

山岳トンネルにおける IT コンストラクションの現状と新たな取り組み

鈴木 裕彦・林 稔

近年、電子機器や情報化技術（Information Technology, IT）の急速な進歩により、各種の計測機器、測量機器の精度向上・コンピュータの低価格化・情報処理技術・各種解析方法の高度化などが進んだ。この結果、多くの土木工事現場でさまざまな実用レベルの情報化施工が採用され、急速に広まった。本稿では山岳トンネルにおける施工の品質確保、施工費の削減、リスクマネジメントといった観点で情報化施工を活用した事例を紹介する。

キーワード：山岳トンネル情報化施工、自動計測、インターネット WEB システム、AR 技術、位置検知技術、IC タグ、3D モデリング、山岳トンネルの CIM 化

1. はじめに

近年、情報技術分野における急速な技術革新により、各種の計測制御機器の機能向上、コンピュータの低価格化、情報処理技術の高度化といった土木現場における IT の利活用が加速される環境下にある。なかでも都市トンネル、山岳トンネル分野においては厳しい環境下での施工が求められる中、施工の品質確保、施工費の削減、リスクマネジメントといった観点で情報化施工は飛躍的に活用されている。本稿は山岳トンネルの情報化施工（IT コンストラクション）の各種システムを紹介するものである。

2. 山岳トンネルの情報化施工事例の紹介

山岳トンネルにおける情報化施工に求められる技術として以下が挙げられる。

- 1) リアルタイム計測・測量・出来形管理による施工へのフィードバック
- 2) ジャンボ、ロードヘッダ等機械遠隔監視による施工の精度確保
- 3) 検査機器の活用とデータ共有による品質確保
- 4) 周辺環境に配慮した施工管理
- 5) 機械・坑内作業員の動きを把握することによる安全管理
- 6) インターネットを活用したリアルタイム管理によるリスク回避
- 7) 現場条件や施工情報を三次元化表示することに

よる情報の可視化

- 8) 連続するトンネル施工管理情報の共有化

(1) リアルタイム計測・測量・出来形管理による施工へのフィードバック

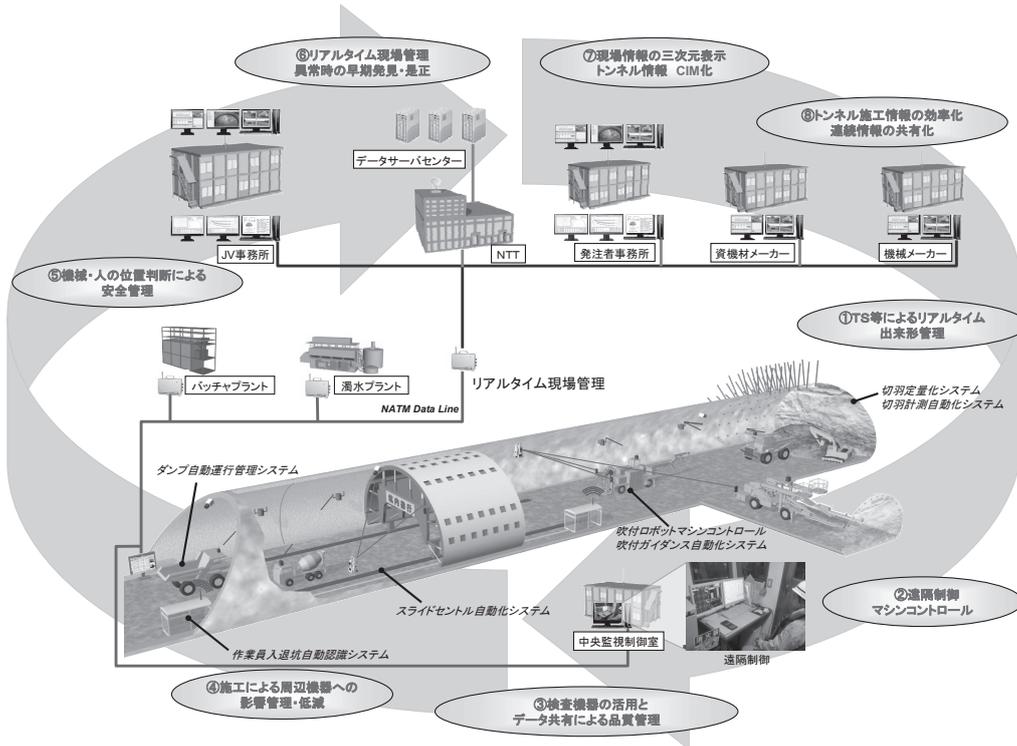
計測制御技術（測量業務及び計測業務の効率化）

：Cyber NATM

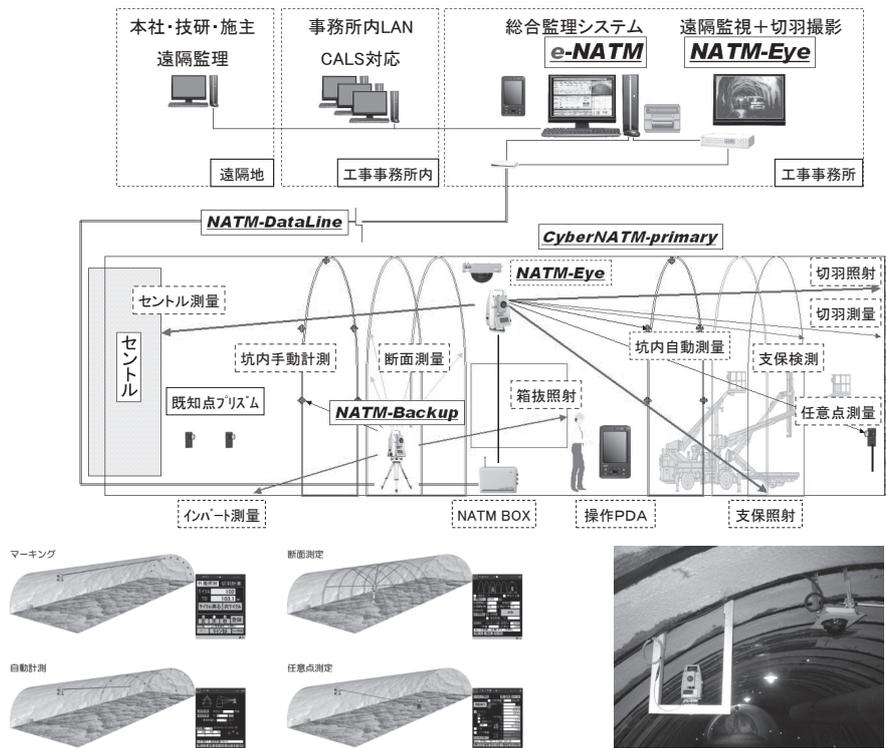
従来、複数の作業員で数時間かかっていた測量作業が、現在では1人で、なおかつ数分程度でできるようになった。さらに無人測量（自動測量）も可能となり、施工中のリアルタイム測量管理ができるようになった。この作業時間の短縮により、NATMにおける「余掘り管理」は、施工過程で実施することができるようになった。そして施工の正確さと経済性への追求が可能となった。

このシステムは山岳トンネルにおける測量・線形管理という施工管理業務を自動化することで、リアルタイムに現場状況を把握し、早期に施工へフィードバックすることを実現したシステムである。

CyberNATMはその名前に“NATM”という単語を含んでいるとおり NATM（New Austrian Tunneling Method）の施工管理向けのシステムである。トータルステーションと PDA および事務所における PC をネットワークにより結合したシステムで、①多機能な測量・計測システム、②多種多様なレーザーマーキング機能、③包括的な施工管理機能という3つの大きな特徴を持っている。



図一 山岳トンネル ICT 活用概念図



図二 測量・計測システム構成図

(2) ジャンボ、ロードヘッダ等機械遠隔監視による施工の精度確保

AR 技術 (画像データを利用したガイダンス技術)
 : MOGRASS (モグラス)
 坑内に設置したカメラ画像を活用した AR 技術とし

て削孔ガイダンスシステムを紹介する。ジャンボにカメラおよびターゲットを複数点設置し、予め位置関係を求めておいて、ジャンボ停車位置にてターゲットを測量し、カメラの位置や向きの情報を得る。削孔時にガイダンスすべき3次元情報(目標位置)をカメラ映

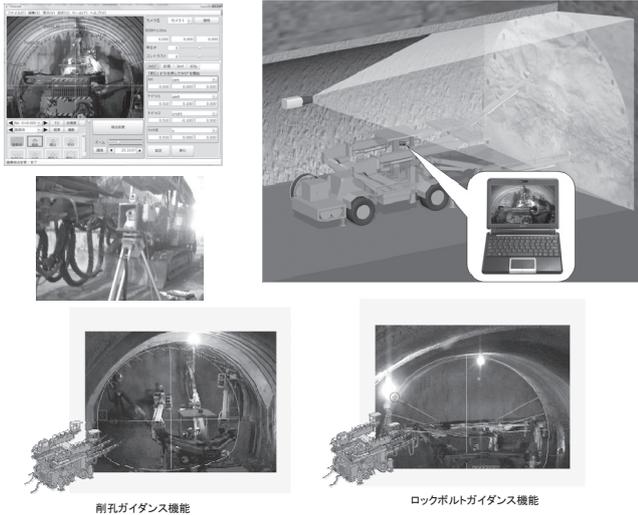


図-3 AR技術を活用したガイダンスシステム例

像に重なるように画像座標系に座標変換し、カメラ映像の上に表示する。現場作業者はこれらが映し出されたPCモニターを見ながらブームが目標位置に重なるようにブームを操作する。

人間の経験と勘・目視による判断で操作を行ってきた重機等のナビゲーションについても、測量やセンサー技術の高度化により「より速く」・「より正確に」・「より安全に」を求めて技術開発が進んでいる。これは完全に自動化する一歩手前の技術で、あくまでも技術者を支援するためのシステムとなる。これは従来の

「経験や勘による施工」ではなく「ITを活用した高度情報化施工」を実現するシステムで、ナビゲーションに従って操縦することで、誰もが同じように施工することが可能となる。

(3) 検査機器の活用とデータ共有による品質確保
インターネットカメラ活用技術（コンクリート強度遠隔試験システム）NETIS登録
：コンクリート遠隔検査システム

インターネットを介して工事事務所・発注者・協力業者を結び、コンクリートの検査を遠隔で行うためのシステムである。従来は一箇所に集まり立会いで検査をしていたものが、離れた場所にいながらにして検査

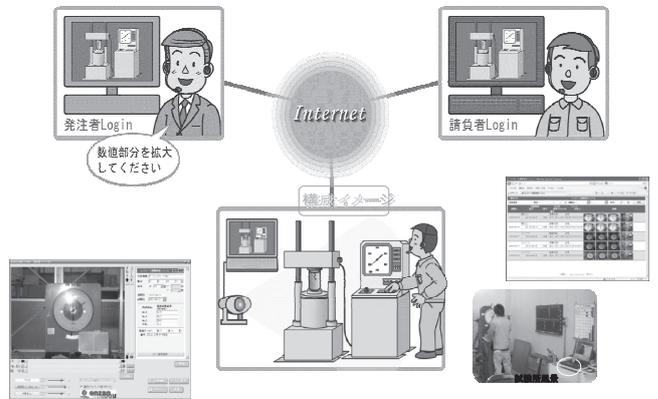


図-4 コンクリートWEB検査システム

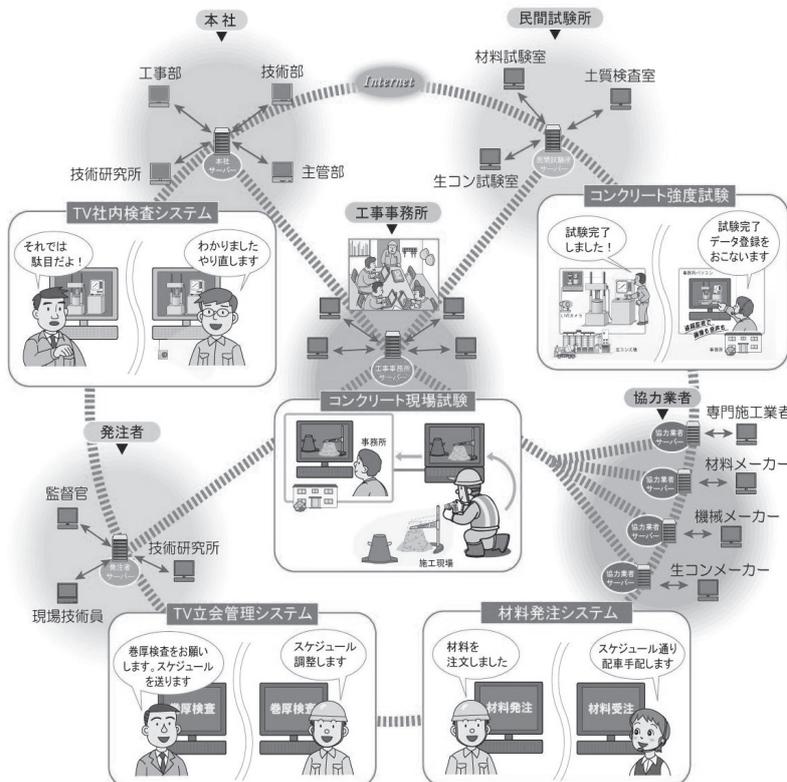


図-5 インターネットを活用した検査手法

できるようになった。これにより、移動時間がなくなるだけでなく、冗長な待ち時間も短くなる。検査に立会う人がそれぞれ時間を有効に使うことができるようになり、現場管理の効率化が図れる。このことは、ネットワーク技術の進歩により検査結果だけではなく、映像を使ったコミュニケーション自体をリアルタイムにとることができるようになったことで、信頼性が必要となる立会い検査についてもオンラインでできるようになった例であるといえる。

(4) 周辺環境に配慮した施工管理

無線 IC タグを活用した換気設備制御システム
: Eco ナビ FAN

EcoナビFANは坑内作業(削孔作業・ずり出し作業・吹付け作業等)を切羽付近で自動検知し、作業データを坑外に設置しているコントラファンに無線伝送して自動的にインバーター制御を行い、電気量削減を目指す新しい省エネルギートンネルシステムである。従来は坑内作業を把握して坑外に設置しているコントラファンの起動や坑内のダストセンサーの検出により集塵機の電源の入切を行っていた。どうしても人依存になる

ため、場合によっては電源を入れっぱなしの状態があり、莫大な電気料を消費する結果となっていた。本システムは作業の内容に応じて高速・中速・低速を自動的に制御して効率的な電気設備の利用とエコロジーに配慮したシステムである。

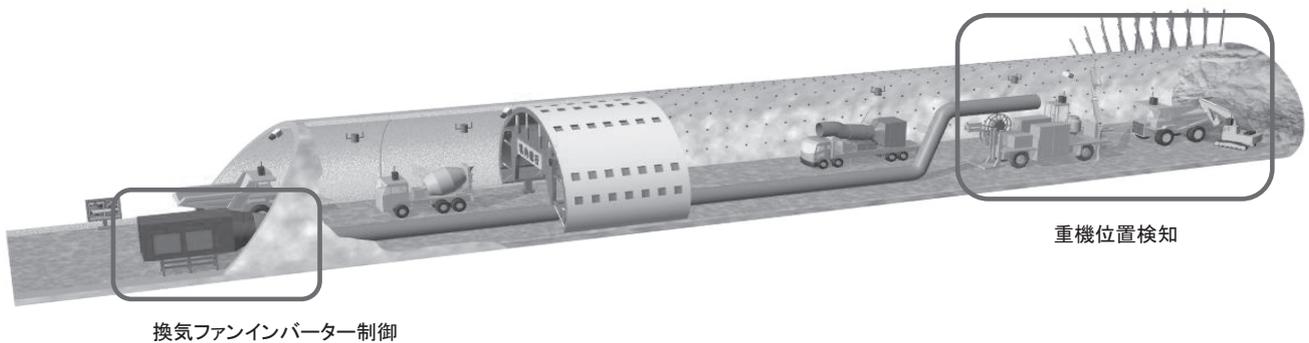
(5) 機械・坑内作業員の動きを把握することによる安全管理

無線 IC タグ利用による位置検知システム安全管理
: いちけん

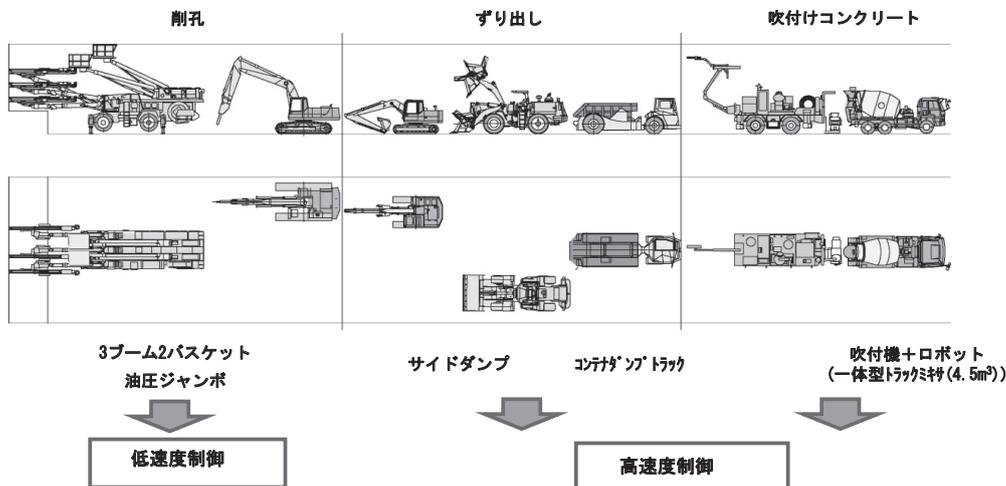
従来位置情報検知機能はGPSが活用されるが、トンネル等地下構造物においてはGPSが使用できない。そこで本システムは坑内において簡易なメッシュネットワークを構築して作業員に携帯したタグの位置情報を電波強度から算出して作業員の位置を特定するものである。なお本システムには入退坑管理機能も付加することにより、遠隔で坑内の作業員管理が可能である。

(6) インターネットを活用したリアルタイム管理によるリスク回避

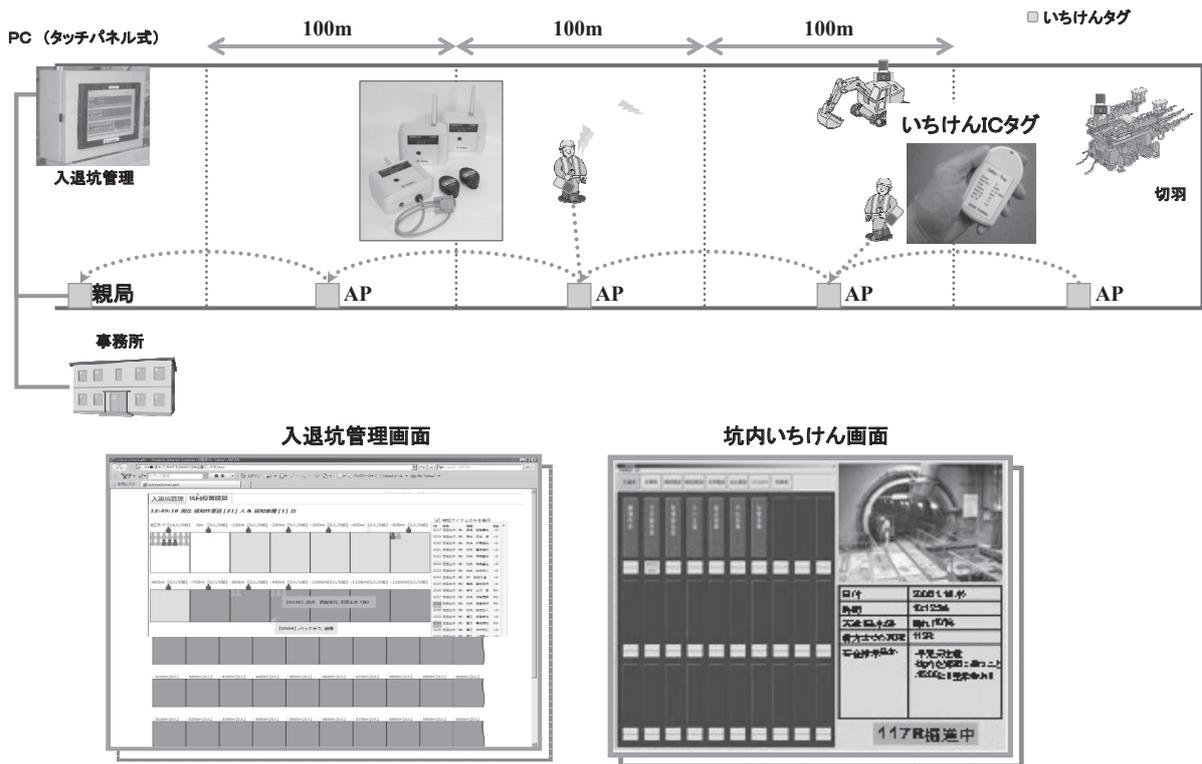
坑内での計測情報などリアルタイムにデータ伝送



図一六 IC タグ技術の換気制御システム



図一七 トンネル工種に応じた制御方式



図一八 IC タグを活用した位置検知システム

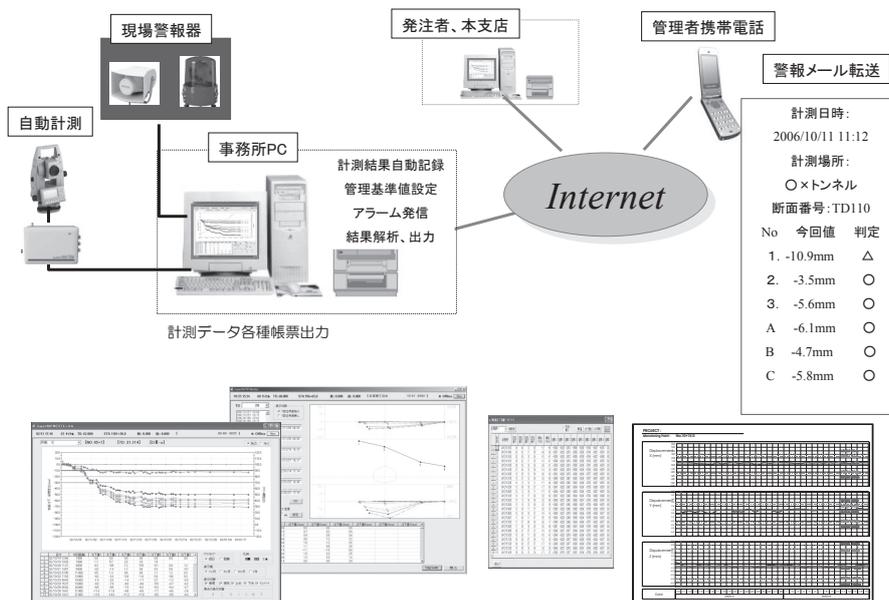
し、作業とは別のエリアにてパトライトや携帯端末等にて表示することにより、緊急時の対応を把握する。

(7) 現場条件や施工情報を三次元 CAD にて表示することによる情報の可視化

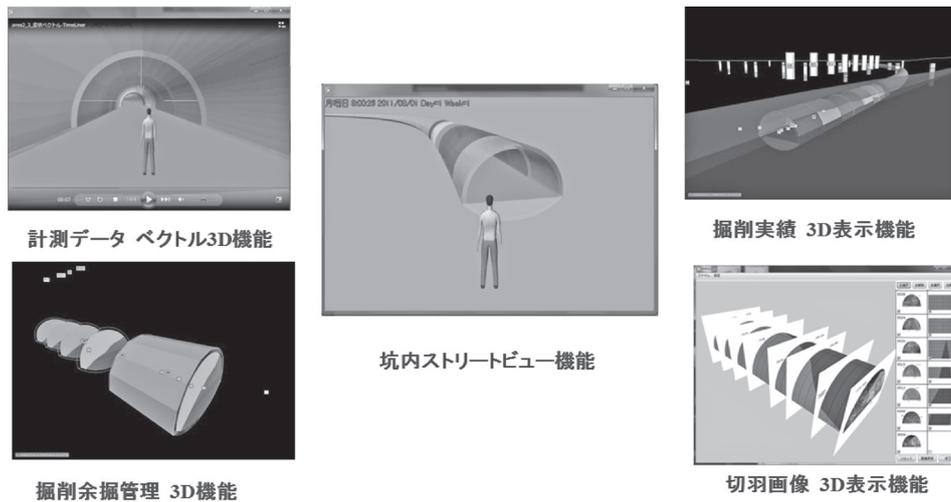
現場情報（地形情報、切羽情報、計測結果等）の三次元化 : Cyber3DVIEW

本システムは CyberNATM で収集したデータ（計

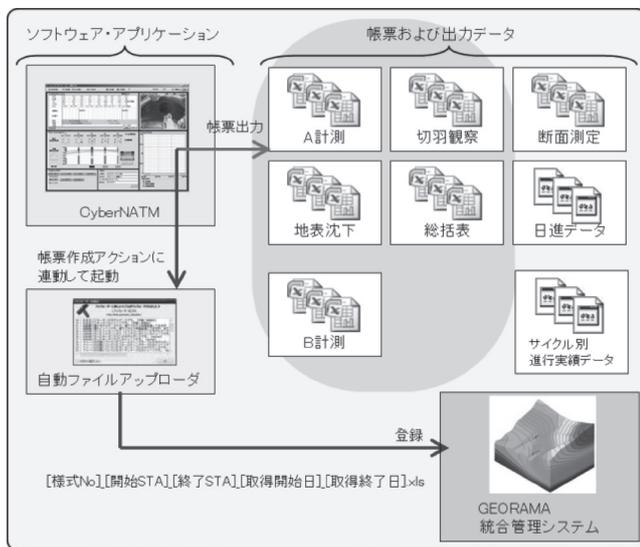
測結果、断面測定結果）また坑内切羽観察システムによる地山評価結果、施工実績記録（進行データ、実績パターン等）を CAD モデル PC に自動的に流し込み、3D 表示するものである。これにより、トンネル施工時の地質の変化や施工状況の動き等を視覚的に表示することにより、現場状況をよりわかりやすくさせるものである。



図一九 インターネット活用したリアルタイム管理



図一 10 山岳トンネルにおける三次元モデル



図一 11 三次元ビューアーとトンネルシステムとの連携図

3. おわりに

情報化施工・IT コンストラクションを導入することは、現場における施工の効率化を目指すものである。山岳トンネルをはじめとした建設の現場では、作業員の熟練の度合いにより大型機械を操作し、重要な判断はしばしば熟練専門技術者の知識・経験・勘に委ねられてきた。しかし、現在では山岳トンネルの現場に限らず現場ごとに行えることからさまざまな工夫がなされている。本稿で紹介したIT コンストラクションの

紹介事例は、当社のコアコンピタンス（核となる技術）である、①測量器やセンサーなどで「測る技術」、②測った結果を「記録する技術」、③記録した内容を各種端末で「見せる技術」、そして④これらの技術を互いに「つなぐ技術」によって作り上げたシステムにより成り立っている。

現場におけるさまざまな物理量や作業に関わる情報を電子化・デジタル化し、現場や事務所の技術者がそれらの情報を共有できるようにネットワークで結ぶことで、施工の最前線だけではなく工事管理者も含めてIT化を実現できると思われる。今後、施工の自動化に向けて情報化施工はより加速すると思われる。

JICMA

【筆者紹介】



鈴木 裕彦 (すずき ゆうひこ)
 株演算工房
 営業部



林 稔 (はやし みのる)
 株演算工房
 代表取締役