

#### 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m<sup>3</sup>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。

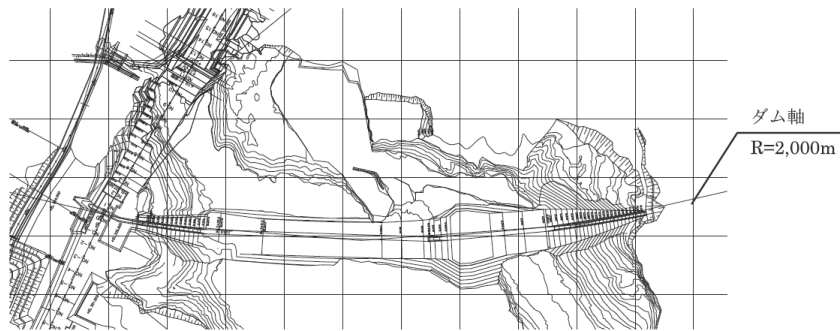


図-3 堤体平面図

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。

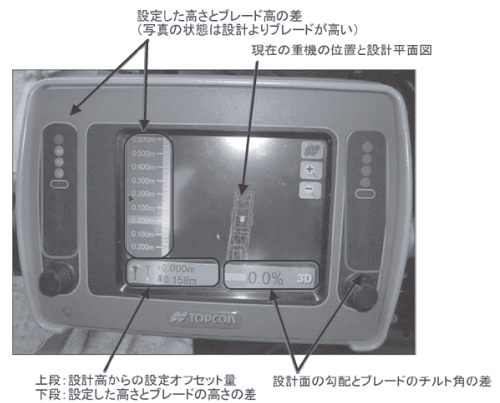


図-4 ブルドーザキャビン内モニター

## 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（ $t=50\text{cm}$ ）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ことが出来た。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)。

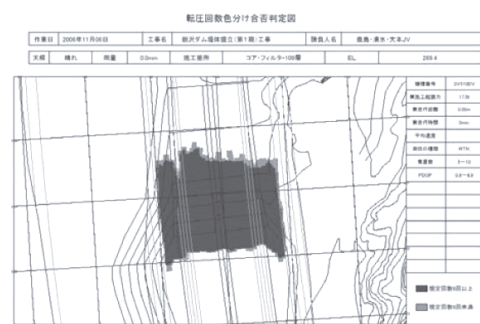


図-7 締固め回数分布図

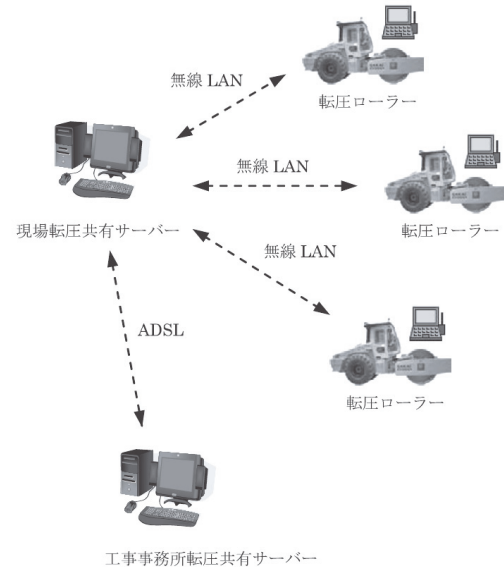


図-8 転圧管理共有構成

### 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 m<sup>3</sup> 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。

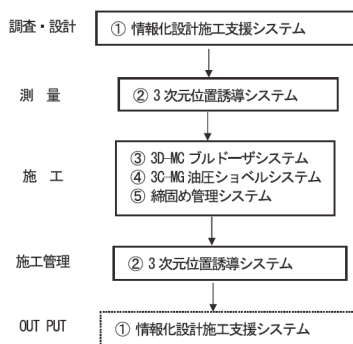


図-2 システム構成図

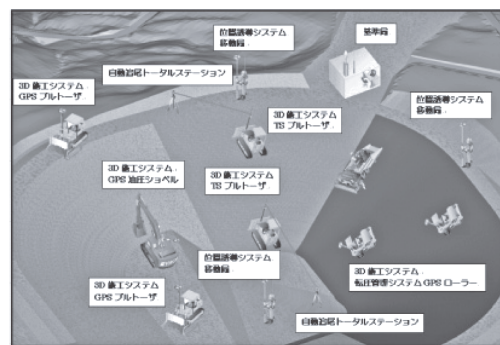


図-3 施工イメージ

### 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)

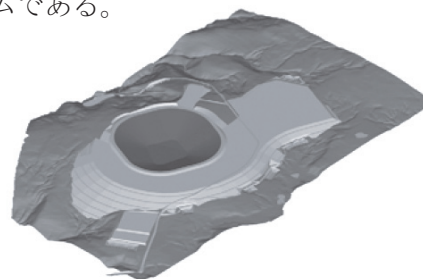


図-4 景観 CG (上部調整池完成)

### 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。

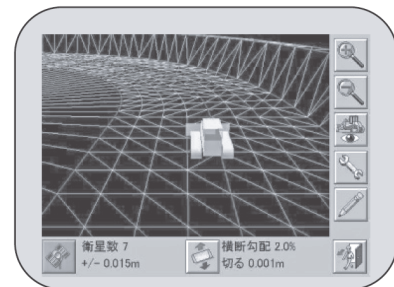


図-6 ブルドーザシステム  
専用表示器画面

#### 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、CO<sub>2</sub> 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

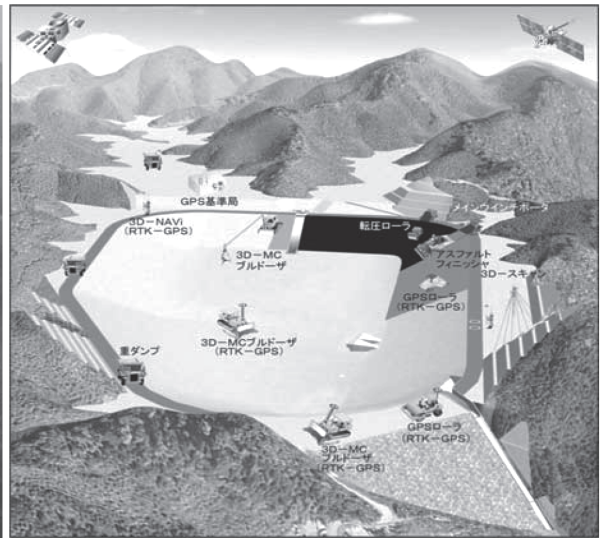


図-2 システム概念図

(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）。

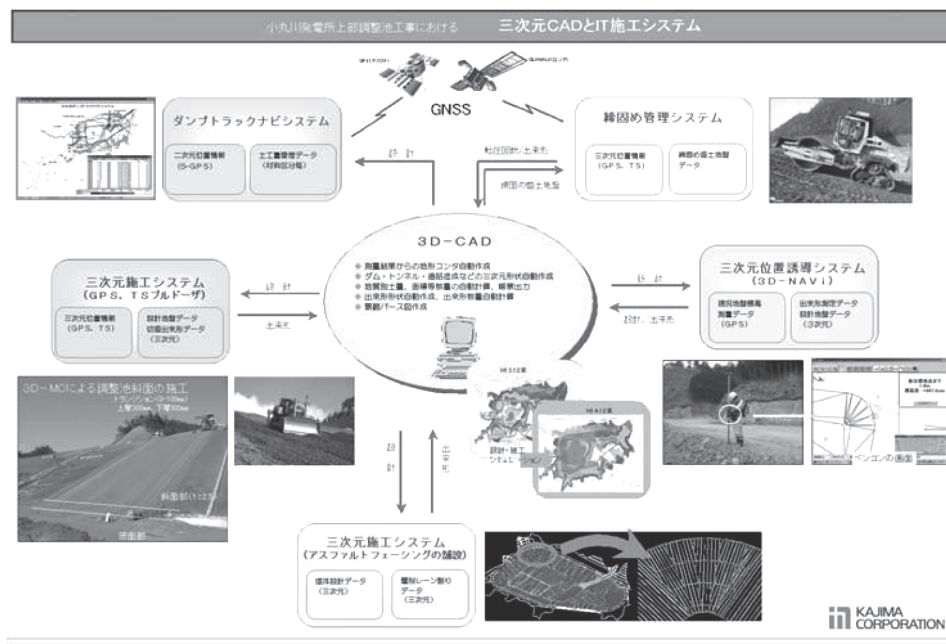


図-3 IT 施工システム全体構成

### 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。

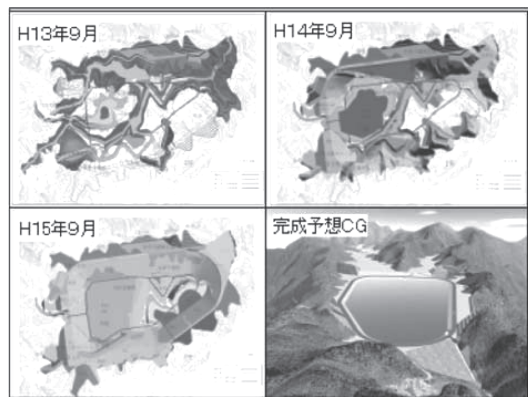


図-4 施工シミュレーションと景観 CG

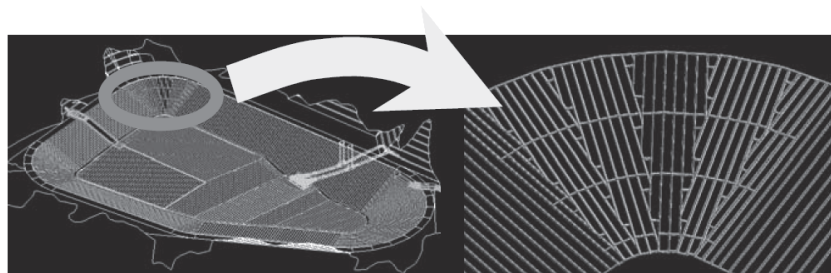


図-5 アスファルトフェーシング施工レーン作成例

### 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)。

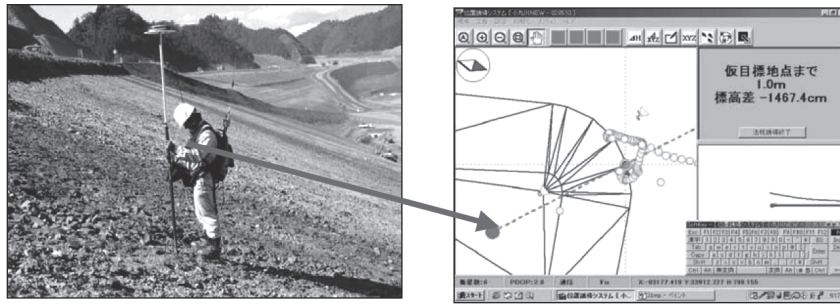


図-6 三次元ワンマン測量システム

### 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

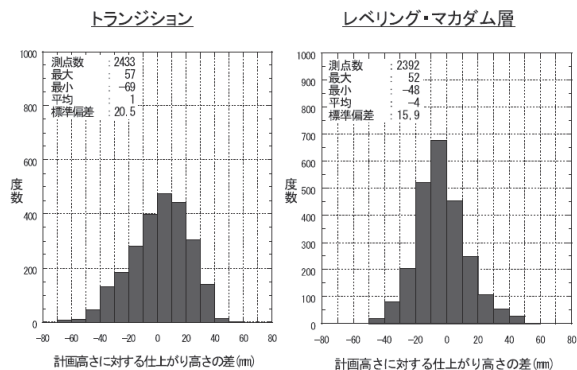


図-9 トランジション仕上がり精度

## 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。

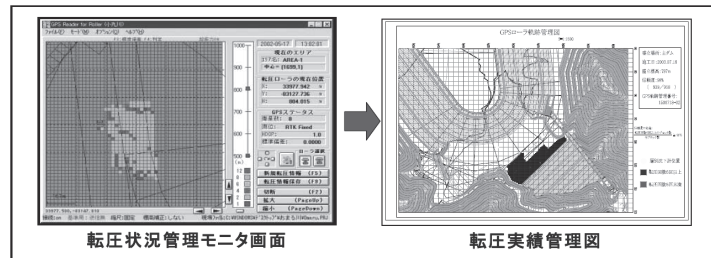


図-10 締固め管理システム

## (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 m<sup>2</sup>）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	—