圧ショベル



図-3 クローラークレーン

2) 約 500m 離れた建屋内での遠隔操作により被ばく線量を低減

これまで無線による遠隔操作は 100m程度が限界であったが、作業エリアへ光ファイバーケーブルにて通信信号を送ることで 500m離れた遠隔操作室での遠隔操作が可能となった。建屋内はごく低線量（5 マイクロシーベルト/h 程度）で、オペレータはマスク、タイベックスーツが不要な環境で作業できる。被ばく線量低減を図るとともに、作業時間の大幅な拡大を達成した。技術的には、更に遠隔地の東京都内でも遠隔運転操作が可能である。

3) 大型クローラクレーンの無人化

解体部材の撤去などに用いる大型クローラクレーンは(図-3)、操縦席パネルに表示される多くの情報を確認しながら操縦する必要があるため、他の重機のように操作信号の送受信のみでは安全な運用が困難である。そこで重機キャビン内外に複数台の監視カメラやマイクを設置し、映像や警報音などを操作室内で確認できるようにすることで、あたかも運転席にいるような感覚で操作が可能になった。

4) 構台上の重機への燃料補給を無人化

今回の解体・撤去作業は、建屋周囲にフレームを構築し、フレームの上に解体重機を載せて作業を行う。比較的放射線量の高い構台上では、重機への燃料供給が課題となる。そこで、解体重機へ無人で燃料を供給するワンタッチ給油装置(図-4)を開発した。

解体用重機にはワンタッチ給油口と燃料タンクガイドが取付けられ、クレーン操作にてガイドに燃料タンクを挿入することで解体用重機に燃料が供給できた。



図-4 遠隔給油システム

(3) 結果

重機の放射線対策として、福島第一原子力発電所構内の比較的放射線量の高い3号機原子炉の瓦礫解体・撤去工事を進めるにあたり、建設重機の制御機器及び通信機器やカメラ装置には鉛シートによる対放射線防護を施し、放射線による機器への影響を低減した。

非常に作業難度の高い原子力発電所の災害復旧工事において、建設機械の無人化遠隔施工システムを適用し目標とした成果を上げることができた。ICTを利用して、操作信号やカメラ映像信号のネットワーク化を進めることによって、従来の無人化施工に比べて、より安定した高速通信が可能となり、建設機械の効率的な稼働、仕様性能を最大限に発揮させることができた。



図-5 遠隔給油用モニター

参考文献	災害復旧工事における無人化施工システムの開発事例(第14回建設ロボットシンポジウム論文集): 鹿島建設(株)飯塚満他、日本ロボット工業会、47-54 ページ、2014年8月
備考	特許登録第5808007号(2015年11月10日) 遠隔操作式重機への燃料供給システム

【災害復旧・危険箇所／無人化施工】

技術名	ネットワーク型次世代無人化施工技術
番号	No. 6. 1-3
発注者	国土交通省近畿地方整備局
施設名	—
所在地	奈良県吉野郡野迫川村北股地先
工事名称	北股川北股地区河道閉塞緊急対策工事
施工期間	2011年9月～2012年8月
施工者	(株)熊谷組
キーワード	超長距離遠隔操作、映像伝送、遠隔監視

(1) 概要

1) 背景

平成23年9月の台風12号は、紀伊半島を中心とした広い範囲に大雨をもたらし、奈良県、和歌山県を中心として大規模な土砂災害が多発し、甚大な人的・物的損害が生じた。この時発生した天然ダム5か所に対する緊急対策工事は国土交通省直轄工事となり、北股地区の工事もその1つである。

北股地区は奈良県南西部の和歌山県境に近い野迫川村に位置する。崩落は北股川左岸の支沢北側斜面で発生した。崩壊規模は標高差約200m、最大幅約200m、面積約8.25ha、崩壊土量約116万m³と推定された。

崩壊土砂は尾根部より南西側方向へ崩壊し、支沢を閉塞させ、いわゆる天然ダムを形成し、更に土砂は支沢で西側へ屈曲し、下流の北股集落に至っていた。

2) 施工概要

本工事は、崩壊による河道閉塞の緊急対策工事と、崩壊により緩んだ縁部を除去して安定化させる法面整形工事である。図-1に北股地区緊急対策工事平面図、図-2に法面整形工平面図、図-3に急傾斜部断面図を示す。

対策工事は、天然ダム背後に湛水した流入水を速やかに排出し、通水機能を持たせる仮排水路の設置と崩壊した斜面にて工事用道路を敷設を行いながら散在した倒木の処理を行い、その後、崩壊地の安定化を図って崩壊地法肩部の緩んだ地盤を除去しながら法面整形を行うものである。

まず法面崩壊部に大型土嚢によって防護土堤を構築し、崩壊部土砂の動きを抑えた。その後、下部の河道閉塞部箇所には排水ポンプを設置して、湛水池の強制排水を行った。

工事に先立ち、地表踏査を実施し、新たな崩壊発生の危険性のある不安定土塊が確認されたことから、一般重機による法面整形工は危険であると判断し、光ファイバーケーブル（操作室から現場の無線基地局に敷設）と無線LAN（無線基地局から重機間）を組み合わせたネットワーク型次世代無人化施工を行った。図-4に無人化施工現場配置図を、写真-1に北股地区河道閉塞緊急対策工事施工状況を示す。工事概要を表-1に示す。本対策工事は、天然ダム背後に湛水した流入水を速やかに排出し、通水機能を持たせる仮排水路の設置と崩壊した斜面に工事用道路を敷設しながら散在した倒木を処理し、崩壊地の安定化を図って崩壊地法肩部の緩んだ地盤を除去しながら法面整形を行うものである。

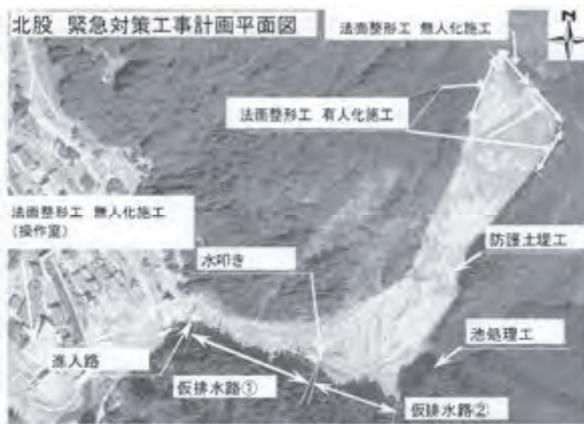


図-1 北股地区緊急対策工事平面図



図-2 法面整形工平面図

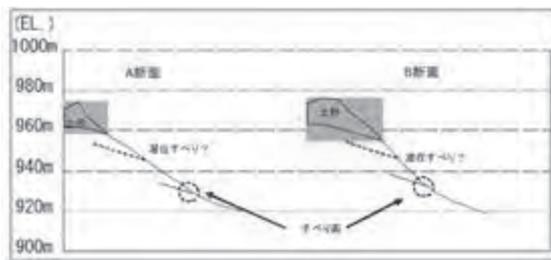


図-3 急斜面部断面図



図-4 無人化施工現場配置図



写真-1 北股地区河道閉塞緊急対策工事施工状況

表-1 工事概要

工事名	北股川北股地区河道閉塞緊急対策工事
工事場所	奈良県吉野郡野迫川村北股地先
発注者	国土交通省近畿地方整備局
施工者	森熊谷組 関西支店
工期	平成23年9月30日～平成24年8月31日
工事内容	<ul style="list-style-type: none"> ・法面整形工 (有人機械:6,700m³ 無人機械:5,100m³) ・倒木処理30,000本 ・工事用道路3,000m ・仮排水路T.①(径1,100×3条)内面平滑188m ・仮排水路T.②(径600×1条)内面平滑205m ・池処理工:6,520m³ ・防護土堤T:1式

(2) 技術詳細

ネットワーク型次世代無人化施工の特徴を以下に示す。

① カメラ画像遠隔操作型無人化施工システム

現場付近は滑り面の周囲で起伏が大きく湾曲しているため直視が難しく、重機が施工エリアに入ると周囲の地盤が滑る可能性があったことからカメラ画像遠隔操作型無人化施工とした。写真-2に遠隔操作の状況を示す。

② 光ファイバーケーブル使用（次世代型）と完全 LAN 化した情報伝送システム

光ファイバーケーブルを操作室から現場無線基地局 1 km の間に敷設して、重機の操作情報、重機や固定カメラの画像情報、ガイダンスシステム情報などすべての情報を LAN 化した。写真-3 にネットワーク伝送装置と管理状況を示す。

③ 情報化施工システム

施工箇所は危険エリアであり、丁張レスで施工できる GPS 式バックホウマシンガイダンスシステムやブルドーザの排土板自動制御システムを導入して、安全かつ精度よい施工を行った。使用重機を写真-4 に、主要機械一覧を表-2 に示す。

④ 5 GHz 帯無線 LAN システム

無線基地局と重機の間には、メッシュタイプ（受信強度による自動切替方式）5 GHz の IEEE802.11j 無線 LAN を送受信の伝送用に確保した。また、ハイビジョン固定カメラ画像の伝送は、大容量のデータを安定して送ることができる 25GHz 小電力無線機を使用した。



写真-2 遠隔操作



写真-3 ネットワーク伝送装置



写真-4 使用重機

表-2 主要機械一覧

機械名	機能・型式	使用工種
遠隔操作式バックホウ	0.8m ³ 級	掘削・積込・法面整形
遠隔操作式バックホウ	0.45m ³ 級	転石破碎・整形 カメラ車機能
遠隔操作式ブルドーザー	16t級	掘削・押土・整形
遠隔操作クローラダンプ	10t級	運搬
遠隔操作室	旧北股小学校	作業基地

(3) 結果

実証実験の成果を無人化施工現場で活かし、仮設の光ファイバーでも対応できることを示した。バックホウガイダンスシステム、排土板制御システムなど情報化施工システム機器を開発し、CAN-LAN 変換器などが誤動作することなく安全に施工できることを示した。

使用機材全体の調整は全体の IP 化により事前設定が可能でありシステムの立ち上げ時間が 20% 程度（2日）短縮した。無人化施工実施工程を表-3 に示す。

表-3 無人化施工実施工程

作業内容	実施工程
準備工開始伐採	3/12-3/16
無人化施工設備設置開始	3/19-24
試運転調整	3/26-30
本施工開始	4/2
伐採・搬出	4/2-4/23
掘削抑土	4/20-5/15
試験施工	5/16-5/23
設備撤去	5/21-5/24

無線機は複数使用しなくて済み機器コストは低減したが、ネットワーク対応人員が必要になった。当初ネットワークトラブル時に問題箇所の切り分けが出来ず解決に時間と費用を要した。最低でも簡易なシステムソフトと測定機器の常備が必要である。

参考文献

- ・ネットワーク型次世代無人化施工技術の導入：(株)熊谷組 北原、越智、坂西、土木施工 Vol. 54 No. 8、P34～38、2013. 8
- ・ネットワーク型次世代無人化施工システムの開発：(一財)先端建設技術センター、九州地方整備局、九州地方整備局雲仙復興事務所、近畿地方整備局、近畿地方整備局紀伊山地砂防事務所、(株)熊谷組、西松建設(株)、建設機械施工 Vol. 65 No. 8、P77～81、2013. 8
- ・第4世代無人化施工の緊急対策工事への適用：(株)熊谷組 北原、坂西、平成 25 年度 建設施工と建設機械シンポジウム論文集・梗概集((一社)日本建設機械施工協会)、P33～36、2013. 11
- ・宇佐川土砂崩壊災害復旧工事における無人化施工：(株)熊谷組 坂西、石濱、野村、中国地方建設技術開発交流会、2014. 10
- ・超長距離無人化施工技術の適用性に関する考察：(一財)先端建設技術センター 新田他、第 13 回建設ロボットシンポジウム論文集、P41～50、2012. 9
- ・雲仙普賢岳超遠隔操作実験における伝送状況確認試験等について：(一財)先端建設技術センター 吉田他、第 13 回建設ロボットシンポジウム論文集、P51～60、2012. 9
- ・災害応急・復旧工事に対応した無人化施工による超長距離遠隔操作実験でのオペレータの作業性に関する研究：建設無人化施工協会 北原他、第 13 回建設ロボットシンポジウム論文集、P61～68、2012. 9

備考

- ・平成 25 年度宇佐川外 24 年災補災河第 10 号外災害復旧工事第 1 工区(山口県)
- ・赤松谷川 11 号床固工工事(国土交通省九州地方整備局)
- ・第 5 回ロボット大賞(経済産業省主催)ロボットビジネス/社会実装部門「優秀賞」受賞
- ・平成 25 年度(一社)日本建設機械施工協会 貢献賞受賞

技術名	無人化施工技術
番号	No. 6. 1-4
発注者	東京電力(株)
施設名	福島第一原子力発電所
所在地	福島県双葉郡大熊町夫沢北原
工事名称	1Fガレキ一時保管施設設置工事（1期・2期）
施工期間	2012年2月～（2016年6月現在、施工中）
施工者	(株)熊谷組
キーワード	高線量ガレキ減容、高線量ガレキ収容、覆土式一時保管施設

(1) 概要

東京電力福島第一原子力発電所の事故で発生した高線量ガレキを遮蔽効果の大きな覆土式一時保管施設に保管する工事に、被ばく量の低減を目的として無人化施工機械を導入した。工事は高線量ガレキの発生量に応じて1期と2期に分けて行い、事故の収束工事で発生した表面線量率1～30mSv/hの高線量ガレキや廃炉作業に伴って原子炉建屋などから発生した高線量ガレキを保管した。

覆土式一時保管施設は、南北方向約80m、東西方向約20m、高さ約5mで1槽当たり約4,000m³のガレキ類を保管することができ、これを津波の影響を受けない標高の高い敷地北側エリアに計4槽設置した。トレンチ式に掘り込んだ底部を地盤改良して沈下防止を図り、その上に方が一雨水等が漏えいた際の地下水汚染防止のためのベントナイトシート、高密度ポリエチレン製遮水シートを敷き、地下水の浸入を防止したうえで、保護土でガレキ類から遮水シートを保護した。ガレキ類は突起物が多く、コンテナバック等に収納して集積することが困難なため、改良保護土と砕石の上に直接定置した。ガレキ類の搬入後、上に保護シート、緩衝材、雨水浸透防止用の遮水シート、厚さ100cm以上の遮蔽材（土）の順に乗せて、覆土式一時保管施設を完成させた（図-1参照）。

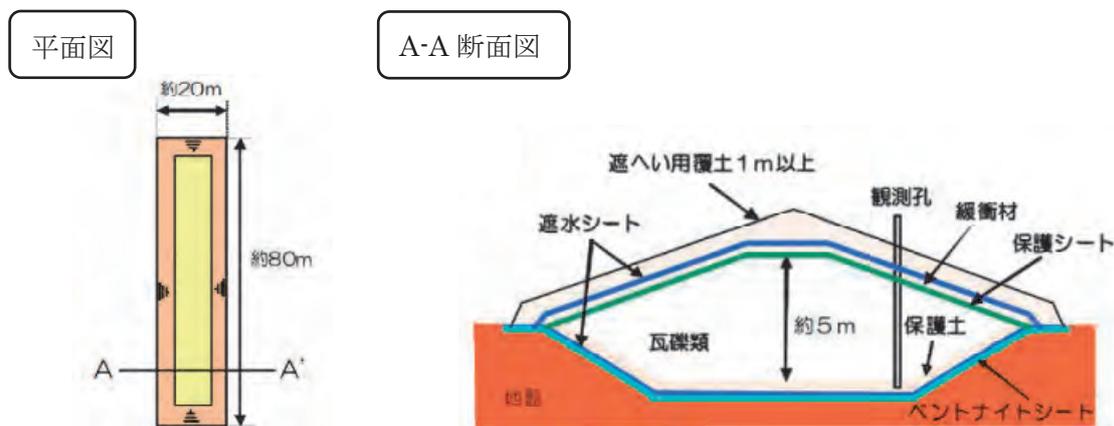


図-1 覆土式一時保管施設概略図

(2) 技術詳細

1) 無人化施工機械による高線量ガレキの減容化システム

高線量ガレキは種々雑多な物が集められた状態であったため、効率良く収容するためにテント式の仮設保管施設内で無人化施工機械によって減容化を行った。ベースマシンは1.4m³級バックホウを使用し、アタッチメントとしてバケット、鉄骨カッター、アイアンホーク等を用途に応じて付替えて作業にあたった。操作室では、車載カメラ2台とテント内固定カメラ4台、屋外カメラ1台による映像をモニターで確認しながら遠隔操作することで被ばく線量を抑えて減容化の作業を行った（写真-1、写真-2、図-2）。



写真-1 無人化施工機械による減容化作業



写真-2 無人化施工機械の操作状況

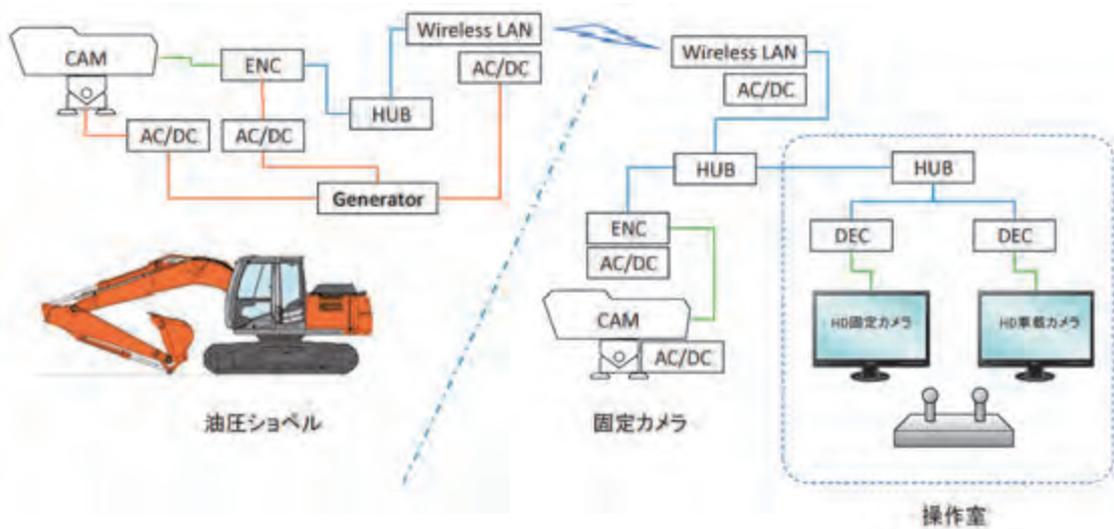


図-2 重機設備系統図

無人化施工における遠隔操作システムは、線源から離れた位置で操作するための遠隔操作室（操作盤と映像モニタ類）と、カメラと伝送用無線器を搭載した遠隔操作付き建設機械及びテント内に設置された固定カメラから構成される。以下、それぞれの設備概要を示す。

① 操作室の設備概要

- ・ 車載カメラ 2 台、テント内固定カメラ 4 台及び屋外カメラから送られる画像を映像化するモニター
- ・ 建設機械を操縦するための操作レバーを備えた送信機
- ・ 固定カメラの方向、ズーム操作する送信機
- ・ 無線操縦を円滑に行うために必要な上記ハード等及び関連ソフトの無線制御システム
- ・ 汚染防止のため気密性を要することからエアコンを設置

② 無人化施工機械の設備概要

- ・ 操作室送信機から発信された電波を受信しコントローラーへ出力する受信機
- ・ 受信機から入力した電気信号を制御信号に変換し、電磁弁やアクチュエータに出力するコントローラー
- ・ 機械本体に装着されるもので、機械または油圧で動かしている部分を電気信号で動くように変換する電磁弁
- ・ 無人化施工機械の操作状況を監視するために無人化施工機械に取付け、施工対象物、周辺状況等の画像を伝送する車載カメラ

2) 無人化施工機械による高線量ガレキ収容システム

減容化した高線量ガレキを遮へい仕様（有人）の 37t アーティキュレートダンプトラックで覆土式一時保管施設へ運搬し、無人化施工機械で 5m 程度の高さに集積し、地上法面勾配 1 : 2.5 で仕上げた（写真-3、写真-4）。

高線量ガレキ収容の遠隔操作システムは減容化作業と同じシステムだが、通常の固定カメラに加えて仕上げ高さを確認できる位置に移動式の小型カメラを追加配置して整形を行った。また、ガレキの集積の留意点として、重量物は底部に定置、鉄骨や長尺物は直角水平に置く、小さな金属類・コンクリートガレキは大きな金属類の空隙に充填させ、金属類の鋭利な面を底面・法面に向けて置かない等の工夫を行った（図-3、写真-5、写真-6）。



写真-3 覆土式一時保管施設



写真-4 高線量ガレキ収容状況

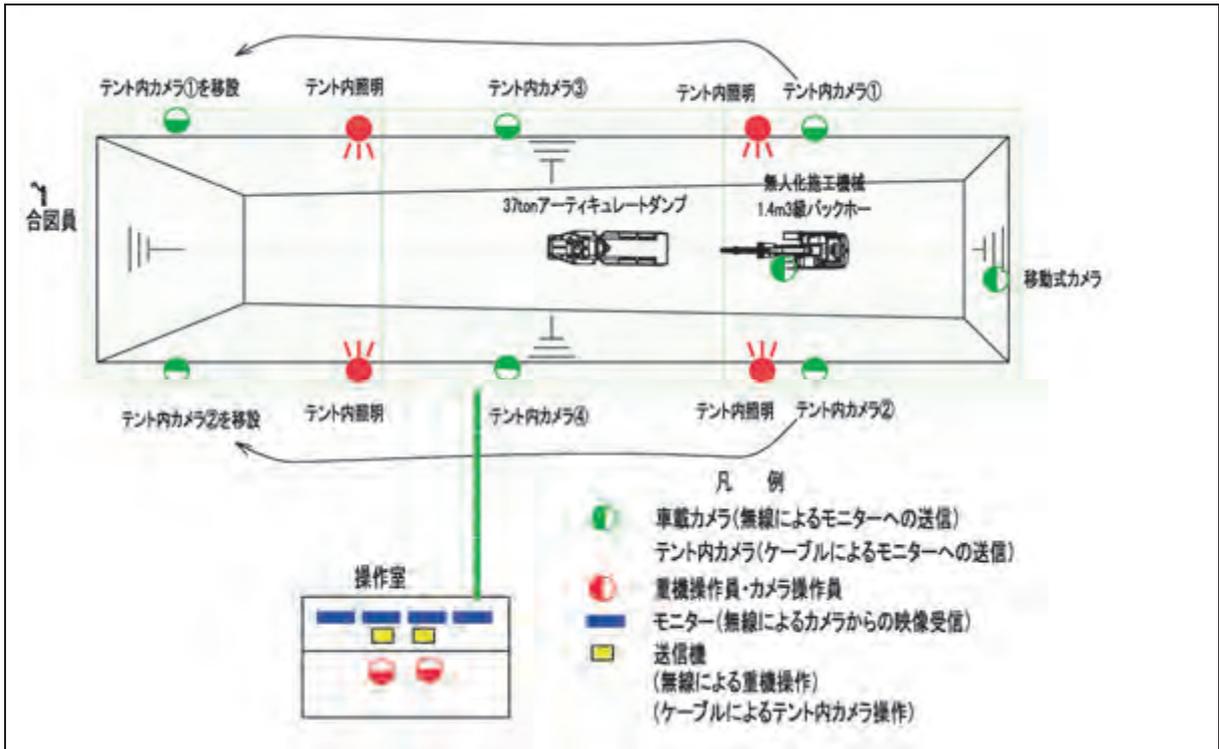


図-3 覆土式一時保管施設のガレキ收容システム



写真-5 無人化施工機械



写真-6 覆土式一時保管施設（完了）

(3) 結果

高線量ガレキを覆土式一時保管施設に効率的に保管するため、事前に切断や圧縮等の減容化処理を行い、施設内に整形しながら定置させる作業は短時間で相当量の被ばくを強いられる。今回、遠隔操作システムを導入し無人化施工機械で作業に当たったことで、長期にわたり作業員の被ばく線量を大幅に低減できたことは特筆に価する。

参考文献	—
備考	—

技術名	無線 LAN を用いた無人化施工システム
番号	No. 6. 1-5
発注者	—
施設名	—
所在地	—
工事名称	—
施工期間	2004年1月～2005年9月
施工者	五洋建設(株)
キーワード	汚染土壌、対策工事、電動駆動式油圧ショベル

(1) 概要

無人化施工は、火山噴火や土砂崩壊など人が立ち入ることができない危険区域において、無線伝送されるモニタ映像を見て施工機械を遠隔操作し工事を行う。こうした施工は、雲仙・普賢岳や北海道・有珠山に始まり多くの施工実績がある。被災地での掘削・積込み、運搬、敷き均しおよび転石処理といった基本的な作業から、崩壊構造物の撤去や砂防ダムの建設などに採用されている。そのため、施工現場において、安定した無線伝送状態の確保ができる無線システムの構築が施工性に大きく影響している。また、今後、無人化施工の多方面への適用範囲拡大にとまならない、施工機械の台数や施工の高度化に伴う情報量の増加が見込まれ、無線電波のチャンネル数不足や電波の干渉・混信などが大きな課題となっている。

そこで、無人化施工に無線 LAN を組み合わせた技術で施工機械の制御信号と映像信号をひとつのネットワーク上で双方向伝送ができるようになった。さらに、各種センサやマイクの信号を変換して施工機械の稼働状況や稼働音、現場での出来型などの測量値や環境計測値などの情報伝送へも適用が可能である。図-1 に従来の無線伝送システムと無線 LAN 伝送システムの比較図を示す。

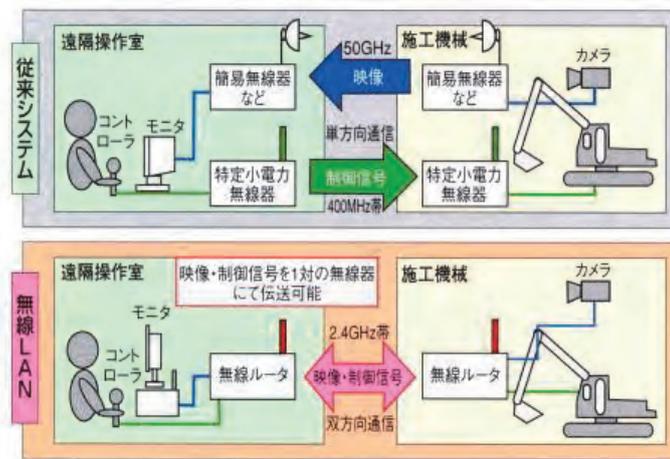


図-1 施工システムの比較

(2) 技術の詳細

1) シンプルな機器構成で双方向伝送を実現

一つの無線 LAN 上で双方向伝送できるため、ネットワーク内で混信がなく、無線伝送機器構成がシンプルである。

2) 様々な施工条件への対応が可能

電波の反射や遮へいの影響で劣悪になる電波環境でも、各種アンテナを用いて受信状況が向上し、中継局を設置して電波の方向を変えることで対応が可能である。また、複数の中継局を設置して施工機械が最適なアクセスポイントを選択・切替可能で、尚且つ光ファイバーネットワークを組み合わせれば長距離の連続移動も可能である。

3) 各種の工法・施工機械に対応

機械の稼働状況や現場の温度など、多くのデータを伝送できるので、火山や地震といった災害復旧工事のみならず、構造物の築造・解体、海洋工事、その他危険が伴う工事へ対応ができる。また、無線 LAN の通信方式は、国際標準化されているプロトコルなので、異なるメーカーの施工機器でも接続できる。

(3) 土壌・地下水汚染対策の無人化施工事例

1) 工事概要

試験適用した工事は、大阪市のごみ焼却場の建替えにあたり、拡張する計画敷地内で 2001～2002 年度に行った調査によって、土壌・地下水汚染があることが判明したことから、汚染区域の土壌を掘削・除去する工事を行なうものである。当工事では、汚染物飛散防止のため防塵建屋で全体(施工面積:1,600 m²)を囲い、汚染土壌を全て掘削・除去(土量約 7,200 m³、掘削深度-4.5m～-8.5m)したうえで、新たに良質土を搬入して敷地を埋め戻した。このうち土量約 300 m³の掘削・除去に無人化施工システムを試験適用したところ、工期は作業員が建屋内部に入っの重機作業とほぼ同程度を確保する一方、作業環境の改善は一層図られたことで、人体への影響リスクが低減する結果が得られた。



写真-1 工事場所の防塵建屋外観

③ ケーブル管理

解体装置本体には電源及び信号ケーブルがつながっていることから、とくに稼働する重機周辺や土留め矢板端部でのケーブル管理は重要である。これらは常に一定のテンションをかけたケーブルドラムを設置することで対処している。

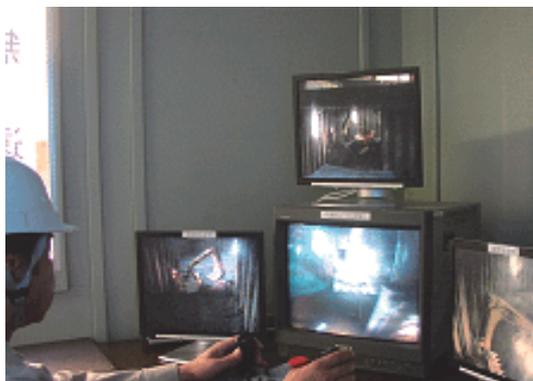


写真-2 操作状況



写真-3 掘削状況

(4) 結 果

焼却施設や原子炉施設解体を想定した無人化施工技術として、無人化施工を汚染区域に適用した場合、以下の有効性が挙げられる。

- ・作業環境の改善、人体への影響リスクの軽減などが図れる。
- ・現場環境に左右されることなく施工機械の遠隔操作が可能となる。
- ・作業時間が制限される劣悪な現場ほど、安定した作業時間の確保が可能であり工期に大きく貢献できる。

参 考 文 献	・無線 LAN を用いた無人化施工システムの開発：五洋建設(株) 杉本英樹 他、電力土木 No. 309、61-65 ページ、2004 年 1 月 ・汚染土壌対策を支える無人化施工システム：五洋建設(株) 杉本秀樹、 建設の施工企画、No. 670、40-43 ページ、2005 年 12 月
備 考	—

技 術 名	次世代無人化施工システム
番 号	No. 6. 1-6
発 注 者	-
施 設 名	-
所 在 地	-
工 事 名 称	-
施 工 期 間	-
開 発 者	大成建設(株)
キーワード	自律制御、慣性航法、自動追尾型トータルステーション

(1) 概 要

従来無人化施工は、人間が立ち入ることの出来ない作業現場において、作業箇所周辺のカメラ映像を見ながら、建設機械をレバー操作等により遠隔操作で施工を行うものであった。雲仙普賢岳などの火山環境下や、豪雨による土砂・洪水等の二次災害が懸念される箇所、福島第一原発の放射線環境下といった酷所環境下における災害復旧等の作業が多い。

無人化施工が可能な技術者や操作者は年々減少しており、緊急時には人材の確保が困難になることが懸念される。また、熟練度に依存する施工速度、出来栄えのばらつきやという問題がある。そこで、操作者を支援するツールとして、作業場所や状況を自ら判断し自律的に作業するような、高度なロボット技術を建設機械に適用できないかと考えた。

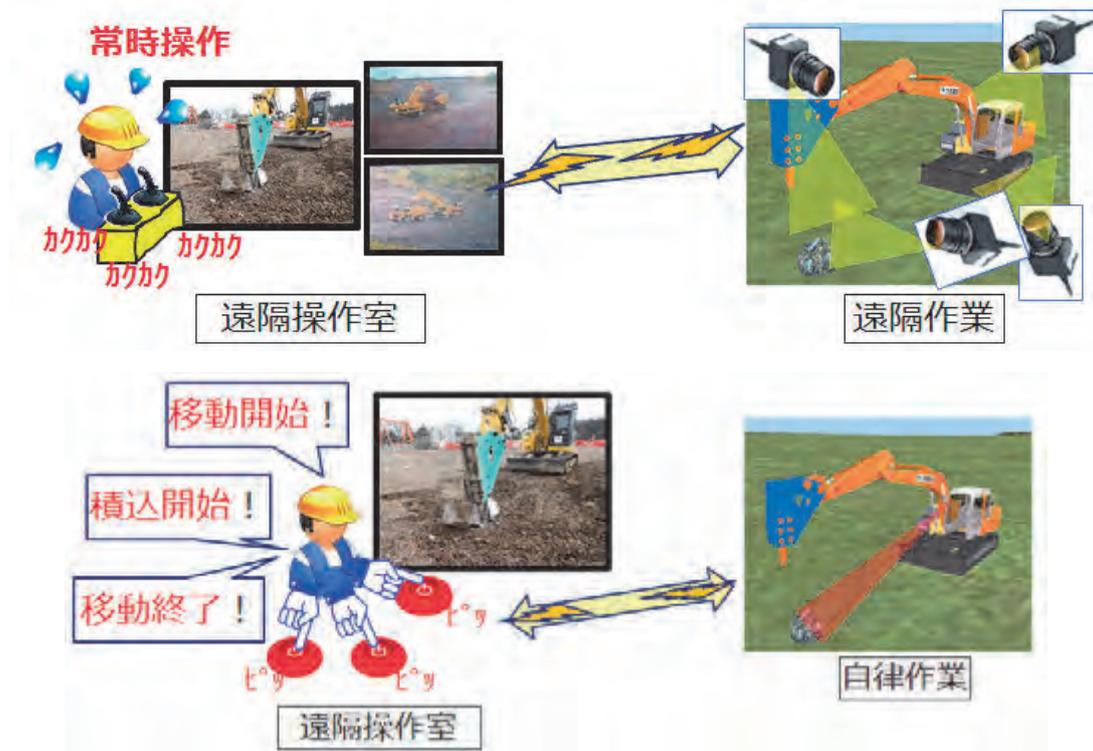


図-1 従来の遠隔操作(上) 無人化施工(下)

(2) システム

従来の無人化施工技術で抱える問題を解決するため、作業機械に人間の五感に代わるセンサ類を搭載し、従来のレバー操作ではなく、作業開始命令を与えれば建設機械自らが周辺状況を判断して作業を行うシステムを構築した(図-2)。

1) 構成

- ① 自動追尾型トータルステーション：ジャイロ補正情報取得。
- ② 自律制御用CPU：取得したセンサ情報をもとに周辺状況や機体姿勢の把握、「慣性航法」を用いた自己位置推定によって自律走行及び転圧作業を行う。
- ③ ホストPC：転圧回数や幅などの作業計画の入力を行う。



図-2 無人化施工システム



写真-1 無人化施工の流れ

2) 搭載センサ

実証に使用した振動ローラに搭載したセンサー一覧を表-1、センサ搭載状況を写真-2 に示す。搭載したセンサは、機体状態と周辺状況の把握の用途に大きく分類される。また、センサの選別に当たっては振動ローラの作業時振動に耐えられることを考慮して耐振動・衝撃性能の高い仕様のものを選んだ。

表-1 搭載センサー一覧

分類	項目	適用センサ
機体状態	姿勢検出	MEMS3軸ジャイロ
	速度検出	回転センサ
	ステアリング角検出	変位センサ
	位置検出	自動追尾型トータルステーション
周辺状況	前方探査センサ	2Dスキャナ
	車載カメラ	ネットワーク型カメラ



写真-2 センサ搭載状況

(3) 結果

前述のシステムを搭載した振動ローラを用いて試験フィールド内で自律転圧作業実証実験を行った。

これにより、転圧作業精度やセンサ類の耐振動性を検証した。

- ① 走行精度は 400mm であった。
- ② 自律作業は振動における走行精度への影響は少なく、搭載センサ類の耐振動性は十分であった。
- ③ 車体中央を屈曲させ方向転換する機構の機械制御において、車体中央が屈曲する際に前後



写真-3 実験状況

輪間で発生する不規則な挙動は、走行プログラムを工夫し制御することができた。

通常、遠隔操作の転圧作業では、転圧残しが無いよう施工重複幅を 500mm（雲仙普賢岳周辺砂防ダム等特記仕様書）としている。今回の結果から現状 500mm である施工重複幅を減じ、走行レーン数の減少による施工効率向上が期待できる。（図-4）

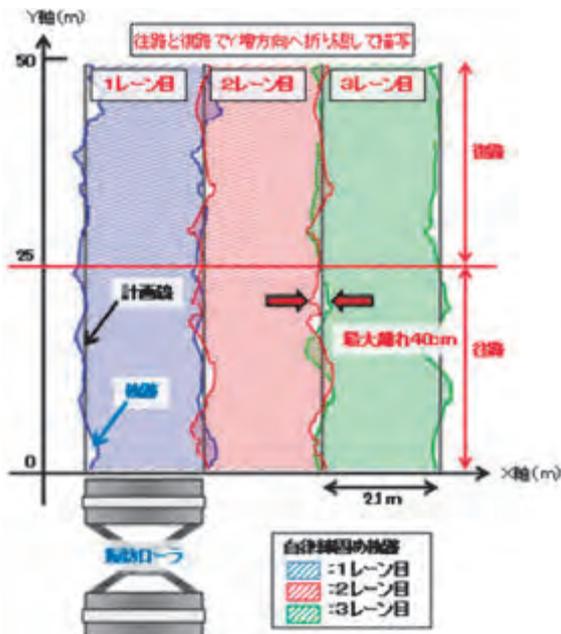


図-3 走行軌跡

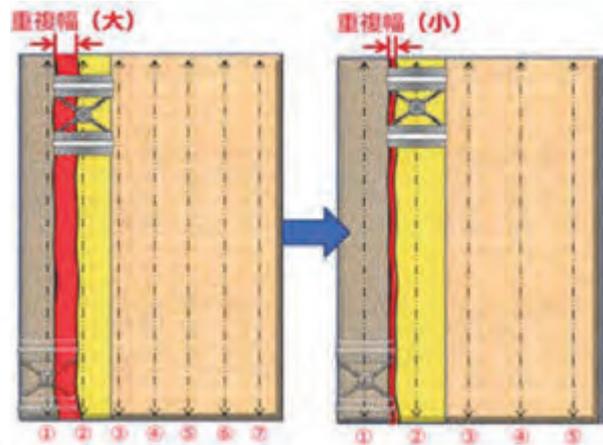


図-4 施工効率向上イメージ

参考文献	『次世代無人化施工システムの開発』大成建設(株) 宮崎裕道、青木浩章、土木学会年次学術講演会、VI-322、2014.9
備考	特許出願番号：2015-148935、2015-001121

技術名	アスベスト除去ロボット
番号	No. 6.1-7
発注者	—
施設名	—
所在地	—
工事名称	—
施工期間	—
施工者	大成建設(株)
キーワード	多関節形ロボット、有害危険箇所、アスベスト回収システム

(1) 概要

吹き付けアスベストは、耐火性や断熱性、吸音性などに優れていることから、過去において、建物の天井や壁、柱、梁などに吹き付け施工がなされてきた。アスベスト除去作業は、密閉空間のため、作業環境が極めて劣悪であり、人的作業では、膨大な時間を要していた。

図-1 は、東京都中央区晴海倉庫における、遠隔操作によってアスベスト除去が行われた施工事例である。(除去対象部：天井・梁部)

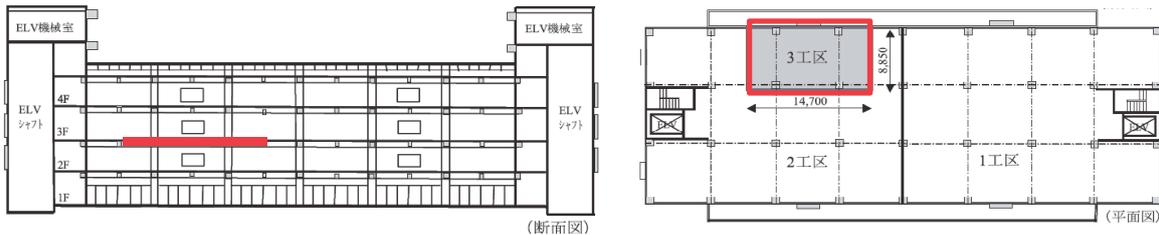


図-1 施工範囲

既存建物に使用された吹き付けアスベストは、乾式工法により施工された比較的軟らかい吹き付けアスベストと、湿式工法により施工された強固な吹き付けアスベストがある。始めに除去の容易な乾湿系吹き付けアスベスト除去ロボットの開発を行い、その後湿式系吹き付けアスベスト除去ロボットの開発に至った。アスベストはエレベータシャフト内の耐火材として、エレベータの上昇下降の風圧に耐えるよう湿式吹き付けアスベストが使用されており、限られた空間内で効率良く除去できる技術を開発するに至った。

(2) 技術詳細

1) 乾式フロア用ロボット

- ① ベースマシンは遠隔操作標準装備の解体装置を使用 (写真-1)。3 アーム構造で自由度が高く、電動モータを採用していることから、排気ガス等の配慮も必要としない。
- ② 混気物 (高圧水+圧縮空気+研削材+高分子吸収剤) を同時噴射することのできるノズルアタッチメントをロボットアームの先端部に装着している (写真-1)。また、噴射ノズルは、アスベスト吹き付け面に対して鉛直方向に一定の斜行角度を持たせ往復運動が

できる。さらにノズル噴射角度の向きを変えられるような可変機構を搭載している。

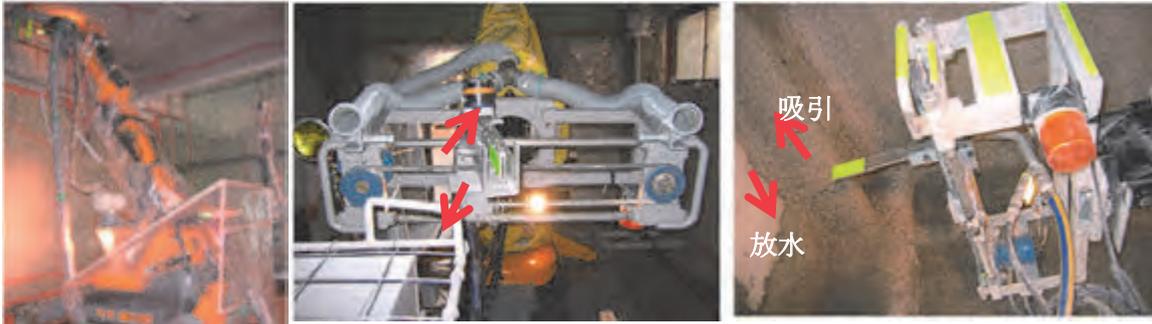


写真-1 乾式アスベスト除去用ロボットと乾式用アタッチメント(高圧水除去)

2) 湿式フロア用ロボット



写真-2 乾式用アタッチメント(高圧水除去)と湿式用アタッチメント(回転式剥離機)

- ① 胴体部には2台のカメラを搭載し、ロボットアーム先端部には、強固に付着しているアスベストを機械的に除去するアタッチメントを装着。
- ② 除去用アタッチメントの構成
 - a) 粗とり用：円筒状回転体に鉄筋棒（先端斜めカット）を溶接した
 - b) 仕上げ用：円筒状の回転体に複数の樹脂製ブラシを取り付けた

3) エレベータシャフト用ロボット



写真-3 エレベータシャフト用ロボットとアタッチメント

エレベータシャフト内アスベスト除去を行うものであり、あらかじめエレベータシャフト内の除去部位を覚え込ませ、作業中は完全無人化作業が可能である。ベースマシンは、汎用性の高い6軸垂直多関節形の知能ロボットを採用。ロボットを智能化する機構は

- ① カセンサ・カメラパッケージセンサ・立体センサの搭載
- ② アスベスト除去部位における動作データをプログラミングにより記憶させ、ロボットの自己認識制御により、自動運転でアスベストを除去する。

4) アスベスト回収システム概要

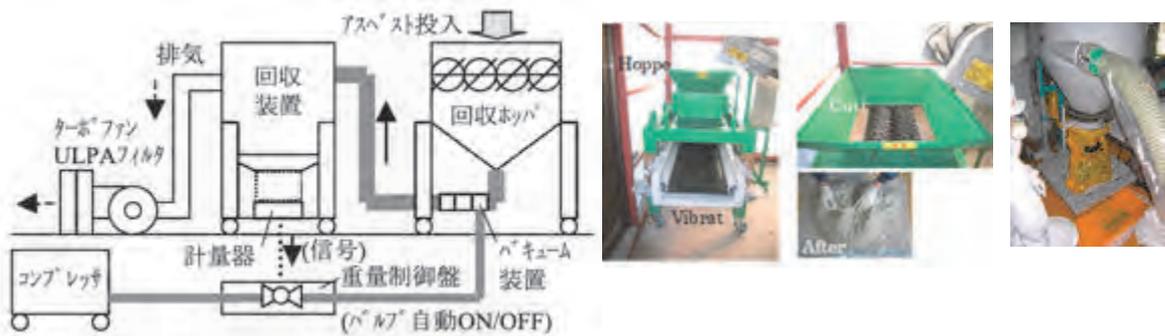


図-2 アスベスト回収システム

アスベストだけでなく、ラス網をも同時に裁断できるような、2軸式のローリングカッターを搭載した粉碎装置を設置した。粉碎しきれなかった塊状の破砕物を選別するための振り機構を組み込んでおり、アスベストを圧送するためのバキュームを取り付けている。

(3) 性能評価

総じて人間の作業による除去速度の3～5倍程度の作業効率を確認した。

ブラッシングにより粗取り後の残留物も効率良く除去できた。アスベストやラス網等をベルトコンベア等で破碎した後、バキューム装置及び回収装置により、自動的に廃棄袋に袋詰めすることができ、廃棄アスベスト容量は、従来の塊状アスベストの詰込み状態よりも約1/3に減容化されていることを確認した。

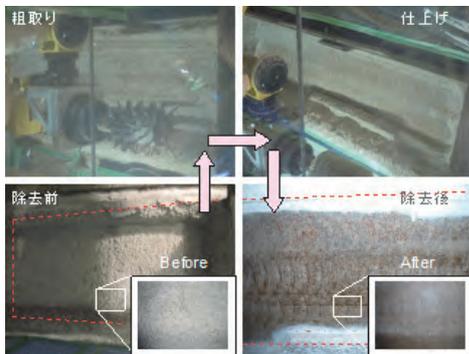


写真-4 エレベータシャフト内除去作業状況



写真-5 回収システムの減容効果(ラス網廃材の例)

<p>参考文献</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・「乾式系吹き付けアスベスト除去ロボットの開発・実証」 大成建設(株) 森、長瀬、久保木、建設施工と建設機械シンポジウム、P87、 2008.9 ・「ロボット技術を利用したアスベスト除去技術」 大成建設(株) 森、建築の研究 No.215、2013.2 ・「湿式吹付けアスベストの無人化除去・回収システムの開発その5」 大成建設(株) 森、 ・日本建築学会大会学術講演会梗概集、P947～P948、2011.8
<p>備考</p>	<p>特許出願番号： 2009-183975</p>

技術名	ダムテレコンシステム
番号	No. 6. 1-8
発注者	建設省九州地方建設局
施設名	水無川1号砂防ダム
所在地	長崎県島原市
工事名称	水無川1号砂防ダム越流部建設工事（1～3期）
施工期間	1995年9月～1998年3月
施工者	大成建設(株)
キーワード	無人化施工基礎技術 掘削管理システム 締固め管理システム

(1) 概要

雲仙普賢岳は、1990年11月198年ぶりに噴火を開始した。噴火活動が5年目に入った1995年火山噴火予知連会が『噴火活動は、ほぼ停止状態』の発表がなされた。山頂部には約1億m³の溶岩ドームと山麓に約1.7億m³の火砕流堆積物が不安定な状態で存在し、土石流の発生が懸念された。水無川1号砂防ダムは約40基の砂防ダム群が建設省により計画された。

現在でも雲仙では砂防ダム工事が継続している。工事着手時の遠隔操作が、今日では自律制御に発展した。当事例は、今も使われている重機等の遠隔操作や、無人化施工の基礎技術として事例を紹介するものである。

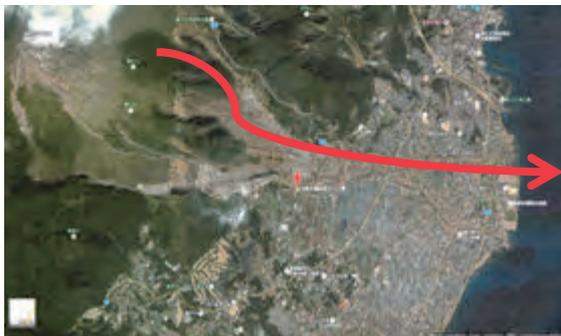


図-1 現在の雲仙（1995年火砕流）



図-2 砂防ダム完成状況

1) 設計概要

1号砂防ダムはダム群の最下流に位置し、危険地域におけるダムの安全施工を行うため省人化や急速施工を考慮して、堤体中央の越流部はRCC (Roller Compacted Concrete) 工法による施工、左右岸の非越流部は、火山噴出物を骨材に用いたCSG (Cemented Sand and Gravel) 工法とした。

溶岩ドーム崩落による危険に対し、越流部を無人化施工によるRCC工法とした。

2) 施工概要

堤体打設に土砂型枠(図-5)を採用し、モルタル敷均し、目地切、グリーンカット、従来型枠の4工程を省略した。土砂を型枠とするため、堤体表面が凹凸形状となる。

火砕流・土石流などの危険性が高いため、工事の安全性を図るため無人施工区間とされる区間を、GNSSを活用した施工支援システムを構築し、遠隔操作による無人化施工を実施。

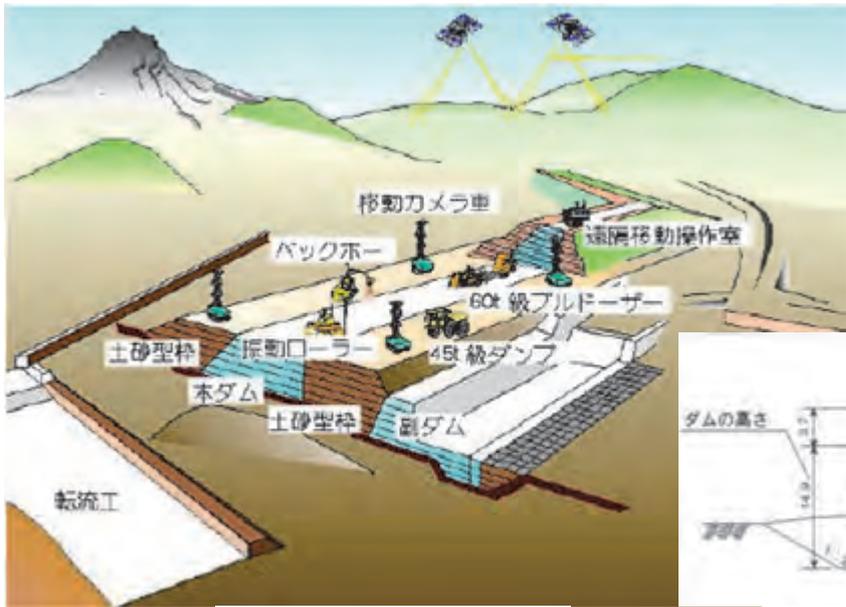


図-3 無人化施工状況図



図-4 越流部の標準断面図

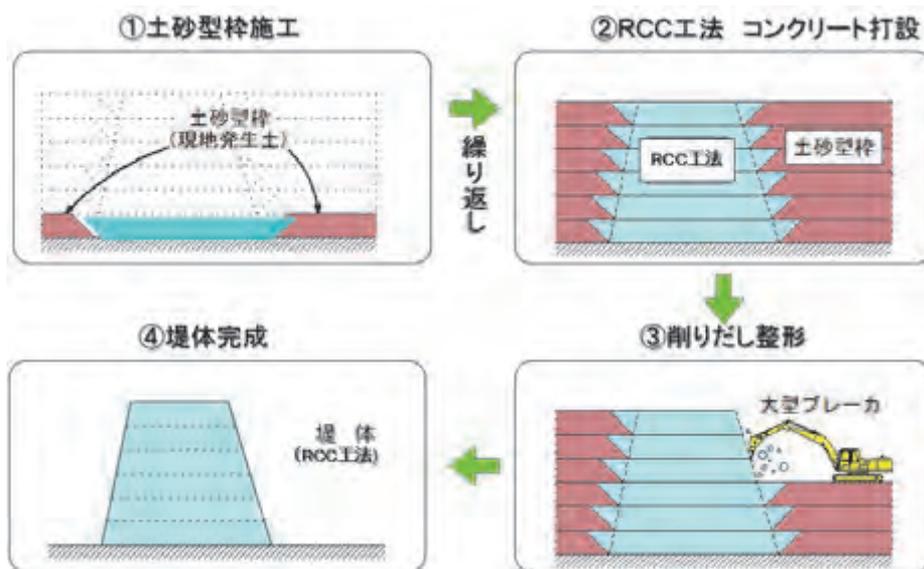


図-5 土砂型枠

(2) 技術の詳細

1) 本システムによる施工手順

- ① 無人 45t ダンプトラックでRCC コンクリートを運搬。
- ② コンクリートを無人ブルドーザーで25cmの厚さに敷き均す。
厚さや転圧回数を、映像とGNSSデータによる管理モニターを使い、遠隔操作で施工する。
- ③ コンクリートを厚さ25cmで2回敷き均し、50cmの厚さの状態です無人振動ローラーによって転圧する。

表-1 重機の構成

重機名	規格	台数	操作方法
ダンプトラック	CAT-773 (45 t 級)	3	CCDカメラ搭載・遠隔操作
振動ローラー	SD-451 (10 t 級)	1	GNSS搭載・遠隔操作
バックホー	CAT-330 (1.3m ³ 級)	1	GNSS・CCDカメラ搭載・遠隔操作
バックホー	CAT-375 (2.8m ³ 級)	1	CCDカメラ搭載・遠隔操作
ブルドーザー	CAT-D6D (16 t 級)	1	GNSS・CCDカメラ搭載・遠隔操作
ブルドーザー	CAT-D10N (60 t 級)	1	CCDカメラ搭載・遠隔操作
移動カメラ車	クローラー走行	4	CCDカメラ搭載・遠隔操作

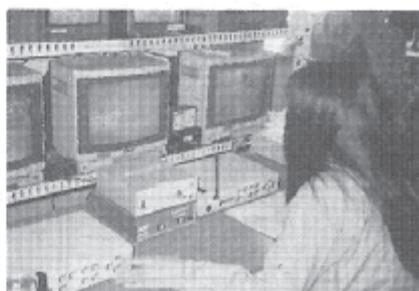
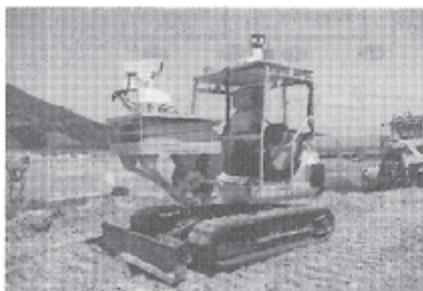


図-6 移動式カメラ車(ラジコン車)とカメラコントロール



図-7 重機の遠隔操作状況

2) GNSS・ダムテレコンシステム

RCC ダムの無人化施工では重機を遠隔操作するため、3つの構成技術からなる「GNSS・ダムテレコンシステム」を開発した。

- ① 重機を無線操作するリモートコントロール技術
- ② CCDカメラによる重機前方やヤード全体の映像監視技術
- ③ GNSSによる重機位置の3次元計測や出来形の管理支援技術

3次元データの数値解析とその可視化技術を活用して、工事の管理を実施した。

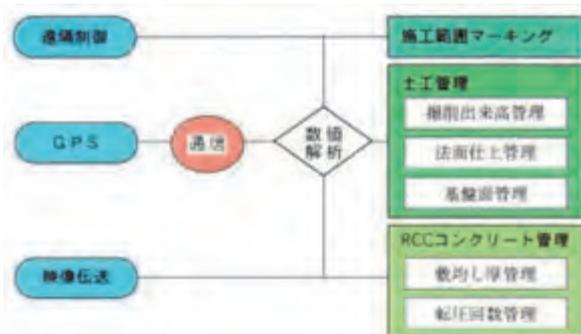


図-8 GNSS・ダムテレコンシステム

3) 掘削管理システム

GNSS 搭載ブルドーザーの走行軌跡を地盤の 3 次元座標として計測。前日とその日の出来高を求め土工数量の管理を行う。

粗掘削された法面の整形には画面上(図-10)の計画断面と現況の出来形断面を比較して行う。リアルタイムで重機の位置と設計高の差を表示し、最終仕上げを行う。



図-9 法面掘削状況

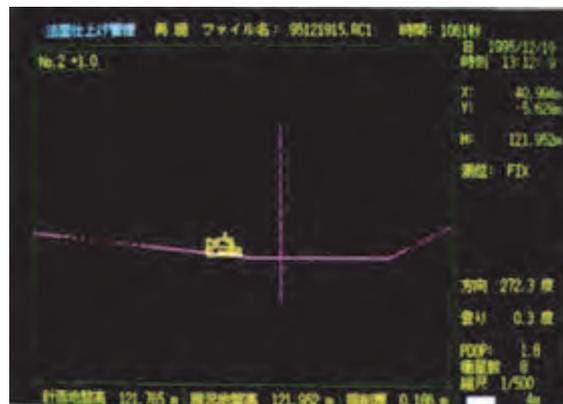


図-10 仕上げ管理モニター

4) RCC 締固め管理システム

敷均し厚については敷き均し範囲を 1m メッシュに分割し、高さ 10cm 刻みに色分け表示し、目標高さの±5cm の範囲に仕上げる。

転圧回数については、ラップ範囲を設定し、1.6m 間隔に色付けし、画面上の帯が既定の色になれば既定の転圧回数 (10 回) に達したことが確認できる。

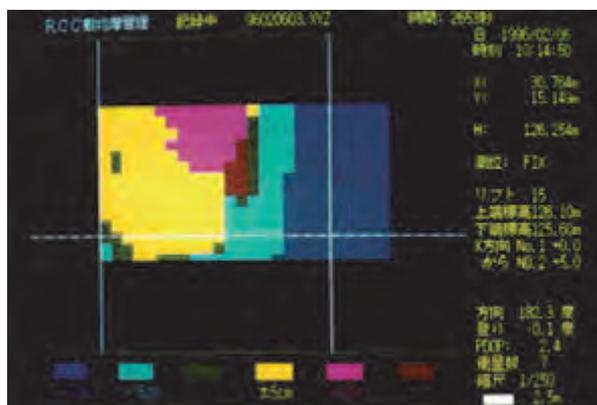


図-11 敷均し厚管理モニター画面

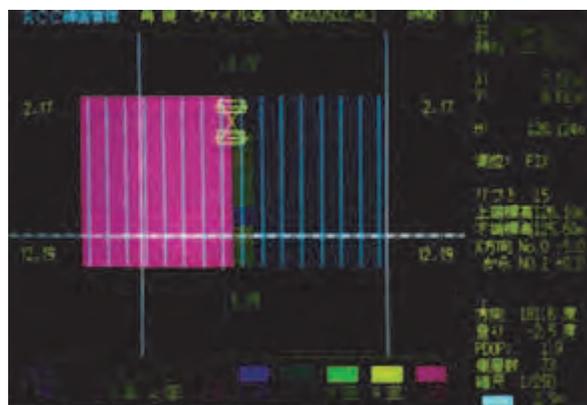


図-12 転圧回数管理モニター画面

(3) 結果と課題

無人化施工の施工能力は表-2 に示す通り、概ね良好な結果を得た。一方カメラ車の配置や精密機器のメンテナンスなどが追加的な作業が必要となった。また映像による遠隔操作ではその覚えの良し悪しなどの個人差が生じた。

このような背景から、機械が自律的に制御するシステムが開発され、操作はスイッチの ON・OFF だけとなった。ダム現場での事例もあり、今後は安全の冗長化やその運用の検討が必要である。

表-2 施工能力の比較

(単位 : m³/h)

工 種		施工条件	有人	無人	対有人比
土工事	土砂運搬	約180m運搬	102	88	0.96
	掘削・積込		288	247	0.86
RCC	敷均	25 c m × 2層	62	56	0.90
	締固	10回	69	61	0.88

参考文献	「GPS・ダムテレコンシステム～雲仙普賢岳砂防ダム無人化施工～」 大成建設(株) 神崎 正、大浦幹男、西沢修一 (URL : http://www.taisei.co.jp/MungoBlobs/209/139/K00X33.pdf)
備考	特許出願 : 平 5-133747, 164833, 164835, 312934, 平 6-66920, 146334, 平 7-43447

【災害復旧・危険個所／無人化施工】

技術名	無人化施工鋼製スリット建造システム
番号	No. 6.1-9
発注者	国土交通省九州地方整備局
施設名	水無川3号砂防堰堤
所在地	長崎県島原市北上木場町地先
工事名称	水無川3号砂防堰堤スリット工事
施工期間	2002年10月～2003年3月
施工者	(株)フジタ
キーワード	無人化施工、災害復旧、鋼製スリット、高流動コンクリート、無人測量

(1) 概要

国土交通省雲仙復興事務所は、平成6年1月より遠隔操作重機による無人化施工試験工事を開始した。平成7年9月に水無川1号砂防堰堤の工事を開始し、平成10年3月末には水無川2号砂防堰堤が完成した。これら2つの砂防堰堤は、GPS 施工管理システムを用いた無人化 RCC 工法により築堤され、完成後約 170 万 m³の土砂を補足することが可能となった。さらに、上流部における砂防施設として、平成14年10月より水無川砂防堰堤スリット工事をこれまでの遠隔操作技術、映像通信技術、遠隔測量技術を駆使した無人化施工技術で施工した。1基当たり 15 トンの鋼製スリットを精度よく設置し、鋼製スリットの固定方法としてマスコンクリート規模の高流動コンクリートを採用し、その全工程を遠隔操作にて施工した。



図-1 水無川3号砂防堰堤完成位置図

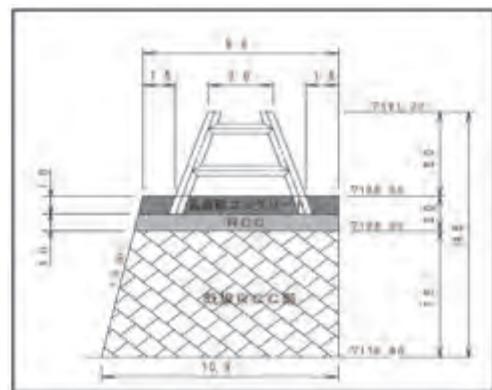


図-2 鋼製スリット堰堤標準断面図

【工事概要】	工事名称 : 水無川3号砂防堰堤スリット工事
	発注者 : 国土交通省九州地方整備局
	工事場所 : 長崎県島原市北上木場町
	工期 : 平成14年9月～平成15年3月
	用途 : 砂防ダム
	主要数量 : 鋼製スリット(16基×15t/基)、コンクリート(4,000m ³)

(2) 技術の詳細

1) 水無川3号鋼製スリット砂防堰堤の概要

水無川3号鋼製スリット砂防堰堤は、堤体の一部を格子状（スリット）にすることにより、小規模な洪水の際に流下する土砂はスリットの間を通過させ、常に大規模な土石流の発生に備え、堰堤上流に土砂を捕捉する容量を確保できる砂防施設である。

堤高 14.5m、堤長 232.40mのうち、越流部を含み左岸側 150mが今回対象となった工事である。図-2が鋼製スリット標準断面図であり、重量 15.077 t/基、スリット部材は直径 600mmで、機能上から上流側の鋼管厚さは下流側より厚くなっている。

越流部 100mの区間に 16基の鋼製スリットを設置し、8つのブロックに分割して高流動コンクリートを打設した。図-3に鋼製スリット堰堤の正面図を示す。

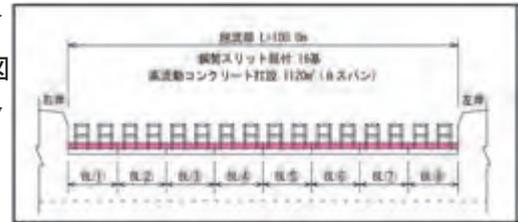


図-3 鋼製スリット堰堤正面図

2) 鋼製スリット砂防堰堤の無人化施工

図-4に全体施工平面図を示す。水無川2号砂防堰堤の右岸袖部に、遠隔操作室を設け 500m程度離れた場所から遠隔操作を行った。

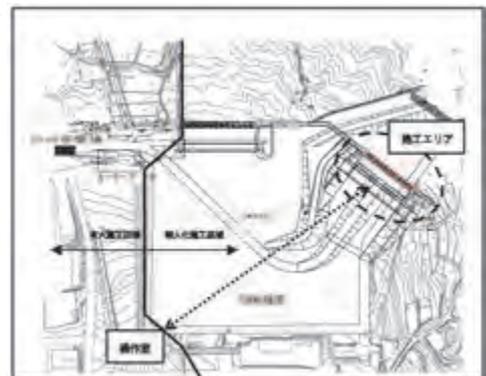


図-4 遠隔操作位置図

図-5に鋼製スリット砂防堰堤工の無人化施工フローを示す。

① 鋼製スリットの運搬

図-6に示すように無人鋼製スリットの運搬車は、遠隔操作用の 45 t 重ダンプトラックを改造し、ベッセルを取り外して専用の運搬台を取り付けた運搬車にて行った。運搬時に鋼製スリットがずれ落ちないように、遠隔操作で開閉ができる転倒防止装置を取り付けた。バックホウにて鋼製スリットを把持後、地切りがスムーズに行くよう、後方の荷台にスライド機構を取り付けた。写真-1に無人鋼製スリット運搬状況を示す。

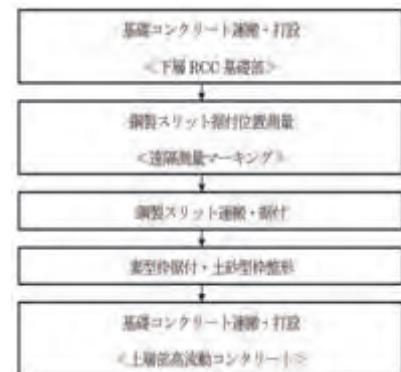


図-5 鋼製スリットの施工フロー

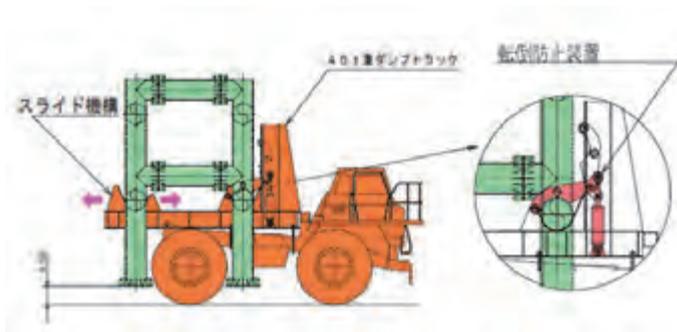


図-6 無人スリット運搬車



写真-1 スリット運搬状況

② 鋼製スリットの据付け

把持装置を取り付けた 3.5 m³バックホウが、無人測量機(写真-2)によりマーキングした所定の位置に、鋼製スリットを据付ける(写真-3)。把持装置は油圧機構により、フックの開閉による鋼製スリット鋼管の掴み、及び微小位置決めを行うために 90° 回転可能な構造とした。把持装置にバランスウエイトを新たに追加して、据え付け時の鋼製スリットのバランス調整を図った。

据付け作業は、まずスリット運搬車上の鋼製スリットを据付け位置に待機しているバックホウで把持し、地切りを行う。完全に吊り上げた後、スリット運搬車を移動する。移動後、旋回して所定の位置への据付を行う。据付けはモニター映像で無人測量によるマーキングを確認しながら、据付け目標値内(±50mm)に収まるまで繰り返し実施した。



写真-2 無人測量機



写真-3 鋼製スリット据付け状況

③ 高流動コンクリートの運搬

図-7 に示すように高流動コンクリートの運搬には、45t 重ダンプのベッセルを取り外し、材料分離防止のアジテータ機能付きタンク 20m³を取り付けたコンクリート運搬車を使用した。タンクは 18m³積載可能で、内部には攪拌用の 12 本の羽根と引き出し用のスクリューを配置した。粘性の高い高流動コンクリートが内部壁面に残るのを防止するために、特殊な樹脂系のシートを張り付け、清掃時における人的事故防止のために、安全装置としてキーロック装置およびコンクリート残量検知ランプを取り付けた。さらに、タンクを支持する 4 箇所支柱にひずみゲージを取り付け、内容量の変化に伴うひずみ値を検出することで、残量 1/4 でランプが点灯するように設定した。写真-4 に無人高流動コンクリート運搬状況を示す。

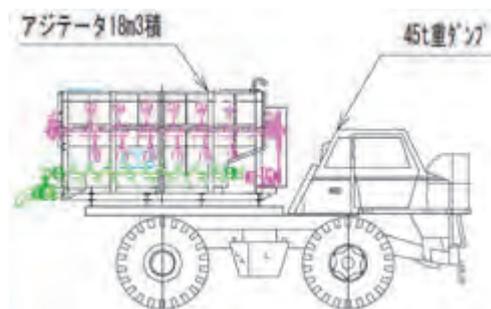


図-7 高流動コンクリート運搬車



写真-4 高流動コンクリート運搬状況

④ 高流動コンクリートの打設

ポンプ車はブルドーザ(16 t)で牽引(図-8)し、高流動コンクリートを打設した。写真-5 に無人高流動コンクリート打設状況、写真-6 に遠隔操作状況を示す。鋼製スリット2基の範囲を1ブロックとして、全体を8ブロックに分け、左右岸端部から順次打設することとし、1回の平均打設量は160m³程度であった。施工性を考慮して、上下流の型枠は土砂型枠、棲側型枠は鋼製型枠を使用した。また、側圧対策として1.5m³バックホウ(自重40 t)にて鋼製型枠を押さえ、鋼製型枠の脱型は2日養生後に実施した。

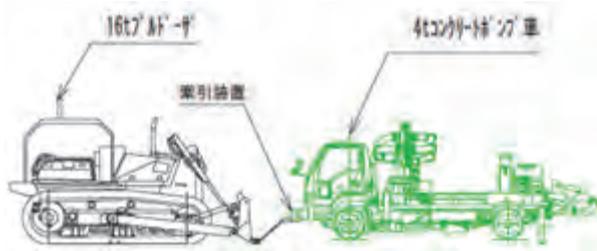


図-8 無人ポンプ車と牽引ブルドーザ



写真-5 無人ポンプ車による打設状況



写真-6 高流動コンクリート打設遠隔操作状況



写真-7 鋼製スリット配置完了状況

(2) 結果

鋼製スリット砂防堰堤のように精度が必要な構造物の構築においても重機の改造と無人測量技術の開発により無人化施工が可能になった。

これら開発した技術は2004年の赤松谷川1号砂防堰堤スリット工事と2009年の赤松谷川2号砂防堰堤一期工事においても、重さ15tのプレキャストアーチカルバートボックスの設置工事に発展した。



写真-8 竣工状況

<p>参考文献</p>	<p>無人化施工による雲仙普賢岳鋼製砂防堰堤工事の実績：(株)フジタ 茶山 他、第10回建設ロボットシンポジウム, 論文集、123-132 ページ、2004年8月</p>
<p>備考</p>	<p>特許登録番号 4230161 マーキング方法</p>

【災害復旧・危険個所／無人化施工】

技術名	簡易遠隔操縦ロボット
番号	No. 6. 1-10
発注者	長崎県
施設名	水無川地区火山地域
所在地	長崎県島原市
工事名称	水無川（赤松谷 1 工区）地区火山地域総合治山工事
施工期間	1998 年 10 月～2000 年 6 月
施工者	(株)フジタ
キーワード	搭載型ロボット、映像伝送、無線操縦

(1) 概要

1) 工事概要

1990年に発生した雲仙普賢岳の噴火に伴う火砕流災害では、無線による遠隔操縦型の特殊なバックホウやブルドーザー等が用いられ、災害復旧に多大な貢献を果たした。しかし災害対策では、台数の制約・道路搬送上の規制・現場映像情報の把握など課題を残している。そこで、土砂災害における復旧を念頭に、汎用の建設機械に簡易に搭載可能な遠隔操作ロボットの開発を行った。

2) 技術概要

遠隔操作ロボットは、汎用バックホウにロボットを固定するフレームユニット、空圧シリンダー及びモータに対しサーボバルブにより空圧を制御するサーボユニット、空気圧制御等を実施するコントロールユニット、バックホウレバーを動かすアクチュエーションユニット、映像伝送のためのモニタリングユニット等から構成される。

(2) 技術の詳細

1) 開発のコンセプト

- ① 可搬性：緊急時を想定し、手軽に人力で運搬ができること。多少の距離の移動に不都合を伴わない。
- ② 装着性：ロボットを構成するユニットの取り扱いが簡潔で、確実にシステムを組み立てることができる。
- ③ 適用性：汎用バックホウの操作に機能に合致し、機種は問わない。
- ④ 操作性：違和感の無い操作感覚を有し、操作精度に優れている。

各ユニットはケースに収納し簡単に運搬でき、シートの取り外しを含めても 2～3 時間程度で組み立てられる。総重量は 180kg であるが、数 10kg 程度に分割した各ユニットは人力により運搬・移動が容易である。

搭載カメラには、作業中に発生する建設機械の振動・衝撃を考慮して小型化されている。

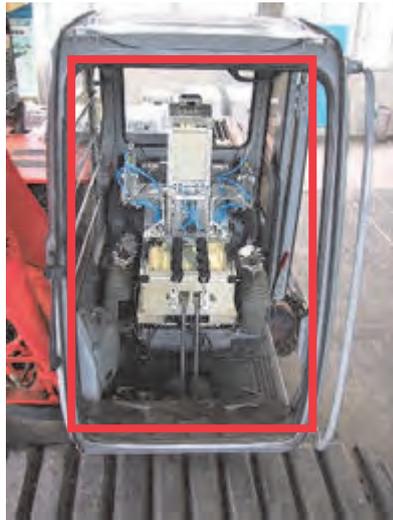


写真-1 ロボット装着風景

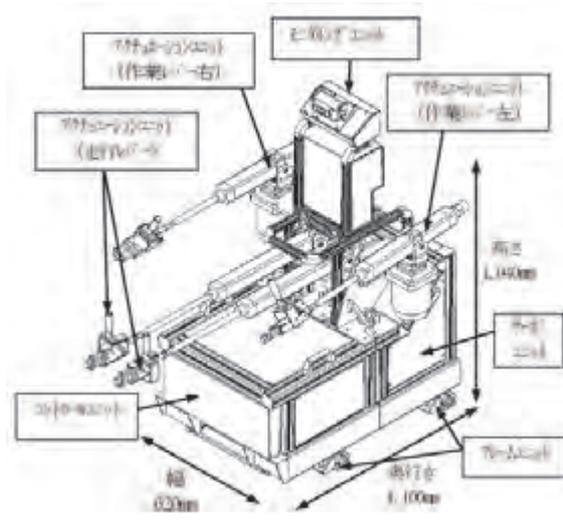


図-1 遠隔操作ロボット

2) 映像伝送

運転席のモニターユニットに設置したカメラ映像は、映像伝送装置によりオペレータまで送信し、ヘッドマウントディスプレイ（HMD）に映し出され、オペレータは映像を見て、ロボットを操作する。



写真-2 HMD システム

3) 無線

無線による制御信号は電圧に変換されエアーバルブ制御を行い、ラジコン操作に追従するようにバックホウ操作レバーを駆動する。

制御用としては、指向性がなく移動体の通信に適した特定小電力無線を使用しており、遠隔操作距離は 150m～200m 程度である。映像用としては動画の伝送に適した SS 無線を使用。

(3) 結果

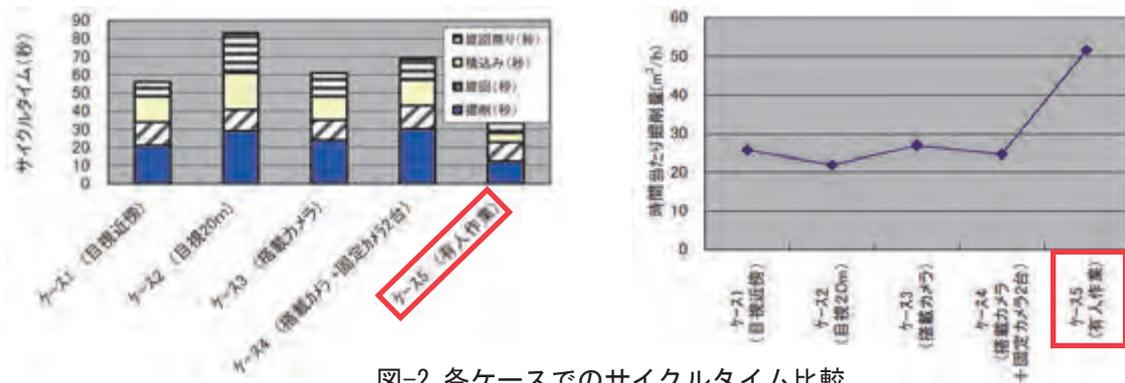


図-2 各ケースでのサイクルタイム比較

- ① 遠隔操作未経験者が、6時間程度行えば、ほぼ操作に慣れると判断できる。
- ② 掘削・積込等は有人に対して2倍程度の時間を要するが、旋回はほとんど差異がない。
- ③ 施工能力は有人作業に対して43%～55%程度である。
- ④ 遠隔操作は、搭載カメラによる視覚情報で可能になり、緊急時や危険区域での作業には対応できる。精度を必要とするような作業については、搭載カメラの台数、設置位置を考慮して2方向以上からの資格情報を提供することが有効である。



写真-3 現場全景

災害活動事例

2000年6月大分県別府市朝見川上流において、右岸斜面の土砂約2000m³が崩落した。延長25mにわたり河道を閉塞し、崩落面は直立して天端にはクラックが発生したため、二次災害の危険から有人施工は極めて危険な状況にあったため遠隔操作ロボットが出動した。

取付調整員3名により遠隔操作ロボットの組立・装着に要した時間は延べ3時間。遠隔作業段階に応じて規格の異なるバックホウにロボットを載せ替え、効率的に施工を行った。

除去作業は12日間行われ、土砂除去作業の施工能力は約31.2m³/hであった。一方で、有人作業(計算値)は47.7m³/hとなる。従って、遠隔操作ロボット操作による施工能力は有人作業の65.5%となった。



写真-4 遠隔操作ロボットを装着したバックホウ

<p>参 考 文 献</p>	<p>「遠隔操作ロボットの開発と実用化」、フジタ(株) 茶山、藤岡、五ノ井、国交省九州地整 藤本、久保田、吉永、土木学会誌技術レポート Vol. 88(No. 1). pp. 75-77、2003. 1</p>
<p>備 考</p>	<p>大分県別府市朝見川上流土砂災害復旧工事 受賞歴：『全建賞』（社）全日本建設技術協会、2000. 6 『実用化技術省』日本ロボット学会、2002. 1 『今年のロボット大賞・優秀賞』経産省・日機連、2006. 12</p>

技術名	無人化施工ロボット
番号	No. 6. 1-11
発注者	建設省九州地方整備局
施設名	水無川2号砂防ダム
所在地	長崎県島原市
工事名称	水無川2号砂防ダム越流部Ⅱ期建設工事
施工期間	1998年9月～1999年9月
施工者	(株)フジタ
キーワード	自律分散型制御、ルート計画モジュール、自律走行モジュール、ファジー推論制御

(1) 概要

雲仙普賢岳は、1990年に噴火活動を開始した。災害復旧工事・対策工事のように、工事者の人命に関わる危険に対する安全性の確保が現実問題として主たる目的となり、労働者の高齢化・省力化対策としての無人化施工技術を実用化させることが急務となった。

自律分散型制御システムは工事のトータルコストで大きな割合を占めるオペレータの労務費を削減することでコスト削減を図る目的がある。ダンプトラックやブルドーザ、振動ローラといった重機の動きは、所定の場所を行き来するような作業となるため、省人化の対象として無人締固めロボットの開発に至った。

無人化施工による砂防ダム建設工事は、堤長約500m、堤高約15mをRCC工法(Roller Compacted Concrete)により築造。

実質稼働総合時間：約34時間 実質総転圧面積：約4700m²

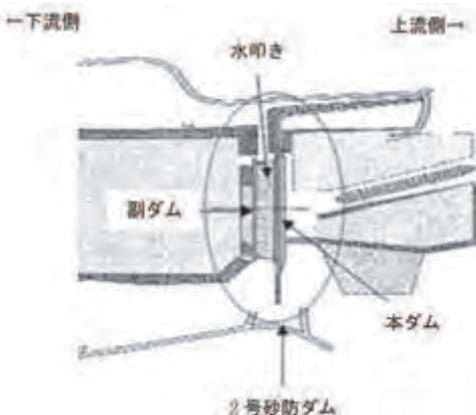


図-1 水無川2号砂防ダム平面図

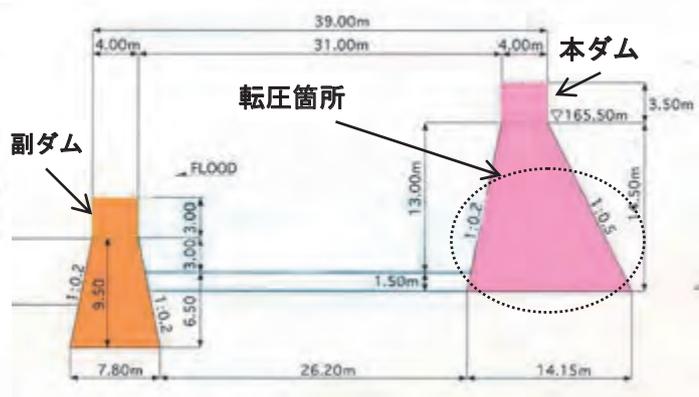


図-2 水無川2号砂防ダム断面図

(2) 技術詳細

1) システムの利点

- ① 1人のオペレータが複数の無人重機を群管理することが可能であり省人化につながる。
- ② オペレータ無しで夜間作業が可能のため、現場技術者の時間的制約が少なくなる。
- ③ 夜間作業が可能になり、1日の作業量を向上させることから、工期短縮につながる。

2) 特徴

本システムには通信のバックボーンにインターネット技術を導入していることで、構築されたネットワーク内に効率よくインテリジェンス機能を分散配置している。

以下①～③が分散処理の各モジュールである。

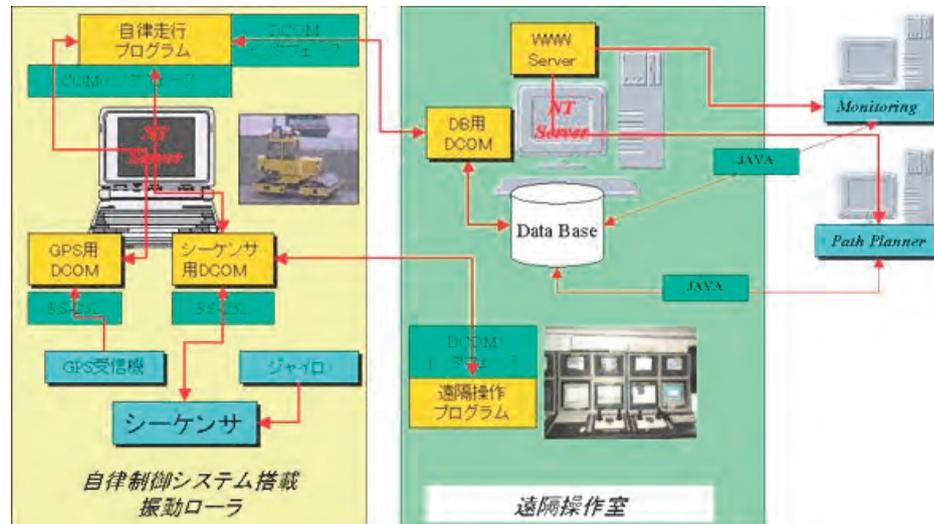


図-3 分散処理技術を利用したシステム系統図

① ルート計画モジュール

『Path Planner』と呼ぶソフトウェア上でどのような走行をさせるかを計画し、パラメータを入力する。この情報はデータベースに蓄積される。このソフトウェアは JAVA 言語でコーディングされているので、JAVA 対応ブラウザがインストールされていれば、世界中どこからでもダウンロードして操作が可能。



図-4 ルート計画モジュール画面

② 自律走行演算制御モジュール

RTK-GPS 受信機と光ファイバージャイロから得られる座標・方向データを演算し、ロボットの位置をリアルタイムにミリ単位で求める。その後、自己位置が計画線からどの程度離れているかを計算し、それに応じてステアリング制御を行う。

③ ファジィ推論による制御

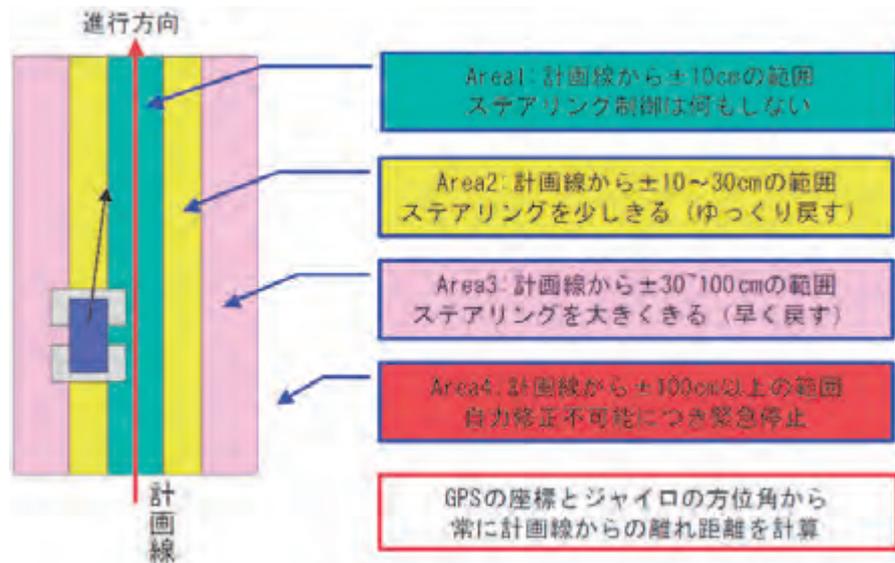


図-5 自律制御ロジック

無人化施工において、オペレータに依らず自律制御させるためには、より人間に近いファジィ推論に基づいた制御が必要となる。

本モジュールは、『計画線から位置がずれている』または『計画線に対して進行方向の角度がずれている』ならば『ステアリングをきる』という推論条件で制御を行う。

(3) 結果

無人締固めロボットの走行実験は、スタート時に計画線から約300mm離れた位置から出発し、自律制御により徐々に計画線に近付けることを目的として行なったものである。図-6 から

- ① 操舵を行なって進行方向を計画線に向ける
 - ② その方向に進むようにステアリングを戻す
- という制御を繰り返しながら計画線に近づけていることがわかる。

また、位置情報データは、1~3秒の間で確実に記録されており無人締固めロボットの自律制御がリアルタイムに実行されていることを確認した。

これは、無人締固めロボットのステアリング制御にファジィ推論を採用したことと、通信システムが問題

なく稼働できたためである。市販のパソコン等だけで初期導入ができ、設備費の縮減、オペレータ兼務による省人化の効果も確認。日中コンクリートの打設に5時間、転圧作業に4時間かかっていたとすると、転圧作業を時間外に実施することで打設を9時間実施することができる。工期短縮約40%、コスト縮減約25%が可能である。

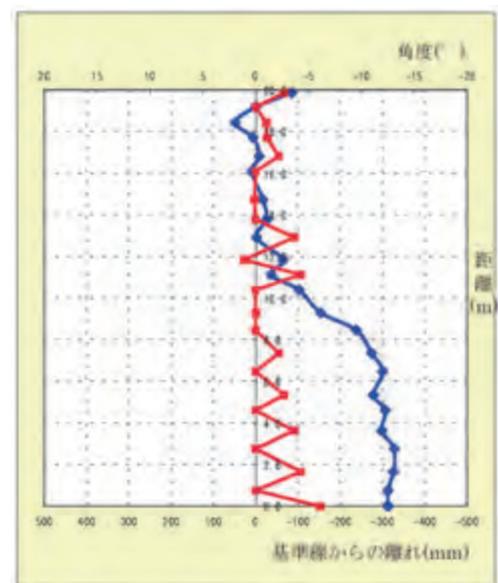


図-6 走行実験結果



図-7 無人締め固めロボットによる走行実験結果

1) 課題

- ① オペレータ全員がパソコンに精通している状況ではないためオペレータのレベルに差が生じる。
- ② システム自体がGPSを前提に開発されているため、現状では24時間常に測位可能な状態にカバーされているわけではないので、システムを実行できない時間帯が存在する。
- ③ 無人締め固めロボットでは転圧時に振動走行するため、地面に接していない時間があり、このような時間が多ければステアリング操作を行っても方向が変わらず、地表面が傾斜している場合では低い方へと走行するケースがあり、復帰に時間を要する。

参考文献	<ul style="list-style-type: none"> ・『建設機械自律分散型制御システムの開発』、フジタ(株) 茶山、小田、松尾 第8回建設ロボットシンポジウム講演集、P9～14、1999.4 ・『土木無人化施工ロボット』、フジタ(株) 小田、小幡、藤岡 日本ロボット学会誌 18 巻 7 号、P21～25、2000.11
備考	特許名 無人作業システム、登録番号：4270725

6.2 災害危険個所関連技術

【災害復旧・危険個所／関連技術】

技術名	GPS ダンプ運行管理
番号	No. 6. 2-1
発注者	宮城県
施設名	—
所在地	宮城県岩沼市
工事名称	災害廃棄物処理業務互理名取ブロック（岩沼処理区）
施工期間	2011年10月～2014年3月
施工者	ハザマ・奥田建設・上の組・春山建設・佐藤建設共同企業体
キーワード	GNSS 運行管理、計量・出来高情報統合

(1) 概要

岩沼市では、東日本大震災での津波到達距離が内陸部5km程度にまでおよび、約46万tの災害廃棄物と約16万tの津波堆積物が発生した。一次仮置場に集積された災害廃棄物と津波堆積物の処理は、岩沼市から宮城県へ事務委託され、上記共同企業体はその処理を行った。その内、一次仮置場から二次仮置場（17ha）への災害廃棄物等の運搬において、GPS ダンプ運行管理を導入した。

図-1 に全体処理フローを示す。市内各所の一次仮置場に集積された災害廃棄物は、木くず、

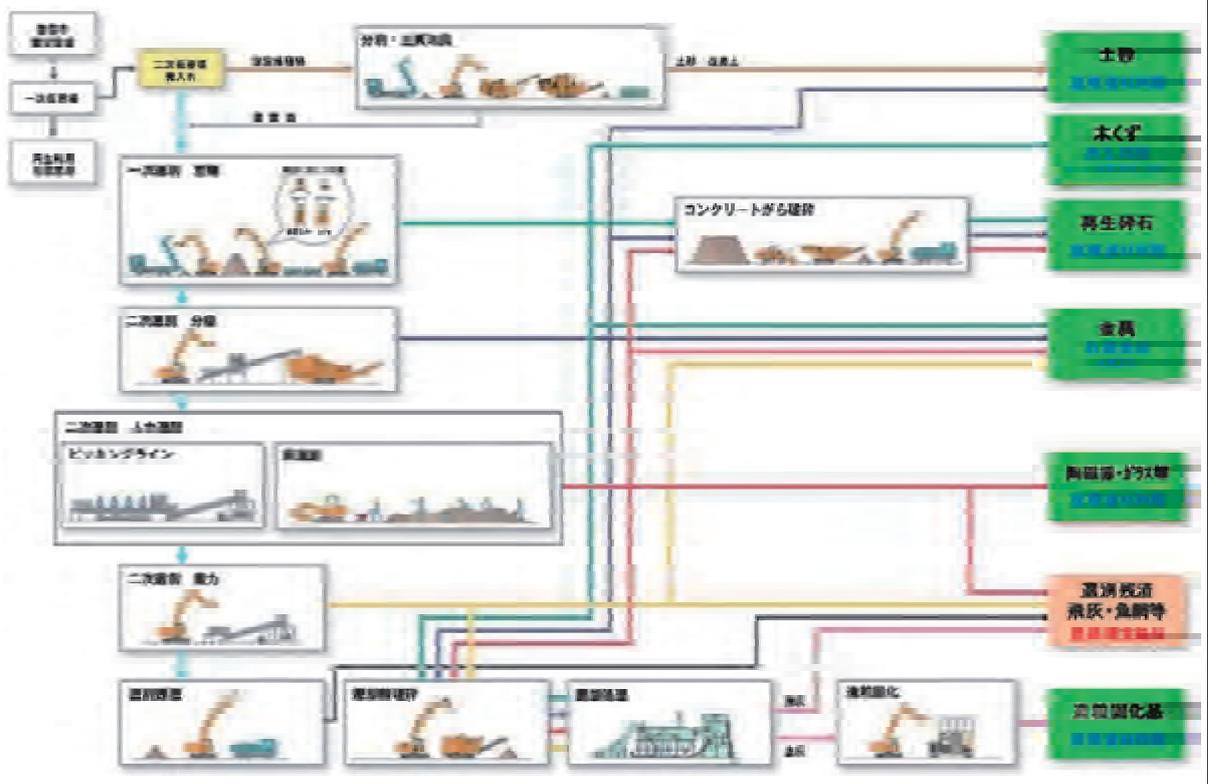


図-1 全体処理フロー図

混合ごみ（可燃・不燃）、コンクリートくず、アスファルトくず、金属くずと津波堆積物に分類されており、品目ごとに二次仮置場に搬入、二次仮置場内で中間処理を行った。

(2) 技術詳細

GPS 運行管理システムを運搬車両に搭載し、運行状況を集中管理するとともに、二次仮置場トラックスケールの計量情報も統合することで、車両ごとの積込、荷卸し場所・時間、運行ルート、積載物種類、積載重量の全データを一元管理した。

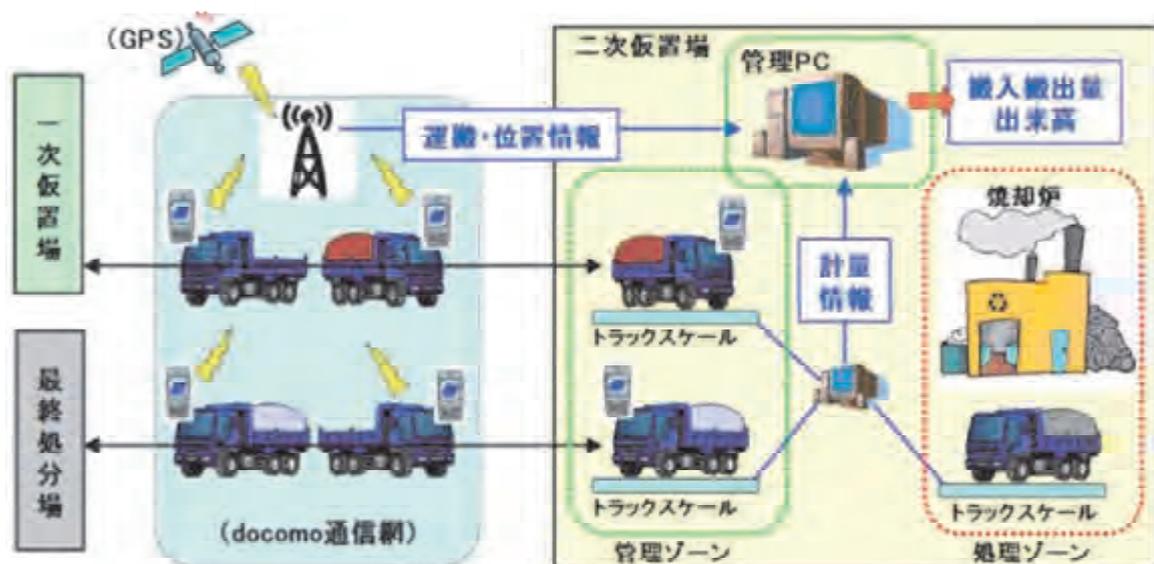


図-2 搬出・搬入管理の概念

(3) 結果

一次仮置場から二次仮置場への搬入最盛期には、1日述べ800台の車両が運行したが、円滑に搬入・計量作業を行うことができた。

参考文献	東日本大震災 災害廃棄物処理の報告：(一社)日本建設業連合会、pp. 105-114、2014年6月
備考	—

技術名	リアルタイム GPS 動態観測システム
番号	No. 6. 2-2
発注者	林野庁東北森林管理局宮城北部森林管理署
施設名	—
所在地	宮城県栗原市栗駒字栗駒岳 国有林 21 林班地内
工事名称	荒砥沢Ⅱ (H21) 治山工事
施工期間	2009年7月～2010年6月
施工者	(株)熊谷組
キーワード	高精度リアルタイム動態観測、壁面形状計測、映像伝送、無線操縦

(1) 概要

1) 背景

岩手・宮城内陸地震が原因として発生した荒砥沢地すべりでは、高さ 150m にもおよぶ滑落崖が形成 (図-1、図-2、写真-1) され、更にその背後にも新たな亀裂が発生し、冠頭部の崩壊が懸念されたことから、背後地山に対し約 37 万 m³ の排土工が計画された。

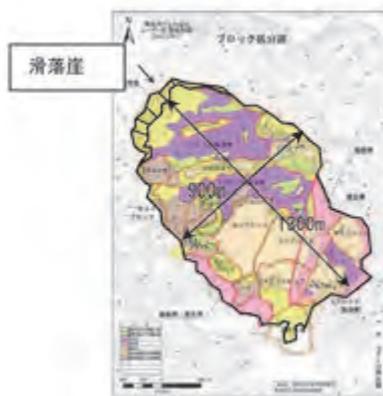


図-1 荒砥沢地すべり全体図

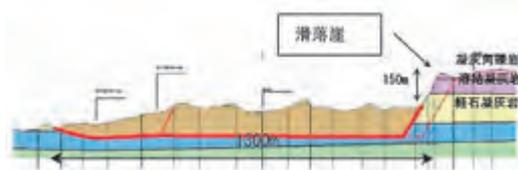


図-2 荒砥沢地すべり断面図



写真-1 滑落崖全景

2) 設計概要

本地すべり地では、拡大亀裂の進展に伴う冠頭部の崩壊が発生した場合に、地すべり移動体への頭部載荷や衝撃力により地すべり滑動の誘発が懸念されることから、冠頭部の排土工が計画された。工事概要を表-1 に示す。排土量は滑落崖に対し斜面安定検討 (図-3) を実施し、豪雨時においても安全率 $F_s=1.02$ から 1.05 を確保できる規模とした。

3) 無人化施工採用の背景

排土工は滑落崖冠頭部に対し高さ 30m、施工範囲 28,700m²、排土量約 370,000m³ となった。また、本工事では、施工の安全性の懸念から、一部の範囲で無人化機械による工法変更を実施した。

表-1 工事概要

工事名	荒砥沢Ⅱ (H21) 治山工事
工事場所	宮城県栗原市栗駒字栗駒岳 国有林21林班地内
発注者	東北森林管理局 宮城北部森林管理署
施工者	鶴熊谷組 東北支店
工期	平成21年7月30日～平成22年6月30日
工事内容	・頭部排土工 370,000m ³ (有人:305,000m ³ 無人化:65,000m ³) ・切土法面緑化 2,000m ² ・盛土工 340,000m ³ ・作業道 W=8.5m L=1,160m ・旧市道改修 W=6.0m 420m

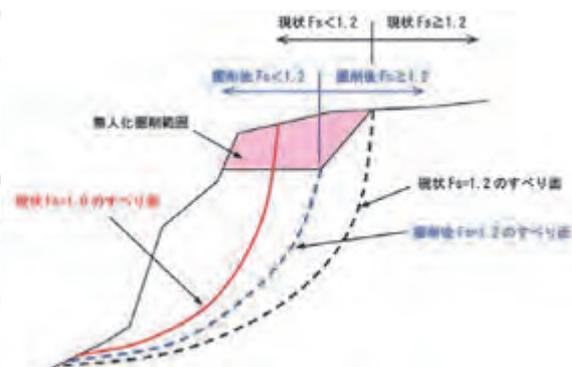


図-3 斜面安定検討概念図

(2) 技術詳細

1) リアルタイム GPS の概要

本工事は比高 150m の冠頭部での施工となることから、地山の挙動を常時把握し、安全に施工を進めることが求められた。本現場では地表面伸縮計による動態観測を継続的に実施していたが、施工範囲が広く、平面的な管理が必要と考え、滑落崖近傍、切土法面肩部に GPS 計測点を配置した。今回、滑落崖の岩盤性状から、変位速度の速い崩落現象の懸念があるため、GPS は変位追従速度に優れたシステム (リアルタイム GPS) を採用した。リアルタイム GPS は、迅速な計測結果を得るために RTNet と呼ばれるソフトウェアを利用し、まず、リアルタイム (数分で 10~20mm オーダー精度) での解析・評価を実施したのち、Bernese と呼ばれるソフトウェアを利用し、精度をミリオーダーまで向上させることを可能としたシステムである。観測は 24 時間体制で実施し、異常時には警報が携帯電話へ発信される。

2) ノンプリ動態観測の概要

滑落崖は地震直後から、経時的に軽石凝灰岩を主体として前面にせり出していることが確認されていた。このようなせり出しの進行は冠頭部の崩落に至る可能性があることから、滑落崖の壁面挙動を観測し安定性を評価する必要があった。そこで今回は、光波測距の応用としてノンプリズムによる壁面形状計測 (ノンプリ計測) を実施した。ノンプリ計測は、トータルステーションの機能の一つである「縦断面スキャン測量」を用いて行う動態観測法である。図-4 に示

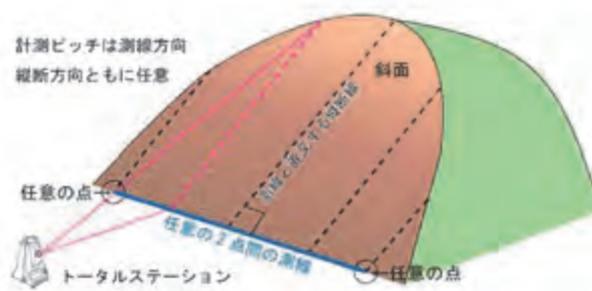


図-4 ノンプリ計測概念図

すように任意の 2 点間の測線に対して直交する方向に縦断面を作成し、同一線上の測定を繰り返すことにより動態観測を実施するものである。当地のような人が近づくことができない危険な場所への適用が有効である。観測は、滑落崖から約 200m 離れた箇所に基準点を設け、図-4 のように縦断線を 5 測線設定し、高低差約 120m 区間を観測した。なお、観測は 1 回/1 日実施し、その計測時間は概ね 2 時間程度である。

3) 無人化施工システム

無人化施工は汎用建設重機をラジコン化したもので、テレビカメラを見ながら遠隔操作を行う施工方法である。使用機械は掘削土量、工期、施工性などを勘案し、表-2 に示す資機材を採用した。施工イメージ図を図-5 に、東側斜面の崩落状況を写真-2 示す。無人化機械は主に掘削、整形に使用し、積み込み、運搬は有人での施工とした。

表-2 無人化施工機械一覧表

機械名	規格	台数	使用工種	摘要
遠隔操作式バックホウ	3.5m ³	1	掘削・整形	車載カメラ搭載
	1.5m ³	1	掘削・整形	車載カメラ搭載 ガイダンスシステム搭載
遠隔操作式ブルドーザー	16t	1	押土・整地	ガイダンスシステム搭載
大型ブレーカー	2t	1	転石・小割り	—
移動カメラ	—	2	作業監視	0.5m ³ 遠隔操作式バックホウ搭載
固定カメラ	—	3	作業監視	—
ハイビジョン固定カメラ	—	4	全体監視	1台
			崖面監視	3台
操作室	3K×4K	1	—	—

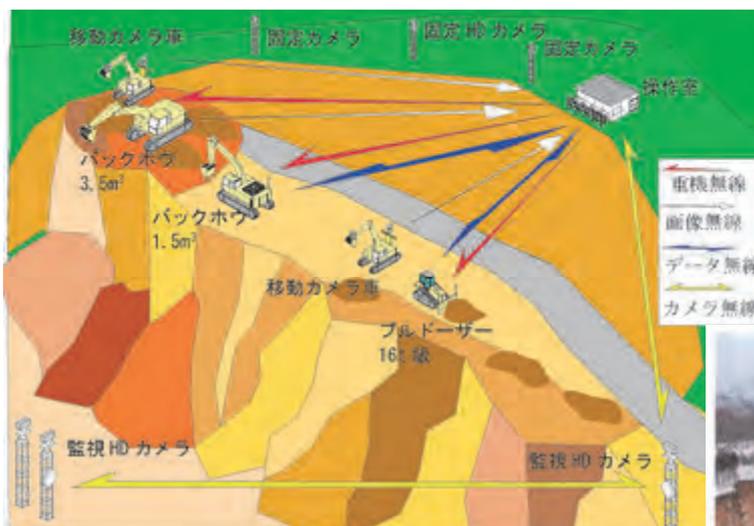


図-5 無人化施工イメージ図



写真-2 東側斜面の崩落

(3) 結果

観測は、リアルタイムGPSやノンプリ計測ともに本格的に掘削が開始された平成21年11月中旬～平成22年6月末まで実施した。また、観測中は管理基準値を定め安全を確保しながら施工した。

図-6に冠頭部で実施したリアルタイムGPSと滑落崖壁面部で実施したノンプリ計測の結果を示す。リアルタイムGPS観測結果では、法肩に設置した機器は概ね東～北東方向に変位し、滑落崖近傍に設置した機器は概ね南～北東方向に変位している。法肩部結果は、切土後の応力開放に伴う変位や沢地形の斜面傾斜方向への変位が発生したと考えられ、滑落崖近傍の結果は、概ね滑落崖側への変位が継続的に発生しているものと考えられる。

図-7に示すノンプリ計測断面結果からは、今回の施工中において軽石凝灰岩に加え溶結凝灰岩で

もせり出している結果が得られた。

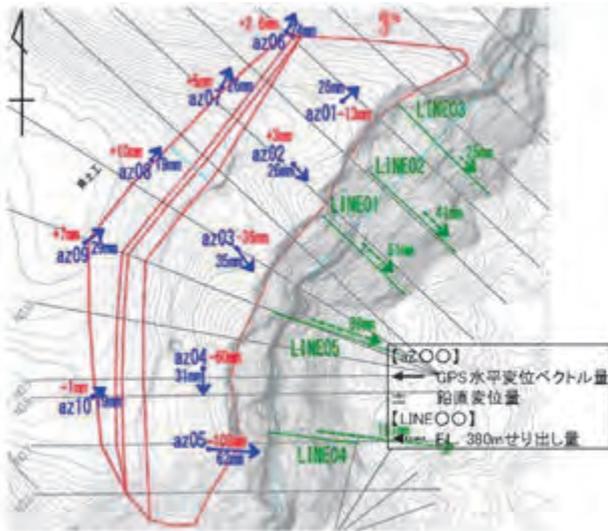


図-6 GPS・ノンプリ計測結果

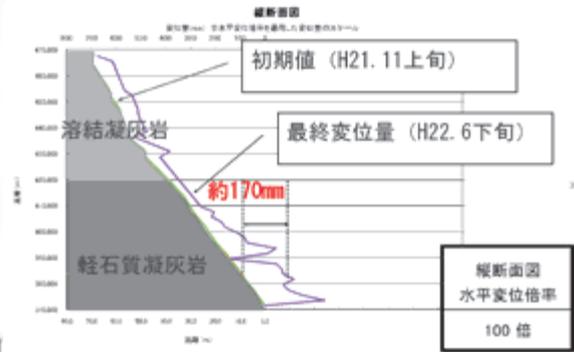


図-7 ノンプリ計測縦断面図結果

GPS 観測やノンプリ計測の結果からは、排土工事の進捗に伴う変位抑制効果の発揮により、変位収束の傾向が認められた。特に軽石凝灰岩のせり出しは、観測初期の 30mm/月から観測後期の 15mm/月へと減少する傾向が認められた。

無人化施工の計画を実施するにあたり、その施工範囲を検討した。無人化施工範囲の設定は図-3 に示すような標準断面における斜面安定結果により決定した。今回の検討結果から、図-8 に示すような標準断面結果を平面的に展開したものを図-9 に示す。その結果、無人化施工数量は 65,000m³ となった。

平均施工量は、2,000m³/日程度の排土を行い、約3ヶ月間で無人化施工を終了した。



図-8 無人化施工範囲縦断面区分図

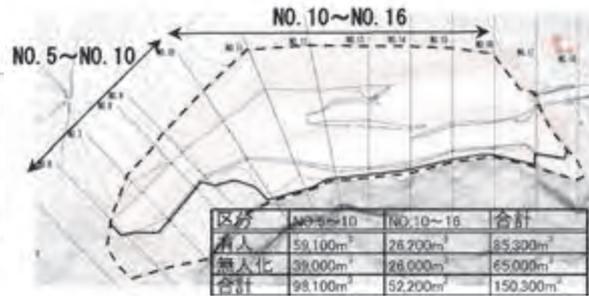


図-9 無人化施工範囲平面区分図

参考文献	<ul style="list-style-type: none"> ・荒砥沢地すべりにおける排土工について：(株)熊谷組 片山、北原、黒澤、東北森林管理局宮城北部森林管理署 江坂、第20回調査・設計・施工技術報告会論文集（地盤工学会中部支部）、2011.6 ・岩手・宮城内陸地震に係る荒砥沢地すべり対策と大規模地すべりにより出現した地形・景観の活用に関する検討会 報告書：東北森林管理局、2010.3
備考	—

技術名	フィールドパッド
番号	No. 6. 2-3
発注者	—
施設名	—
所在地	—
工事名称	—
施工期間	—
開発者	大成建設(株)
キーワード	クラウド、情報共有アプリ、施工支援 ICT

(1) 概要

従来、工事記録写真台帳や定型の報告書作成業務では、撮影した写真を見て、撮影箇所を特定し、編集ソフトを用いてメモなどと共に整理する手間がかかっていたため、膨大な各種検査記録を効率良く、かつ有効に活用できる施工管理システムが望まれていた。本システムは、スマートパッドやスマートフォンで図面情報を現場に持ち出すことによって、従来の業務改善・効率化を図ったものである。

(2) 技術詳細

大成建設クラウドサーバー（作業所 Net）を利用し、図面等の工事情報をクラウドに保存することで、工事に関わる専門工事業者・作業所・現場で、情報共有が可能である。

「FieldPad」（1500 円:AppStore）がインストールされた端末では、現場で撮影した写真・コメント・動画などを画面上で図面情報にタグ付して保存ができるシステムである。

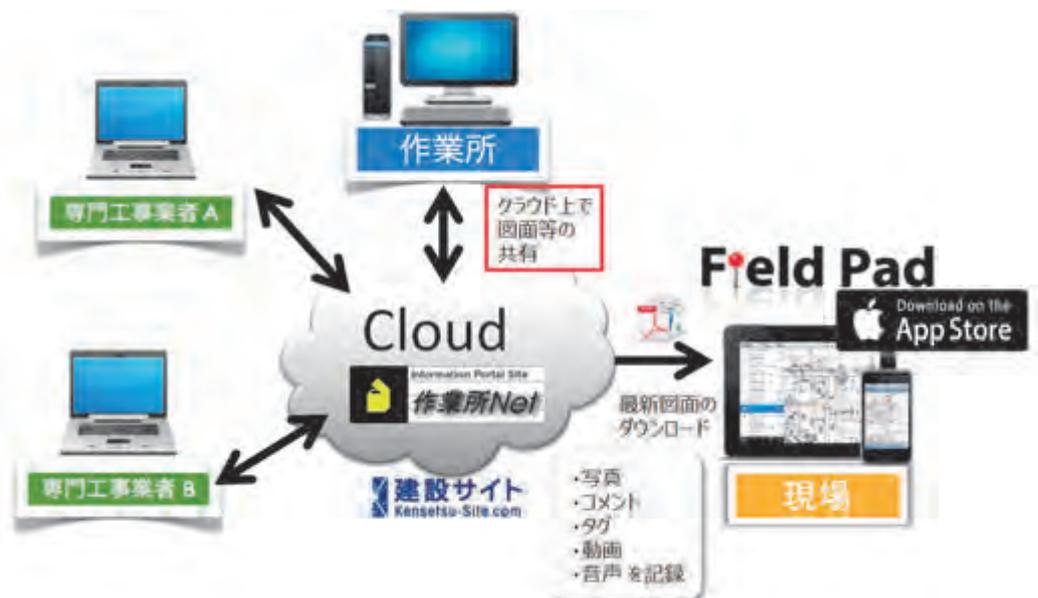


図-1 システム概要

1) クラウドサーバー

DropBox へ標準でアクセス可能であり、クラウド上にある豊富な有効コンテンツを FieldPad 経由で持ち歩くことができる。

取引をしている専門工事業者との契約や請求処理の 9 割以上がインターネットを介して行われており、同シリーズの情報共有サービス「作業所 Net」では月間 50 万枚以上の図面がセキュリティの確保された環境下で共有されている。

オプションとして 13,000 社が利用している建設業メジャーASP「建設サイト」（三菱商事）とも連携をしている。セキュリティ機能として、パスワード入力ミスによるデータ削除機能、紛失時の遠隔削除実行指示が可能である。

(ASP：アプリケーションサービスプロバイダ)



図-2 接続画面

2) ドキュメントビューワー

PDF ファイルをはじめ、その他 Office ファイルを閲覧することができる。PDF ビューワーは A1 サイズの図面を前提としたチューニングにより細かい文字・数字をスムーズに表示し、100MB のマルチページ PDF ファイルを円滑に操作できる。



図-3 スマート端末の PDF ビューワー

3) ピンドロップ

図面上へピンを落として、ピンごとに「コメント・写真・音声・動画」といった情報を付加し、これらの情報を要素として様々なアウトプットを行うことができる。



図-4 図面上へのピンドロップ

4) 自動帳票化 (アプリ「伝票@Tovas」 利用料 1000 円/月～)

「伝票@Tovas」は帳票作成から配信までをサポートする SaaS 型クラウドサービスであり、「Field Pad」との連携により、建設現場で入力された情報や工事写真を使った書類等の作成業務を自動帳票作成からデータによる帳票配信まで利用可能である。

Field Pad での記録を、レイアウトを選択してメールで送信するだけで、事務所の席に戻れば帳票化されている。

(SaaS : Software as a Service の略 利用者が使いたいときに呼び出して使う利用形態)



図-5 自動帳票化

(3) 結果

1998年に電子調達システムを開始した。2003年からはASP・クラウド「建設サイト・シリーズ」(三菱商事(株))を社内システムと連携させ積極的に運用し、「ASP・SaaS・クラウドアワード2011」においてユーザ部門初代総合グランプリを受賞した。



写真-1 FieldPad 活用の様子

参考文献	『FieldPad』: タイセイ総合研究所、URL: http://www.fieldpad.jp/index.html
備考	特許名 『施設情報管理システム及び施工情報管理方法』 登録番号: 特開 2015-118535 受賞 『ASP・SaaS・クラウドアワード』、NPO 法人 ASP・SaaS・クラウドコンソーシアム 2011

【災害復旧・危険箇所／関連技術】

技 術 名	放射線量平面分布計測システム
番 号	No. 6. 2-4
発 注 者	流山市
施 設 名	流山市総合運動公園
所 在 地	千葉県流山市
工 事 名 称	公園等放射線量低減対策業務委託（その9 総合運動公園）
施 工 期 間	2012年5月～2012年10月
施 工 者	SMC テック(株)
キーワード	放射線濃度測定、線量マップ、除染作業支援
<p>(1) 概 要</p> <p>GNSS を搭載した放射線量測定車を用いて、最新の線量マップをパソコン上にリアルタイムに表示するシステムである。</p> <p>(2) 技術詳細</p> <p>1) 特 徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 除染対象区域の放射線濃度の色分け平面分布マップを、CAD 図面等に重ねて、その場にて短時間で描くことが可能。10,000m²程度の計測が4～5時間程度で実施可能。 ・ 放射線量色分け分布図から、表土の削り取りの必要な区画が現場で容易に分かるため、削り取り対象面積の縮小につながる。 ・ 薄層で一度削り取り実施後に、さらに削り取りが必要な部分（区画）の有無がモニター画面からすぐに確認可能。 ・ 削り取り作業の各過程をデジタルデータおよび図表で提出可能。除染作業のエビデンスが確実に残せる。 <p>2) 効 果</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 必要のない削り取りを行わず、処理土量を最小限に減容化することが可能。 ・ 除染実施後の運動場や公園広場などの施設に適用すると、放射線量分布状態の“見える化”が可能となるため、利用者への安全・安心に関する情報提供面で有効。 	



図-1 計測システムの構成



図-2 計測状況

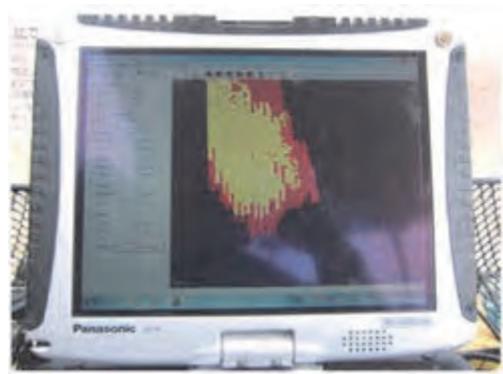


図-3 運転席パソコンモニター表示例

(3) 結果

- ・現地において、汚染濃度分布状態が即時かつ良好に認識できることが確認された。
- ・表層土剥ぎ取りによる除染後に、エリア全域にわたって低線量となっていることが確認された。
- ・公共施設の利用者などに対して、安心・安全に関する情報を、よりわかりやすく提供することが可能である。

<p>参考文献</p>	<p>ニュースリリース http://www.smcon.co.jp/2012/0821998/ (2016年8月1日現在)</p>
<p>備考</p>	<p>平成24年度第1回福島県除染技術実証事業における選定技術</p>

7. 保守・点検技術と維持管理 CIM への取組み

7.1 電力施設における保守・点検事例

電力施設における保守・点検に ICT 技術の適用や施工時情報の適切な利用による CIM 導入の可能性を検討することを前提に、①電力施設で保守点検を実施している具体的施設およびその内容、②保守・点検時に活用している ICT 技術と運用方法および課題、③維持管理を進めていく段階で必要と考えられる工事情報について電力各社に対するニーズ調査を行った。

その結果を表-7.1 に示す。

7.1.1 アンケート結果

それぞれの工種毎に内容を纏めたが、各社とも同様に電力設備の点検は目視が原則であり、年1回から3回ほど実施していることがわかった。これらの点検記録は、主に従来から整理されている帳票に纏められ、帳票に書き込まれた情報については、一部管理システムへ入力することで情報管理が行われている。ただし、管理については、保守人員が減少していることや従来通りの実施では手間がかかることから、点検作業の効率化や点検回数の削減等の課題も多くあることがこのアンケートからうかがえる。点検作業の効率化として、ロボット技術の導入を希望する声も高いが、点検ロボット技術の開発はまだスタートしたばかりであり、今後建設産業における点検ロボット技術の進展の中で、電力設備への点検内容に特化したロボットが開発されることが期待されている。

また、GIS や点検データの連係による保守管理システムが、各社で多く導入されていることがうかがえるが、その膨大なデータをどのように活用していくか、また、保守点検データの更新作業等のさらなる効率化も、保守点検作業全体の効率化のために求められていることもわかった。

そのような中で、保守点検作業の効率化を目指し取り組まれている ICT 技術活用事例を聞いたところ、IC タグや電子端末を利用した点検システムや導水路健全度診断システム、保守点検結果等の一元管理システム、WEB カメラによる画像配信、人検知カメラと指向性スピーカを用いた警報システム、GPS を用いた変位計測等、ICT を取り入れた利用が進んでいることが確認できた。

これら ICT 技術は、実施可能な部分については各社積極的な取り組みを行っているが、その反面、ICT 技術導入に対する課題も浮き彫りになった。たとえば、ICT 導入における初期投資の費用対効果（コストメリット）、ICT を活用するために必要なネットワーク構築や電源供給への問題点等地理的・物理的課題解決の難しさもあり、導入へのハードルが高いこともまた事実として認識できた。

電力施設構築時の品質や安全性向上のため利用する ICT 技術について、どこまでコストをかけることが可能であるか、という質問に対しては、各社共通して導入メリットを正しく検討するだけのコスト情報を持ち合わせていないとの回答が多く、施工者側が公表している情報の共有化等、電力各社が費用対効果を検討できる情報をいかに公開していくかという施工者側の問題もあることがわかった。

今回のアンケート結果については、今後電力各社と施工者の間で、ニーズとシーズのバランスを考えていく上で重要なアンケート結果であり、継続した調査が今度も必要であると思われる。

7.1.2 アンケートに基づくヒアリング結果

アンケート結果の内容について、電力保守および営業担当者に直接ヒアリングする機会を得るため、電力土木技術協会主催の火力および水力保守勉強会に参加させていただいた。その場で、アンケート結果の説明を行うとともに、電力施設の維持管理や ICT 技術に関して意見交換を実施した。

火力保守勉強会に2回、水力保守勉強会に2回、計4回の勉強会参加により得られた貴重な意見を以下に記載する。

(1) 第1回目 2015年12月4日 火力保守勉強会開催 電土協で開催

- 1) CIMのメリットについて、具体的な電力施設（小規模・部分的な施設でかまわない。ex. ポンプ室、取水口 etc）に適用した事例（仮想でもかまわないので）を挙げて説明していただけると分かりやすい。具体的な管理の仕方が知りたい。
- 2) アンケートで挙げられた問題点について、具体的な事例の中でCIMがどのように役立つのか、役立たないのかを教えて欲しい。

(2) 第2回目 2016年1月19日 水力保守勉強会開催 電中研（我孫子）で開催

- 1) メンテナンスデータをシステムティックに評価できるシステムを導入しているが、評価として出てくる結果が担当者の感覚に合わない現状がある。そのばらつきをおさえながら、現場側の納得感が得られるような評価結果にしていきたいと考えている。今回、お示し頂いたような情報の他に地質データが入ってくれば（施工中データはほぼ入っているので）今後のメンテナンスには非常に役立つと考えている。ただ、電力各社は既に作ってしまっている（システムの）大量のデータのメンテナンスのシェアが高いので、そこがイメージできない部分である。
- 2) トンネルの点検で車が走行して計測する技術を紹介いただいたが、電力のトンネルは径が小さかったり、照明もなく真っ暗であったり、ノロが着いてクラックが見えないという課題があるのではないかと考えている。維持管理している生の声を活かした技術開発が必要であると考えている。
- 3) 表面状況や、クラック（長手方向のクラックを中心に、幅、長さ）を調査しているが、背面地質情報が重要であるにもかかわらずデータが残っていない。見えないところの情報を調査できる調査方法があれば良いと考えている。
- 4) 本日は水路やトンネルが主体であったが、ダムは工作物によって違うと思う。それも踏まえたプレゼンテーションを次回はお願いしたい。

(3) 第3回目 2016年3月4日 火力保守勉強会開催 電土協で開催

- 1) モデル事業所を選定して、ICT技術を用いて新設構築物、周辺地形等を反映した3Dモデルを構築し、施工計画等の検討をしたとのことであるが、データには設計図、報告書等が全て入っているのか？
→設計図、報告書等が全て入っており、地形データも座標系を合わせれば取り込みも容易である。
- 2) 古い設備等は図面がないが、そのような場合はどのように取り込むのか？
→3Dレーザースキャナで、点群として取り込むことが可能（おおよその寸法になるが、施工計画を立案するには十分）である。
- 3) 地層データを取り込むことは可能であれば、補修計画が立案しやすい。
→取り込み可能である。
- 4) 橋梁の3Dモデル化による保守点検技術は、点検記録の履歴の確認が可能であるか？
→過去との履歴の比較、重ね合わせができる。
- 5) トンネルの保守管理に使用するためには、点検写真等の位置の把握にGPSが必要となる。また、長距離であれば位置の把握が困難なため、どこかに基地局を置くことになる。

(4) 第4回目 2016年4月20日 水力保守勉強会開催 電土協で開催

- 1) トンネル坑内の3Dモデル化に関して、トンネル測定時は、表面が水に濡れていたり、表面に水垢が付いているような場合でも大丈夫か？
→3Dレーザースキャナによる測定は難しいが、写真撮影による測定は可能である。またクラック等の測定には清掃やチョーキングが必要である。

- 2) 空中放射音波技術に関して、周波数の組み合わせを工夫して、さらに奥側のトンネル覆工背面の空洞調査に使えばよい。
- 3) 都市部での騒音の問題があるとのことであるが、山間部での保護鳥への影響はないのか？
→指向性音源を使うことで影響はなくなると考えている。

7.2 既存施設・構造物から取得されるデータの活用について

施工段階で取得される様々な情報のうち、「維持管理段階で欲しい情報は何か」というアンケートおよびヒアリング結果で取得された情報を、以下に示す。

- ・埋設物や残置基礎等に関する情報
- ・地山や地盤の地質および湧水に関する情報
- ・落盤位置や範囲に関する情報
- ・コンクリート背面の写真等の情報
- ・水力発電所所在範囲の赤色立体化
- ・建設時の設計思想

上記のアンケートおよびヒアリングを実施した結果、非常に多かったニーズは、新設構造物における情報活用というよりも、既設構造物における調査診断方法に対するものであった。

埋設物や残地基礎等に関する情報や、地山地盤の地質湧水に関する情報といった既存施設を点検・維持管理していくために必要な情報として既に供用中の施設とそれらに係わる情報をどのようにマッチングさせ利用していくかについて多くの質問が寄せられた。

そこで、新設構造物を構築する場合において、維持管理を見据えた方法を施工段階でどのように取り組むのかを中心とした内容は7.3でシーズとしての情報を提供することとし、この7.2では既存施設・構造物における取得情報活用について説明する。

新設構造物と併せて既設構造物への点検、メンテナンスを中心としたものについても施設管理者としてのニーズが高いことも事実である。

既設構造物への取組みとして重要なものは、

- ・目視が困難な場所（水中、汚れた壁面、傾斜地等）への対応
- ・図面のない古い施設への対応
- ・GPS等の測位情報が利用出来ない場所（トンネル坑内等）での測位方法等が挙げられる。

供用中の施設の点検等において、非破壊検査等を使った調査点検例を図-7.2.1に示す。

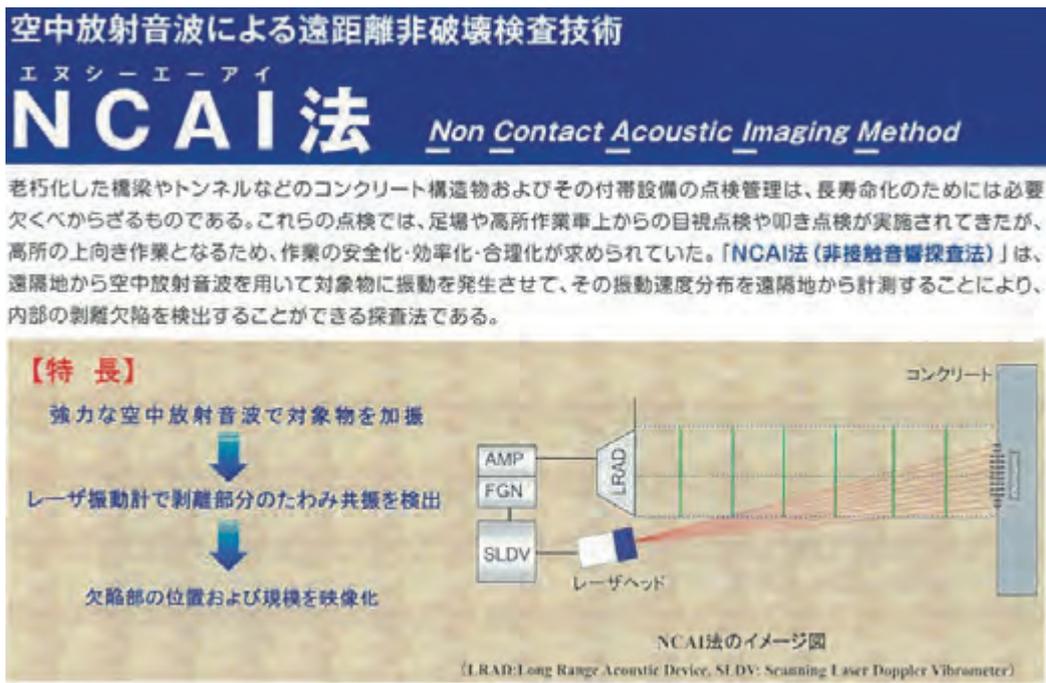


図-7.2.1 空中放射音波による遠距離非破壊検査技術 佐藤工業(株)より

また、傾斜地等への変位計測対応としては、GPS による測位情報を取得し、モニタリング技術を使うことが可能である。(図-7.2.2)

昨今のGPS 測位技術は、日本の衛星として期待されている準天頂衛星の増加により従来のGPS やGLONASS といった海外の衛星に頼ることなく、測位精度が向上することが期待されており、測位技術の活用はますます活発になることが予想される。

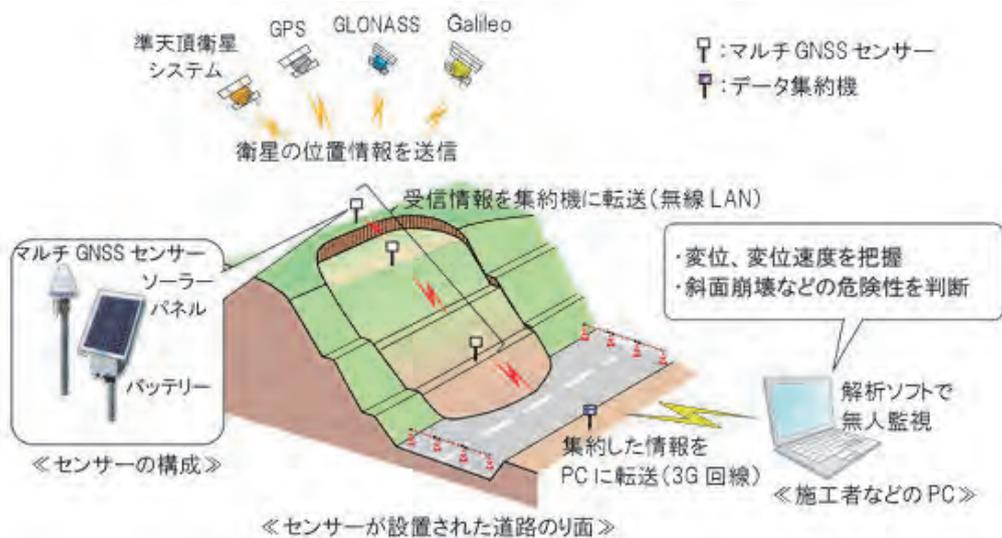


図-7.2.2 衛星測位技術をつかった測位管理システム (株)大林組より

図面のない施設への対応としては、SfM という写真解析技術や3D レーザスキャナを活用し、既設構造物のモデリングを短時間で実施し、その結果を定期的に重ねることで、既設構造物の変位や変化を捉えることも可能である。(図-7.2.3)



図-7.2.3 SfM解析をつかった変位計測技術 (株)大林組より

また、昨今利用が急速に進んでいる UAV 等を活用した調査例としては、GPS が届かないトンネル等の坑内であっても、衝突防止センサー等を搭載した UAV を活用し、UAV 搭載のデジカム映像から壁面点検を行うことも可能になっている。(図-7.2.4)

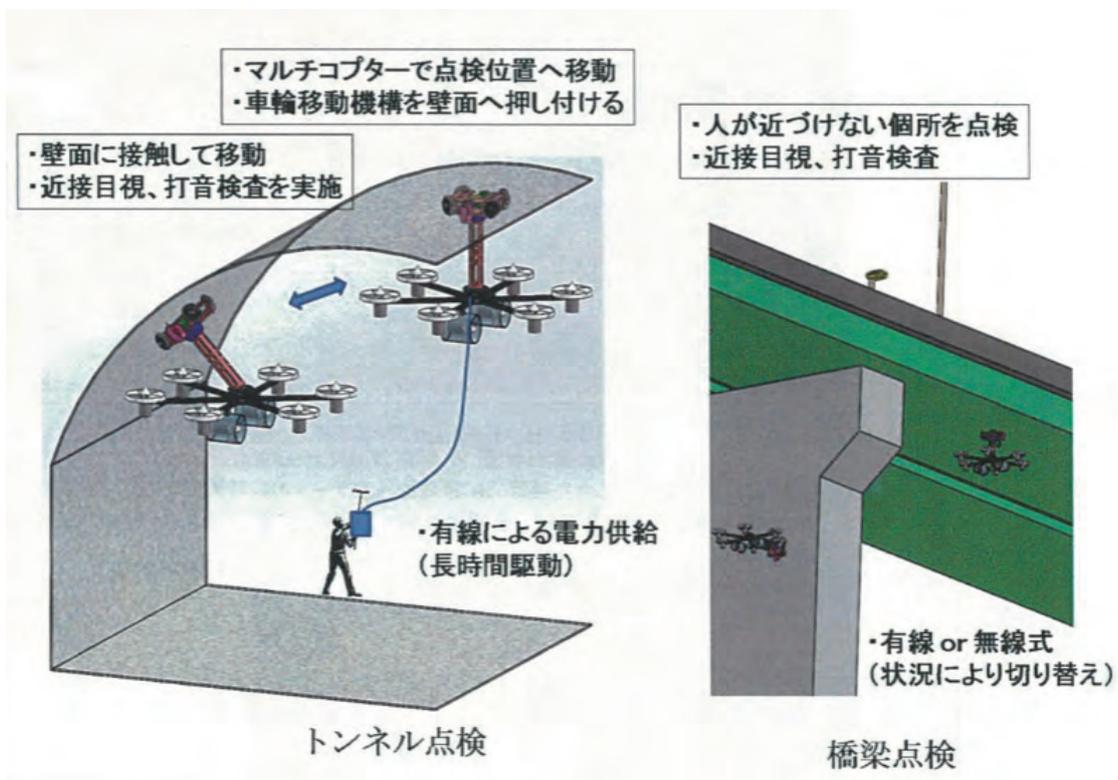


図-7.2.4 飛行ロボットによる点検システム 新日本非破壊検査(株)より

このように、施工時に取得されるデータや供用後に取得出来るデータを活用し、保守点検を初めとして、施設の長寿命化を進めるにあたり何が必要かという問題については、今まであまり議論がされていない状況であったが、今回電力各社にご協力いただき、提示されたニーズに、建設会社各社が保有するシーズを当てはめると、求められているニーズに対してはかなりの範囲で対応可能であることが確認できた。

特に既存施設の「点群データ取得」から始まる「点検・維持管理業務への対応」については、3D レーザスキャナ等を利用し、点群を定期的に取り得することで、構造物の面的な変化がとらえられる。(図-7.2.5)



図-7.2.5 3D レーザスキャナを利用いた計測

ここで重要なポイントは、従来2次元平面図として利用している場合にはあまり意識していない「座標系」を統一させて管理することにある。

取り扱う全ての構造物位置データの座標系を、「世界測地系」に統一することにより、2次元図面から3次元図面を起こす場合も、3次元計測から点群を構築する場合も、データの統合は即座に可能となる。

まさにこのような使い方が点群を利用した今後の新しい点検・維持管理業務の主流になるのではないかとと思われる。

7.3 維持管理CIMへの展開について

7.2を踏まえて、電力施設における保守点検・維持管理を実施する上で有意義なツールとして、CIMを利用することを提案したい。

2012年から国土交通省を中心として推進されている、CIM (Construction Information Modeling/Management = 3次元モデルに各種属性情報をセットした3次元情報を利用すること)を活用し、これを「調査」「設計」「施工」「維持管理」に利用する取組みを、今後の電力施設への維持管理に活用できる具体的な方法について提案する。

保守点検・維持管理段階で重要な施工における情報は何かについては、7.2で纏められた通りである。これらを施工段階でどのように次の保守点検・維持管理に引き継ぐかが課題であるが、設備や構造物に対する従来の維持管理は、2次元データのみでの管理であったが、最近では建設時に施工管理、出来形管理、品質管理をCIMにより3次元データを利用した管理を行っている。この3次元データを維持管理に導入することで効率的に維持管理が行えると考えられる。

建設時のCIM導入事例を以下に示す。

・浄水場建設時の事例（構造物と埋設配管）（株）安藤・間・（株）梅村組共同企業体

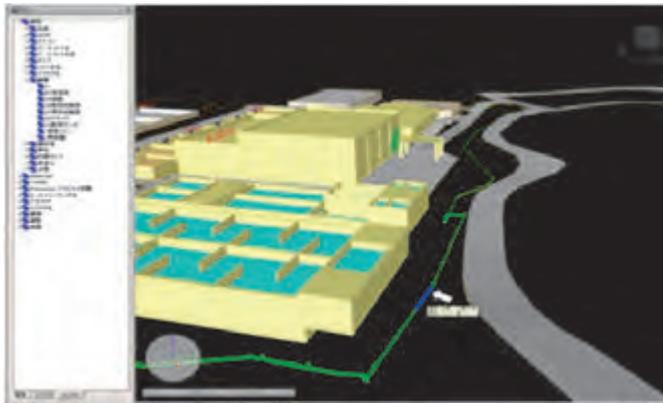


図-7.3.1 システム画面例（構造物と埋設配管）

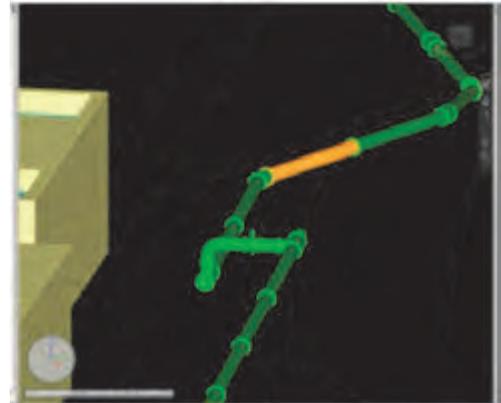


図-7.3.2 埋設配管の拡大図

種 類	項 目
路線情報	ID番号 : 1P007
	名称 : 直管、曲管、T字管、バルブなど
	路線名 : 柚木系、菰田系など
	用途 : 導水管、浄水管、送水管など
材料情報	呼び径、継手種類、長さ
	内外面のライニングの種類
位置情報	座標 : 測地座標のX、Y座標と標高
	土被り : 竣工図の土被り
施工情報	施工年月日
	水圧試験の実施日および試験結果
維持管理	補修年月日、および補修内容を表示 (布設替えした場合は、データを修正)

【使用ソフト】

- ・ AutoCAD Civil 3D (Autodesk 社)
- ・ Navisworks (Autodesk 社)

図-7.3.3 埋設配管の属性情報

浄水場内における埋設配管は、供用開始後は目視による位置確認が難しくなることに加えて、長期的な情報の維持が必要であるため、3次元CADを用いて可視化できる。配管工事完了後に、GNSS測量等で計測した配管の3次元位置情報を3次元CADに入力し、合わせて配管の製品情報や施工時の諸条件をリンクさせ初期登録する。供用開始後に配管を補修した場合には、その時点での情報を追記することにより、口径、材質といった製品情報や点検記録、更新記録等をデータベースから検索して、いつでも3次元モデルと連携させて情報提示ができる。

・水力発電建設工事の事例（取水口、管路、トンネル、発電所）（株）大林組



図-7.3.4 全体モデル

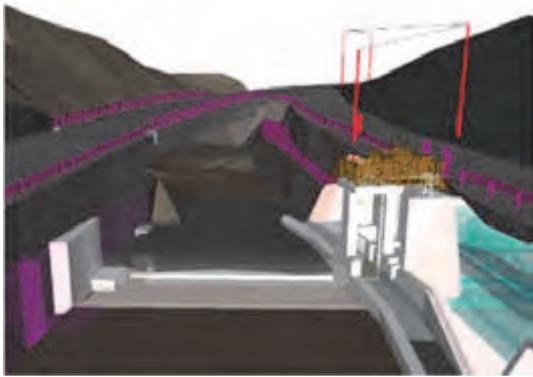


図-7.3.5 取水口

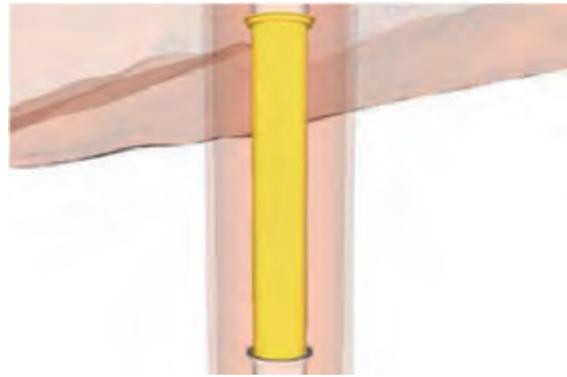


図-7.3.6 管路



図-7.3.7 トンネルエ

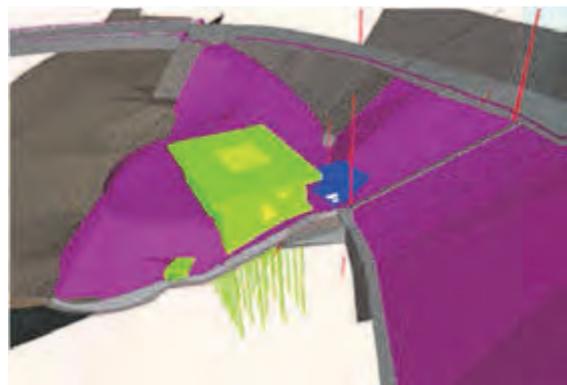


図-7.3.8 発電所

【使用ソフト】

- SketchUp Pro (Trimble 社)
- AutoCAD (Autodesk 社)
- Navisworks (Autodesk 社)
- Navis+ (CTC 社)

(属性情報)

取水口：分類、施工業者、施工日時、品質管理資料、出来形管理資料、施工図、写真、主要資材、補修履歴

管路：名称、管種、施工場所、施工業者、施工日時、出来形管理資料、竣工図、試験成績書、取扱説明書、写真

トンネル：トンネルNo、施工日時、断面、支保パターン、鋼製支保工、支保間隔、単距離、累積距離

発電所：分類、施工業者、施工日時、品質管理資料、出来形管理資料、竣工図、写真、主要資材、取扱説明書、補修履歴

遠隔操作関連：分類、場所、施工者、添付資料

上記の浄水場と水力発電所の建設時の CIM 事例は、施工段階で施工業者が 3 次元的位置や登録した属性情報を可視化することにより、トレーサビリティが確保できるため、高度な情報活用が可能となっている。維持管理段階で施工業者が作成した 3 次元モデルと属性情報をリンクしたデータを施設管理者が活用するメリットは、施工時の情報を時期を遡って確認することが可能となることであり、例えばタブレット PC 等を作業現場に携帯することにより、位置や属性情報を 3 次元モデルにより確認できれば、分かりやすく情報提示ができ、次工程への意思決定が迅速に行えることが見込まれる。

CIM の活用方法は、施工者と施設管理者共に人手不足の問題があり、それを補うため、早い時期に多くの事業で導入することが望まれる。CIM はいまだ施工段階での活用しかなく、維持管理に活用されていないため、施設管理者の活用の仕方を踏まえて、施工業者が管理者に引き渡す際に、維持管理に活用できる 3 次元データのまとめ方が望まれる。

また、CIM の利用を試験的に導入することにより、施設管理者が保守点検等、日常業務での便利さが浸透すれば、従来の管理手法から切り替わっていくと期待したい。

表-7.1(1) 電力施設の保守点検に関するアンケート

アンケート内容		(ア)電力施設名	(イ)その施設での点検項目	(ウ)頻度と手段	(エ)点検の実施形態	(オ)点検結果の保存方法	(カ)点検時に困っていることがあれば記入ください。	(キ)困っていることについて対策を検討していますか？ 検討内容を具体的に教えてください。また、検討していない場合は、その理由(専門業者に依頼している、コストがかかる など)を、差し支えなければお聞かせ下さい。
【1】電力施設(土木構造物)で保守点検を実施している内容を具体的に教えてください。								
	(ア)電力施設名	ダム	外観(堤体、周辺地山、構造物)、亀裂、塵埃、洗掘測定調査(変位、構圧力、漏水量、堆砂量等)	手段:目視、場合により測定機器。 頻度:外観点検は1回/年	自社・関連会社 or 専門業者 など	帳票をデータ化して管理 巡視・点検報告書に記入	作業の効率化、タイムリーな状態把握 ・目視が困難な点検箇所がある。 (水中、傾斜地等)	計測項目の絞り込みと自動計測の導入 ・UAVや高検用ロボットの活用、水中部では水位を低下させて直接点検
	水路・鉄管路	水路、鉄管路	外観、内部、板厚、変形、損傷、亀裂、漏水、腐食、周辺構造物(付属通路・橋梁他)、周辺地山	手段:目視、板厚は測定機器。 頻度:外観1回/年、内部1回/2~6年 板厚測定:1回/3~15年	自社・関連会社	帳票をデータ化して管理 巡視・点検報告書に記入	作業の効率化 ・目視が困難な点検箇所がある。 (水中、傾斜地等)	点検項目・頻度の見直し ・点検用ロボットの活用
	発電所土木設備	発電所土木設備	外観、亀裂、損傷、劣化、洗掘、はらみ出し	手段:目視 頻度:1回/1年~3年	自社・関連会社	帳票をデータ化して管理 巡視・点検報告書に記入	作業の効率化 ・目視が困難な点検箇所がある。 (水中、傾斜地等)	点検項目・頻度の見直し ・点検用ロボットの活用
	水門・ゲート	水門、ゲート	外観、腐食、変形、発錆、亀裂、漏水、開閉装置、巻上機器	手段:目視 頻度:1回/1年~3年	自社・関連会社	帳票をデータ化して管理 巡視・点検報告書に記入	作業の効率化 ・目視が困難な点検箇所がある。 (水中、傾斜地等)	点検項目・頻度の見直し ・点検用ロボットの活用
	取水、放水設備	取水、放水設備	外観、腐食、変形、発錆、亀裂、漏水、開閉装置	手段:目視 頻度:1回/1年~3年	自社・関連会社	帳票をデータ化して管理 巡視・点検報告書に記入	作業の効率化 ・目視が困難な点検箇所がある。 (水中、傾斜地等)	点検項目・頻度の見直し ・点検用ロボットの活用
	観測設備	観測設備	損傷、腐食、異臭、異音、作動状況、雨量計、水位計	手段:目視、計測は計測機器 頻度:1回/年	自社・関連会社	帳票をデータ化して管理 巡視・点検報告書に記入	作業の効率化 ・目視が困難な点検箇所がある。 (水中、傾斜地等)	点検項目・頻度の見直し ・点検用ロボットの活用
	地中管路・洞道	地中管路、洞道	外観および内部の状態確認	手段:目視 外観:1回/年 内部:1回/3年	自社・関連会社	専用帳票に記入しデータ化	-	-
	上記以外の施設	ヘッドタンク	摩耗、洗掘、破損、劣化亀裂、漏水、湧水、変形	手段:目視 頻度:外観1回/年 内部1回/3年	自社・関連会社	帳票をデータ化して管理 巡視・点検報告書に記入	目視が困難な点検箇所がある。 (水中、傾斜地等)	点検用ロボットの活用
	貯水池・調整池	貯水池、調整池	地山の状況(地滑り、崩落、崩壊、地割れ、落石、湧水、漏水、工作物への影響、岩石の風化、地形地質の状況、浸食、洗掘、堆砂量の変化、変位、変形、沈下、亀裂、破損、基礎地盤の洗掘等)、池内の状況、青水末端の状況	手段:目視 頻度:1回/月	自社・関連会社	帳票をデータ化して管理 巡視・点検報告書に記入	目視が困難な点検箇所がある。 (水中、傾斜地等)	点検用ロボットの活用
	沈砂池	沈砂池	摩耗、洗掘、破損、劣化、きれつ、漏水、湧水、堆砂	手段:目視 頻度:外部1回/月 内部1回/3年	自社・関連会社	帳票をデータ化して管理 巡視・点検報告書に記入	-	-
	ゲート・バルブ類	ゲート・バルブ類	変形、破損、劣化、腐食、漏水、給油、漏油、締め付けの状態、工作物への影響	-	-	-	-	-
	付属設備(予備弁)	付属設備(予備弁)	外部、動作、細密点検	手段:目視、機器等 頻度:1回/1か月~数年	自社・関連会社	巡視・点検報告書に記入	-	-
	付属設備(除塵機)	付属設備(除塵機)	外部、細密点検	手段:目視、機器等 頻度:1回/1か月~数年	自社・関連会社	巡視・点検報告書に記入	-	-
	保安設備・付属設備	保安設備・付属設備	保安備・欄干・昇降設備 建物、通路、橋梁	手段:目視 頻度:1回/年	自社・関連会社	巡視・点検報告書に記入	-	-

表-7.1(2) 電力施設の保守点検に関するアンケート

<p>(2) 保守点検時実施しているICT活用技術はどのようなものを使われていますか？ (ア)技術名称を教えてください。(複数回答の場合は、①・②・③と番号を付け、それぞれ(イ)以降も番号に対応してご回答ください) ICタグや電子端末を利用した点検システム 専水設備全年度診断システム 保守点検結果等をシステムで一元管理 WEBカメラによる画像配信、人検知カメラと指向性スピーカーを用いた警報システム GPSを用いた変位計測</p>	<p>(イ)履歴はありますか、可能であれば教えてください。(記載例がありましたらコピーでも可かもしれません) 概要を出力できるが、様式が膨大であるため提示不可。一部の履歴は電力土木会誌参照。 (ウ)GISツール (http://www.gis.go.jp/contents/whatsis.html) を使われていますか？使われている場合は、その元のデータはどのように作成されましたか？ 水防の点検結果の履歴において、水防の変位箇所と水防内の位置、土壌、入サードマップ等の情報の重ね合わせに用いている。 GISデータは外部委託により作成している。</p>	<p>(エ)どのような運用がされていますか？ 常時監視データを蓄積対応している。 <input type="radio"/> 2件、x.4件、未回答:2件 <input type="radio"/> xを運用していません 異常時データ時データを蓄積対応している。 <input type="radio"/> 3件、x.3件、未回答:2件 <input type="radio"/> xを運用していません 期間を定めて対応している <input type="radio"/> 1件、x.4件、未回答:3件 <input type="radio"/> xを運用していません (オ)ICT技術の導入にあたり、障害になっていた(なっていた)ことがあれば教えてください。 山間部におけるネットワーク環境の不備や電源の確保 セキュリティー環境 費用対効果</p>	<p>(カ)利用されたICT活用技術の中で、更なる技術的向上を望む点がありましたら、具体的に教えてください。 PCの大容量データ処理(3次元モデルや動画) 通信速度の向上 維持管理費用の低減 GPSが利用できない箇所での位置情報の把握</p>	<p>(3)(1)維持管理として、(1)で挙げている以外の保守点検以外の実施している項目はありますか？ 堆砂状況調査・測定、レーザを用いた無圧トポノリの背面空間調査</p>	<p>(3)(2)維持管理として、(2)で挙げているICTを活用した保守点検以外に実施している項目はありますか？ 気象・水文観測・水質観測・地盤観測・ダム情報管理・点検のタブレット化 水路等の3次元測量(レーザースキヤナ) 家位計測の自動収集 地すべり計測の自動収集</p>	<p>(4)国土交通省が提唱しているCIM (http://www.mlit.go.jp/tec/it/pdf/cimnogaou.pdf) というツールを使い、設計段階から、施工段階、維持管理への取り組みを進めることに、御社としてどのような考えをお持ちでしょうか。 導入については今後の状態をみて検討することにより情報共有を図れ効率化につながる。 情報を一元管理し、また可視化することにより情報共有が図れ効率化につながる。 維持管理分野における利用はこれまでのデータの整理・登録が必要となり、現実的に難しい</p>	<p>(5)品質向上や安全管理向上のためにも、情報化施工は役立ちますが、会社として、情報化施工にかけられるコストはどのくらいだと考えていますか？(例えば工事費の@%など) 費用対効果等、判断するまでの材料がなく、回答ができていない。 検討していないが、工事費の5~8%程度までは許容範囲と考えている。 導入自体を考えていないため、コスト面に関する考えは持ち合わせておりません。</p>	<p>(6)新技術を使うことで、工期短縮、品質向上が可能であるとした場合、施工段階での導入に当たりますか、どのように入力したら導入出来ると思われますか？ 導入が、(1)費用対効果の算出 社内ルールの変更 追加費用なく利用可能</p>	<p>(7)災害発生時(ケリラ豪雨、台風、大地震等)の災害対策でICT活用の実施事例がありましたら教えてください。また、今後新しくお考えの活用方針などがありましたら教えてください。 スマートフォンによる気象情報、ダム情報の入手</p>	<p>(8)御社の保守点検部門の体制(協力業者を含む)はどのようなようになっておりますか？部署名、人員などについて教えてください。 自社部門:1事業所数名~20名程度、協力業者:各部門により異なる</p>	<p>(9)維持管理を進めていく段階で、施工時の情報としてほしいもの(点検時に、こんな施工時データがあれば良かったのというようなこと)があれば、ご記入ください。 埋設物や残置基礎等に関する情報 地山・地盤の地質・湧水に関する情報 養護位置や範囲に関する情報 コンクリート背面の写真等の情報 水力発電所所在範囲の赤色立体化 建設時の設計思想</p>
--	--	--	---	---	---	--	---	---	--	---	---

8. まとめと展望

昨今新聞やTVにおいてIoT(Internet of Things:モノのインターネット)、AI(Artificial Intelligence:人工知能)、ビッグデータなどの単語を目にしなないことはない程、産業界の展開は極めて速い速度で進んでいることが実感できる。一方、建設分野においてもICTに関連する技術の進歩は加速度的であり、これらのような新しい技術についても、近い将来、実現場に実装、展開されていくものと考えられる。

既にIoTは、「i-Construction」においても活用されており、稼働中の建設機械からインターネットを通じて事務所等、あるいはクラウドサーバに施工データを収集するといった効果的な運用が進められている。やがては建設機械だけでなく、建設現場の様々なモノが自動的に、必要な情報を担当者に通知してくれるようになる。次にAIは新しい言葉ではないが、今回のブームは、コンピュータによる機械学習の一分野であるディープラーニング(深層学習)において、コンピュータ自らがデータから学びそれらデータの特徴をつかむ手法の大きな進歩による。将来的には人間に代わって様々な仕事をコンピュータやロボットに委ねる事が可能ではないかという予想もされている。既に数多くの製品にAIが実装されつつあるが、将来的にはより進歩した内容が実現されるものと期待できる。このように、電子データの利活用が進むと、これまで人が行ってきたルーチン的な業務を、これまでよりも多く、コンピュータに委ねる事ができるようになる。また、「i-Construction」や「CIM」により、建設分野における電子データの活用が急速に進むものと考えられるが、現場で発生する施工や点検時の記録は急速に蓄積され、膨大なデータ(ビッグデータ)となる。ビッグデータの処理技術についても上述したAIの展開も含め研究が進められており、将来的には今までよりも有効に施工管理や維持管理に活用することが可能となるだろう。

建設分野の将来がICTによって大きく変化しつつある状況において、今回情報化施工技術とICT活用に関する調査を行ったことは、大変有意義であった。

本報告書では、各施工会社が保有する情報化施工技術、ICT活用技術をまとめるとともに、維持管理への活用を想定し、電力各社への保守点検の状況調査アンケート結果を実施し、その結果をもとに、維持管理の効率化について検討を行った。

昨今の建設分野における労働力不足に対応するためには、情報化施工技術、ICT活用技術を、これまでよりも一層広く、かつ効果的に展開していくことが重要と考えられるが、「i-Construction」における「ICTの全面活用」は、従来の情報化施工、ICT活用と異なり、技術と制度が一体となって、より効果的に施工プロセスの生産性向上を目指していくものである。施工者の品質・出来形管理はもとより、発注者の工事管理や検査業務を電子化することにより、受発注者双方の省力化を図ることが見込まれている。一方、「CIM」の取り

組みの中でも、施工や点検時に得られた電子情報を、維持管理に活用することを目指しており、施設の管理者・所有者にとって大きな省力化を実現することが可能である。

このような、建設分野の変化に対し、従来の情報化施工技術、ICT活用技術を振り返ること、より効果的な活用方法を見出すことができると考えた。

本報告書では、まず、施設建設における情報化施工・ICT活用の例を、一般的な造成・土工事の事例、次に、電力施設建設をイメージした施設別の事例、そして、近年の自然災害の増加に対して注目されている災害復旧や危険箇所における事例に分類した。また、電子情報の一貫した連携を意識して、技術の展開案をまとめている。そこには、各施工会社の最新の技術を取り上げ、有効な活用方法を示していることは勿論のこと、施工中の電子データの連携が生産性向上の一つのカギとなっている。

さらに、電力各社の保守点検の事例調査から得られた課題を「CIM」と絡めて分析し、維持管理に供する電子情報をいかに効率的に取得し、活用するかという点について整理した。その中には、既設構造物の点検、補修から「CIM」を導入していく手法を述べた。「CIM」の適用が広まるにつれ、将来的には、施設のライフサイクル全般において、データ登録などの負荷を低減した維持管理システムが実現可能と考えられる。

以上のように本報告書で取り上げた事例や技術が、電力各社の施設建設や維持管理において展開され、将来にかけて有益なものとなれば幸いである。

おわりに

日建連・電力工事委員会では、電力土木施設建設に関わる様々な技術的課題をテーマに、調査研究活動の成果を報告書としてまとめ、定期的に発信・展開してまいりました。

近年、建設施工の生産性向上、品質確保、安全性向上、熟練労働者不足への対応など、建設分野が直面している諸課題に対応すべく、ICT（情報通信技術）を活用した新たな「情報化施工」への取り組みが活発化しています。その流れは、CIMを活用した設計・施工および維持管理や、本年から本格的な活用が開始されたICT土工を始めとする「i-Construction」の推進へと、急速な広がりをみせております。電力土木の分野でも、従来からのダム・貯水池や地下発電所空洞での情報化施工をはじめとして、さまざまな施設建設や維持管理において、ICTの利活用や技術開発の取り組みが加速しています。

こうした背景を踏まえ、当委員会では「電力土木における情報化施工・ICT活用」に関連する建設工事事例や個別技術情報を調査・整理するとともに、一般社団法人電力土木技術協会のご協力のもと、水力・火力土木施設の維持管理に関わる電力各社の土木技術者の方々のヒアリング・意見交換など、幅広く調査研究活動を進め、その成果を本報告書としてまとめました。各章では、電力土木施設建設の各分野別にICT技術の展開案も提示し、施工管理全般や災害復旧・危険箇所でのICT活用といった特殊な分野についても関連する技術として取り上げました。また、電力施設の保守・点検など維持管理の実態調査や意見交換での課題とCIM活用による効率化の事例紹介、最後に今後の関連技術への展望についても記載しております。

掲載した事例は、原則として文献や関係各社のホームページなどで公開されたものや、電力各社のご了解を得られた実施例で、なるべく最近のものを中心にしましたが、技術革新のスピードは目覚ましいものがあり、すべてが最新のものではありません。しかしながら、今後の電力土木施設の建設や維持管理に携わる土木技術者の方々に少しでも参考になれば幸いです。

なお本書発刊に当たり、施工事例掲載のご了承や水力・火力の保守勉強会への参加にご協力いただきました電力各社や電力土木技術協会関係者の皆様に深く感謝申し上げます。また、CIM試行現場として見学をさせていただいた国土交通省近畿地方整備局琵琶湖河川事務所をはじめとする天ヶ瀬ダム再開発工事の現場関係者の皆様には、ここに改めて感謝申し上げます。最後に、事例調査から本書の取りまとめと執筆・編集作業に当たられた技術部会ワーキンググループ委員の皆様には心から厚く感謝申し上げます。

平成29年3月

一般社団法人 日本建設業連合会
電力工事委員会 技術部会
部会長 杉本 幸司

電力工事委員会 名簿

委員長	小野俊雄	安藤ハザマ	代表取締役会長
副委員長	池田謙太郎	清水建設	執行役員土木総本部第二土木営業本部長
委員	大森俊介	青木あすなろ建設	執行役員営業企画本部営業第一本部長
委員	片岡善行	安藤ハザマ	土木事業本部営業第二部部長
委員	武内邦文	大林組	土木本部営業推進第二部長
委員	栗田猛志	奥村組	執行役員土木本部副本部長
委員	大山寛夫	鹿島建設	土木営業本部営業部長
委員	作田光生	株木建設	営業本部執行役員副本部長
委員	杉本幸司	熊谷組	土木事業本部電力・エネルギー営業部総括部長
委員	道下勲	五洋建設	土木部門土木営業本部第三営業部長
委員	中山洋	佐藤工業	土木事業本部営業部部長
委員	福元洋一	清水建設	土木事業本部第二土木営業本部営業部長
委員	大沼寛知	大成建設	土木営業本部電力営業部統括営業部長
委員	佐藤洋一	大豊建設	土木本部土木営業部部長代理
委員	佐々木満	東亜建設工業	本社土木事業本部第三営業部電力営業室長
委員	末松直紀	東急建設	営業本部土木営業第一部長
委員	岸川剛史	東洋建設	執行役員土木事業本部営業第三部長
委員	小山裕史	戸田建設	本社土木営業統轄部土木営業第二部長
委員	小島龍介	飛島建設	土木事業本部土木営業部民間営業G部長
委員	大西徳治	西松建設	土木事業本部土木営業第二部長
委員	八木野忠人	福田組	土木統括営業部長
委員	藤岡晃	フジタ	建設本部土木エンジニアリングセンター技術プロジェクト推進部長
委員	木下昇	不動テトラ	常務執行役員東京本店長
委員	神田守	本間組	取締役常務執行役員エンジニアリング本部長
委員	諏訪俊雅	前田建設工業	執行役員土木事業本部営業統括部長兼営業第1部長
委員	家代義和	三井住友建設	土木本部次長
委員	松浦謙吾	りんかい日産建設	土木事業部民間営業部長

(平成29年2月1日現在)

電力工事委員会 技術部会 電力情報化施工WG 名簿

電力工事委員会 技術部会

部会長	杉 本 幸 司	熊谷組	土木事業本部電力・エネルギー営業部総括部長
副部会長	道 下 勲	五洋建設	土木部門土木営業本部第三営業部長

電力情報化施工WG

リーダー	石 田 仁	五洋建設	技術研究所土木技術開発部担当部長
サブリーダー	金 丸 清 人	清水建設	土木総本部土木技術本部開発機械部長

ダム・造成SWG

SWGリーダー	神 崎 恵 三	熊谷組	土木事業本部プロジェクト技術部副部長
委員	磯 上 晃 一	奥村組	東日本支社土木技術部長
委員	西 川 弘	株木建設	奥村・株木・森本 JV 福島クリーン事業所副所長
委員	富 田 剛 司	戸田建設	土木設計部設計 1 課長
委員	河 本 健	前田建設工業	土木事業本部営業部営業第 2 グループグループ長

地下空洞・トンネルSWG

SWGリーダー	武 石 学	安藤ハザマ	技術本部技術研究所先端・環境研究部担当課長
委員	田 中 卓 也	東急建設	土木本部土木技術設計部設計グループリーダー
委員	田 中 勉	西松建設	技術研究所土木技術G 上席研究員
委員	金 井 実	本間組	土木事業本部技術部技術企画課担当課長

港湾・その他SWG

SWGリーダー	鈴 木 伸 康	鹿島建設	土木管理本部土木技術部担当部長
委員	藤 本 俊 彦	東亜建設工業	土木事業本部エンジニアリング事業部シビルリニューアル事業室担当課長
(委員	宮 沢 明 良	東亜建設工業	土木事業本部エンジニアリング事業部シビルリニューアル事業室担当課長)
委員	加 藤 直 幸	東洋建設	土木事業本部土木技術部課長
委員	多 賀 政 雄	不動テトラ	土木事業本部営業部担当部長
委員	野 原 貴 純	りんかい日産建設	総合評価積算部グループリーダー

災害復旧・危険箇所SWG

SWGリーダー	高 橋 要	大成建設	技術センター土木技術開発部先端技術開発室建設 ICT チーム課長
委員	黒 田 幸 宏	大豊建設	土木本部土木技術部技術設計課長
委員	野 末 晃	フジタ	建設本部土木エンジニアリングセンター技術プロジェクト推進部担当部長
委員	津 田 和夏希	三井住友建設	土木本部土木設計部土木設計グループ長

アンケート検討SWG

SWGリーダー	杉 浦 伸 哉	大林組	土木本部部長室情報企画課課長
委員	三 留 貴 光	青木あすなろ建設	土木技術本部土木リニューアル事業部担当課長
委員	瀬 谷 正 巳	佐藤工業	土木事業本部技術部主任
委員	松 元 和 伸	飛鳥建設	技術研究所研究開発 G 第一研究室室長
委員	藤 井 伸 之	福田組	土木部技術部維持更新課担当課長

(平成 29 年 2 月 1 日現在)

電力土木における情報化施工・ICT活用に関する調査 報告書

編 集 一般社団法人 日本建設業連合会
電力工事技術委員会技術部会

平成29年3月発行

発 行 一般社団法人 日本建設業連合会

〒104-0032
東京都中央区八丁堀2-5-1
東京建設会館8階
tel 03-3551-2494

本誌掲載内容の無断転載を禁じます
