

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43,400m<sup>3</sup>，面積50,100m<sup>2</sup>

盛土：土量53,300m<sup>3</sup>，面積50,590m<sup>2</sup>

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	キャタージャパン	
型式	D6R シリーズ III	ブルドーザ
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
ハードウェア	①事務所 PC	当社標準機	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 タブック CF19 等	HDD を SSD に換装
	⑤通信用アンテナ	データリンク社 DLSSNET-R/T	2.4GHz 特定小電力
ソフトウェア	⑥プロジェクト管理ソフト	事務所 PC にインストール	USB 経由で車載 PC へデータ受渡し
	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 経由で車載 PC からデータ受領

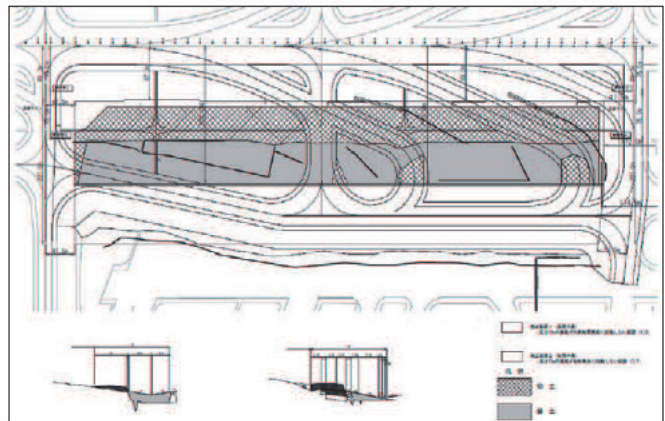


図-2 造成計画平面図



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。

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

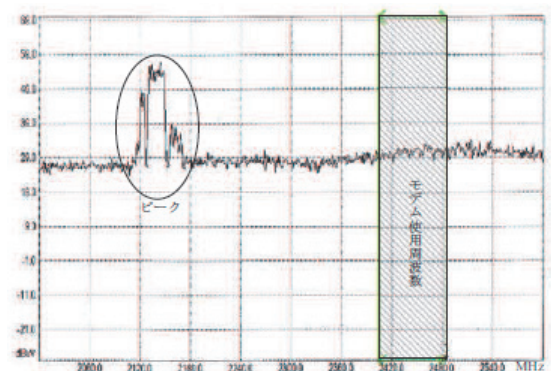


図-3 電波強度



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）

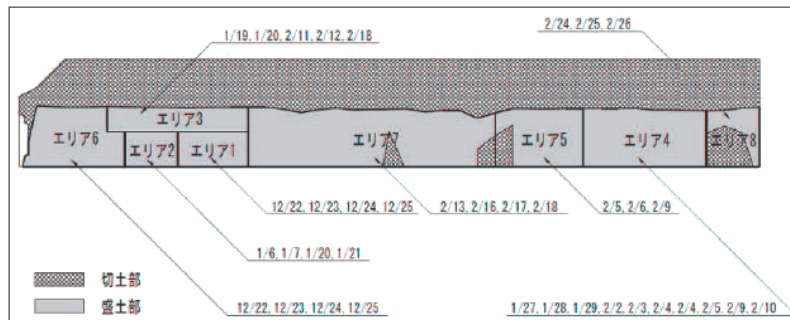


図-4 盛土管理図（例）

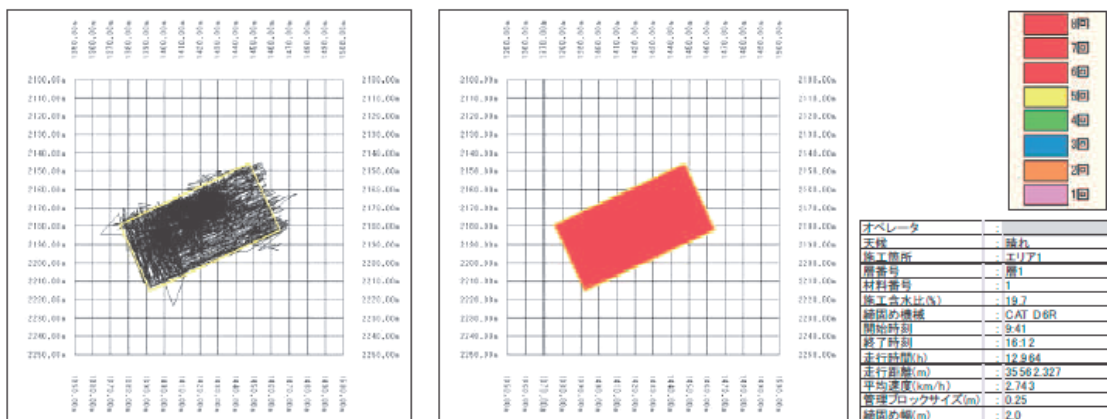


図-5 走行軌跡図および締固め回数分布図（例）

(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

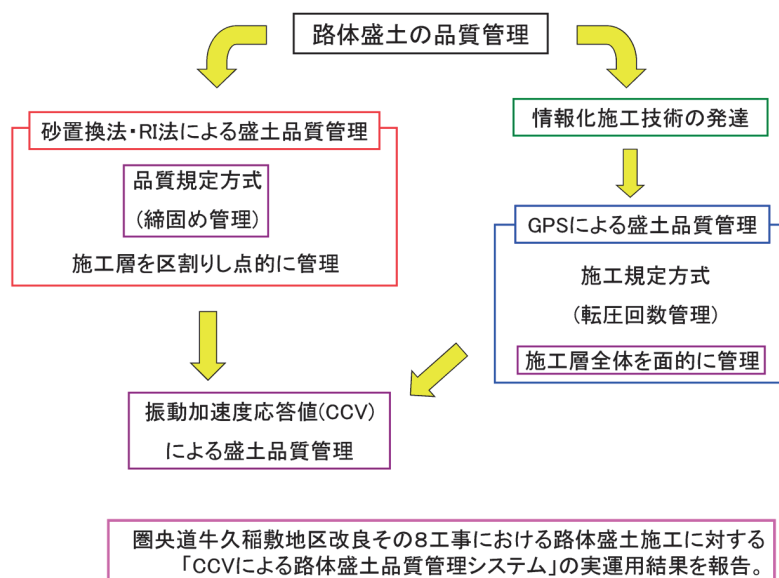


図-1 路体盛土品質管理の背景

## 2) CCV システムの概要と特徴

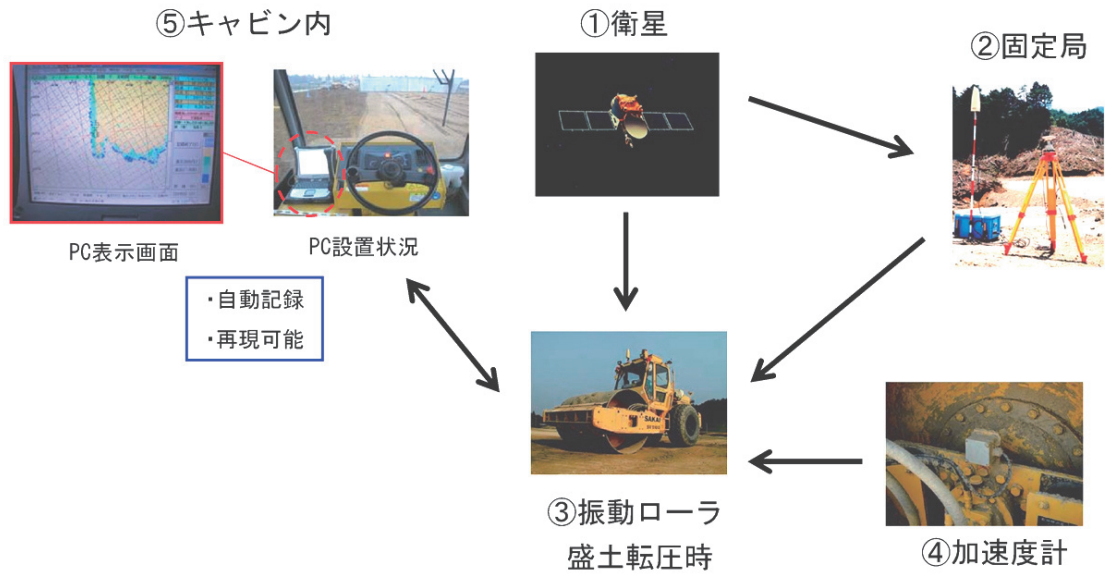
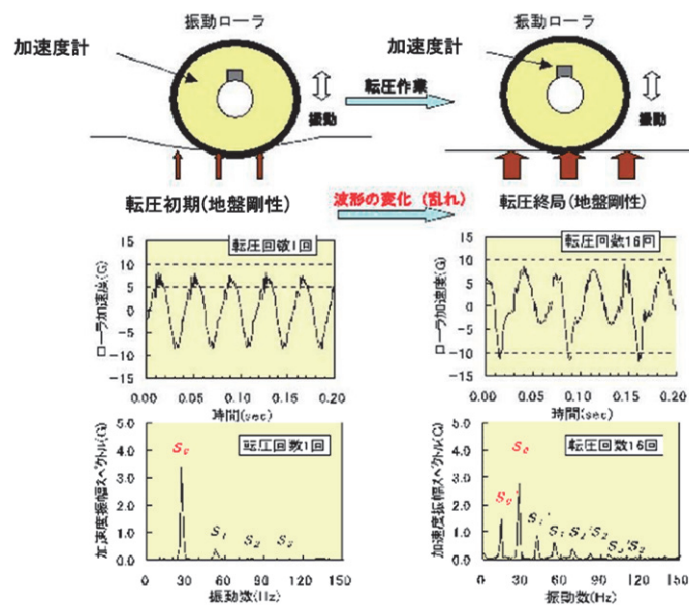


図-2 CCV システム概要

## 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



$$CCV = \frac{S_{1/2} + S_{3/2} + S_2 + S_{5/2} + S_3}{S_{1/2} + S_1}$$

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

##### CCVによる路体盛土の品質管理手法

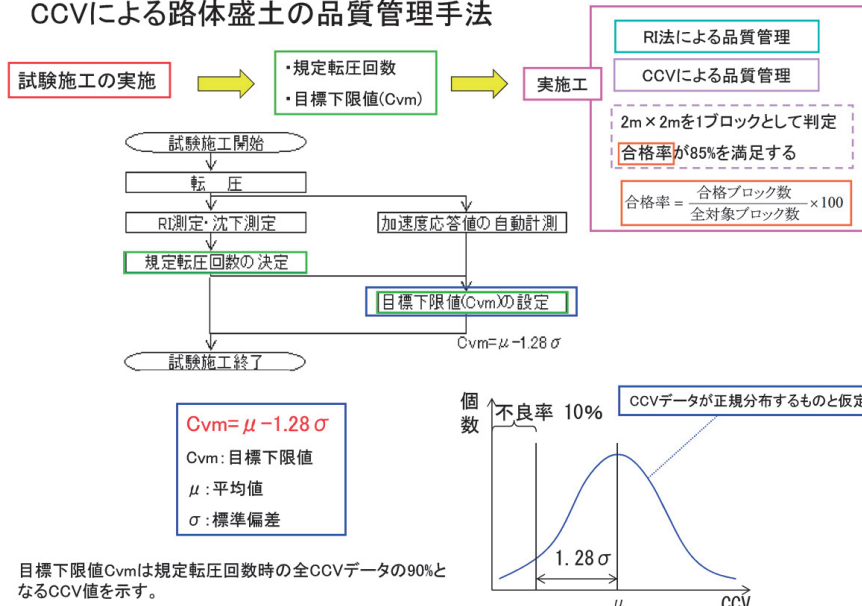


図-4 CCV による管理手法

#### 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

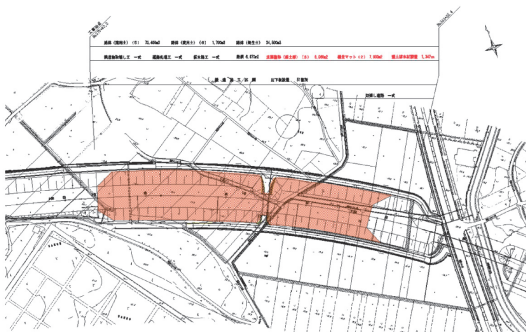


図-5 平面図

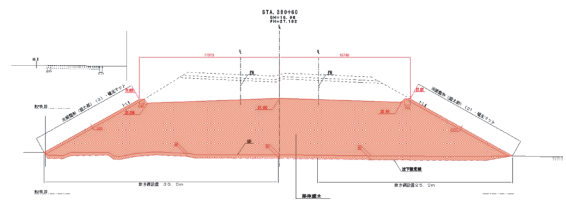


図-6 断面図

##### ② 試験施工実施状況

###### 実施結果(試験施工)

測定項目  
RI測定・・・15点  
沈下測定・・・5点  
CCV測定・・・施工エリア全面

巻出し厚 33cm

1102000=22000

702000=14000

凡例  
○ RI測定  
△ RI測定・沈下測定

盛土材料

盛土材料	最大乾燥密度 $\rho_{dmax}$	最適含水比 $w_{opt}$	管理手法
ローム	0.729	87.6	空気間隙率(Va)管理
砂質土	1.621	17.0	締固め度(Dc)管理
改良土	1.050	51.6	空気間隙率(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  
自動計測  
履歴閲覧

CCV測定表示画面

CCV測定表示画面

CCV測定表示画面

図-8 CCV 測定表示画面

### ③ 試験施工実施結果

#### 試験施工実施結果

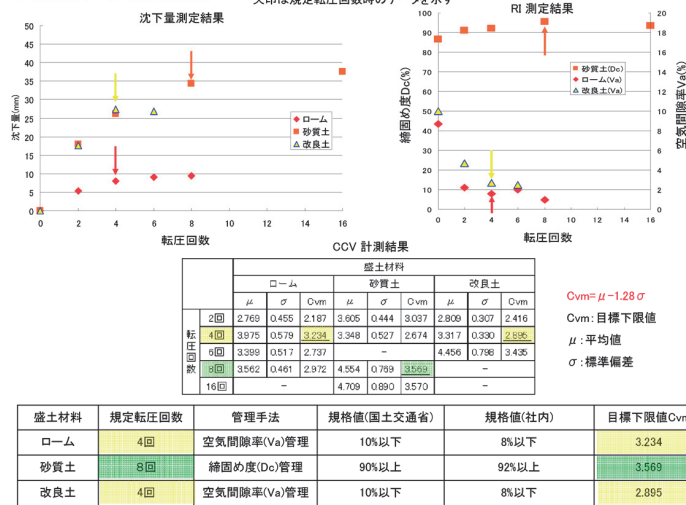


図-9 試験施工実施結果

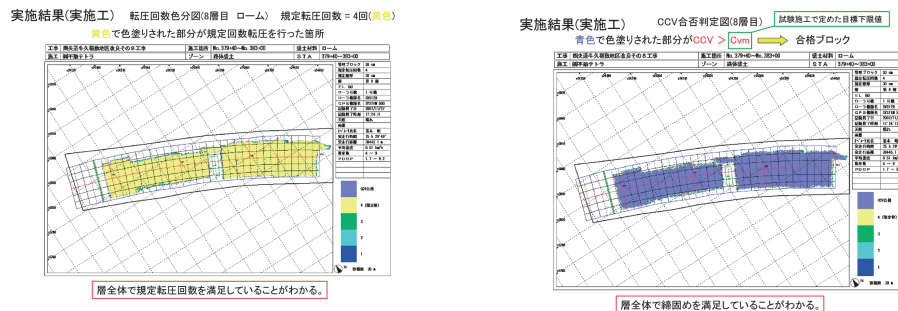


図-10 実施結果（回転回数とCCV値）

### (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

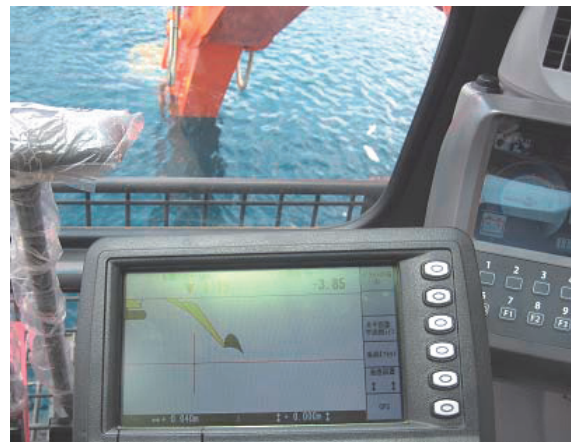


図-6 浚渫工事への適用事例

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 m<sup>3</sup> 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。

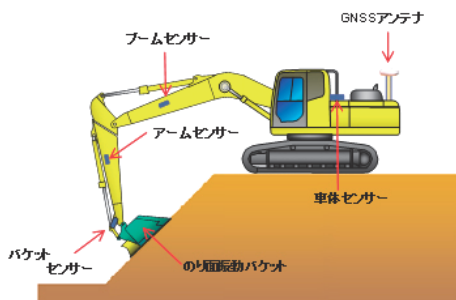


図-1 システム概要



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。

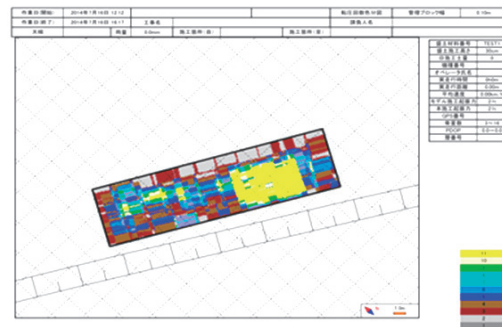


図-3 管理帳票の作成例

- 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。

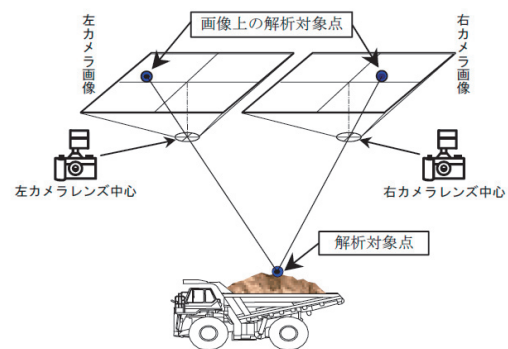


図-1 計測原理イメージ

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。

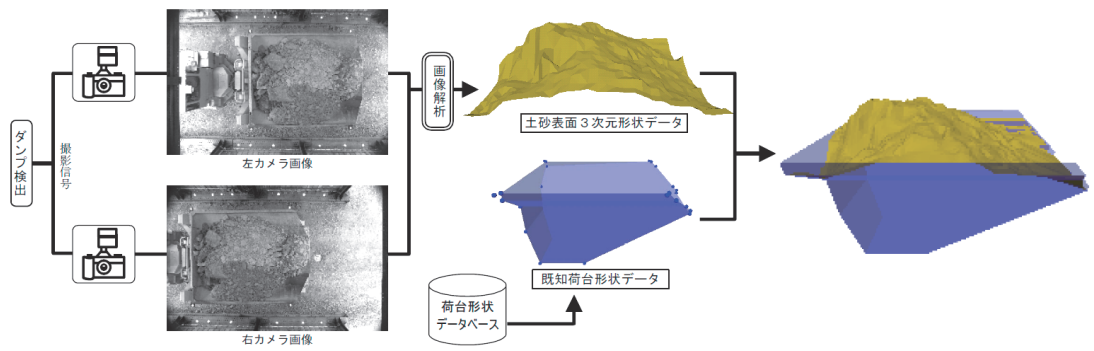


図-2 計測プロセス

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 15m<sup>3</sup>）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。

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。

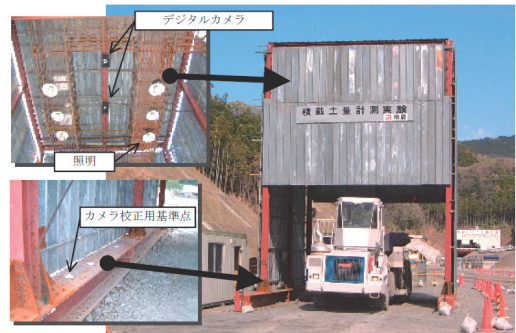


図-3 ダンプ計測状況

カメラ	260万画素デジタルカメラ（画素サイズ 11.8 μm）
レンズ	焦点距離18mm、絞りF5.6
撮影距離	約5.5m
カメラ間距離	2m
シャッター速度	1/500 sec

図-4 ダンプ撮影仕様

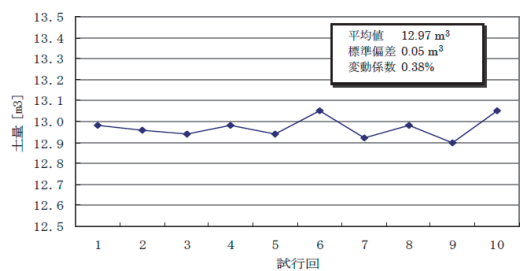


図-5 ダンプ繰り返し計測結果

## 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 7m<sup>3</sup>）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 0.03～0.05m<sup>3</sup>（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

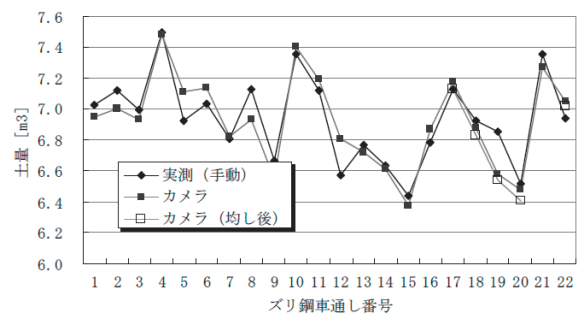


図-8 ズリ鋼車計測結果

## 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	—