

フィルダム堤体盛土の ICT 施工

古 屋 弘

近年の性能規定化への対応，および情報化施工の推進に対する国土交通省の取り組みを背景に，ICT を利用した「3次元情報と α システムによる情報化施工」をフィルダムにて試行した。施工管理に用いたシステムは，3次元データを管理するデータベースを中心に，GPS と α システムによる振動ローラの転圧管理システム，および現場ネットワークにて構成した。ICT によるリアルタイム施工管理システムの導入により，施工プロセスは大きく変わり，品質や安全性の向上に寄与する可能性が高いことが確認された。

キーワード：フィルダム，堤体，土工，3次元データ，データベース，GPS，無線 LAN，加速度応答法

1. はじめに

フィルダム建設では，近年コスト縮減・環境保全・省エネルギー等が求められ，現場発生材料の有効利用とともに本体施工の合理化，およびそれに伴う工期の短縮が求められている。この中で，ダムの要求性能を確認するために実施される施工管理試験は，現状では多大な労力と時間を要しており，試験方法を含めた施工管理手法の効率化は施工者にとって解決すべき重要なテーマである。この解決策の一つとして，情報化施工 (ICT) の導入は重要なツールとなり，あわせて性能規定化に対して必要な品質管理データ等の情報を，受発注者間で迅速に交換することにも有効に利用でき

るものとする。

以下，本誌で紹介する事例は，性能規定化および情報化施工に対する国土交通省の方針に基づき，新技術情報提供システム (NETIS) の評価試験を兼ね，堤体盛土の品質管理において，堤体の締固めに用いる振動ローラに，加速度解析装置 (α システム) を搭載し，さらに設計・施工情報を管理するネットワークシステムを構築し，施工に適用したものである。

今回，情報化施工システムを適用したフィルダムは，国土交通省東北地方整備局発注の森吉山ダムで，米代川水系小又川に建設されている堤高 89.9 m，堤頂長 786 m，堤体積 5,850,000 m³ という規模を有する中央コア型ロックフィルダムである。

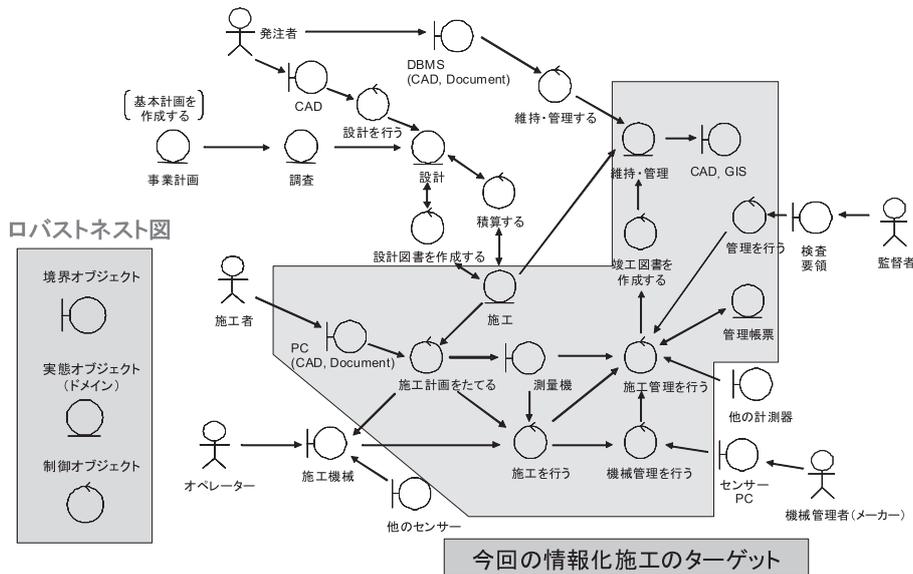
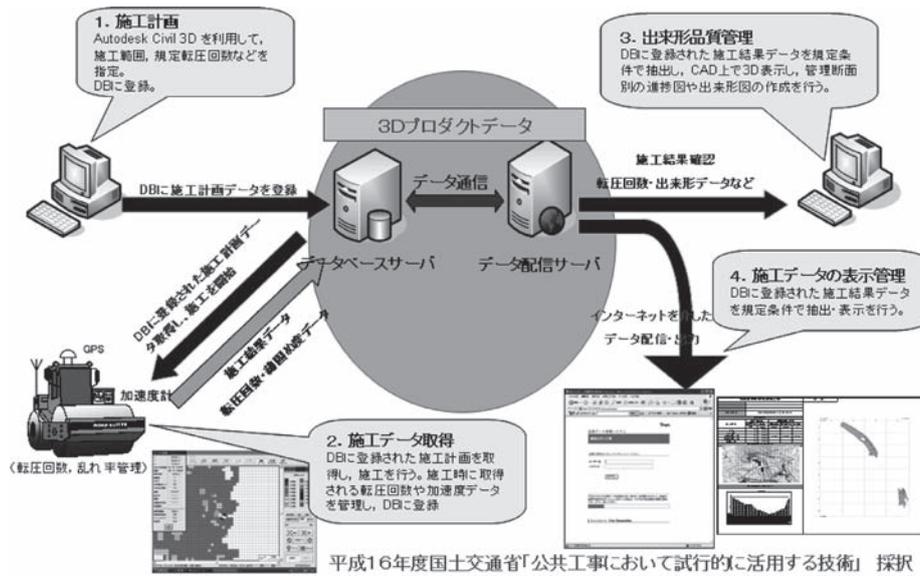


図-1 情報化施工のターゲット (文献1に加筆)



図一2 システム構成

システムは新しい加速度応答法の適用性検討を行うことから、品質管理を中心とした情報化施工を行うことを目的としたものだったが、施工計画から管理帳票までを一連で管理することを目標に、図一1に示す部分をターゲットとしたシステム構築を行い、現場適用を図った。

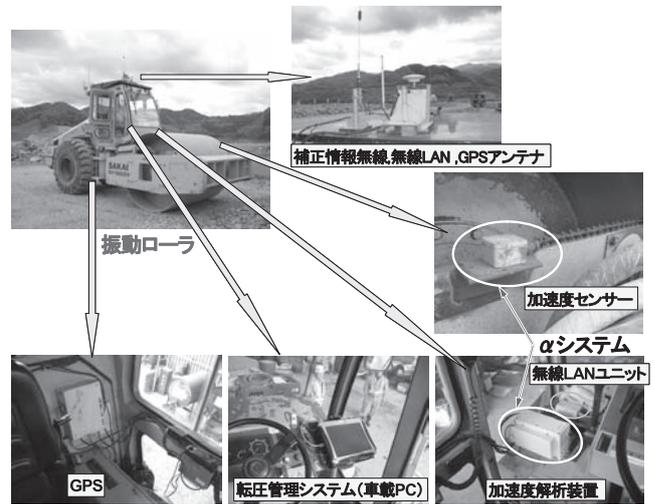
2. システム概要

導入したシステムの論理構成を図一2に示す。システムは、GPS・ α システム・無線LAN・3D-CAD・データベースサーバ・データ配信サーバ（Webサーバ）で構成され、これらをフィルダム用に再構築したものである^{2), 3)}。システムを構成する主要な技術を以下に示す。

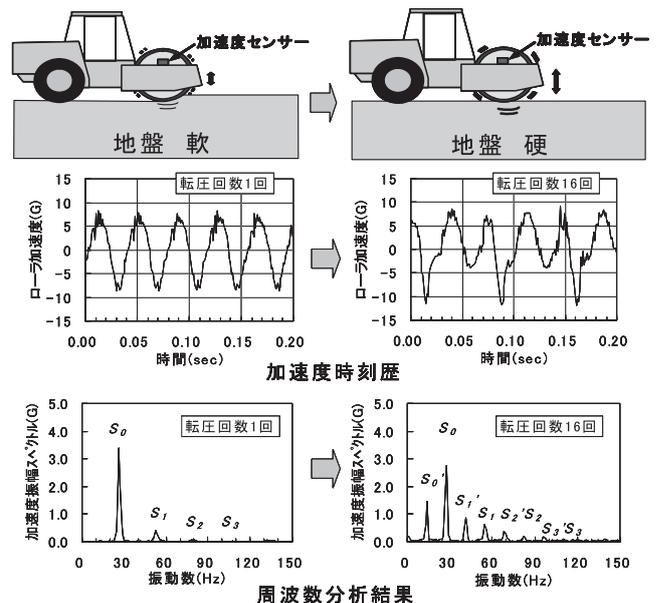
(1) GPS 搭載振動ローラと α システム

α システム^{4), 5)}とは、図一3に示すように、振動ローラにGPSと転圧管理システム（車載PC）に加え、加速度センサーおよび加速度解析装置を設置し、締固め施工を行いながら、地盤の変形係数・密度を算出し、面的な管理を行うシステムである。GPSと組み合わせることで取得データ（転圧回数、地盤変形係数、密度等）は、位置・高さ情報とセットとなり、平面図上で取得データ種別ごとの表示ができるとともに、性能規定に対応した品質管理を行う上で重要な統計的なデータ処理も可能である。取得したデータはシステム内のメモリに保存されるとともに無線LANを介してデータベースサーバに格納される。

α システム（ローラ加速度応答法）による地盤剛性



図一3 重機側システムの搭載状況



図一4 振動ローラの加速度計測例と乱れ率の定義

評価手法に関しては図-4に示すように、振動ローラによる転圧に伴い地盤が締固まり地盤の剛性が高まるにつれ、振動ローラの加速度波形が乱れ、その高調波スペクトルから「乱れ率」を算出し(図-4および式(1)参照)、さらに剛性評価式に基づき地盤の変形係数を算出するものである。詳細は文献4～7を参照されたい。

$$\text{乱れ率} = \frac{\sum_{i=1}^3 S_i + \sum_{i=1}^3 S_i'}{\frac{S_0 + S_0'}{F/(m_1 + m_2)g}} \quad \dots (1)$$

本システムの大きな特徴は、振動ローラの諸元をパラメータとした正規化式により、様々な振動ローラに対して適用可能で、地盤の変形係数を施工を行いながら取得できる点である。

なお、密度については、予め試験転圧時にキャリブレーションを行い、材料ごとに現場密度試験値とその付近での加速度解析値から得られる乱れ率との関係を整理し、較正式を定め、管理システムに登録しておくことで、施工時に密度換算を行う。

(2) 現場ネットワーク

本システムの特徴の一つは、リアルタイム施工管理を行い、施工支援と品質管理の合理的な実施を行う点である。このためには情報交換を迅速に行うことは必要で、現場にネットワークを構築し、データ交換を行える環境を整備する必要がある。筆者らは2001年以来、現場における無線LANを利用した施工支援システムを運用しているが²⁾、今回はJV工事事務所まではISDNのみが利用可能で、図-2に示すシステム導入は当初困難に思われた。しかし、今回は国土交通省の協力により、図-5に示すように国土交通省森吉山ダム工事事務所まではADSLによるVPNを構築し、同工事事務所・JV工事事務所およびダム堤体右岸側の試験室間は国交省の光ケーブルを利用させていただいた。試験室から先は、堤体盛土施工中、重機との通信経路が絶えず確保できるように、堤体の右左岸の高台に中継局を設置し、堤体上の重機間を無線LANにてネットワーク化してリアルタイムなデータ交換を可能とした(写真-1)。

また、ネットワーク化により、重機に搭載したシステムの不具合の診断や点検を本社側から遠隔で行うことも可能となった。

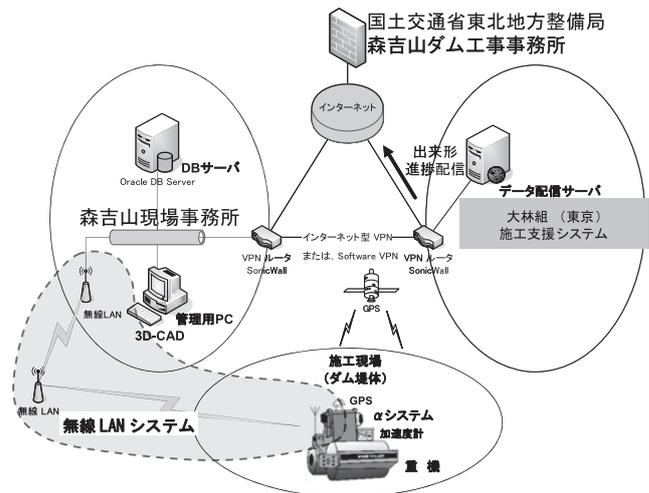


図-5 現場ネットワーク



(1) 試験室側アンテナ施設 (2) 中継局アンテナ施設
写真-1 無線LANシステムの中継局

(3) 3次元情報(3Dプロダクトモデル)の活用

当技術は、現場で取得した施工管理データを3次元CADとデータベースサーバを利用し管理するシステムである。プロダクトモデルとは、従来は製品の設計から製造・使用・保守・廃棄に至るまでのライフサイクルの中で生じる様々な情報を統合的に記述したデータを意味する。従来は製造業での利用が中心であったが、建設分野でもその必要性和有用性が認識されつつあり、当技術は重機土工による施工時の品質・施工管理データを空間情報とセットにして、プロセス管理を行うシステムである。したがって、品質管理、出来形管理を行い、任意の帳票出力を行うことも可能である。

また、当然ではあるが、施工重機に対する施工指示も3D-CAD上で行い、施工計画から品質管理までを一貫して管理することとした。

(4) Webサーバを用いた施工管理

ネットワークを用いた施工支援システムであるという特性を生かし、品質管理データを本社(東京)のサーバにて管理し、必要なデータや帳票等はWebサーバからのダウンロードにて取り扱うこととした(図-2)。データベースサーバ(VPN接続)とデータ配信用のWebサーバを分離した点は、データの安全性の確保の他、以下のようなメリットがあった。

- ①個別のアプリケーションソフトを必要とせずに、Web 環境下の任意の場所（現場事務所／本社支援部門）で施工データの確認，出力，検索ができる。
- ②実務的に現場職員の作業負担を減らすため，予めテンプレートを作成しておくことで，Web ブラウザのメニュー上から簡単な選択で日報や作業指示書等の管理帳票が出力可能となった。
- ③必要とする関係者間（現場事務所／本社支援部門等）での情報共有が可能となった。

図-6 に Web サーバを介してブラウザ上から作成・出力される日報出力例を示す。

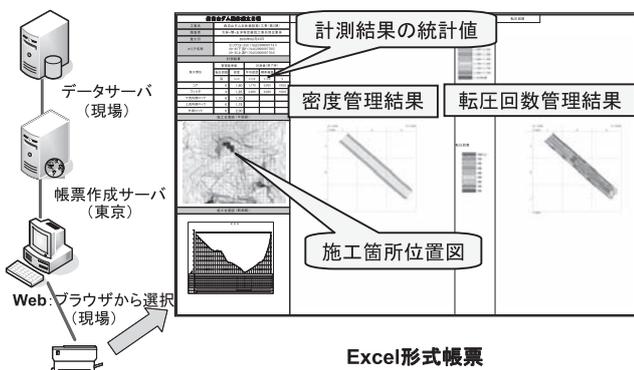


図-6 帳票出力（日報出力の例）

3. システムの運用方法

今回，フィルダムに適用した情報化施工システムの論理構成は図-2 に示した通りであるが，実際の運用の概要と手順を以下に示す。

(a) 施工データの3次元化

設計図書の平面図・断面図および周辺地形データ（2次元情報）を3次元データ（CAD）に変換する。

(b) 施工計画の作成・登録

現場用にカスタマイズした3D-CADシステム（管



図-7 施工範囲の設定

理用 PC) にて施工計画を立案し，振動ローラへの施工指示（各重機の施工範囲，転圧回数等）を作成し，データベースサーバに登録する（図-7）。

(c) 施工計画データの取得

システムを搭載した各振動ローラは，施工範囲等の指示を無線 LAN を介して取得し，施工指示データに従って施工を行う。施工中も振動ローラの施工データ（施工位置，転圧回数，密度情報等）は無線 LAN を介して事務所側データベースサーバに送信・登録される。

(d) リアルタイム施工結果確認

施工完了後は，データベースサーバに登録された施工結果データを規定条件で抽出し，直ちに確認する。

(e) 施工データの管理・帳票出力

データベースサーバに登録されたデータは，データベースで管理を行うことで，施工後の多角的なデータ検討や施工管理図書・竣工図書に利用可能な状態でデータを格納する。また日報等の帳票は現場の定めた帳票スタイルに従い自動的に作成し，現場および必要な部門で Web サーバを介してダウンロードする（図-6）。

4. システム導入のメリット

フィルダム（盛土工事）における今回の情報化施工システムの導入のメリットを以下に列挙する。

(1) リアルタイム施工管理

フィルダム堤体施工のような品質規定型の工法規定においては，計画通りの転圧が品質を保証することとなる。本システムでは，締固めを行う振動ローラのオペレータは，転圧管理システム（車載 PC）にて施工範囲が所定の転圧回数の色に全て塗りつぶされることを確認しながら施工を行う（メッシュによるコンター管理：図-8）。これにより，工法規定に対しての確実な施工管理が可能となった。

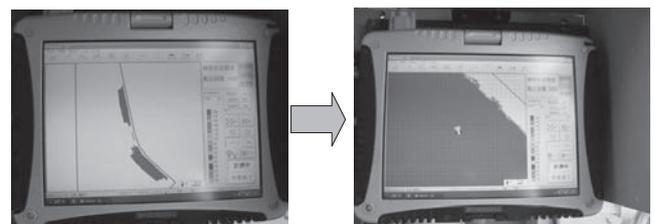


図-8 車載 PC での転圧状況の確認

また，品質規定型の場合には，従来手法（日常管理手法として現場密度試験の実施）に加えて，本システ

ムを用いることにより、振動ローラによる転圧時に地盤の変形係数・密度を自動判定することで、締固め施工を行いながら地盤の品質評価を行うことができた。従って、所定の剛性や密度が得られない場所の検知も速やかに可能となり、施工中に追加転圧の実施や置換えによる対処の判断も行え、品質の確保がより確実なものとなる可能性がある。

また、施工データおよび自動判定結果は、無線LAN等の通信回線を用いることで事務所のデータベースサーバに順次転送されることから、職員が事務所にいる場合にも、管理用PCにて現地の施工状況を随時把握することができ、品質確保にも貢献した(図-9)。

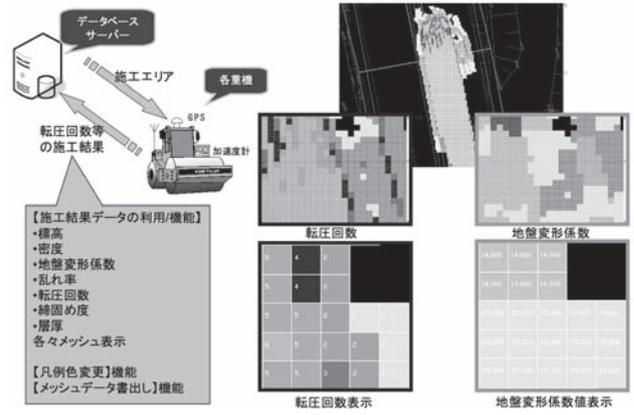


図-10 施工管理データ概念図

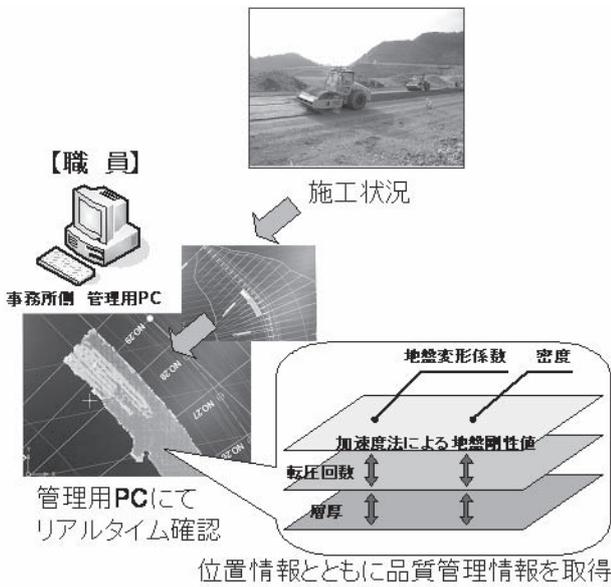


図-9 リアルタイム施工管理の概念図

(2) 3次元の面的管理

振動ローラによる施工時には、自車位置と加速度応答解析による地盤変形係数と密度をリアルタイムに判定し、これを50cmメッシュに走行軌跡から求めた転圧回数とともに記録・管理した。このデータは施工エリアのほぼ全領域をカバーしたもので、各メッシュには転圧回数・標高・品質管理データが数値データとして格納されており、表示切替えにて図-10の施工管理データ概念図のように、各種の表示が可能となった。

さらに、多数のデータを取得できることは客観的な統計手法を用いた品質管理も可能となり、図-11に示すようなデータの検討も可能となった。

(3) 土構造物のトレーサビリティ

施工時に取得された施工データ、品質管理データがそのまま3次元データとしてデータベースに登録・格

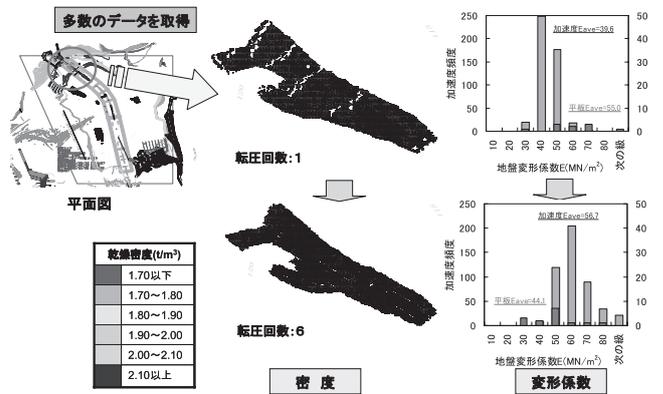


図-11 施工データの取得と管理(統計的検討の例)

納されることから、竣工後の維持管理段階においても必要により、施工時の品質情報を抽出・確認が可能となる。したがって、全数検査に近い当システムは、土構造物のトレーサビリティの向上を可能とすることが期待できる。

(4) 安全性の向上

品質管理が、従来手法(現場密度試験)から本システムに計測方法が替わると、現場計測における人的作業が減少するとともに、機械と人間との作業の分離が行えることから、安全性の向上に寄与する(写真-2)。



(a) 従来手法(水置換) (b) 本システム
写真-2 従来手法と本システムによる試験計測状況

5. おわりに

情報化施工の導入にあたっての制度面を含めた問題点に関しては、他の論文に譲ることとし、今回のシステム導入による施工プロセスの変化を最後にまとめる。

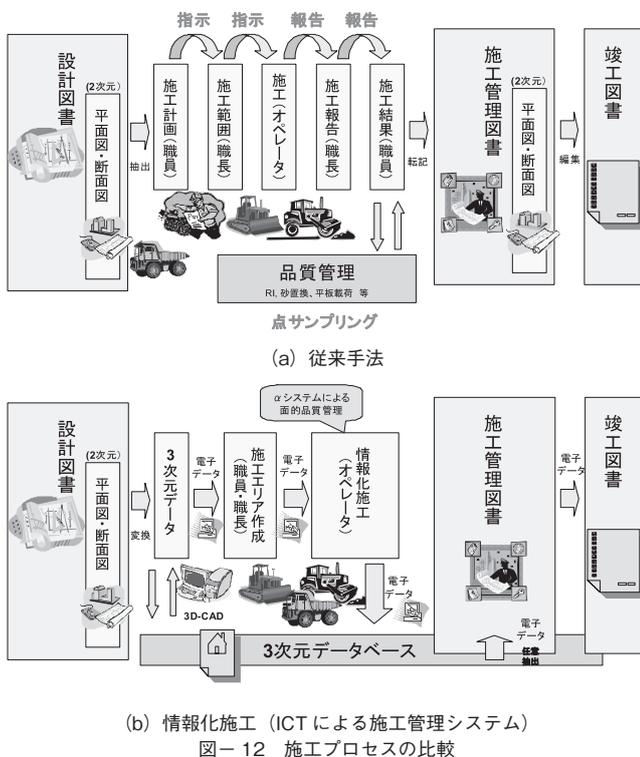
図-12に、従来手法と当システムを用いた施工管理プロセスのイメージを示す。本システムを用いると、従来手法の施工指示が職員から職長へ、職長からオペレータへと伝達される手順が簡素化され、電子データとして確実にオペレータへ指示事項が届くこととなる。また、各データはデータベースに格納されること

から、CALS/EC対応の竣工データの出力も容易に行えることとなる。

また、日常の品質管理結果が短時間で出力可能となることから、施工管理の合理化にも繋がり、さらに新しい品質管理手法と従来手法をその信頼性を確認した上で適切な頻度で実施することで、工期短縮の実現も可能となる可能性があることが解った。

最後に、今回のリアルタイム施工管理システムの試行は、NETIS 試行申請型の評価試験として実施させていただいたものであり、国土交通省東北地方整備局森吉山ダム工事事務所の方々には、計測機械の提供や通信環境の構築にご理解とご協力を賜り、感謝する次第である。

JICMA



【参考文献】

- 1) 土木学会：土木情報ガイドブック，p.186
- 2) 古屋弘・千葉洋一郎：3Dプロダクトデータを用いた土工施工支援システムの開発と現場適用，第29回情報利用技術シンポジウム論文集，Vol.13，pp.243-250（2004.10）
- 3) 古屋弘：3次元プロダクトモデルを用いた土工施工支援システム，建設企画，[674]，pp.35-40（2006.4）
- 4) 古屋弘・申間正敏：振動ローラに取付けた加速度センサーによるリアルタイム施工管理技術，土と基礎，Vol.50，No.6，pp.19-21（2002.6）
- 5) 藤山哲雄・古屋弘：振動ローラ加速度応答を利用した地盤剛性評価装置の開発，平成16年度近畿地方整備局管内技術発表会（2004.7）
- 6) 古屋弘他：振動ローラ加速度応答法による路床ブルーフローリング装置の開発，第39回地盤工学研究発表会，pp.1309-1310（2004.7）
- 7) 藤山哲雄・建山和由：振動ローラの加速度応答を利用した転圧地盤の剛性評価手法，土木学会論文集 [652/Ⅲ-51]，pp.115-123（2000）

【筆者紹介】

古屋 弘（ふるや ひろし）
 ㈱大林組
 東京本社 生産技術本部
 基盤技術部（情報化施工担当）
 上席技師

