

山岳トンネル CIM 総合管理システムによる 現場管理の高度化

原 久 純・諏 訪 至・吉 平 安 生

国土交通省が推進している BIM/CIM (Building/Construction Information Modeling, Management) により、各分野で 3 次元モデル活用の取組みが行われている。山岳トンネル工事では、詳細な「3 次元地質モデル」を基に BIM/CIM を構築し、断層の出現予測等に活用した事例がある。一方で、掘削中に得られた削孔データ等を基に地山性状を 3 次元評価するシステムや変位予測解析するシステムが開発されているが、BIM/CIM とは独立して運用しているに留まっている。そこで、独自開発した前方探査・変位計測及び数値解析結果を 3 次元モデルで一元管理でき、簡便な操作性により高精度な地質・変位予測結果を共有可能な「山岳トンネル CIM 総合管理システム」を開発した。本稿は、開発したシステムの概要及び適用事例について紹介する。

キーワード：山岳トンネル, BIM/CIM, 前方予測, 一元管理

1. はじめに

国土交通省が推進している i-Construction の施策により、BIM/CIM (Building/Construction Information Modeling, Management) が加速している。2023 年度からは小規模を除くすべての公共工事で「BIM/CIM 適用工事」として原則化し、未経験者も取組可能な内容として発注者が活用目的を明確にすることで、受発注者双方の業務の効率化・高度化が促進されることになる。

施工者側にとっても、施工計画の検討補助、合意形成等の「視覚的な効果」, 「不可視部の 3 次元モデル化」等で施工リスク削減等の活用目的が明確となることで、従来以上に 3 次元モデルを活用する機会が増え、より現場の生産性向上が期待される。特に山岳トンネル工事は、自然環境と向かい合いながら見えない箇所を掘り進めるという施工の性格上、リスク削減・施工管理の高度化は非常に重要な位置付けとなるため、BIM/CIM の活用が大いに期待される分野である。

現状、山岳トンネル工事における 3 次元モデル活用の具体例としては、地質構造等の事前に得られる情報から詳細な「3 次元地質モデル」を基に BIM/CIM モデルを構築し、断層出現予測へ活用した事例等が挙げられる。しかしながら、実施工の掘削中に得られたデータに関しては、切羽前方や周辺地山の地山性状の 3 次元評価、変位を予測解析するシステムへの利用は行わ

れているものの、BIM/CIM モデルとは独立した内容に留まっている。

そこで当社では、施工中に得られる前方探査・変位計測データ及び数値解析結果を 3 次元モデルと連携することで一元管理し、現場目線での簡便な操作性により、高精度な地質・変位予測を共有可能とする「山岳トンネル CIM 総合管理システム」の開発を行った。

本稿では、開発したシステムの概要及び適用事例について報告する。

2. 山岳トンネル CIM の先行事例及び課題

山岳トンネル工事での BIM/CIM の活用においては、詳細な地質情報を 3 次元モデル化し、「山岳トンネル CIM」として構築した先行事例がある¹⁾。予め入手した地質情報を基に 3 次元地質作成ソフト「Geo-Graphia」²⁾ で詳細な地質モデルを作成し、3 次元モデルから任意測点の地質断面図を作成することで、切羽面の断層出現位置や地質変化の予測、計測点増設の検討や掘削前の注意喚起に活用したという事例である。更に竣工時には切羽観察記録等の施工情報を 3 次元モデルへ取込み、「CIM 事業における成果品作成の手引き(案)」に則って発注者への電子納品を行った。

しかし、この工事では、以下の 3 点が課題として挙げられた。

①施工情報を 3 次元モデルへ更新する場合には、作業手

順が多い。

- ② 施工情報の蓄積により、3次元モデルの動作が遅くなる。
- ③ 切羽前方や周辺地山の地山性状を3次元評価するシステム³⁾や変位を予測解析するシステム⁴⁾の解析結果が既存のBIM/CIMモデルに取り込めないため、個別のシステムで運用せざるを得ない。

3. 山岳トンネル CIM 総合管理システム

前述した課題を踏まえて、山岳トンネル工事におけるBIM/CIMモデルによる業務の効率化・施工管理の高度化を目指し、3次元地質モデルと実際の削孔検層等を基に予測・解析した結果等を統合管理する「山岳トンネル CIM 総合管理システム」を開発した。本システムは下記の概念図に示す通り、事前調査等の予測・解析結果と進捗等の施工情報で構成し、必要な情報を各施工段階において一元的に管理できるシステムとなっている（図-1）。



図-1 山岳トンネル CIM 総合管理システム概要図

(1) システム構成

本システムの具体的な構成は、既存の3次元ビューワソフト「E-G Modeling」に、地質・計測・探査結果等の多様な施工情報の表示に必要なインポート機能、3次元モデルの表示切替や属性情報の表示が簡便なツール、動作遅延が少ないビューワ画面を追加し、これらを主要基盤として構築している（図-2）。

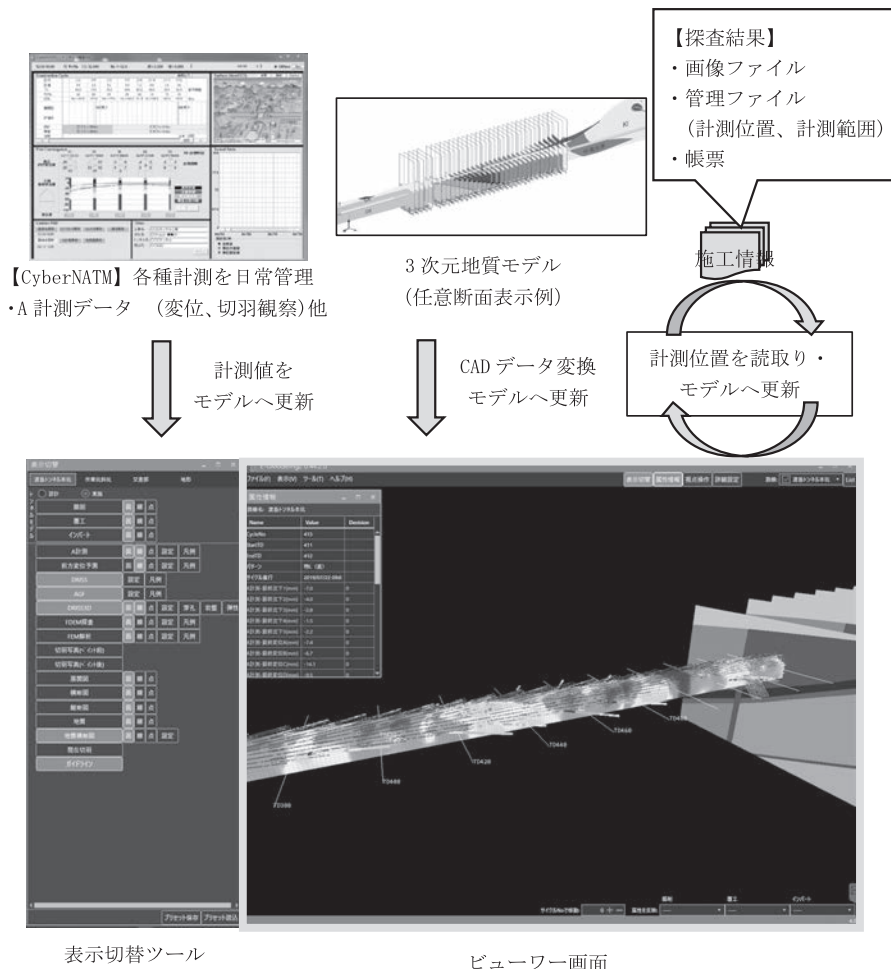


図-2 山岳トンネル CIM 総合管理システム構成

(2) 保有機能

①自動インポート機能

例えば電磁探査（以下、FDEM）結果のインポートなど、各探査結果の「画像ファイル」や計測位置及び範囲をリスト化した「管理ファイル」を指定したフォルダへ格納することで、ビューワー画面上へ探査結果を自動更新できる。これにより、3D-CAD上で画像貼付等の手作業での編集操作が不要となる（図-3）。

②表示切替ツール

表示切替ツールを実装し、削孔検層やFDEM探査等の「探査・解析結果」や「地質情報」を管理項目に追加したことで、常に更新されている多様な探査・解析結果から任意のデータをリアルタイムで閲覧することができる（図-4）。

③帳票出力機能

本システムとトンネルの各種計測・日常管理する掘

進管理システム「CyberNATM」⁵⁾とを連携し、A計測等のデータと3次元モデルを自動で紐付けする機能を実装した。例えば内空変位の経時変化を閲覧したい場合は、閲覧したい3次元モデルを選択するだけで、紐付いた任意の帳票が容易に出力できる（図-5）。

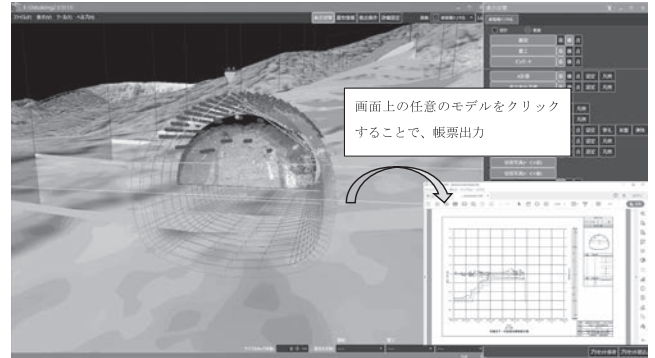


図-5 内空変位の帳票出力例

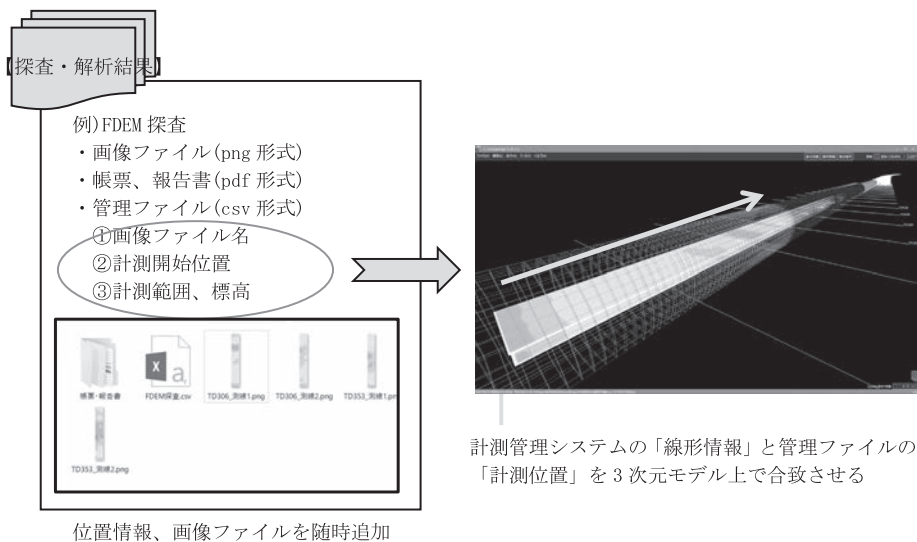


図-3 FDEM 探査結果のインポート

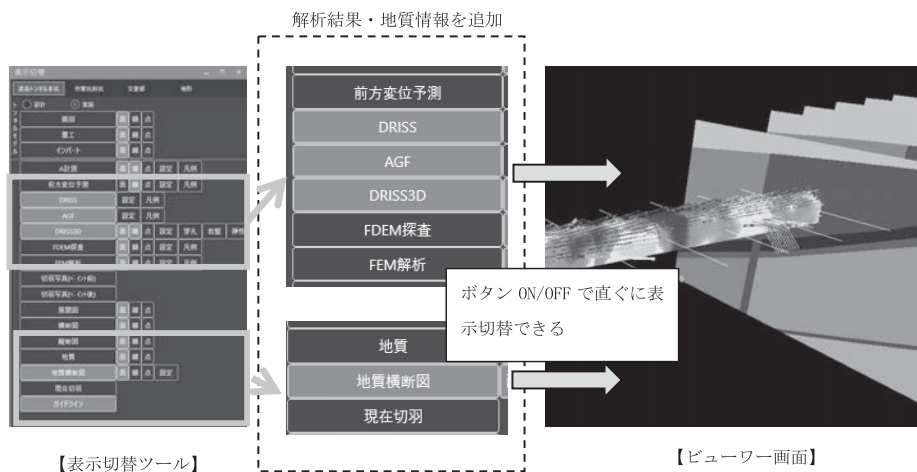


図-4 表示切替ツールによるビューワー反映例

4. 実工事へのシステム導入

本システムを実工事へ試験導入した。当該現場では、掘削開始側の小土被り区間において固結度の低い層が分布し、また全線においては複数の断層が出現する区間が存在していた。更に、以奥には断層による破碎等の影響により、脆弱な地層の出現が懸念された。

(1) 3次元地質モデル化

システム導入にあたっては、まず3次元地質ソフト「Geo-Graphia」を使用し、国土地理院の数値地図データ、地質縦断面図・平面図や事前調査報告書等を用いて地質技術者の高度な知見を基盤とした詳細な3次元地質モデルを作成した。作成した3次元モデルの地形範囲が広範だったので、ビューワー画面での動作遅延を少なくするよう、トンネル内部を貫通させた地質モデルと、任意間隔で作成した地質の横断面図とで再構成した。また、再構成後のモデルはDXF形式で出力することで、本

システム以外の汎用ビューワーソフトでの閲覧も対応可能とした(図-6)。

(2) BIM/CIMの活用

トンネル工事における施工管理の各段階で、BIM/CIMを活用した。施工計画から竣工までの各フェーズで想定される活用内容と期待される効果を下記に記す。

①施工計画時

事前調査による地質情報(地質断面図、ボーリング情報等)から作成した3次元モデルにより、断層の出現位置や地質の変化点、出水懸念位置等を施工前に詳細に把握することで、リスク対策等の様々な準備や事前協議を講じることができる。

②施工段階

各種前方探査・予測解析データを一元管理することで、地質分布や掘削変位の3次元的な予測・把握をより高精度に行うことができる。また、既掘削区間のデータをこれから掘削する区間の予測にリアルタイムで

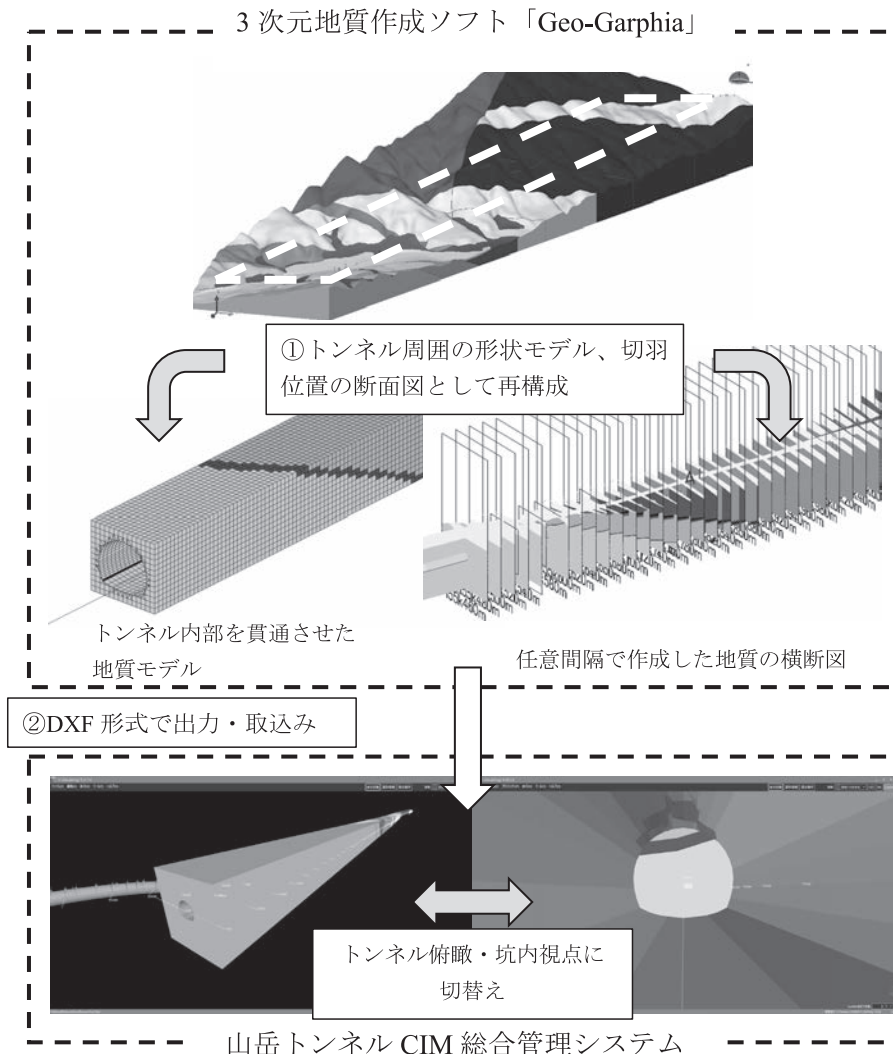


図-6 3次元地質モデルの反映手順

フィードバックすることが可能となる。また、施工中の安全性向上や管理業務の効率化が期待できる。

③竣工後

各種データを一元管理することにより、施工情報のトレーサビリティが確保できる。また、画像等の詳細な記録を残すことで、供用開始後の維持管理業務、将来的な更新工事等への活用も期待できる（図一七）。

5. 導入結果の検証

本システムを導入することで、主に以下の2つの効果が得られた。

(1) 各種施工記録の更新・編集を簡略化

従来活用していたBIM/CIMの機能での作業時間と、本システムのインポート機能を利用した作業時間をFDEM結果の画像データ50ファイルをモデルへ紐付ける作業を例に比較した（図一八）。

従来機能の場合、画像貼付に必要な面モデルをCADで計測範囲に合わせて作成し（手順①）、計測位置に対応した画像ファイルと面の向きを指定したうえで配置する（手順②・③）必要があるため作業工数がか

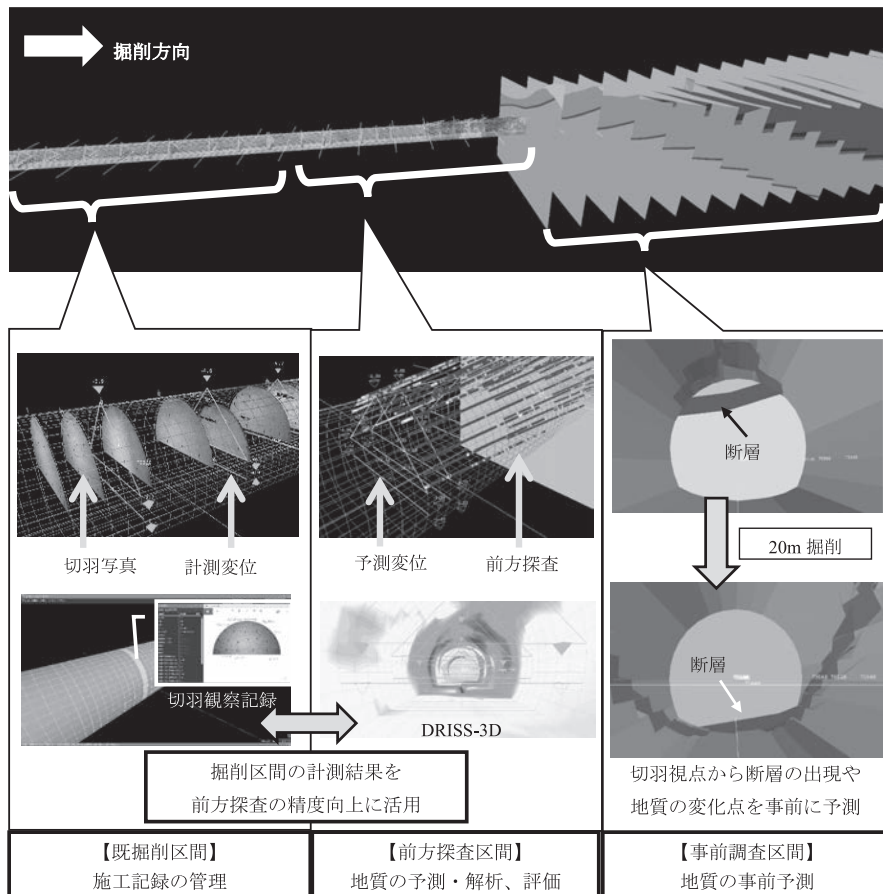
かかる。また、再編集・修正する場合はCAD操作等の手順を都度繰り返す手間が発生する（図一八（a））。

一方、本システムの自動インポート機能を活用することで、ファイルを指定のフォルダへ格納するだけでデータが自動で紐付くため、従来機能と比較して作業時間全体で2分程度の短縮が図ることができた。また、手順②の管理ファイルから簡易に計測位置・計測範囲を入力することが可能なため、修正時における作業時間も短縮できた（図一八（b））。

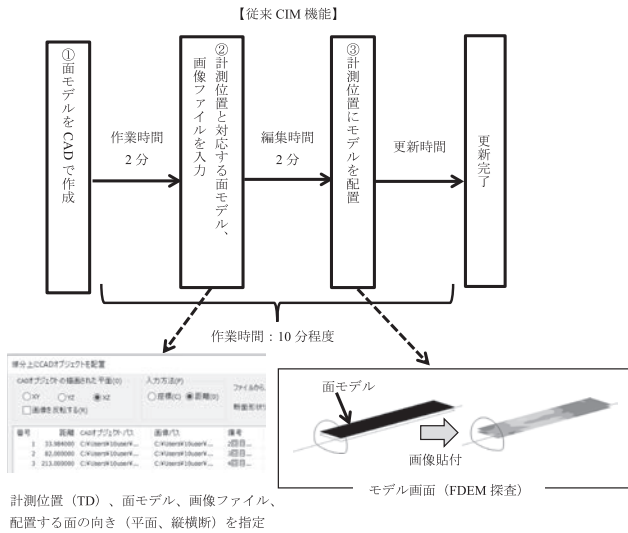
今後、この自動インポート機能を活用して、電磁探査等の表示項目を拡張することで、施工段階で必要な情報を閲覧するだけではなく施工データを蓄積し、迅速なトレーサビリティを確保することによって、維持管理業務への展開も見込まれるものと考えている。

(2) 岩盤強度の評価・判断を迅速化

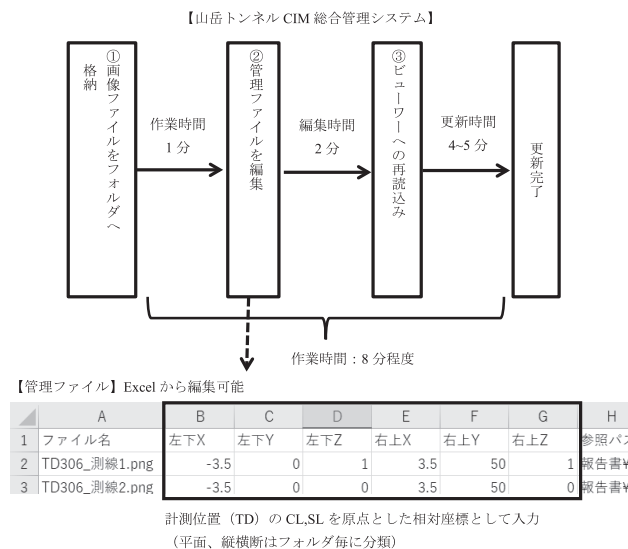
事前地質情報より、予想された断層を通過する区間について、削孔検層（DRISS）を基に3次元評価システム「DRISS-3D」で解析した岩盤強度分布と、切羽観察写真とを本システムの表示切替ツールを駆使して可視化し、比較検討を行った。その結果、断層区間において、トンネル左肩で岩盤強度が低いと予測され、



図一七 各段階におけるシステム活用例



(a) 従来機能



(b) インポート機能

図—8 施工記録の更新手順比較

切羽観察写真から得られた地質変化の傾向が概ね一致していることが詳細に確認できた。

このことから、今後予想される断層等の危険個所を事前に評価して、補助工法検討等の施工リスク回避への対応が迅速になるとともに、関係者間で情報を共有することで、安全性向上・手戻り防止等への効果も期待できることが分かった (図—9)。

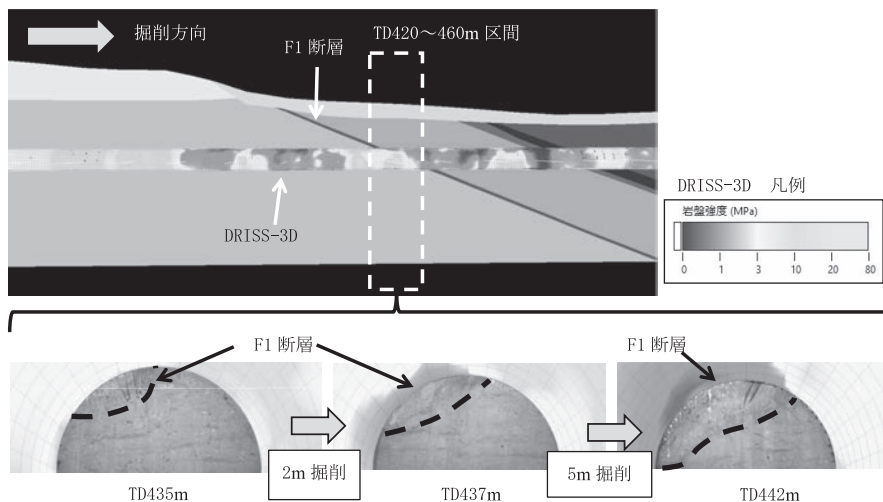
6. おわりに

BIM/CIM を含む DX の推進が建設分野でも急速に広がりを見せている。経験を頼りに施工する時代から、データを駆使して安全・安心な施工を行うことが標準の時代になりつつある。また、我が国の生産労働人口の減少や働き方改革等の社会的課題を背景として、業務の効率化のみならず、省人化・省力化を目指すことは、自然災害が激甚化・頻発化する近年において、建設業全体の喫緊のテーマのひとつでもある。

本稿では、山岳トンネル工事において、予測解析結果を一元管理・共有可能な「山岳トンネル CIM 総合管理システム」を開発、導入した事例について述べた。このシステムは、施工データを BIM/CIM モデルと紐付け、施工管理の高度化を図り、業務の効率化や施工リスクの削減の一助となった。今後は、更なる地質予測の高精度化や品質確保、工期・業務時間短縮への活用を目指すとともに、維持管理分野への活用を視野に機能向上を進める所存である。

最後に本システムを開発、適用・実施するに当たり、ご協力頂いた関係各位に深く感謝の意を表します。

JCMIA



図—9 断層区間の岩盤強度、切羽写真比較例

《参考文献》

- 1) 原久純・田中勉・鬼頭夏樹：3次元地質モデルを活用した山岳トンネル CIM の現場適用事例，土木学会第 72 回年次学術講演会概要集，VI-798，pp.1595-1596，2017.9.
- 2) 地層科学研究所 HP：http://geolab.jp/geo-graphia/
- 3) 山下雅之・山本悟・三井善孝・塚田純一：トンネル掘削時の削孔データを使用した 3 次元地山評価システムの開発，トンネル工学報告集，Vol.28，I-32，pp.1-6，2018.
- 4) 山下雅之・竹村いずみ：トンネル変形予測システム「PAS-Def」，切羽前方探査技術と数値解析を組み合わせるとトンネル切羽前方の変形挙動を迅速に予測，建設機械，pp.43-47，2015.9.
- 5) ㈱演算工房 HP：https://www.enzan-k.com/

【筆者紹介】

原 久純 (はら ひさずみ)
西松建設㈱
土木事業本部 土木部 土木 DX 推進課
主任



諏訪 至 (すわ いたる)
西松建設㈱
土木事業本部 土木設計部 設計 2 課
課長



吉平 安生 (よしひら やすお)
西松建設㈱
北日本支社 札幌支店 新幹線渡島出張所
所長

