

## BIM/CIM を活用したトンネル設計の高精度化・説明性向上

日本工営株式会社 ○藤 原 勇 輝  
日本工営株式会社 横 山 真 一 郎  
日本工営株式会社 清 水 葉 平

### 論 文 要 旨

少子高齢化に伴う労働人口の減少を受けて、生産性向上を目的とした設計成果の高精度化によるフロントローディングや、設計成果の説明性向上が推進されており、そのツールとしてBIM/CIMが注目されている。

本稿では、新設山岳トンネル詳細設計にBIM/CIMを活用した成果および知見について述べる。具体的には、補助工法および地質の3次元モデルを用いた検証により、高精度な補助工法の配置を行った。また、3次元モデルに時間軸を付与した4Dモデルを作成し施工手順を可視化することで、複雑な工程の説明性向上を図ることができた。

キーワード：BIM/CIM、山岳トンネル設計、先進導坑、4Dモデル

### ま え が き

近年、少子高齢化に伴う労働人口の減少が社会的課題となっている。生産力の低下が懸念される状況下でインフラを維持していくためには、生産性を向上させる必要がある。

国土交通省では、事業全体の高度化・効率化を最終目標として、設計成果の高精度化によるフロントローディングや、2次元図面を用いた従来の業務プロセスを見直すことによる説明性の向上を推進している。そのツールとして、BIM/CIM (Building/ Construction Information Modeling, Management) が注目されており、令和5年度より原則適用<sup>2)</sup>が開始されたことから、今後さらなるBIM/CIMの活用促進が見込まれている。

本稿では、令和3年度実施の新設山岳トンネル詳細設計において、BIM/CIMを活用した成果および知見を共有することを目的とする。先述の国土交通省の方針を踏まえ、本業務における代表的なBIM/CIM活用として、以下の内容についてとりまとめる。(図1)

- ・ 補助工法の3次元的な配置検証  
補助工法および地質の3次元モデルを用いて補助工法の3次元的な配置検証を実施した
- ・ 4Dモデルによる施工計画等の確認  
3次元モデルに時間軸を付与した4Dモデルを作成した

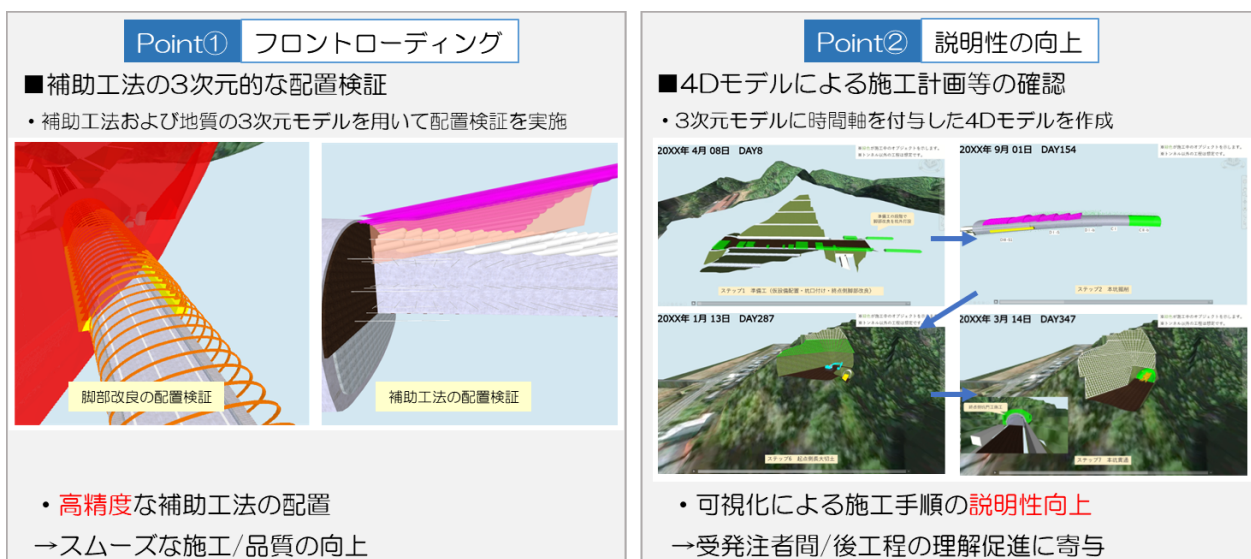


図1 トンネル設計におけるBIM/CIM活用

## 1. 業務対象トンネルの概要

本業務の対象である関トンネルの概要について述べる。

関トンネルは全長約 177m であり、徳島県南部に位置する牟岐町を縦貫する牟岐バイパス内に計画されている。牟岐バイパスは南海トラフ地震による津波浸水想定区域を回避し、緊急輸送道路の機能確保を目的としている。関トンネルの起点側坑口付近は民家や国道 55 号、JR 牟岐線が近接しており、それらを渡過するように隣接高架橋（関高架橋）が計画されている。施工計画について、JR 牟岐線の近接により起点側現道からの進入は困難であることや、隣接高架橋の施工を待たずに早期着手が望まれることから、終点側からの片押し掘削を採用した。



図 2 対象トンネル周辺（モデルの俯瞰）

設計上のポイントを以降に示す。

### (1) 起終点の断層

起終点の坑口部で、それぞれに断層が確認された。ボーリング結果より、起終点坑口から断層までの RQD はほぼ 0 となり固結した岩は無く、さらに断層部の N 値が低く地耐力が確保できない状況であった。

そのため、掘削時の天端・切羽安定対策として補助工法（長尺鋼管フォアパイリング）を、支保工建て込み時の沈下対策として脚部改良（ウィングリブ+薬液注入）を計画した。

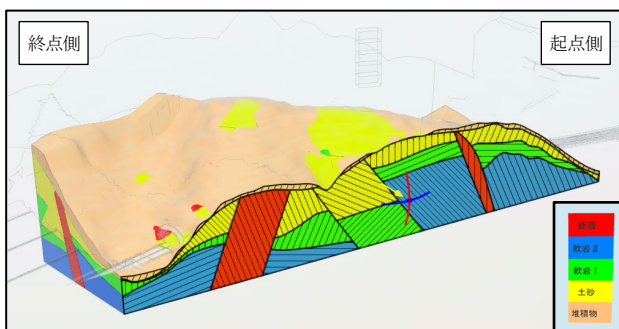


図 3 起終点の断層（赤色、3次元地質モデルの断面表示）

### (2) 起点側の長大切土

起点側坑口近傍に長大切土が計画されている。トンネル本体内上方で切土を施工すると、上載荷重の応力開放によるトンネル断面への影響が懸念されるため、トンネル本体内貫通前に長大切土を施工する必要があった。

先述のように起点側現道からのアクセスが困難であることから、周辺環境/工程/費用の観点で有利な坑内からの先進導坑による明かり部アプローチ案を採用した。

具体的には、終点側より開始する本坑断面の掘削を、長大切土施工の影響が及ばない（トンネル近接施工対策マニュアル<sup>3)</sup>の無条件範囲に該当）かつ、断層手前の位置で一時停止し、なるべく小さな断面（小断面 NATM 標準機械のドリルジヤンボが稼働可能）で先行して貫通した後、長大切土を施工し、その後本坑断面を貫通させる計画である。

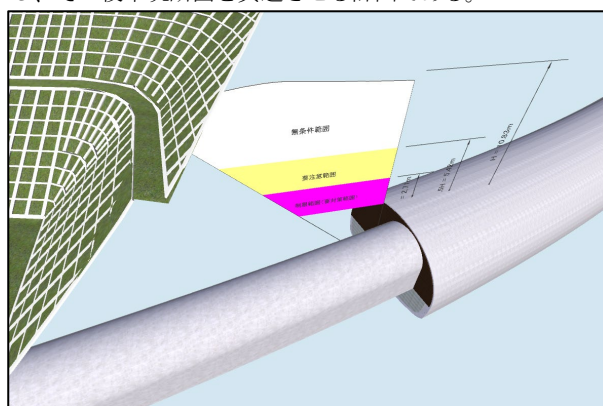


図 4 無条件範囲の3次元的な確認

## 2. 補助工法の配置検証による高精度化

第 1 章第 1 節で述べたように、本トンネルでは断層部等を対象に補助工法・脚部改良を計画している。2 次元図面を基にした設計では、地質縦断面図を基に断層等の対象区間をカバーするように配置を決定する。しかし、地層の走行傾斜によりトンネルに対し地層が斜めに交差している場合では、トンネル端部における地層との交差位置は、中心におけるものとは異なる可能性があり、それにより端部で補助工法が不足する懸念がある。3 次元モデルを活用することで、トンネルと地層との交差位置を立体的にかつ容易に把握できるため、設計段階においてトンネル端部の地質状況も考慮したより高精度な補助工法の配置が可能になると考えた。

### (1) 本体内天端の補助工法配置検証

地山状況が悪い断層部の変位・変形抑制対策として長尺鋼管フォアパイリングを計画している。対象となる断層はトンネル線形に対し斜めに交差しているため、3 次元モデルを用いて補助工法が断層をカバーできているか位置関係を検証した。その結果、図 5 に示すように断層にかかる範囲をカバーするように補助工法を配置できていることが確認できた。



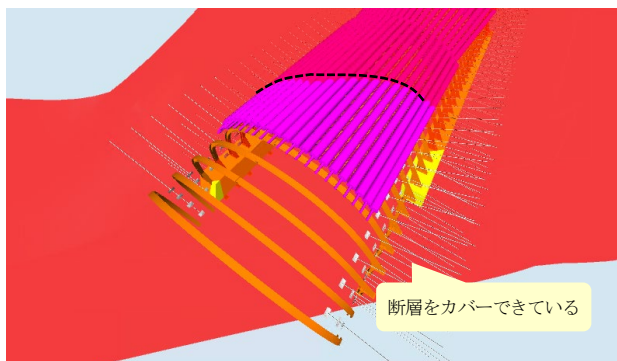


図 5 本体内天端の補助工法配置検証

### (2) 本体内脚部の脚部改良配置検証

固結度が低く支持力不足が懸念された断層部を対象に、支保工建て込み時の沈下対策として脚部改良を計画している。

図 6 に示すように脚部改良が断層をカバーできているか3次元モデルを用いて検証した結果、断層の走行傾斜により、画像右側は余裕がある一方で、左側は不足が確認された。薬液注入は左右別工事であり、それぞれで異なる延長を施工できるため、先の検証結果を踏まえた延長調整を行った。結果として、全線で2mの延伸・20mの短縮を行った。

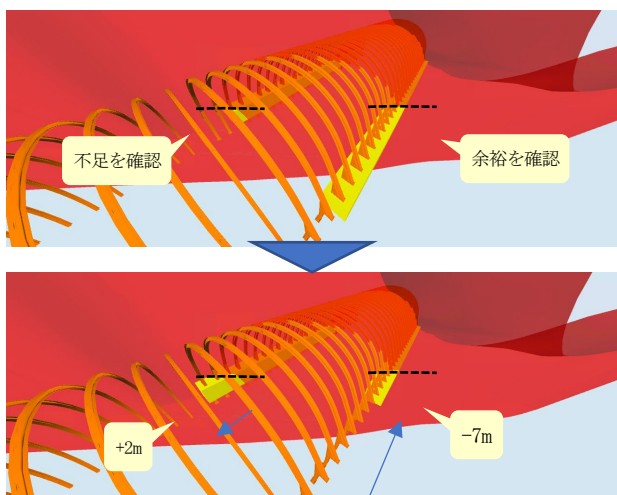


図 6 本体内脚部改良配置検証

### (3) 先進導坑天端の補助工法配置検証

第1章第2節で述べたように、起点側坑口近傍にて長大切土が計画されており、本体内上部の切土を施工する場合は、上載荷重の応力開放によるトンネル断面への影響が懸念されるため、先進導坑により本体内に先んじて明かり部へアプローチする計画とした。

補助工法は、地山状況が悪い断層部の変位・変形抑制対策として、本坑断面より1スパン分「長尺鋼管フォアパイリング」を先行打設する。さらに、先進導坑に対しても天端崩落や切羽安定対策として「注入式フォアポーリング」を計画した。

本体内および先進導坑の補助工法3次元モデルを用いて干渉チェックを実施したところ、「長尺鋼管フォアパイリング」に対し、「注入式フォアポーリング」の1~3スパンが干渉していることが確認された。この範囲については、重複して改良されることになるため省略可能であると考えた。

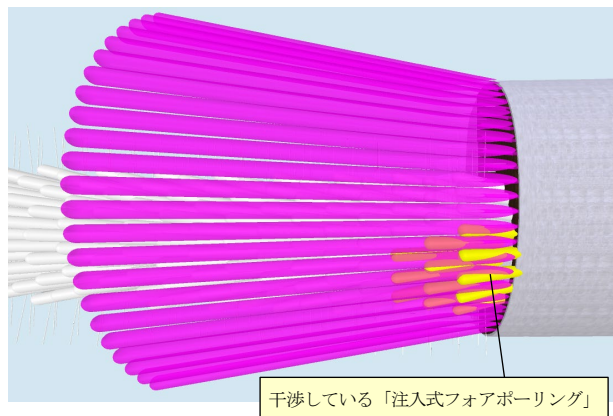


図 7 補助工法の干渉

さらに、「長尺鋼管フォアパイリング」にて先進導坑天端の地山条件の改良が見込まれる範囲についても、重複して改良されることになるため「注入式フォアポーリング」を省略可能であると考えた。重複して改良される範囲を3次元的に確認するため、「長尺鋼管フォアパイリング」にて改良が見込まれる範囲を3次元モデル化した。

改良が見込まれる範囲の設定方法について述べる。「長尺鋼管フォアパイリング」は無拵幅方式で打設する計画である。メーカーヒアリングを踏まえ、本トンネルにおける打設角度は10度として設計している。その時、鋼管の先端から本坑上端までは約2mとなるため、鋼管から下方向に2mの範囲は「長尺鋼管フォアパイリング」にて地山条件の改良が見込まれる範囲として扱う方針とした。

3次元モデルを統合し位置関係を検証した結果、6スパン目までの「注入式フォアポーリング」は、「長尺鋼管フォアパイリング」にて改良が見込まれる範囲との重複が確認できたため省略可能であると考え、7スパン目以降を開始位置とした。その結果、事業費として約250万円のコスト削減を図ることが出来た。

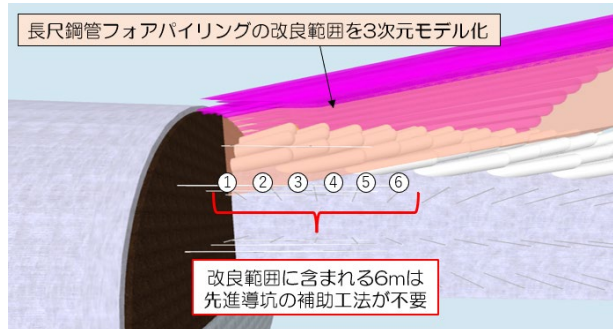


図 8 改良範囲との重複確認

### 3. 4Dモデルによる施工計画の説明性向上

本トンネルでは、先述の通り以下のような設計上のポイントが存在し、これらを踏まえて施工手順を決定している。

- ・ 起終点の断層等に対し、補助工法・脚部改良を計画している
- ・ 先進導坑により起点側明かり部へ先行してアプローチし、起点側坑口近傍に計画されている長大切土を、本坑貫通前に施工する

受発注者間や後工程に対し、円滑に施工手順の合意形成を図ることが望ましいと考え、4Dモデルで施工計画を表現した。各施工ステップの3次元モデルを作成し、設計成果の工程表にリンクするように、時間軸を付与した。

20XX年 4月 08日 DAY8

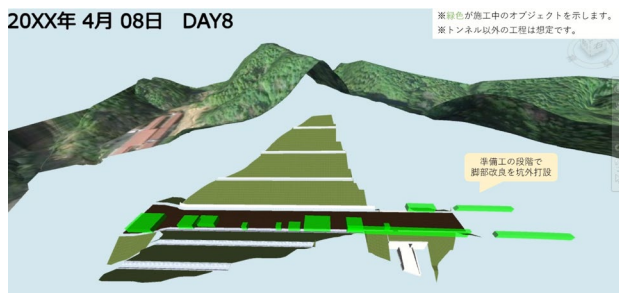


図 9 4Dモデル(脚部改良施工)

20XX年 10月 14日 DAY196



図 10 4Dモデル(先進導坑掘削)

20XX年 1月 13日 DAY287



図 11 4Dモデル(起点側長大切土施工)

20XX年 4月 22日 DAY386



図 12 4Dモデル(本坑貫通)

### 4. 活用効果および今後の課題

#### (1) BIM/CIMの活用効果

- ・ 高精度な補助工法の配置  
BIM/CIMを用いることで、2次元図面では確認困難であった3次元的な位置関係が容易に検証できるようになった。本業務では、補助工法および地質の3次元モデルを用いて補助工法の3次元的な配置検証を実施することで、より高精度な補助工法の配置を行った。設計段階で高精度な検討を実施することで事業のフロントローディングにつながり、スムーズな施工や品質の向上が期待される。
- ・ 施工手順の説明性向上  
3次元モデルに時間軸を付与し施工手順を可視化することで、補助工法・脚部改良の施工や、先進導坑によるアプローチ等を含む複雑な施工手順に対し、説明性が向上した。受発注者間や後工程に対し、円滑な施工手順の合意形成が期待される。

#### (2) 今後の課題

現時点でのBIM/CIMモデルは作成に相当数の工数を要している。設計計算ソフトウェアとの連動による自動的なモデル出力など、モデル作成の省力化が求められるほか、作成したモデルを用いて数量計算等を実施することで、その他の作業を効率化する取り組みも効果的と考える。

また、3次元地質モデルは2次元の地質横断面図を基に断面間を補完しながら作成していることや、モデル上は明確に地層を区分しているものの、実際は徐々に性質が変化する点が異なることを理由に、一定の余裕量を見込んで配置検証を実施した。より高精細なCIMモデルを用いた3次元設計の活用に向けて、地質調査の高精度化や高密度化、その他物理探査結果の取り込みやその精度検証等が今後の課題である。

さらに、設計のみならず施工・維持管理段階においても作成したBIM/CIMモデルの活用・更新が期待される。後工程で求められるモデルの知見を整理することが今後の課題である。

### 謝 辞

本論文の投稿に際し、ご快諾頂きました徳島河川国道事務所 計画課の関係者の皆様に厚く御礼申し上げます。

### 参 考 文 献

- 1) 国土交通省大臣官房 技術調査課：初めてのBIM/CIM, R.1.9
- 2) 国土交通省：第9回BIM/CIM推進委員会、資料1、令和5年度BIM/CIM原則適用について、R.5.1.19
- 3) 財団法人 鉄道総合技術研究所：既設トンネル近接施工対策マニュアル、H7.1