

トンネル設計におけるBIM/CIM実施報告

徳島河川国道事務所 計画課 富士本 南美
徳島河川国道事務所 計画課長 藤原 浩史
徳島河川国道事務所 計画第一係長 緒方 玄司

平成16年度に新規事業化した牟岐バイパスにおいて、令和3年度設計業務にてBIM/CIM活用を取り入れ、3次元地質・土質モデルの作成及び構造物モデルによる施工計画や補助工法の確認に加え、3次元地質・土質・構造物モデルに時間情報を付与し、立体的に作成することで、地質・土質上の課題及び事業工程上の問題等を容易に把握し、また対応についての総合的検討に取り組んだ。その実施状況、活用内容と今後の課題や展望について報告する。

キーワード BIM/CIM, 先進導坑, 4Dモデル

1. はじめに

近年、人口減少及び少子高齢化が深刻な問題となっている。特に、建設業界では既に中高年層が建設現場を支える状況にあることから、生産性を向上させなければ、建設現場を維持し社会的使命を果たしていくことが困難な状況になると考えられる。

国土交通省は、全ての建設生産プロセスでICT（情報通信技術）による生産性向上を目指し、建設現場でICTを活用する取り組みとしてi-Constructionを推進している。¹⁾i-Constructionの取り組みに3次元モデルを活用したBIM/CIM（Building/Construction Information Modeling, Management）を連携させることで計画・調査・設計段階から施工及び維持管理までの一貫した受発注者双方の業務効率化・高度化を目指している。牟岐バイパスにおいても令和3年度設計業務にてBIM/CIM活用を取り入れることにより、地質・土質上の課題及び事業工程上の問題等を容易に把握し、また対応についての総合的検討に取り組んだ。ここでは現段階での取り組み状況を報告する。

2. 牟岐バイパス関トンネルの概要

徳島県南部に位置する牟岐町は、南海トラフ地震時の津波による浸水被害が想定されながら、徳島県南部地域を縦貫する国道55号の他に代替となる路線がないという課題を有している。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を確保することで、安全性・信頼性の高い広域ネットワークを構築するとともに、避難広場の整備をはじめとする地域の防災まちづくりと一体となった整備により地域の

津波・地震対策を支援することを目的とした延長約2.4kmの道路である。

関トンネルは、牟岐バイパスを構成する全長約177mのトンネルであり、起点側からトンネル中央にかけて緑色岩、接触変性部を経て終点側は砂岩泥岩互層から構成されている。また、起終点坑口付近に断層破砕帯、終点坑口付近には亀裂質が確認されており、複数の岩種より地山が構成されているなどの地質的課題を有している。これらの課題の確認および後工程におけるリスクを軽減するための適切な対策につなげることを目的として、3次元地質モデルを作成した。これらを用いて、補助工法の最適化に関するシミュレーションおよび3次元モデルに時間情報を付与した4Dモデルによる施工計画の確認等を実施した。図-1に牟岐バイパス関トンネルの位置図を示す。

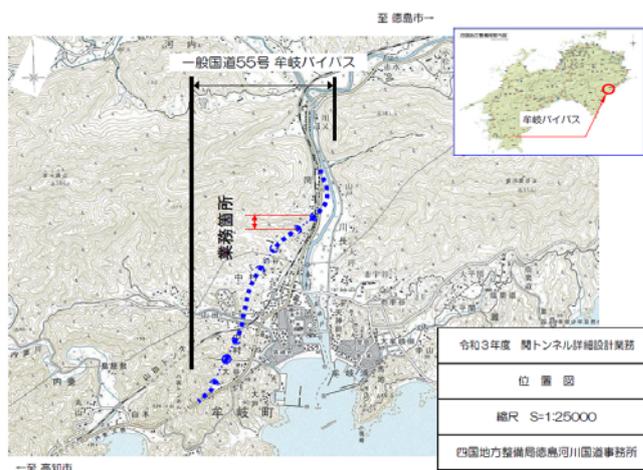


図-1 牟岐バイパス関トンネル位置図

3. 補助工法の最適化に関するシュミレーション

「3次元モデル作成要領(案)」に基づき、3次元地質モデル、トンネル本体工モデルおよび先進導坑モデルを作成した。関トンネルの掘削断面と断層破碎帯や岩級別の土軟硬区分との位置関係を立体的に把握することで、地質・土質上の課題等を容易に把握し、補助工法等対策工の検討において高度化および効率化を図った。3次元地質モデルと本体構造物モデルを統合し、3次元的な位置確認により、トンネルと地層区分の交差・干渉等の位置関係を的確に把握できるため、補助工法の最適化に関するシュミレーションが可能となった。

(1) トンネル本体工天端における補助工法

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が計画されており、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-4に示すように断層にかかる範囲に適切に補助工法を配置できていることが確認できた。



図-4 適用区間の検証図

また、トンネルと土砂層が交差する区間においても、補助工法が断層をカバーできているか、交差する区間について補助工法が配置できているか3次元的に検証を行った。その結果、図-5、6に示すように断層にかかる範囲、土砂層と交差する区間について適切に補助工法を配置できていることが確認できた。

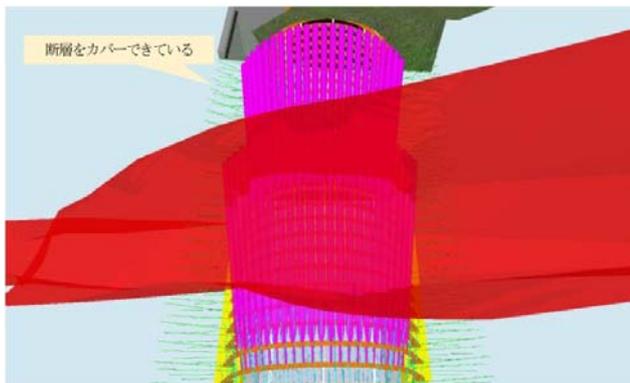


図-5 区間と断層の統合図

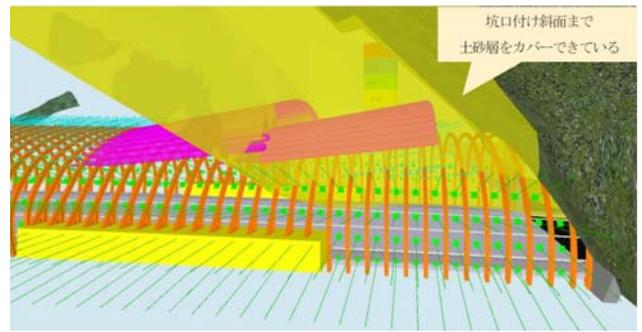


図-6 区間と土砂層の統合図

(2) トンネル本体工の脚部改良

同様に、断層にかかる上半部掘削において固結度が低く支持力不足が懸念され、本体工の脚部改良範囲の検証を行った結果、図-7に示す③においては2mの延伸が必要であった。しかし、その他の4箇所では合計20mの短縮が可能となった。

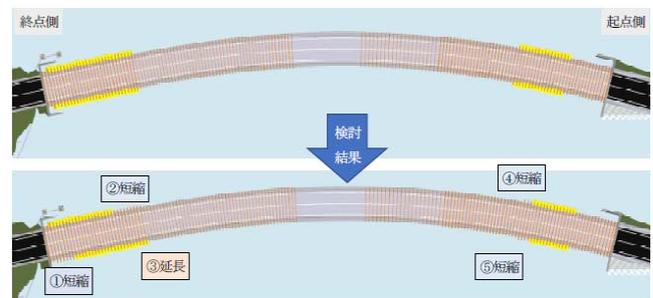


図-7 脚部改良の検討結果

(3) 先進導坑の補助工法

本トンネル起点側坑口近傍にて長大切土が計画されており、本体工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に先んじて貫通させ、明かり部へのアプローチを行うことを計画した。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。先進導坑の天端に対しても、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」の打設を計画している。現計画では相互の補助工法同士が一部干渉していること、本坑断面より1スパン分先行打設する「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等の相互の補助工法範囲に重複範囲が見込まれる等の改善点が挙げられたため、先進導坑部天端における補助工法の区間検証を実施した。

補助工法を実際の位置に配置した3次元モデルを用いて干渉チェックを実施したところ、図-8に示すように1～3スパンにおいて干渉が確認された。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が可能であると考えた。

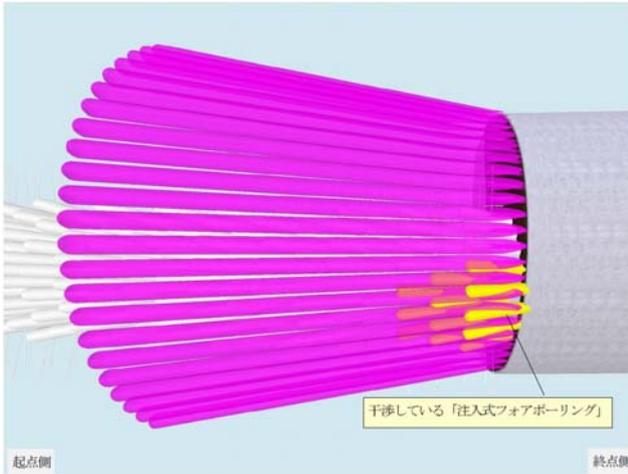


図-8 補助工法の干渉図

本坑断面より1 スパン分先行打設する「長尺鋼管フォアパイリング」は無拡幅方式で打設する計画である。無拡幅方式における打設角度は10 度以上とされており、本トンネルでは「長尺鋼管フォアパイリング」の打設角度を10 度として設計した。本坑断面より、1 スパン分先行打設する「長尺鋼管フォアパイリング」を10 度で打設すると、長尺鋼管の先端部では、本坑断面天端上端まで約2mの離隔となる。これを踏まえ、本設計では長尺鋼管フォアパイリングから先進導坑上端までの距離が2mより大きくなる場合は、導坑天端部にも別途補助工法を配置する方針とした。図-9に「長尺鋼管フォアパイリング」を10 度で打設した場合における、補助工法を短縮する区間を示す。

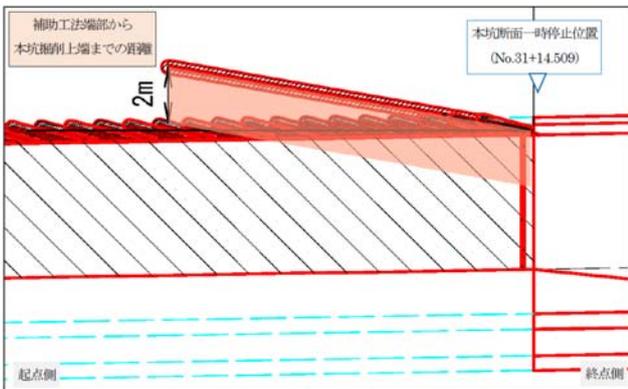


図-9 補助工法を短縮する区間 (2次元)

長尺鋼管フォアパイリングから鉛直方向下向きに2mの範囲を3次的に可視化し検討を行ったところ、図-10に示すように当初計画における6ピッチまでの導坑部補助工法は本坑部補助工法と範囲が重複していることが確認でき、7ピッチ目以降を導坑部補助工法の開始位置とした。結果、事業費として約260万円のコスト削減を図ることができた。図-11に検討結果を示す。

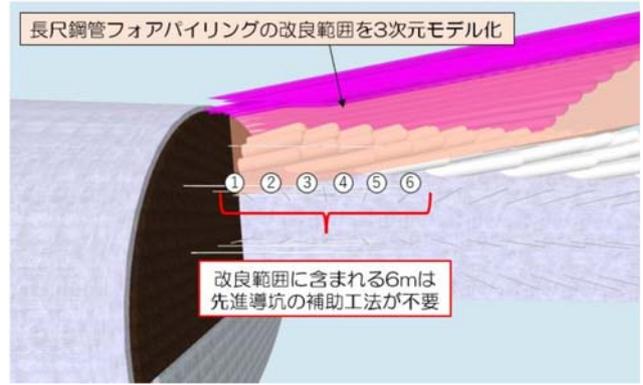


図-10 地山改良が可能な範囲

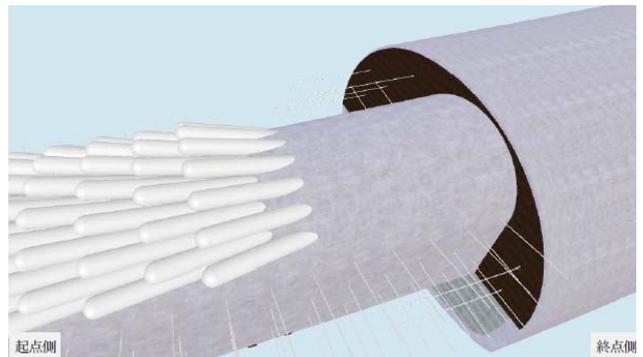


図-11 検討結果

4. モデル化による4D施工計画

設計段階で作成する施工計画を4Dモデルにより表現することで、工事発注時における合理的な工期設定及び適切な施工条件の明示とともに、施工段階における、設計意図に則した施工計画の立案、円滑な受発注者協議等につなげることを目的としている。設計時に想定した標準的な施工方法、施工手順、施工時の留意点等の施工計画について、3次元モデルに時間軸を付与した4Dモデルにより表現する。まず、本坑掘削を行い、脚部改良を打設する。次に、先進導坑により起点側に部分的に貫通し、明かり部へアクセス後に坑口周辺の切土を行い、本坑貫通を実施する。最後に本坑貫通後、坑門工・擁壁・橋台の施工を行う。以下に、本坑掘削からトンネル完成までの過程を示す。

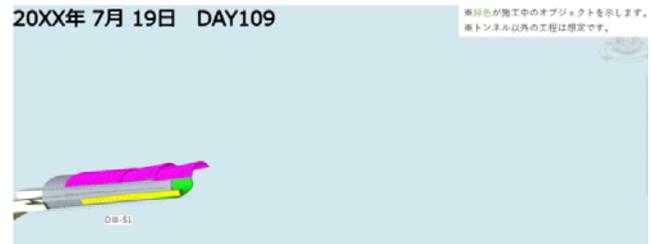


図-12 本坑掘削

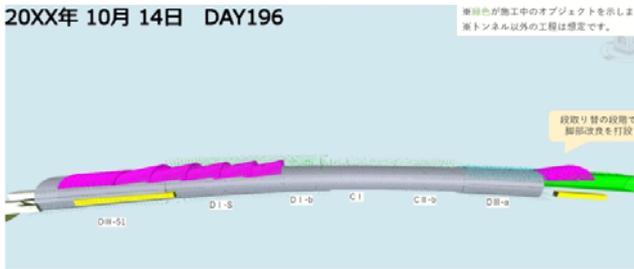


図-13 先進導坑掘削

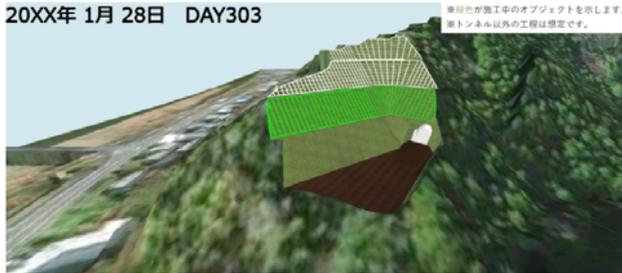


図-14 起点側長大切土



図-15 本坑貫通

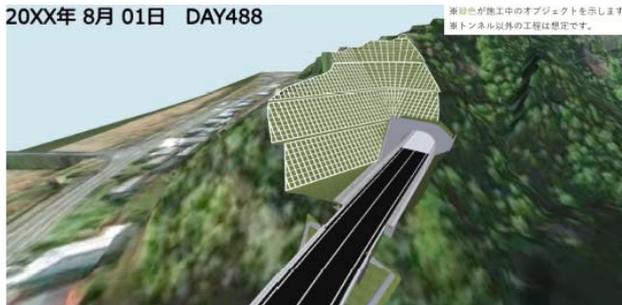


図-16 完成図

5. BIM/CIM活用効果及び課題

(1) 3次元モデルの活用効果

オブジェクト同士の3次元の離隔の確認や任意位置での断面図作成等が容易になり、設計の効率化を図ることができる。作成したモデルを用いて住民説明会での事業説明や関係者協議を行うことにより、合意形成を円滑に進めることができた。また、3次元地質モデルと補助工法モデルの位置関係の確認によるシミュレーションにお

いて、対象の位置関係を3次的に把握できることにより、一部では補助工法の延長や省略を実施しコスト縮減に繋がった。2次元では可視できない箇所での考慮などで設計精度の向上が見込まれる。

(2) 4Dモデルの活用効果

2次元の施工ステップ図面と比較し、各工程のイメージが容易になり、説明性の向上が図れた。今回の業務では、トンネル掘削完了前の坑口長大切土の実施が必須であり、先進導坑を用いたトンネル掘削～切土の施工順序の説明や、脚部改良の打設時期の説明において、特に有用であった。また、工事工程や重機配置に関する合意形成の効率化を図ることができた。

(3) BIM/CIM活用における課題

2次元図面を手作業で3次元モデル化しており、モデル作成に膨大な工数を要する。今後、パラメータを入力することで半自動的にモデル出力可能な仕組み（システム・プログラム）の構築等の効率化が求められる。

3次元地質モデル等の高精度化が必要である。現状では、2次元地質情報を3次元モデル化している状況であり、精度の高い設計を行うためには、高精度な地質モデルの作成が求められる。3次元地質モデルは2次元の地質横断面図・縦断面図・平面図等を基に作成しており、2次元図面が存在しない区間は地質的理解を踏まえた予測（中間補正を感覚的に実施）で作成しており、図面上は明確に地層を区分されているが、実際は徐々に性質が変化している。従って、3次元地質モデルと実際の地質にはある程度違いが見込まれるため、3次元地質モデルを用いた検討では、安全側になるように余裕量を見込むことが、現時点の精度では望ましいと考えられる。これに対し、地質調査の高精度・高密度化や、その他の物理探査結果の取り込みにより、3次元地質モデルと実際の地質構成の違いが少なくなる（精度向上）と思われる。

6. おわりに

BIM/CIMの活用により、コスト縮減及び業務等の効率化・最適化に繋がった。今後、BIM/CIMおよび3次元地質・土質・構造物モデルの活用拡大が図られることが予測されるが、現状ではモデル作成に膨大な工数を要することや、より高精度な地質・土質モデルの再現に関して課題が挙げられる。今後は、これらの課題の解決を図っていくとともに、BIM/CIM技術および設計・施工についての情報化施工（IoT）の一層の発展と、モデル活用に対しての更なる見識を深めていくことが重要であると考えられる。