

#### 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

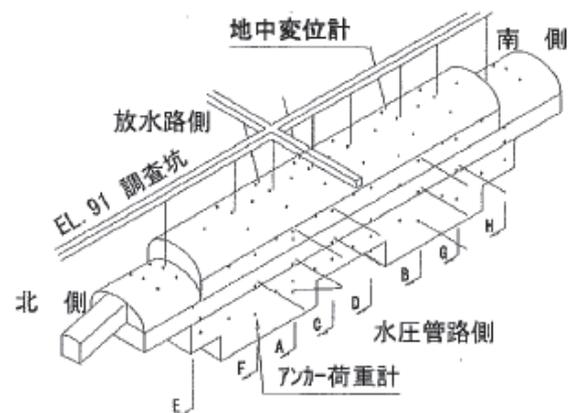


図-1 計測断面位置図

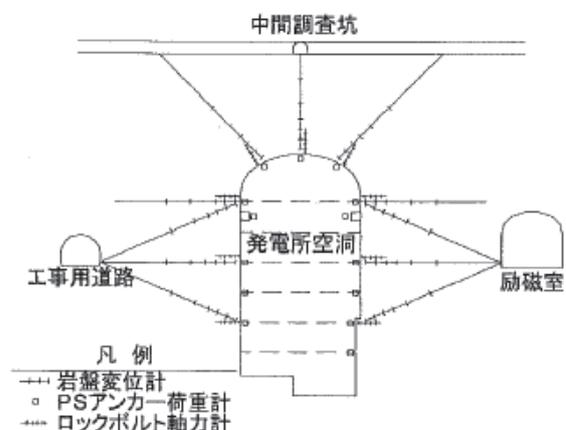


図-2 計測器設置断面図

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

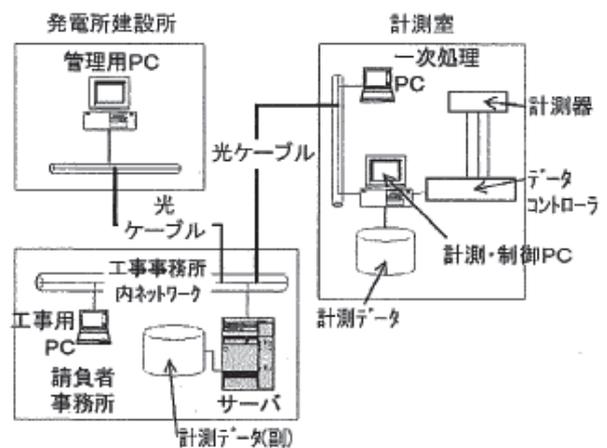


図-3 計測管理システム構成図

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。

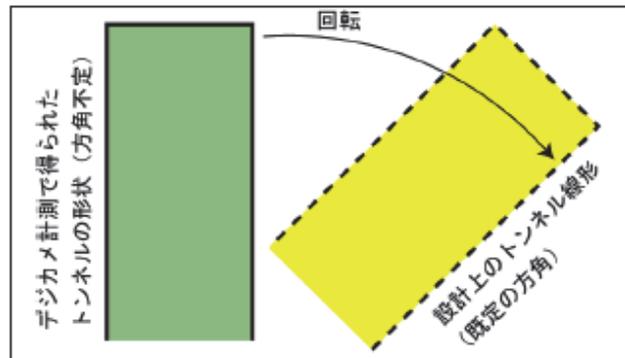


図-1 水平方向方角の決定方法の模式図(水平断面)

### (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  $1^\circ$ 、傾斜で  $6^\circ$  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  $10^\circ$  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 m<sup>2</sup>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。

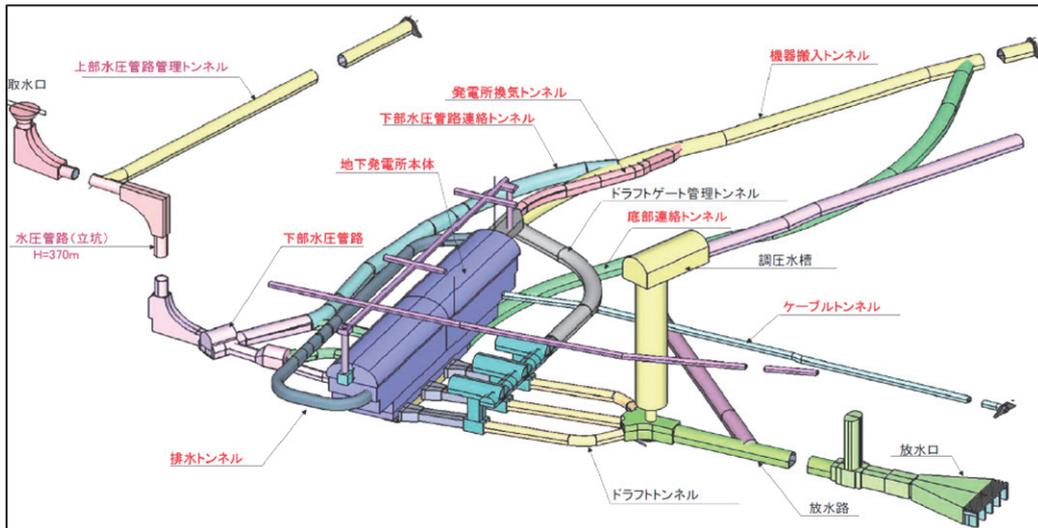


図-1 京極発電所鳥瞰図

### (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)。

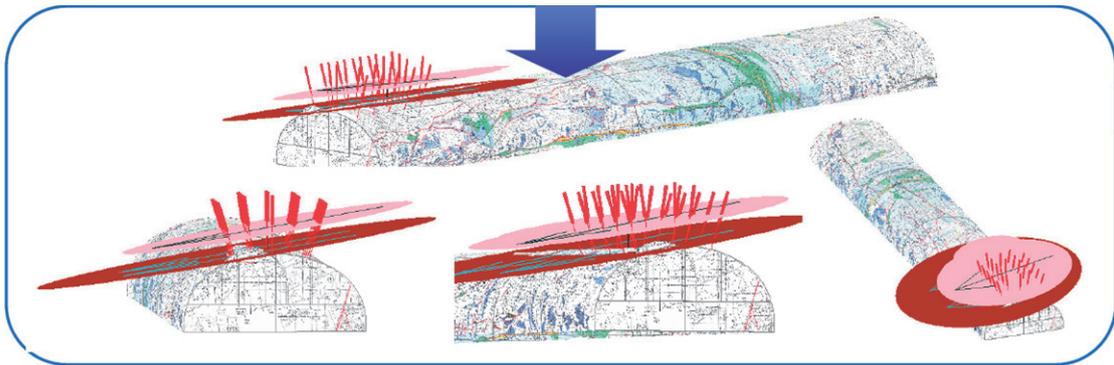


図-2 変状原因の割れ目に対する対策工立案の例

## 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。

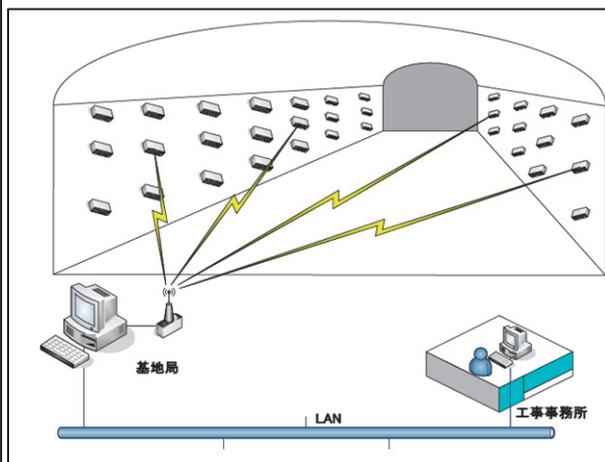


図-3 システム概要図

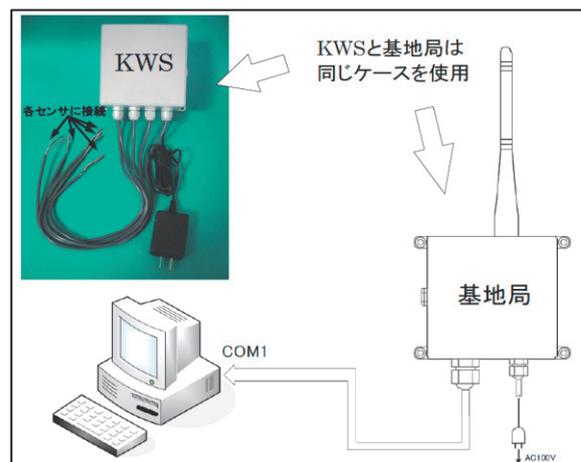


図-4 小型無線計測ユニット構成図



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。

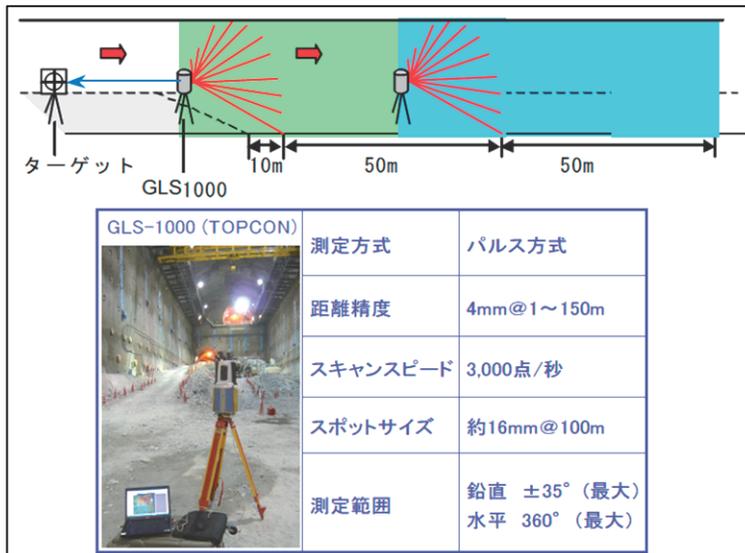


図-5 測定方法の概要

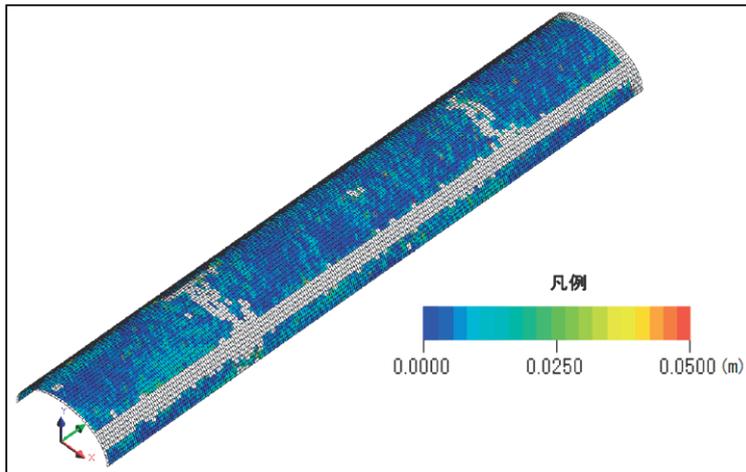


図-6 変状分析結果

### (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。

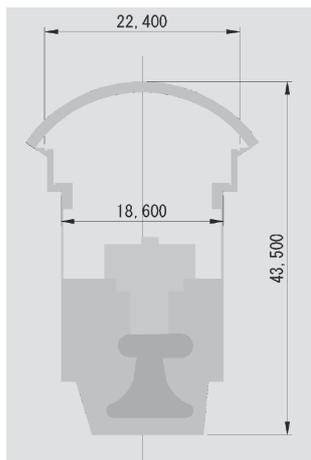


図-1 1号主機室横断面

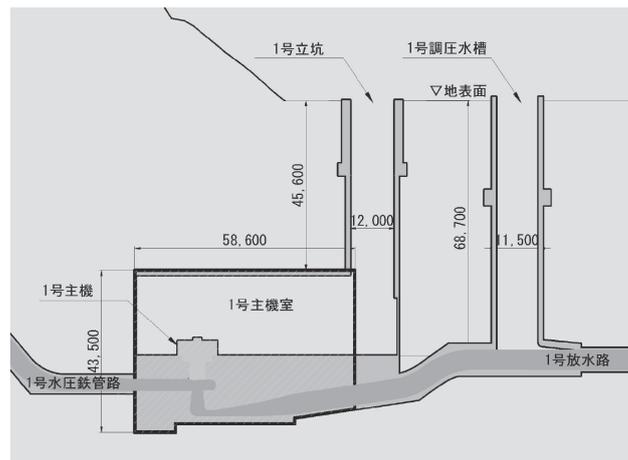


図-2 1号主機室縦断面

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)。

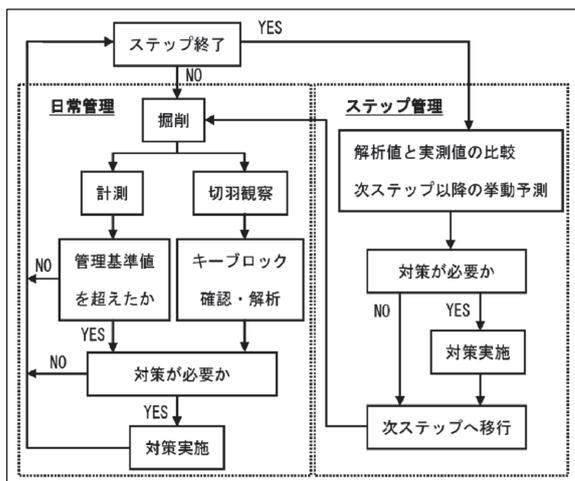


図-3 情報化施工フロー

## (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、キーブロックの検出等に役立てることができる（図-4）。

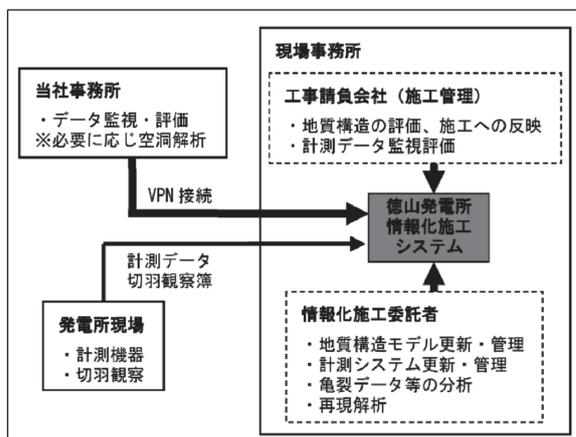


図-4 情報化施工管理システム構成

### 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碎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）。

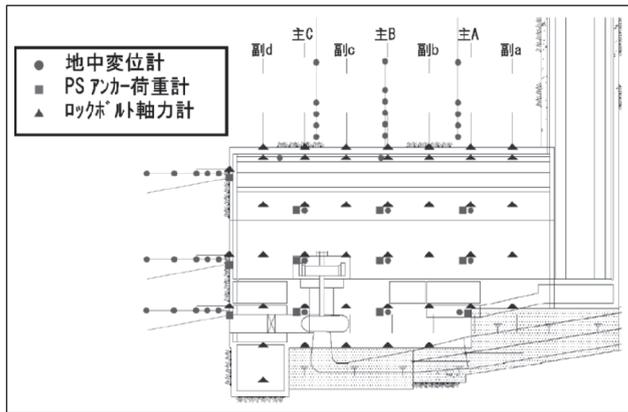


図-5 計測機器の配置

### 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。

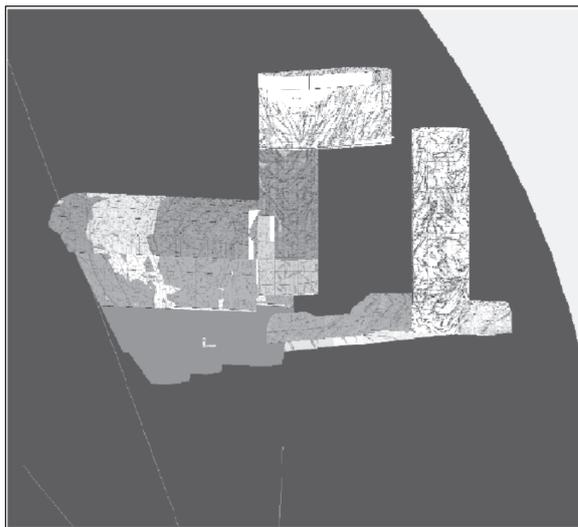


図-6 亀裂可視化例

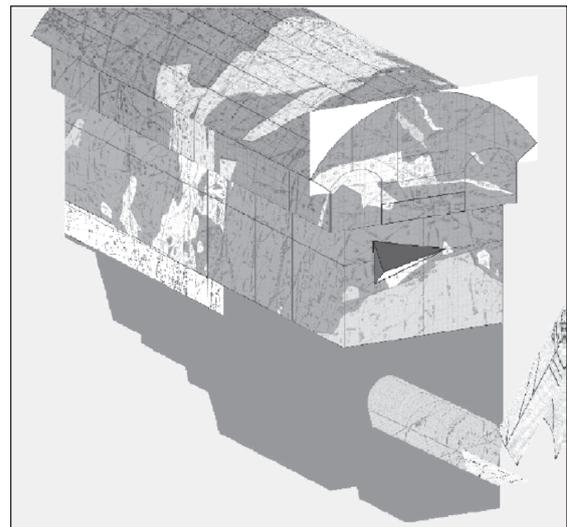


図-7 キーブロック例

### (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）。

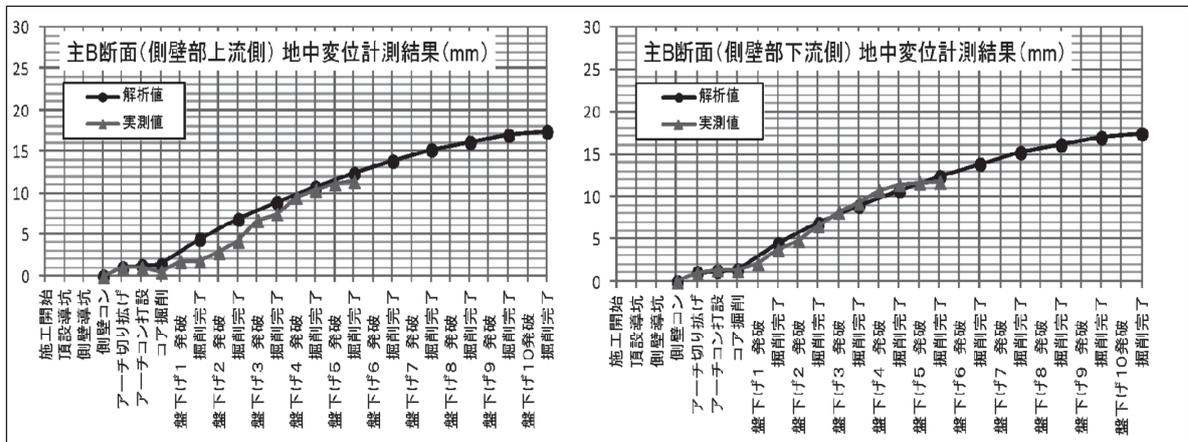


図-8 盤下げ掘削時の解析値と実測値の比較

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"> <li>・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</li> <li>・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</li> </ul>
<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：22.1m<sup>2</sup>（φ5.3m）、仕上り断面積：15.9m<sup>2</sup>（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。

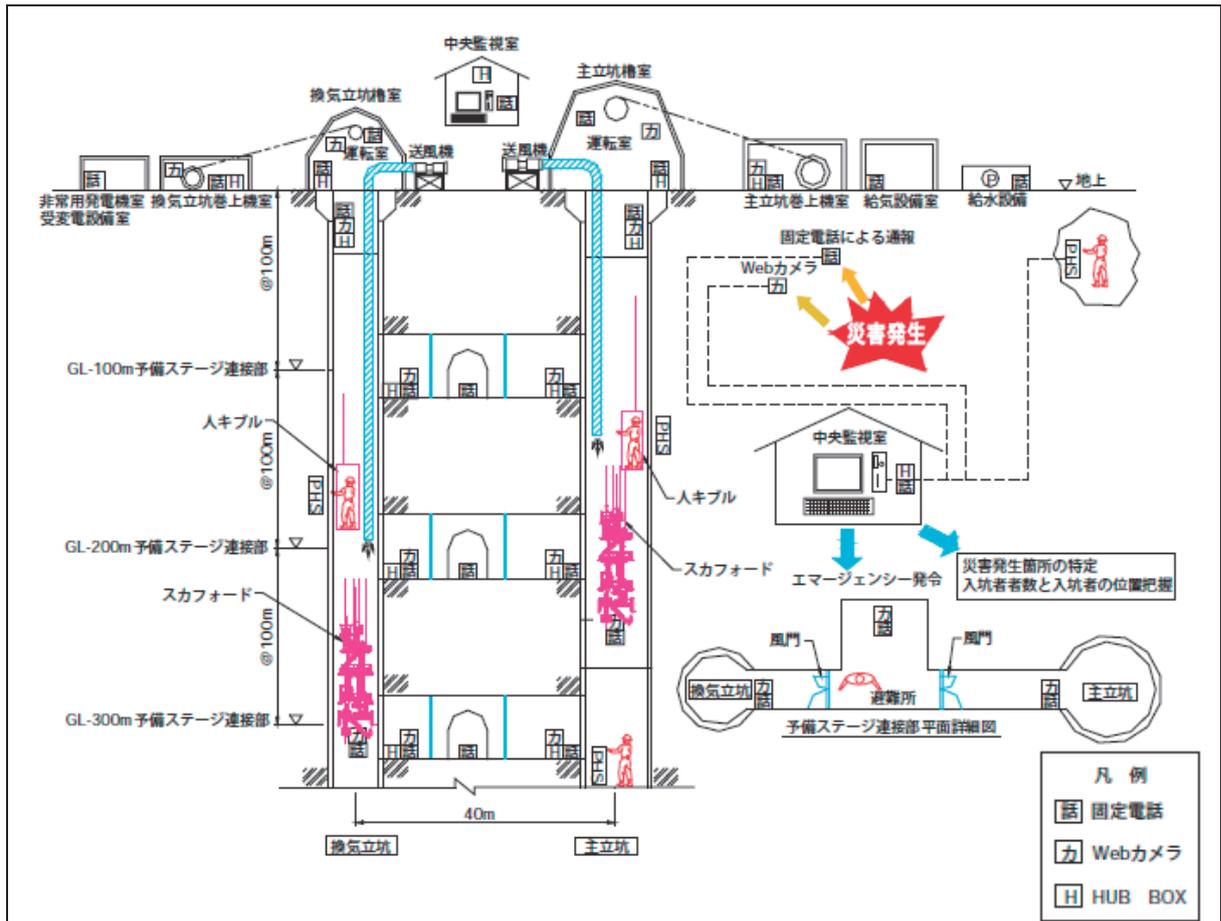


図-2 通信監視システム機器配置図

(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。

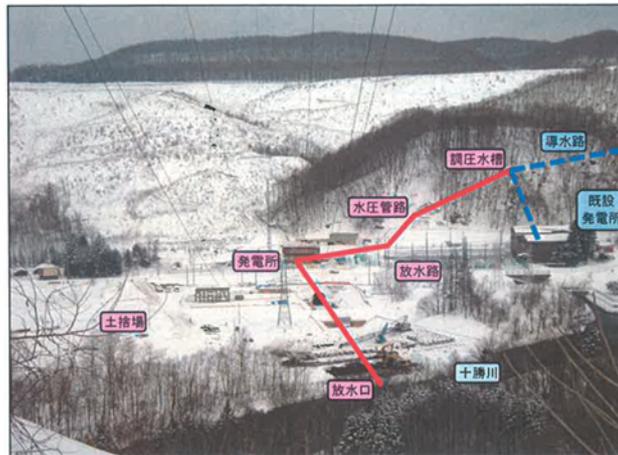


図-1 新岩松発電所施工箇所全景

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	機械室	前田JV	機械室構築			
	ドラフトケーシング	前田JV	充填コン			充填コン
		Q×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	充填コン	充填コン			



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)。

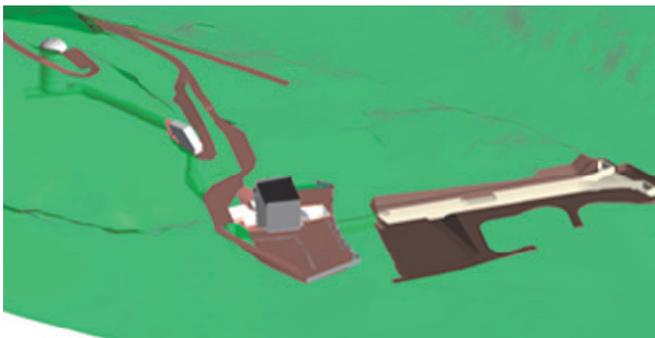


図-3 全体3次元モデル

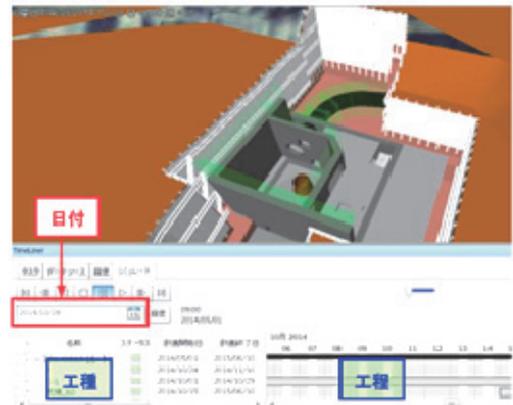


図-4 発電所基礎4次元モデル

### 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

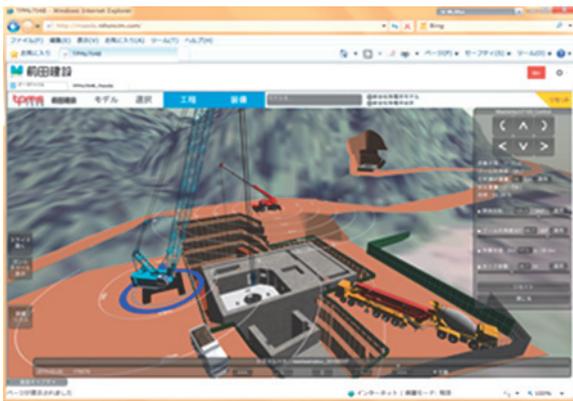
が可能(図-5(a))。

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

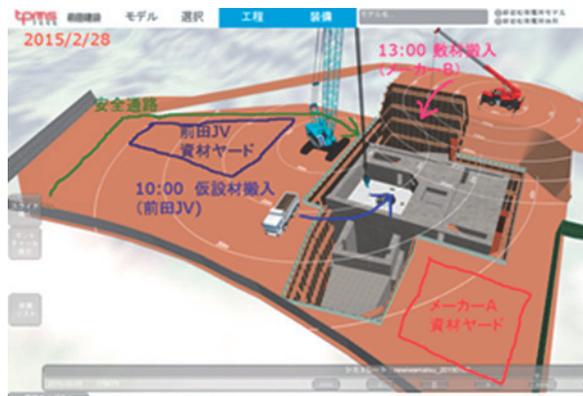
検討時の画像をWeb上で取得し、メモや手描きの図形の書き込みができるキャプチャ機能により、打合せ事項を関係者に配付することが可能(図-5(c))。



(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	—