

# 山岳トンネル CIM 総合管理システムの開発

## Development of Management System for Construction Information Modeling in Tunnel Construction

|                 |              |
|-----------------|--------------|
| 原 久純*           | 諏訪 至**       |
| Hisazumi Hara   | Itaru Suwa   |
| 川口 幸治***        | 内田 裕二****    |
| Kouji Kawaguchi | Yuuji Uchida |
| 田中 勉*           | 小野 利昭*****   |
| Tsutomu Tanaka  | Toshiaki Ono |

### 要 約

国土交通省は、公共事業の計画から調査・設計、施工、維持管理に至る一連の過程において、ICTや3次元モデルを活用して各情報の一元化、効率化を図ることを目的に、CIM（Construction Information Modeling/Management）<sup>1)</sup>を推進しており、各工種の設計・工事においてCIMの試行が行われている。当社でも、地質情報を3次元モデル化し、施工情報と統合管理するCIMを山岳トンネル工事に適用しているが、前方探査から地山性状や変状を予測・解析する西松独自のシステムとは独立した運用に留まっている。

本報では、西松独自の予測・解析結果を一元管理し、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、現場適用事例について報告する。

### 目 次

- はじめに
- 山岳トンネルCIMの先行事例及び課題
- 山岳トンネルCIM総合管理システム
- 渡島トンネルにおけるCIM
- まとめ

### §1. はじめに

国土交通省は、平成24年度から調査・設計段階及び施工、維持管理の公共事業の一連の過程においてICT（Information and Communication Technology）と3次元モデルを活用するCIMを提唱し、設計業務及び工事においてCIMの試行が行われ、一連の建設生産システムの効率化を図る取り組みが進められている。平成29年度にはCIM導入ガイドラインが整備されて、CIM活用業務・工

事の発注が始まり、CIM活用が本格化されつつある。当社でも、施工段階における品質向上と効率化を視野に取り組んでいる。

CIMの適用分野として、土工、河川、橋梁、トンネル、ダム工事が挙げられ、地形・地質及び構造物等の形状を3次元モデルで表現するほか、施工データなどの各種情報を属性としてモデルに与え、可視化ならびに一元管理して、計画支援や関係者間の情報共有などを図っている。

山岳トンネル工事では、地質を忠実に再現し、かつ任意断面を表示可能な「3次元地質モデル」を基に構築したCIMにより、断層の出現予測等に活用した事例がある<sup>2)</sup>。しかし、既存ソフトの操作が複雑であること、前方地質の予測・解析システムと独立した運用であることが課題である。そのため、操作性の向上と施工データと統合可能なシステムとして再構築することで、前方の地質予測の更なる精度向上を目指した。

本報告では、簡便な操作性と西松独自の予測解析結果を一元管理することで、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、北海道新幹線渡島トンネル（台場山）に導入した事例を紹介する。

\* 技術研究所先端技術グループ

\*\* 土木設計部設計二課

\*\*\* 土木部 CIM 推進室

\*\*\*\* 土木技術部

（現：九州（支）松浦1号トンネル（出）

\*\*\*\*\* 北日本（支）新幹線渡島（出）

§2. 山岳トンネル CIM の先事例及び課題

山岳トンネル工事において、詳細な地質情報を3次元モデル化し、山岳トンネル CIM として構築した事例として、「平成26-28年度 拳ノ川トンネル工事」<sup>2)</sup>が挙げられる。現場では、小土被り区間で、複数の断層が想定されたため、地質図面等の地質情報を基に3次元地質作成ソフト「Geo-Graphia」<sup>3)</sup>から詳細なモデルを作成した。また、3次元モデルから任意測点の地質断面図を事前に作成することで、切羽面の断層出現位置や地質変化を予測でき、計測点増加の検討や掘削前の注意喚起に活用した。竣工時に、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)」に則り、発注者へ電子納品した。

しかし、導入した現場において①施工情報を3次元モデルへ更新する場合に作業手順が多いこと、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こと、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<sup>4)</sup>、変位を予測解析するシステム<sup>5)</sup>の解析結果は既存の CIM 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ことの3つが課題として挙げられた。

§3. 山岳トンネル CIM 総合管理システム

山岳トンネル工事において、3次元地質モデルと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。図一に示す概念図より、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である。

3-1 システム構成

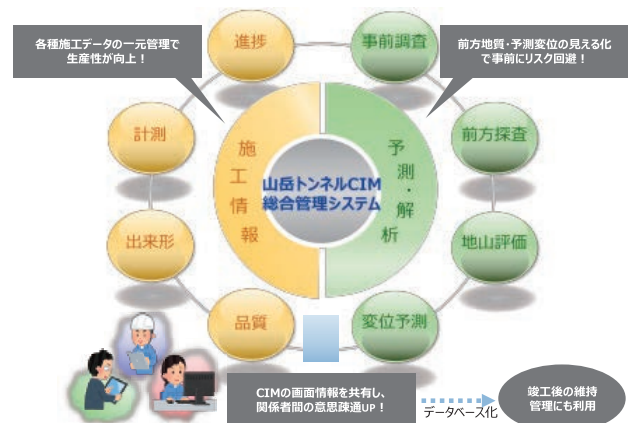
本システムは、既存の3次元ビューワソフト「E-G Modeling」を基に、図一2のように、地質・計測・探査結果等の多様な施工情報の表示に必要なインポート機能、3次元モデルの表示切替や属性情報の表示が簡便なツール、動作遅延が少ないビューワ画面を基盤としている。

3-2 保有機能

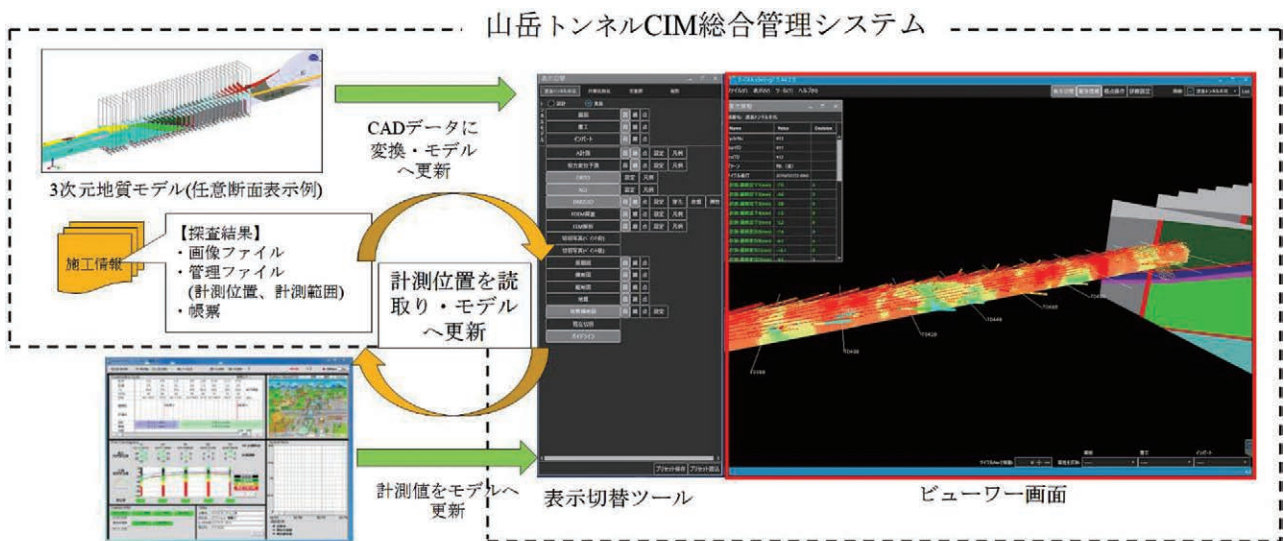
当社独自で追加した保有機能は次に詳述する。

(1) 自動インポート機能

FDEM 探査結果のインポート例を図一3に示す。図一3のように、各探査結果の「画像ファイル」、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 上で行っていた



図一1 山岳トンネル CIM 総合管理システム 概念図



【CyberNAIM】各種計測を日常管理  
 ・A計測データ(内空変位、地表面変位、切羽観察) 他

図一2 山岳トンネル CIM 総合管理システム 構成

探査結果の画像貼付等の編集操作が不要となる。

(2) 表示切替ツール

表示切替ツールの操作によるビューワーへの3次元モデル更新例を図-4に示す。図のように、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直ぐに閲覧できる。

(3) 帳票出力機能

本システムは、トンネルの各種計測・日常管理する掘進管理システム「CyberNATM」と連携し、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有している。また、図-5のように内空変位の経時変化を閲覧したい場合は、閲覧したい3次元モデルをダブルクリックすることで、紐付いた任意の帳票が容易に出力できる。

§4. 渡島トンネル（台場山）におけるCIM

4-1 工事概要

渡島トンネル（台場山）は、北海道新幹線新青森起点155 km 160 m～158 km 660 m（延長3,500 m）間の台場山工区（3,500 m）及び台場山横坑（447.9 m）の工事である。

トンネル掘削は、台場山横坑～本坑をNATMにより施工する。掘削は全線機械掘削方式で、ずり運搬は台場山横坑がタイヤ方式で、本坑はベルトコンベア方式（一部タイヤ方式）で行う。企業先等の工事概要を表-1に示す。

表-1 渡島トンネル 工事概要

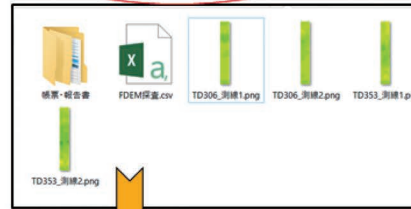
|      |  |
|------|--|
| 工事件名 | 北海道新幹線、渡島トンネル（台場山）                           |
| 工事場所 | 北海道北斗市市内                                     |
| 発注者  | (独) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構                          |
| 請負者  | 西松・植木・中山・戸沼岩崎 北海道新幹線、渡島トンネル（台場山） 特定建設工事共同企業体 |
| 工期   | 2017年3月30日～2025年7月29日（88ヶ月）                  |

【探査・解析結果】

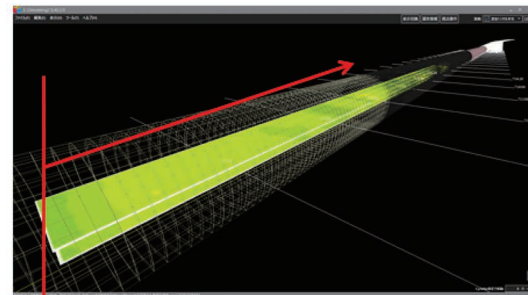
例)FDEM探査

- ・画像ファイル(png形式)
- ・帳票、報告書(pdf形式)
- ・管理ファイル(csv形式)

- ①画像ファイル名
- ②計測開始位置(TD)
- ③計測範囲、標高



指定フォルダの管理ファイルを自動で読取り



計測位置(TD)を始点とし、平面・縦横断に配置

図-3 FDEM 探査結果のインポート例

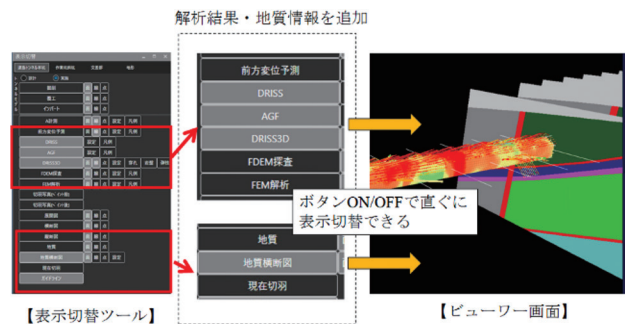


図-4 表示切替ツールによるビューワーへの反映例

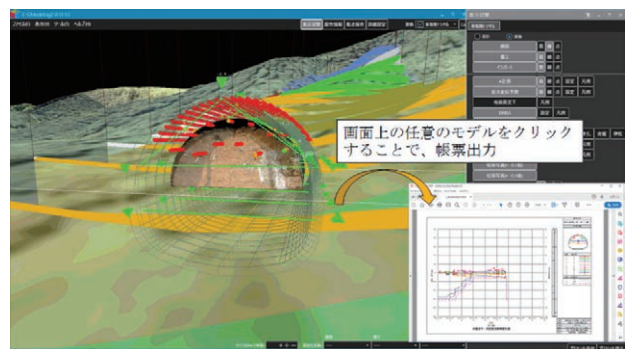


図-5 内空変位の帳票出力例

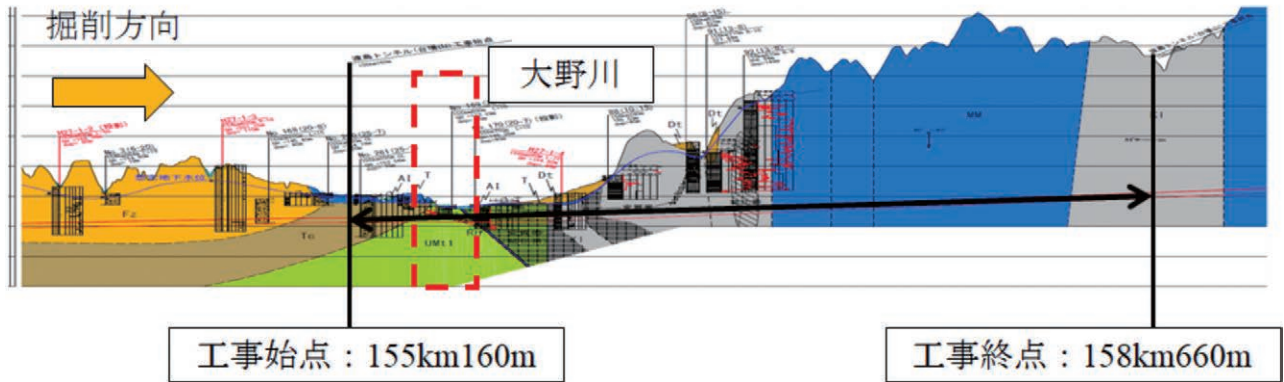
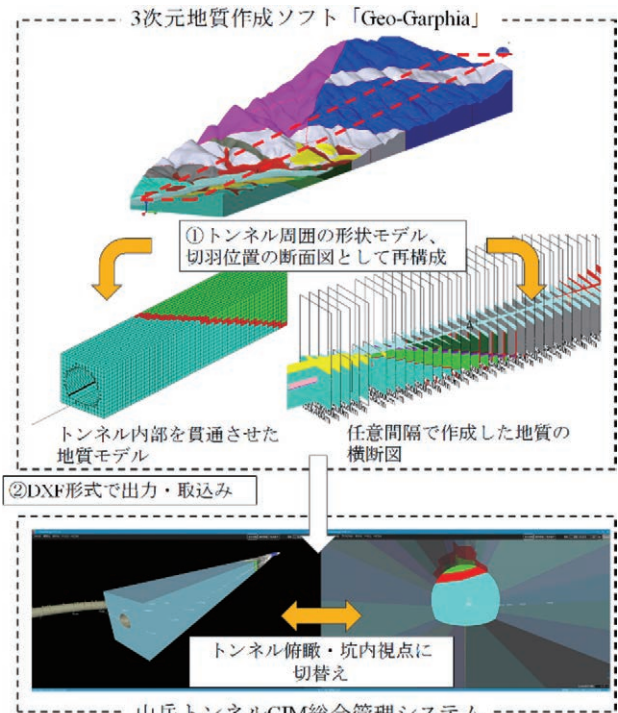


図-6 渡島トンネル地質縦断面図

4-2 渡島トンネル地質概要及びモデル化

渡島トンネルの地質縦断面図を図-6に示す。図-6より、工事始点側の小土被り区間において固結度の低い層が分布している。また、全線において、複数の断層が出現する区間が存在し、終点側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。

そこで、本工事では3次元地質ソフト「Geo-Graphia」により、国土地理院の数値地図データ、および地質モデルとして地質縦断面図・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であり、ビューワー画面での動作遅延を少なくするため、図-7のようにトンネル内部を表示できる地質モデル及び任意間隔の地質横断面図として再構成した。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である。



山岳トンネルCIM総合管理システム 図-7 3次元地質モデルの反映手順

4-3 CIMの運用手順

渡島トンネル工事における各段階でのCIM活用フローを図-8に示す。図-8のように、施工計画から竣工時の各段階で下記のように活用することで、施工中の安全性向上や管理業務の効率化に期待できる。

(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）から作成した詳細な3次元モデルより、断層等の出現位置や地質の変化点を事前に把握することで、事前準備や事前協議に利用することができる。

(2) 掘削中

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える。また、既掘削区間のデータを予測にフィードバックすることができる。

(3) 竣工後

各種データを一元管理しているため、施工情報のトレーサビリティが確保でき、また、画像等の詳細な記録を残すことで、維持管理に活用できる。

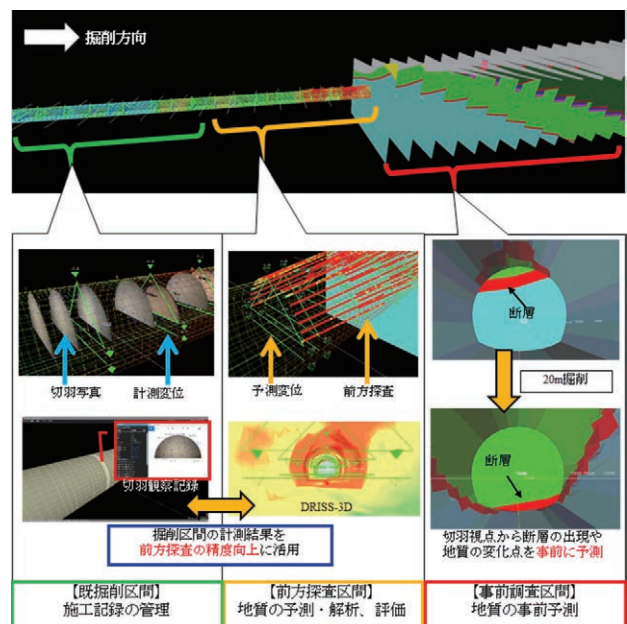


図-8 各段階におけるCIM活用例

4-4 現場導入による効果

本システムを導入することで、次の効果が期待できた。

(1) 各種施工記録の更新・編集を簡略化

FDEM 探査結果を例とし、従来 CIM と本システムのインポート機能の手順を比較した結果を図-9 に示す。

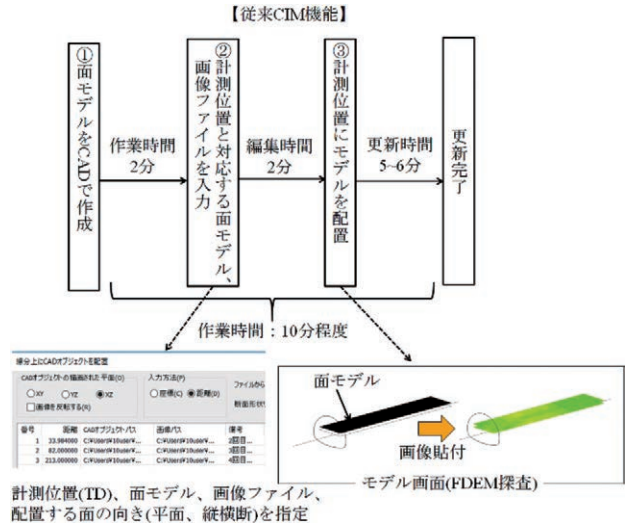
図-9 の作業時間は画像データ 50 ファイル分として換算している。

図-9 (a) の従来機能の場合、手順①として画像貼付に必要な「面モデル」を CAD で計測範囲に合わせて作成し、計測位置に対応した画像ファイル及び配置する面の向き等を手順②で指定する必要がある、再編集・修正する場合は CAD 操作等の手順を繰り返す手間がある。

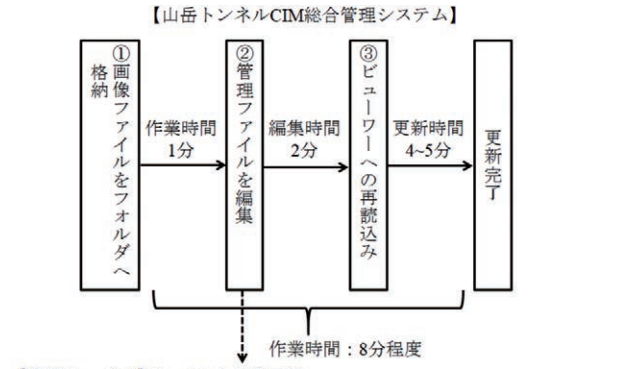
一方、図-9 (b) のインポート機能は、作業時間全体では従来機能と比較して 2 分程度の短縮が図れた。また、手順②の管理ファイルから計測位置、計測範囲を入力することで修正可能なため、修正時の作業時間・手順を簡略化できた。今後、このインポート機能を活用し、電磁探査等の表示項目を拡張することで、施工段階で必要な情報を蓄積・閲覧から維持管理までの迅速なトレーサビリティに活用できる。

(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 F1 断層を通過する区間について、削孔検層を基に 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を比較した結果を図-10 に示す。図-10 より、F1 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、切羽観察写真から地質変化が概ね一致していることが確認できた。このことから、今後予想される断層区間を事前に評価し、補助工法の検討等、施工上のリスク回避への寄与に活用できる。



(a) 従来 CIM 機能



(b) インポート機能

図-9 施工記録の更新手順比較

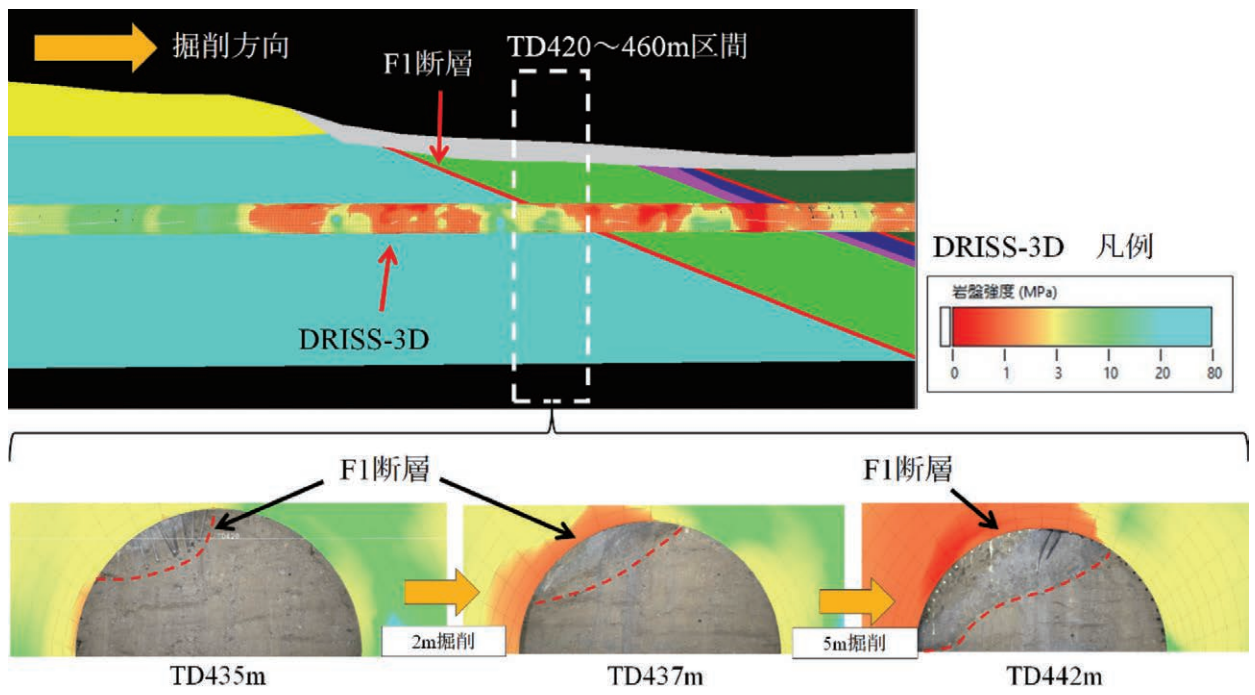


図-10 F1 断層区間の岩盤強度分布と切羽写真の比較結果

## §5. まとめ

本稿では、簡便な操作性と西松独自の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」を開発し、北海道新幹線、渡島トンネル（台場山）へ導入した。本システムの導入に当たり、以下に示す効果を確認できた。

- ① 各施工データのファイル形式及びフォルダを統一することで、3次元モデルへの更新を自動化し、従来の更入手順を簡略化できた。
- ② トンネル計測管理システムと連携し、3次元モデルに帳票を直接リンクすることで、計測点の現在値と経時変化を直ぐに把握できるため、管理業務の効率化が図れた。
- ③ 切羽観察記録、DRISS-3Dによる岩盤強度から、地質変化を高精度に検出できるため、掘削前の安全性検討に期待できる。

今後は、掘削後に得られた地質情報から地質モデルを修正する場合、モデルの新規作成と同等の時間を要するため、修正の手間を省力化し、当初地質との差異を詳細に把握することで、地質予測の高精度化を進めていく。

**謝辞.** 渡島トンネルにおける CIM の適用、実施にあたり、北日本支社新幹線渡島出張所の関係各位にご協力を頂いた。以上の方々に深く感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) BIM/CIM ポータルサイト【試行版】 HP : <http://www.nilim.go.jp/lab/qbg/bimcim/bimcimindex.html>
- 2) 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，第 6 部門，pp. 1595-1596, 2017.
- 3) 地層科学研究所 HP : <http://geolab.jp/geo-graphia/>
- 4) 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.
- 5) 山下雅之・竹村いずみ：トンネル変形予測システム「PAS-Def」一切羽前方探査技術と数値解析を組み合わせるトンネル切羽前方の変形挙動を迅速に予測一，建設機械，pp. 43-47, 2015.