

名塩道路城山トンネル（技術提案・交渉方式（ECI））における設計コンサルタントの取り組み

株式会社 オリエンタルコンサルタンツ 正会員 ○ 西浦清貴
西原翔磨
今村博行
高根努

1. 目的

一般国道 176 号名塩道路事業の 4 車線化事業のうち城山トンネル区間は、現道が隣接する急傾斜地内にある旧 JR 隧道や関西電力鉄塔，JR 福知山線に配慮し，トンネル工事及び切土法面工事を行う計画事業である。特殊な条件下での工事の仕様確定を目的として，「技術提案交渉方式（技術協力・施工タイプ ECI 方式）」が採用された。

設計コンサルタントの立場として，CIM 等を積極活用し，技術協力業務との連携，関係機関との効率的な協議，工事発注を含む円滑な事業推進を目的とした。

2. 概要

城山トンネル区間は，現道の北側に武庫川，南側には狭隘な急傾斜地を挟んで JR 福知山線，また急傾斜地の頂上部に関西電力鉄塔を有しており，急傾斜地を切り開いての 4 車線拡幅が困難なことから，上り（三田行き）車線はトンネル構造を計画している（図-1，図-2）。また，現道部は急傾斜地斜面を有し，多数の亀裂や転石を有することから，異常気象時通行規制区間に指定されており，下り（宝塚行き）車線の整備は，本トンネル構築後に上り（三田行き）交通を切り替えた後，トンネルの影響範囲内において法面対策を含む長大法面の切土工事で現道拡幅改良を行う計画である。

切土工事区間の大部分がトンネル構造の影響範囲内であるため，切土工事にあたっては，地山の状態の安定，トンネル支保工及びトンネル覆工の施工時の状況，内空断面の変位状況などのトンネル施工時の情報を十分把握しておく必要がある。また，切土施工時にトンネル覆工コンクリート等に変状が発生した場合には，把握していたトンネル施工時の情報を十分に考慮した上でその原因を分析し対応する必要がある。このような状況下において，トンネル工事と長大法面の切土工事の実施にあたっては，切土時の変状影響を最小限とした経済的なトンネル本体設計ならびにトンネルへの影響が最小限となるような切土施工が求められることから，トンネル工事と切土工事は一体的な工事として計画する必要がある。



図-1 平面図

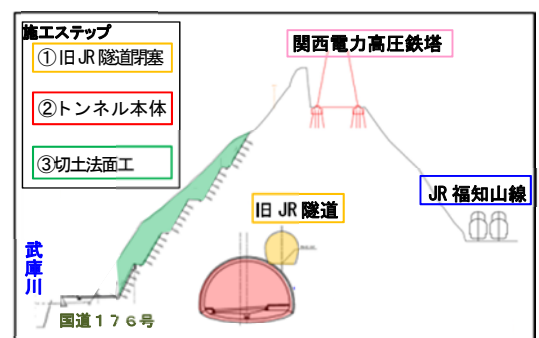


図-2 断面図

キーワード ECI，近接施工，CIM，FEM，複鉄筋 NATM

連絡先 〒530-0005 大阪府大阪市北区中之島 3 丁目 2-18 中之島ビル 13F

(株)オリエンタルコンサルタンツ 構造部 TEL：06-6479-2138

3. 事前調査、モデル作成

城山トンネルは、旧隧道（JR）と立体交差（新トンネルが下）し、旧隧道の一部は城山トンネルの掘削範囲に干渉する。また、それぞれのトンネルの線形は平行ではない。

これらのことから、旧隧道の正確な断面や、位置の把握が不可欠と考えた。よって、旧隧道内で三次元計測を実施し、坑外の基準点と関連付けることで、正確な位置、形状の把握を行った。（図－3）

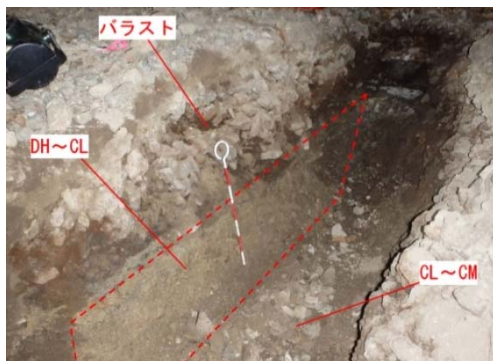


写真-1 バラストの試掘

影響評価や、正確な離隔を把握するため、CIMモデルによる可視化を行った。加えて、過去のボーリング調査結果から作成した横断面図を用いて、地盤情報の三次元モデルの一体化を行った。（図－4）

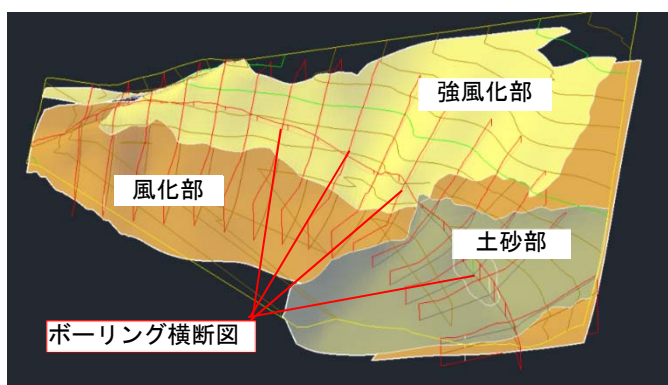


図-4 三次元地質モデル（地質CIM）

モデルは、旧隧道（バラストを含む）、地形、地質を取り込んだ詳細設計の基本構造として作成した。

三次元モデルは、CIM作成要領に準じ、詳細度400レベルでの作成を行い、設計中のFEM解析に加え、施工時や維持管理にあたっても活用できるモデルとした。（図－5）

4. 採用技術の選定とブラッシュアップ

本業務では、施工を担当する会社は「技術協力・施工タイプ（ECI方式）」にて選定されることが確定しており、修正設計段階に施工業者からの技術提案を募り、優位な技術を提案できる能力がある会社が「名塩道路城山トンネル工事における技術提案・交渉方式の専門部会」（以下、「専門部会」という）の中で評価され、優先交渉権者として選定された。ただし、これはあくまで、技術協力業務を行う優先交渉権者であり、施工にあたって交渉不成立もあり得るということである。

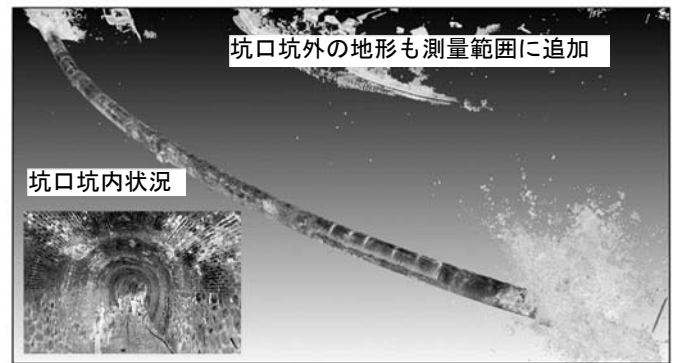


図-3 旧隧道内3D計測

手順としては、まず坑外の既知点での測量を実施し、トンネル内に仮想測点を20mごとに設けた上で、それぞれの点において、三次元スキャンを実施した。また、坑口部も面壁や風化岩の露頭部など、地形測量では表現できていない部分もトンネル土被りの精査が必要と判断し、三次元計測を実施し、地形測量図との統合を図った。また、トンネル内には、軌道敷のバラストが残っており、旧隧道閉塞による一体化に対して支障となると考えられていることから、試掘によりバラスト深度の把握も行った。（写－1）

旧隧道は新トンネルと立体的に角度を持ちながら近接、交差す

また、現国道と尾根を挟んだ逆側の斜面は、JR西日本の軌道沿いに吹付コンクリートや、擁壁が設置されているが、地形測量では再現できていない。JR西日本の軌道を含めた構造物への掘削に伴う影響を評価するためにも地形、構造物の正確な再現は不可欠であったことから、これらの構造物の竣工図も三次元モデルには取り込む形とした。

三
次
元
モ
デ
ル

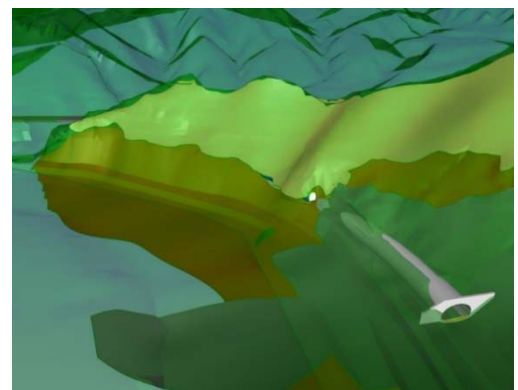
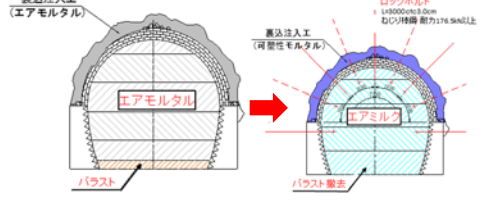
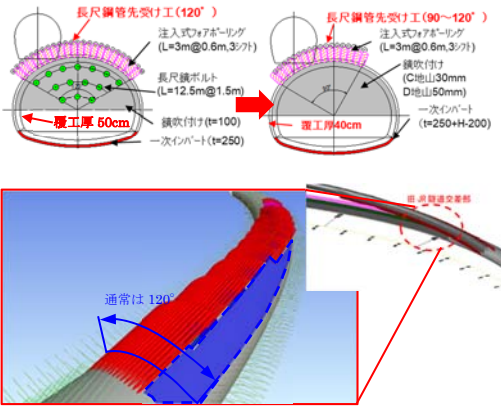
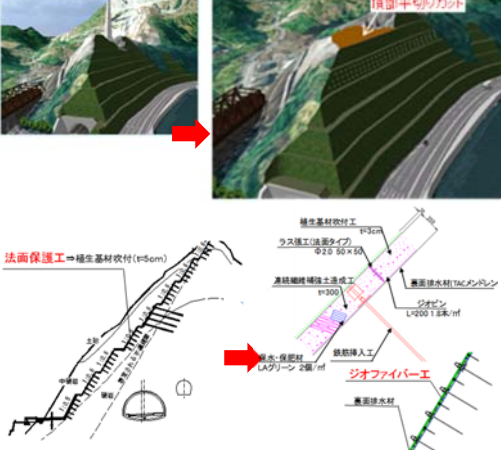


図-5 三次元地形・地質モデル

設計コンサルタントの立場として、現地における 4 つの課題に対して優先交渉権者が提案した対処方法を考察、抽出の上で、特に優位と考えられる提案について、ブラッシュアップを行い適用性の検証を行った。(表-1) また、これらの提案技術の採用にあたっては、専門部会にて学識者の意見を踏まえた最終採用を決定している。

表-1 採用技術選定結果

対応項目	ECI による設計概要	採用技術概要図
1 本体掘削時の旧隧道の崩壊防止に関する対応	旧隧道内の閉塞材と隧道覆工，周辺との一体化のために，地山まで貫通するロックボルトを追加した。加えて，優先交渉権者の知見を踏まえて構造の異なる側壁部にもボルトも追加した。 また，調査にて確認できたバラストも除去し，閉塞材に置き換える方針とした，	
2 新トンネルの施工にあたっての対応	旧隧道との交差部には，切羽天端の地山剛性向上のための先受け工（AGF）が採用されているが，三次元モデルによる位置確認により，交差区間全体に 120 度の AGF を配置することは経済的ではないことが確認された。優先交渉権者の施工経験を踏まえて，先受け工（AGF）の打設範囲を断面ごとに変えることで交差位置に応じて先受け工（AGF）の打設本数を削減した。また，FEM 解析により切羽面の安定は確保できることから，鏡ボルトは削除した。 当初設計は，複鉄筋での最小厚として覆工厚 500mm を採用したが，優先交渉権者の知見や施工経験を踏まえ，400mm で打設が可能と判断し，400mm の妥当性を FEM にて検証した。	
3 切土の構造及び施工方法に関する対応	切土天端部の狭隘な残地形を平切により削除することで，斜面安定性の向上，景観性の向上(安定性の向上)を図った。 切土斜面は，景観性と斜面安定性の向上のため，優先交渉権者と共同で工法選定した連続繊維補強土による全面緑化工法を採用した。 ただし，緑化工法は，緑化の適性が現地条件に左右されるため明確ではないため，トンネル施工中に試験施工を実施し，工法の適性，配合の調整などを実施する方向で取りまとめた。	
4 切土施工時のリスクに関する対応	切土施工時の道路や J R 営業線への切土による落石等のリスク低減のため，合同現地調査による優先交渉権者の知見や施工実績を踏まえ，多段式の仮設防護柵を計画した。なお，仮設防護柵は，人力による配置が可能な工法とした。	

5. 採用技術の評価解析

採用した技術に対して、学識者への意見照会を行うあたり、新トンネル全線に対する数値解析（FEM 解析）を用いて効果の検証を行った。

解析モデルは、前記した三次元モデル（地質情報を含めた CIM モデル）をベースとしており、CIM モデルから直接ボクセルメッシュを作成した。（図－6）

また、交差区間では、先受け工（AGF）を採用していることから、先受けによる変位抑制効果も考慮した解析とした。坑口部の土砂区間では、早期併合による先行変位の抑制に対する効果の検証も行った。

また、施工ステップは、旧隧道施工、旧隧道閉塞、新トンネル掘削、新トンネル覆工打設、切土施工の手順としたが、切土は施工範囲が大きく、段階施工が予測されたことから、切土の段階施工も加味したモデルとして解析を実施した。（図－7）

解析の結果、旧隧道交差部、坑口部の土砂区間のいずれにおいても一次支保工の耐力は許容値内に収まること、地山も崩壊に至らないことが確認された。

また、早期併合（H 鋼ストラット付）、旧隧道交差箇所における先受け工（AGF）の部分採用等、補助工法の適正を確認できた。

また、切土施工時には覆工コンクリートに直接荷重が作用することから、RC 構造を採用している。今回の FEM 解析により、切土による除荷の影響についても覆工厚 400mm で十分な耐力を有することが確認できた。（図－8）

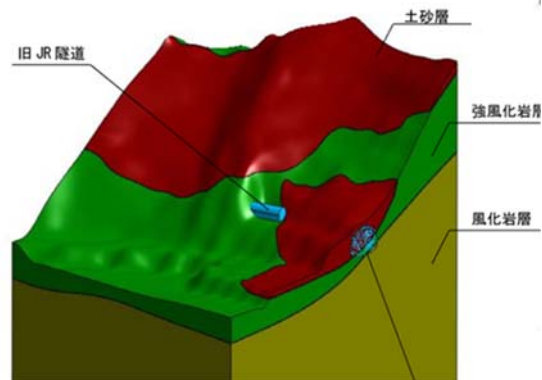


図-6 三次元 FEMモデル

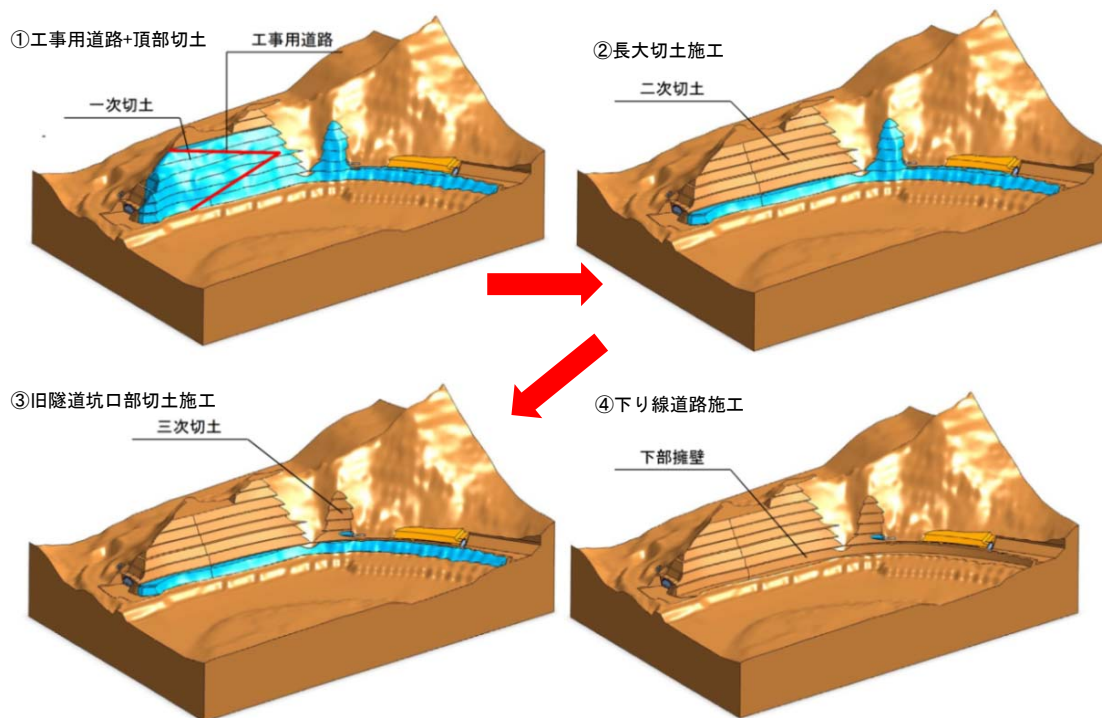


図-7 施工手順を加味した FEM解析ステップ

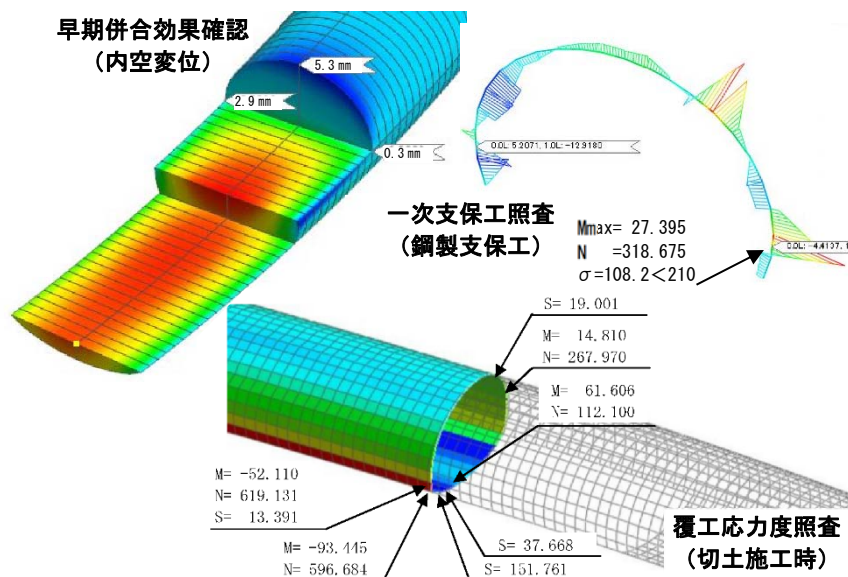


図-8 解析結果（抜粋）

6. 事業の円滑化を目的とした関係機関協議

事業の円滑な遂行のため、本修正設計中に、関係機関の同意を得ることが最優先事項であると考えた。関係機関は、JR 西日本、関西電力、地元である。

関係機関との協議にあたっては、作成した CIM モデル、FEM 解析結果を踏まえて視覚的に評価のしやすい資料作成に注力し、円滑な協議を行った。また、解析

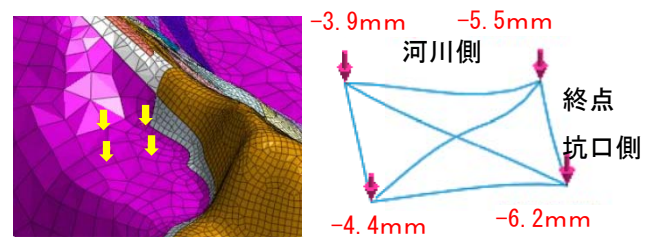


図-9 関西電力鉄塔位置変位

においても、関西電力の鉄塔における管理値、JR 西日本の供用中軌道による管理値を満足する結果となっており、施工に関して、問題ないことを認識している。（図-10）

具体的には、関西電力の鉄塔は、トンネル掘削、切土施工とともに、最大変位（沈下量）は、-6.2mm であり、傾斜としても 1/4000 以下となったことから、構造として問題ないと判断した。（図-9）JR 西日本の供用線は、平面変位 0.42mm、沈下 1.21mm であり、こちらについても、供用中軌道の管理値を満足する結果

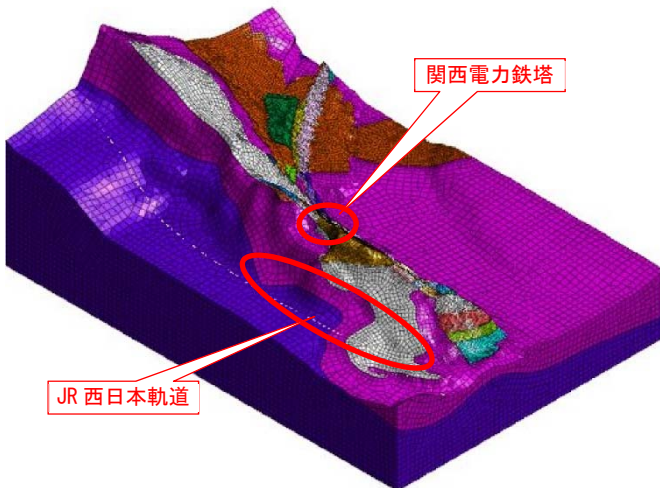


図-10 近接構造位置図

となった。（図-11）

地元に関しては、施工中の現道への影響と、完成後の形状が焦点となるが、完成後の形状については、通常の三次元モデル（CIM）ではわかりにくいため、CIM により作成した三次元モデルをもとに、三次元騒音影響モデルや、走行シミュレーションを新たに作成することで、施工時の状況、トンネル供用時の状況、最終完成時の状況を再現し、利用者にも判り易い CG を作成することで、円滑な地元との合意形成につなげた。（図-12、図-13）

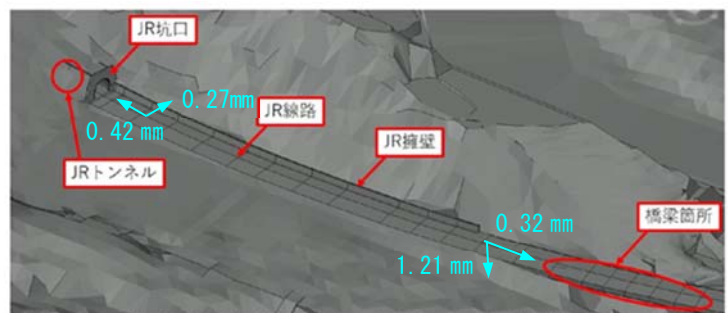


図-11 JR 西日本軌道位置変位

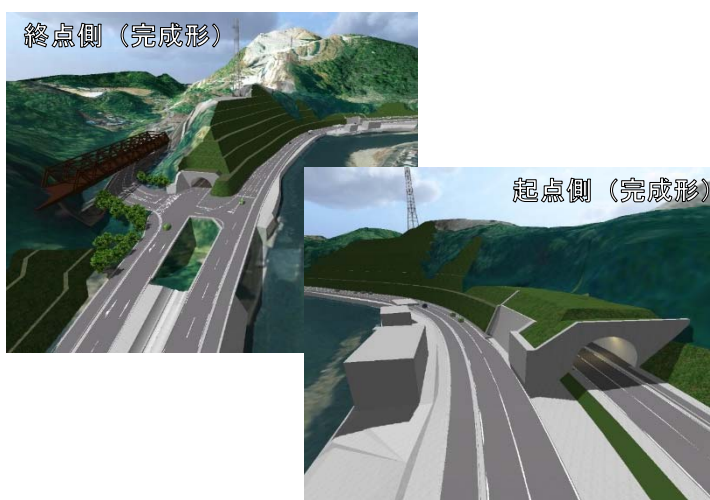


図-13 CIM モデルをベースとした走行シミュレーション

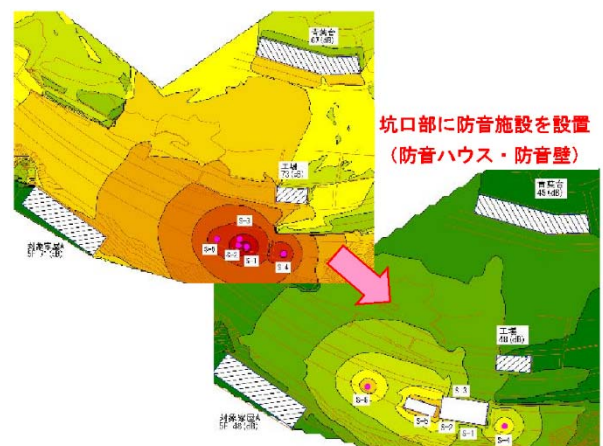


図-12 三次元騒音影響モデル

7. まとめ

本業務では、CIMモデルの活用や作成に当たり、地質情報の取り込みや、解析モデルへの転用、VRモデルへの転用などを試行し、一定の効果を得ることができた。以下に、今回の経験によって得られた設計段階でのCIMモデルのデメリットを示す。

(メリット)

- ・視覚的な確認ができることで、時間に制約のある会議中に多数の同意が得られやすい。
- ・複数の構造物が錯綜するような場面でも、それぞれの構造物の影響範囲が確認しやすい。
- ・二次元設計では見落としていた鉄筋、ロックボルト等の干渉なども視覚的確認が可能である。
- ・地盤情報まで正確に三次元化することで、解析や、土量確認などへの反映ができる。
- ・作成した CIM モデル、FEM モデルを施工にフィードバックすることで、施工時の手間を低減できる。

(デメリット)

- ・作成に時間がかかる。(成果図面への完全転用が困難であり、現段階では作業時間が純増する。)
- ・FEM モデルに反映する際、モデルが複雑すぎるため直接ボクセルモデルに変換すると解析自体が困難となる。
- ・CIM モデルだけでは地元等のように、土木関係者外には理解しがたく、VR モデルの作成が必要となる。などが挙げられる。

今回は、あくまで設計段階での CIM の活用となったが、順次施工が実施される。技術提案交渉方式（技術協力・施工タイプ ECI 方式）にて、CIM を活用したことにより優先交渉権者への引き継ぎも容易となり最大限の効果が得られたと考える。