# (10) 山岳トンネル工事における計測可視化・分析システムの開発と複眼管理手法の確立

阿子島　学[1]・小山　尚晃[2]・工藤　翔太[3]・北村　義宜[4]
秋山　崇裕[5]・亀山　好秀[6]

[1]正会員　鹿島建設株式会社　土木管理本部（〒107-8477 東京都港区元赤坂 1-3-8）
E-mail: m-akoshima@kajima.com

[2]非会員　鹿島建設株式会社　土木管理本部（〒107-8477 東京都港区元赤坂 1-3-8）
E-mail: n-koyama@kajima.com

[3]正会員　鹿島建設株式会社　土木設計本部（〒107-8477 東京都港区元赤坂 1-3-8）
E-mail: kudosho@kajima.com

[4]正会員　鹿島建設株式会社　土木設計本部（〒107-8477 東京都港区元赤坂 1-3-8）
E-mail: y-kitamura@kajima.com

[5]正会員　鹿島建設株式会社　土木設計本部（〒107-8477 東京都港区元赤坂 1-3-8）
E-mail: akiyamta@kajima.com

[6]正会員　鹿島建設株式会社　北海道支店　仁木トンネル JV 工事事務所
（〒048-2402 北海道余市郡仁木町大江 1 丁目 117 番地）
E-mail: y-kame@kajima.com

山岳トンネル工事では，安全かつ効率的に施工するため，工事事務所に設置した専用システムで変位等の計測データを日常的に管理しているが，施工実績とは別に管理されることが多く，計測データと施工実績を関連付けた整理・分析は工事担当者の大きな負担となっていた．また，これら計測管理を元にした意思決定は，工事担当者の経験則によるところが大きく，複数の技術者や専門家と情報を共有し複眼的に管理できる仕組みが求められていた．

そこで，迅速な工事現況把握と工事担当者の負担軽減を目的に「山岳トンネル工事における計測可視化・分析システム」を開発し，さらに計測データを一元的に収集・管理し，複眼管理を実現する「データマネジメント基盤」を構築した．本稿では，実証試験によりその有効性を確認できたため，概要と今後の展望を報告する．

***Key Words:*** *mountain tunnes, measurement management, data management, meta data*

## 1. はじめに

山岳トンネル工事では，日常的な計測管理として観察調査と変位計測を行う計測 A と，地山条件や周辺環境に応じて適宜追加される計測 B を実施し，トンネルの安定性評価や支保パターンの妥当性を確認しながら，安全かつ経済的に施工を進める．これらの計測管理データは，工事事務所に設置される専用システムを利用して整理・帳票化することが一般的であるが，その他の施工実績（TD，測点，進行記録，支保パターン割付けなど）と分けて管理されることも多く，工事現況の把握には時間を要する．また，切羽状況に応じて適切な支保パターンを選定するために岩判定会議を開催するが，その判断材料となる計測管理データと施工実績の整理・分析は，工事担当者の負担の大きい作業である．

また，計測管理データと施工実績の整理・分析による判断は工事担当者の経験則によるところも多く，複数の技術者や専門家がどこからでも同じ管理画面やデータを共有し，複眼管理を通じて個々の経験に偏らない意思決定を行える仕組みが求められていた．しかし，工事事務所内にある専用システムの管理画

面を複数人で共有したり，データを取得する場合，リモートアクセスによる画面共有方式が採用されたりするが，同時アクセス時に画面操作の制限が発生したり，データの取得が手動となり，継続的にデータを収集できないといった課題があった．

そこで，これらの状況を改善し，迅速な工事現況の把握と工事担当者の負担軽減を目的に，「トンネル計測可視化・分析システム」を開発するとともに，個々の現場それぞれが専用システムで蓄積している計測データを効率的に収集，管理し，複数の技術者や専門家が可視化，分析のできる「データマネジメント基盤」をクラウド上に構築した．さらに，本仕組みを山岳トンネル工事に適用し，その有効性を確認することができた．

## 2.システムの概要

### (1) 山岳トンネル工事におけるトンネル計測可視化・分析システムの概要

本システムの代表的な 3 つの機能を説明する．

**a) 基礎的情報の一元表示 見出し**

観察調査・計測結果（A・B 計測，切羽評価点，地質展開図，切羽写真）に加え，山岳トンネル工事において標準的に収集・管理する施工実績（TD，測点，土被り，破壊エネルギー係数，進行記録，支保パターン割付け，装薬量など）を基礎的情報として 1 画面に表示させた（**図-1**）．表示項目は，チェックボックスの選択で追加・削除を行えるようにし，現場毎に自由に表示をカスタイマイズすることも可能である．

**b) 情報分析ツール**

従来は，専用システム内に保存された計測データを Excel や CSV に出力したのち，データを整理・加工して分析を行っていた．本システムでは，例えば，初期変位速度と最終変位の相関を分析する場合，画面上の“初期変位速度”と“最終変位量”を選択すれば直ちに相関図が表示され，そのまま Excel 形式で出力させることが可能である（**図-2**）．また，支保パターンや地山等級による分類や TD や計測期間を区切るなど，分析条件の設定も容易に行うことができる．

**図-3** には，分析結果を一元表示画面に映し出した例を示している．切羽スケッチと画像処理技術を活用したトンネルの切羽崩落危険度予測結果，坑内変位の収束予測グラフを一元表示画面に映し出した例である．このような表示方法を採用することで，担当者の分析・判断を効果的に補助することができる．（**図-3**）．

**c) 岩判定会議資料の作成支援ツール**

従来は，計測データや施工実績など多くの点在する施工管理データをひとまとめにすることに多くの時間を要し，工事担当者の負担が大きい作業であった．本システムでは，工事開始時に予めフォーマットを定めておけば，以降は，ワンクリックで蓄積されたデータから自動的に岩判定資料を作成できる．また，本ツールにより工事担当者の経験に依存しない資料作成が可能となり，岩判定会議資料の標準化に繋がると考える．




**図-1** トンネル計測可視化・分析システムの一元表示画面




図-2 分析ツール画面

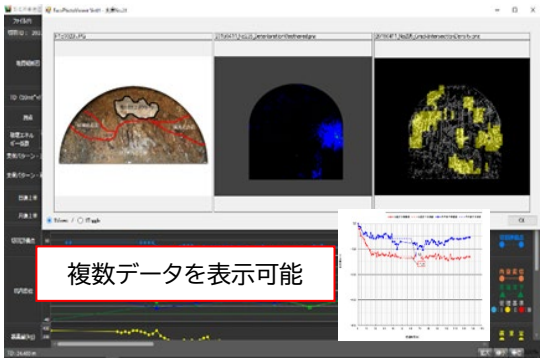



図-3 分析結果の重ね合わせ画面

### (2) 複眼管理を実現するデータマネジメント基盤の概要

遠隔地の工事現場の計測データをいつ，どこからでもアクセスでき，複数の技術者や専門家による複眼管理を実現するには，個々の現場の計測データを継続的に収集，蓄積し，効率的に共有や活用のできる仕組みが必要である．

導入の容易さからリモートアクセスによる画面共有方式を採用することもあるが，同時アクセス時に画面操作の制限が発生したり，データ取得が手動になるといった利便性に関する課題がある．（**表-1**）

**表-1** リモートアクセスとデータマネジメント基盤の比較

| | リモートアクセス | データマネジメント基盤 |
|---|---|---|
| データ可視化・分析 | △<br>(複数人同時利用は制限あり) | ○<br>(複数人で利用可) |
| 一元的なデータの収集・蓄積 | △<br>(手動操作のため煩雑) | ○<br>(自動収集が可能) |
| 実現性 | ○（工事事務所単位では容易に実現可能） | △（全社的なシステムを構築する必要あり） |

そこで本稿では，リモートアクセス方式は複眼管理には不向きと考え，データの収集，蓄積，可視化，分析のできる「データマネジメント基盤」をクラウド上に構築することとした．

また，「データマネジメント基盤」には，データを収集，蓄積するためのデータレイクと呼ばれるストレージ機能やデータレイクにあるデータを整理，加工し，多くの人が活用・分析できるようにデータウェアハウスと呼ばれる機能が必要とされる[1)]が，今回実現した方法は，次の通りである．

**a) データの収集・蓄積方法**

個々の現場では計測データを記録したり，可視化するために専用PCを使用している．そのPCに市販のバックアップソフトウェアを導入し，クラウド上のデータマネジメント基盤に定期的に計測データをアップロードしている．（**図-4**）．また，クラウドサービス内では，そのままデータを受け取り，データレイクとして蓄積するだけなく，後述のメタデータの付加等の処理も加えている．

これにより，計測データは自動でインターネットを経由して継続的に「データマネジメント基盤」に集約され，以前のように個々の現場の専用 PC から手動でデータをコピーするといった手間も不要となった．また，クラウド上に構築したことで，どこからでもアクセスできるうえ，直感的なWebユーザーインターフェースも備えていることから，遠隔地に在籍する技術者や専門家も容易にデータを確認したり，手元にダウンロードすることが可能となった．

**b) データ整理・管理手法**

また，計測データを収集する際には，後続のデータ分析・活用を考慮し，保存するフォルダ構造を工夫するだけでなく，当該データの 5W1H（When，Where，Who，What，Why，How）がわかるようメタデータを付与し，管理している．「データマネジメント基盤」には，このメタデータをキーとして検索する機能を有しており，個々の技術者の目的に応じたデータの絞込みに役立つだけでなく，検索条件をデータカタログとして公開し，再利用することもできる．

**c) データの可視化・分析**

クラウドに収集，蓄積されたデータの可視化は，個々の現場の「トンネル計測可視化・分析システム」を遠隔地の技術者の各自の PC で実行できるようにすることで実現した．「トンネル計測可視化・分析システム」を改修することなくそのまま実行できるようにするため，クラウドストレージを外付けのハードディスクとして利用できるソフトウェアを使用している．これにより現場と同じ可視化・分析画面を共有でき，複眼管理のできる環境を構築した．

また，蓄積されたデータをクラウド内のデータウェアハウス等にロードすれば，汎用の分析ツール等を用いて独自のデータ分析，活用も可能である．

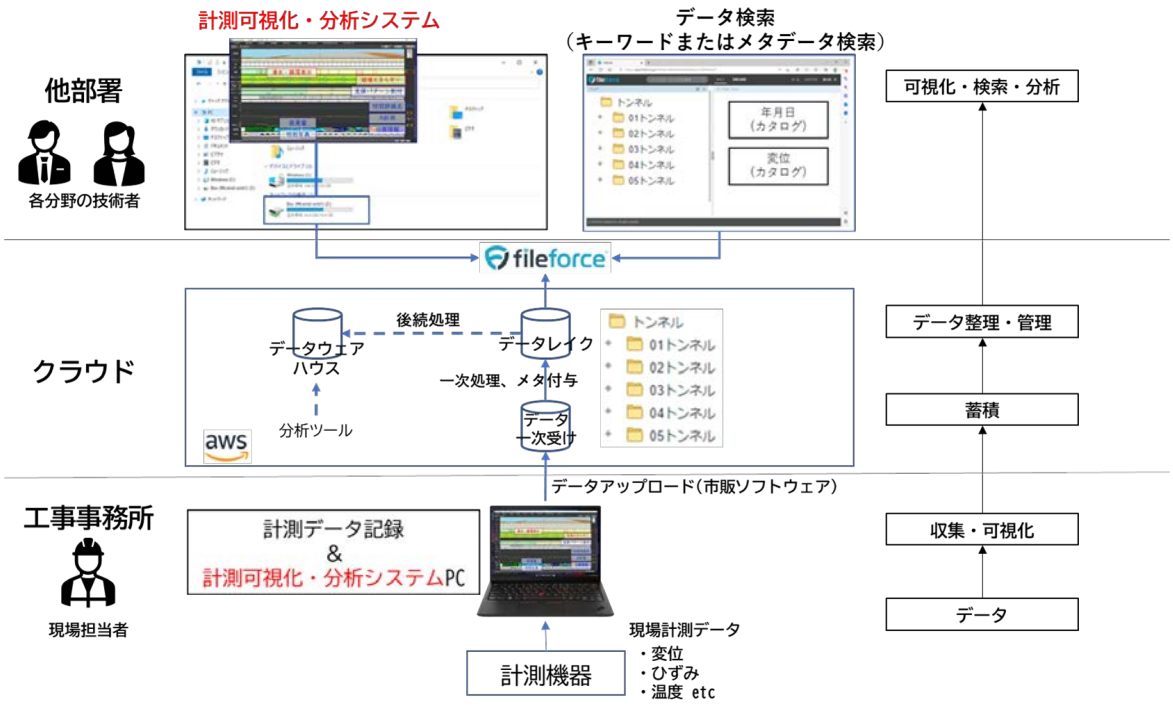



**図-4** データマネジメント基盤の概要図

## 3. 現場での実証試験とその効果

山岳トンネル工事では，工事の安全性，生産性向上を目的に ICT の活用が進んでいる．トンネル坑内では，掘削管理のために設置された切羽カメラ映像やレーザー測量機で計測されたデータが Wi-Fi ネットワークを通じて工事事務所に送信され，専用の掘削管理システムで集中モニタリングされている．一方，これら計測データやシステムは，個々の現場内でのみ利用されており，遠隔地の技術者が直ちに状況を確認することはできなかった．

そこで，「トンネル計測可視化・分析システム」と「データマネジメント基盤」を国土交通省北海道開発局小樽開発建設部発注の一般国道 5 号仁木町仁木トンネル工事に適用し，掘削管理における工事担当者の作業負担軽減と複数の技術者，専門家により複眼管理が行えるかを検証した．

その結果，「トンネル計測可視化・分析システム」は，従来の専用システムを利用した計測管理方法に比べ，現場内での情報共有が迅速に行えることを確認した．また，情報分析ツールや岩判定会議資料の作成支援ツールの活用により，工事担当者の負担を軽減でき，計測管理に関わる作業時間が削減され生産性が向上した．

さらに，「データマネジメント基盤」を通じて，現場から遠隔地にある本社管理部門の技術者や専門家も現場と同じ「トンネル計測可視化・分析システム」を利用したり，計測データを確認することができた．これにより，本社管理部門と現場とが状況を正確に共有でき，現場の経験則に偏らない複眼管理を確立した．

## 4. 今後の展望について

「トンネル計測可視化・分析システム」については，BIM/CIM と連動させることを予定している．具体的には，地形・地質情報と破壊エネルギー係数を三次元に拡張して表示させることにより，詳細に地質の変化を捉え，施工の安全性向上に繋げていく．加えて，掘削～覆工構築の出来形測定を 3D スキャナによる点群測量で実施し施工実績と関連付けることで，施工中から維持管理まで幅広く活用していく．

また，本稿の仕組みは弊社の山岳トンネル工事に順次展開していくが，「データマネジメント基盤」に各現場の計測データが集積されるため，現場を横断して分析したり，他工事の施工状況も容易に確認することが可能となる．

さらに，実証試験では，計測データの収集頻度を 1 日 1 回としていたが，今後は現場のネットワーク回線の使用帯域に配慮しつつ，収集頻度をあげることで，よりリアルタイムな複眼管理を目指している．

システムとデータと複眼管理を通じて，より安全かつ経済的な施工を目指すとともに，現場の生産性向上に繋げていきたい．

### 参考文献

1) 独立行政法人情報処理推進機構：DX 白書 2023 第 3 章データ利用活用技術, pp. 281-296