偏土圧・低土被り部を有したトンネルにおける新時代を見据えた設計

平田 祐也[1]・草野 一郎[2]・原田 隆弘[1]・奥田 健人[2]

[1]八千代エンジニヤリング（株）九州支店 道路・構造部（〒810-0073　福岡県福岡市中央区舞鶴3-9-39）
[2]八千代エンジニヤリング（株）大阪支店 道路・交通部（〒540-0001　大阪府大阪市中央区城見1-4-70）

鹿児島県志布志市に位置し，東九州自動車道の一部である油津・夏井道路において山岳トンネルの詳細設計を実施した．本トンネルは，偏土圧・低土被りを有するため，BIM/CIMを用いて，合理的で安全な坑口部の構造や施工方法の検討を実施し，発注者と円滑な合意形成に至ったものである．また，次の時代を見据えたデジタルツインへの対応に向けて，4Dモデルを作成した．本論文ではビジュアルにも考慮したBIM/CIMの取り組みを報告する．

Key Words ： *道路トンネル，偏土圧，低土被り，詳細設計，BIM/CIM，可視化，4Dモデル，デジタルツイン，ゲームエンジン*

１．背景及び目的

油津・夏井道路は地域観光の発展に寄与するとともに，産業活動を支援し，南海トラフ地震時の津波浸水域を回避し，災害時の救援活動等にも機能する信頼性の高い高速ネットワーク形成を目的とした自動車専用道路[1)]である．

本設計では路線内で計画されている1号トンネル（仮称）（L=129m）の詳細設計を実施したものであり，計画トンネルは低土被り・偏土圧区間を有するトンネルである．特に偏土圧区間はトンネルにおいて構造的に将来影響を及ぼす懸念があり，慎重な検討が必要である．また，トンネル到達側へのアクセスはできない条件であった．

本論文では検討時に作成したBIM/CIMを用いて上記課題解決及びそのBIM/CIMを発展させ，次の時代に繋がる検討を実施したものを示す．

２．計画トンネルの概要

(1) 路線概要

油津・夏井道路の種級区分は第1種第3級（設計速度：80km/h）の自動車専用道路で計画している．幅員は13.5m（車道:3.5m，路肩:1.75m，中央帯:1.5m，監査廊:0.75m）である．計画交通量は7,200台/日（大型車混入率：25.0%）である．本道路は重要物流道路に指定されている．

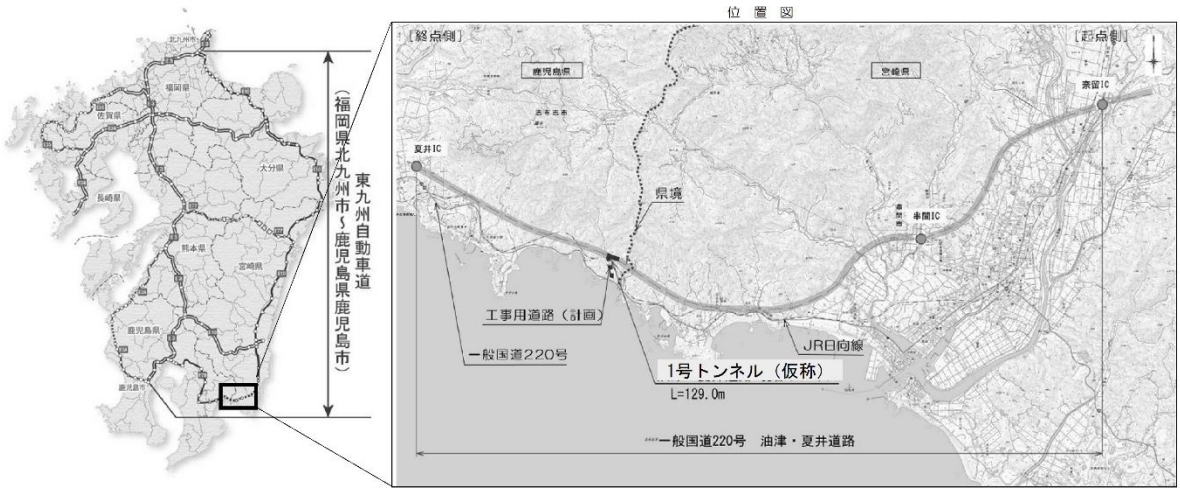


図-1　計画位置図

(2) 計画トンネルの概要

計画トンネルは鹿児島県と宮崎県の県境に位置しており，現道の国道220号と計画路線間でJR日南線が並走する．宮崎県側の施工は本トンネルを工事用道路として計画しているため，鹿児島県側の坑口を発進側坑口とし，宮崎県側の坑口が到達側坑口となる．そのため，到達側坑口へのアクセスは不可という条件があった．

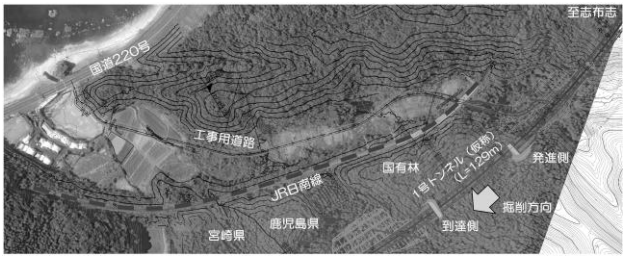


図-2　計画トンネル周辺状況

３．本業務の課題と解決策

(1) 発進側坑口

ａ）発進側坑口部の課題

鹿児島県側の発進側坑口はトンネルの軸線が斜面に対して斜めに進入する線形となっており，一般的な条件で計画した場合，トンネルの谷側はトンネルの覆工が露出するほどの偏土圧を受け，土被りも小さい状況である．また，トンネルの基礎部に地山が無いため，高さが10m程度の置換えコンクリートや高盛土等による対策が必要となる．置換えコンクリートや高盛土を実施すると，掘削等や盛土により大きな地形改変が必要になり，また偏土圧に対して押え盛土等の偏土圧対策[2]が必要となり，将来的なトンネル構造への影響が懸念される．

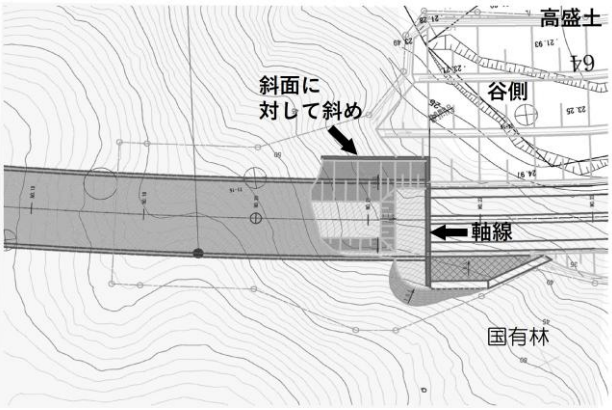


図-3　発進側坑口平面図

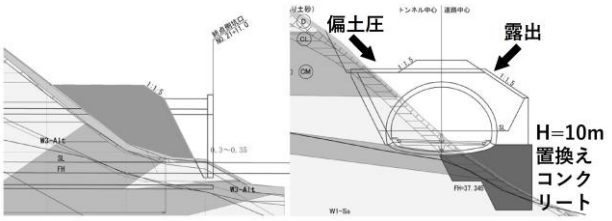


図-4　発信側坑口部縦断図・正面図

ｂ）課題解決方法

課題に対応して，トンネル坑口をさらに山側に追込むことで切土段数は増えるが，偏土圧への影響を小さくすることができ，トンネルも地山内で構築可能となる．置換えコンクリート等も不要となる．

2D図面では課題及び解決策に対して，合意を得ることができず，難色を示された．そこで，3Dモデルを作成し，周辺状況と今回の課題に対する可視化を示した．その結果，整備局を含め，円滑な合意形成を得ることができた．

図-5　発進側坑口部3Dモデル(当初計画案)

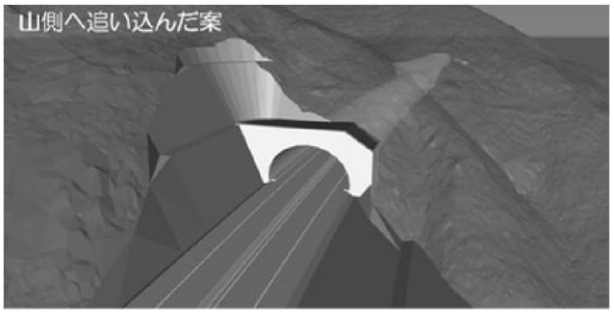


図-6　発進側坑口部3Dモデル(山側へ追いこんだ案)

(2) 到達側坑口

ａ）到達側坑口部の課題

貫通時には明り部側から切土，坑口付けが必要であるが，到達側坑口はアクセスができない条件であるため，切土等ができない．そのため，本トンネルは大断面であるため，直接貫通した場合，応力解放が大きくなるため，天端から切羽が崩落するリスクがある．また，施工計画が複雑になり，発注者の理解を得るのに時間を要する可能性があった．

ｂ）課題解決方法

本設計では補助工法を併用した先進導坑（小さい断面で先行して掘削する方法）を提案し，掘削時の到達側坑口部の安定を図る計画とした．導坑で先行貫通させ，到達側への工事用道路とした．その後本坑貫通前の事前準備を実施し，トンネルを貫通させる計画とした．

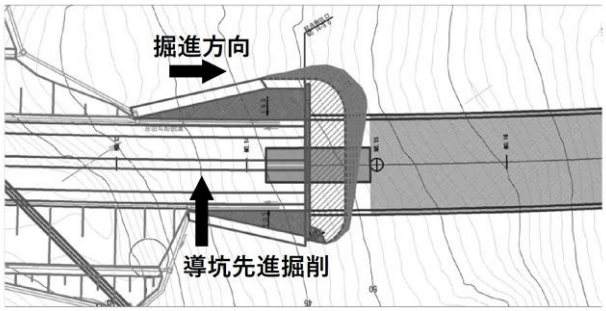


図-7　到達側坑口平面図

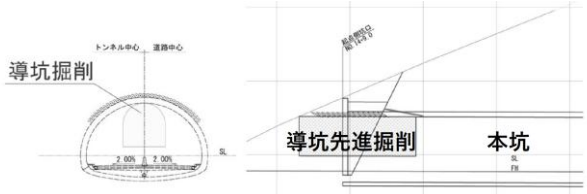
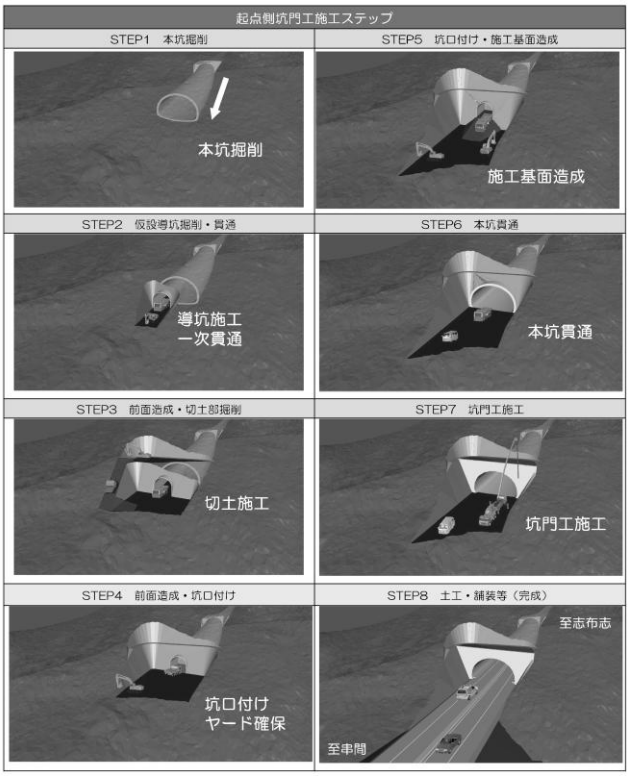


図-8　到達側坑口部正面図・縦断図

c ）4Dモデルの作成

先進導坑における施工ステップを示すうえで，同様事例のトンネル詳細設計を実施した際に3回程度の協議を重ねた経験があった．本業務においては初めから作成した3Dモデルを応用，施工ステップモデルとして4Dモデルを作成し，発注者に説明した．4Dモデルで公示の各段階を視覚化し，ポイントを明記することによって．発注者に計画案の優位性を示すことができた．CIMモデルは受発注者間の相互認識を高めることを可能とするため，有用であることを確信した．

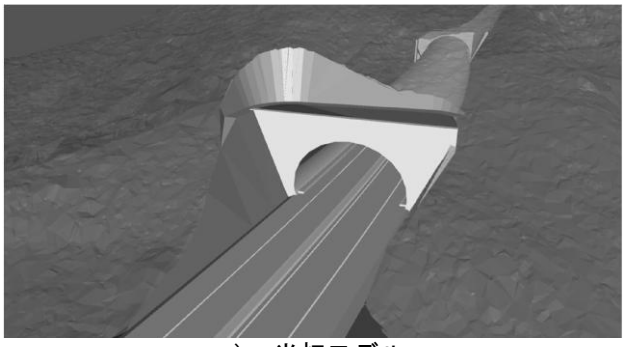
表-1　4Dモデル



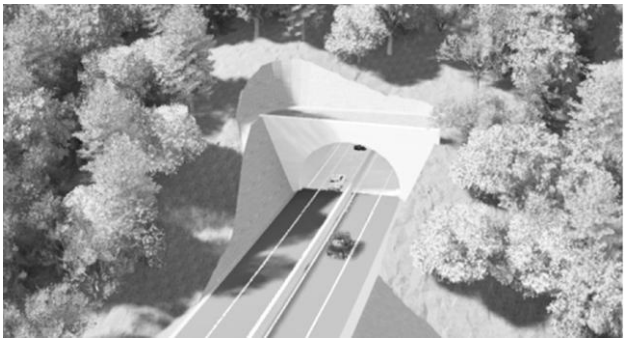
４．ゲームエンジンによる現実世界化

本来の設計業務では前項までの検討で十分に成果を得られることができるが，本業務では関係者のイメージ鮮明化を目的としてさらにリアリティのある現実世界に近づけたモデルを作成した．これまでのモデルは地形と構造物の必要最小限のモデルを作成し，計上はポリゴン上のモデルになっていたが，測量による地形モデルに植栽を取り入れ，樹木等の自然状態を再現した．

本モデルはAutoDesk社とEpic Games社で共同開発したゲームエンジンを用いたソフト「Twinmotion for Revit[3]」を活用した．3Dモデルを作成していることで，その3DモデルをFBXデータでエクスポートし，Twinmotion for Revitにインポートすることで，編集が容易であることが特徴である．日照の状況，昼夜，天気等を考慮したイメージ動画の作成や，VRデータの作成も可能である．また，作成した動画データはMP4形式のため，ほとんどのPCで閲覧可能とする．スマートフォンにデータを送ることで，スマートフォンからも閲覧が可能である．



a）　当初モデル



b）　ゲームエンジンによるモデル

図-9　ゲームエンジンによるモデル比較

図-10　スマートフォンからの閲覧状況

ゲームエンジンを用いたデータ編集は前述の4Dモデルの編集も可能である．計画トンネルの色彩，周辺環境や日照をより具体化させることで，関係者のイメージの鮮明化を可能とする．作成した動画は発注者より「これらの動画を活用して地元や関係機関との合意形成に是非活用したい」と評価をいただいた．

図-11　ゲームエンジンを用いた4Dモデル（一部）

５.おわりに

（1）結論・成果

現状のトンネル設計や道路設計においては可視化によるイメージ共有が主である．段階的な3Dモデルを用いることにより，以下の成果が得られた．

・発進側坑口部について，3Dモデル作成によって当初計画案では構造的に不安定で，コスト上の課題があることを明確化し，代替案の合意形成を円滑にできた．
・4Dモデル作成により，提案した施工計画の優位性を示せた．
・本局の設計審査会でも有用であった

（2）今後の展望

今後の展望として，以下に示す．

・3次元設計，デジタルツインへの対応として，3D都市モデルへの反映を可能とするモデルの作成を実施していく．
・ゲームエンジンの採用で，より簡単に，現地を取り込んだモデルを作成できるようになる．
・スマートフォンなど操作性に優れたデバイスでの活用が進めば，住民説明など合意形成もより円滑になる．
・VRデータも作成しながら設計を進めることで，より完成イメージの共有ができ，円滑な合意形成に寄与する．
・事業のスピードアップが図られ，コスト縮減につながる．

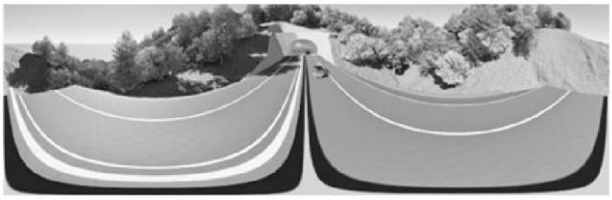


図-12　VR画像

謝辞：本稿の執筆にあたり，ご協力とご快諾をいただきました，国土交通省九州地方整備局大隅河川国道事務所のご担当者様，また本業務の関係各位に深く感謝申し上げます．

付録

・ゲームエンジンにて作成した夜のイメージ図

図-13　夜のイメージ

・ゲームエンジンによる４Dモデル

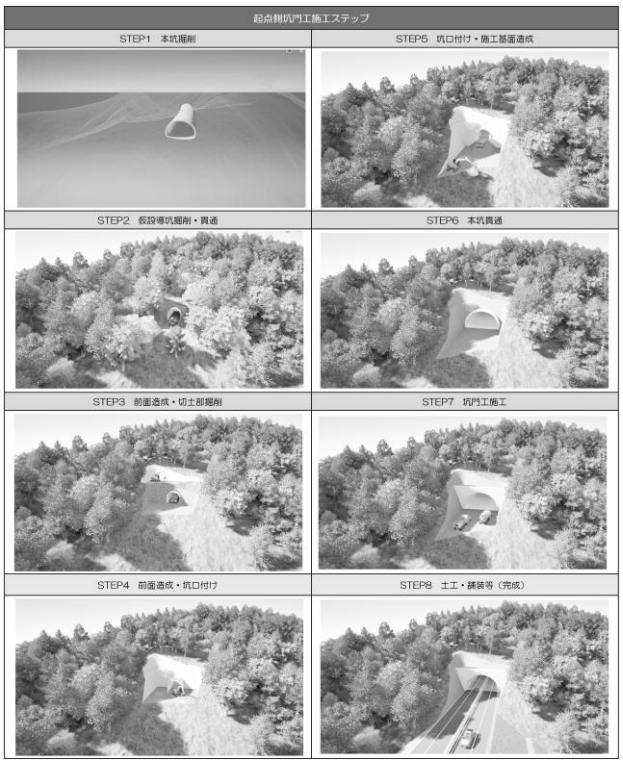


図-14　4Dモデル（ゲームエンジン編集）

参考文献

1）国土交通省九州地方整備局HP：
（https://www.qsr.mlit.go.jp/miyazaki/douro/higashikyushu/douro_220/）
2）土木学会：トンネル標準示方書〔共通編・同解説／山岳工法編〕・同解説 2016
3）Auto desk社HP:
（https://www.autodesk.com/jp/products/revit/features/twinmotion）