

技術提案交渉方式による山岳トンネルの設計と施工 —名塩道路城山トンネル工事—

Design and Construction of Mountain Tunnel by Early Contractor Involvement Method —Najio Road Shiroyama Tunnel Construction—

山田 浩幸*1 阪口 治*1
Hiroyuki Yamada Osamu Sakaguchi

要旨

名塩道路城山トンネル工事は、都市部における延長L=311mの山岳トンネル工事である。北側に武庫川、南側にJR福知山線、計画トンネル上部に旧JR廃線隧道や関西電力鉄塔を有する急傾斜地に位置し、供用中の国道176号に近接した施工となった。本トンネルを取り巻く厳しい施工条件下での施工にあたり、課題の解決のために施工者の高度な技術と経験を取り入れることのできる技術提案交渉方式（技術協力・施工タイプ（ECI方式））が採用された。

本報告では、ECI方式の概要、および技術協力業務における技術提案に基づく、トンネルの設計に関する概要の説明とトンネル工事の施工状況について述べる。そのうえで、ECI方式によるトンネルの設計と施工に関して、その効果と課題に関して述べる。

キーワード：山岳トンネル、ECI、近接施工、数値解析、補助工法

1. はじめに

城山トンネル工事は、ECI方式（Early Contractor Involvement）で近畿地方整備局から発注された工事である。ECI方式とは、工事や設計業務等を発注する際に、発注先となる業者を決める発注方式の一つである。この方式では、難易度の高いプロジェクトに設計段階から施工者が参画し、施工者の技術力を設計に反映することで、コスト縮減や工期短縮を目指す。城山トンネル工事は、近畿地方整備局がECI方式で発注した初めての工事である。

ECI方式による発注では、まず発注者と設計者で基本設計を行う。基本設計をもとに、受注希望者に対して技術提案を求める。発注者は提出された技術提案書を審査し、優先交渉権者（施工者）を決定する。優先交渉権者は設計者が行う修正設計に対して技術協力を行い、施工者の持つ技術力を反映した修正設計を完成させる。

修正設計の完成後、発注者と施工者で工事の価格協議を行い、合意すれば契約する。

本報告では、技術提案交渉方式の技術協力・施工タイプ（ECI方式）による設計と施工に関して述べる。

2. 技術提案

ECI方式による発注の対象となったのは、名塩道路の城山トンネル区間である。この区間は、北側に武庫川、南側にJR福知山線、計画トンネルの上部に旧JR隧道や関西電力の鉄塔を有する急傾斜地である（図1）。異常気象時に

は、武庫川の増水やのり面からの落石が懸念されるため、現国道は通行規制区間となっている。基本計画では上り線を建設するトンネル区間、下り線のをり面対策を含む切土区間として、それぞれ2車線の道路とする予定である。

「名塩道路城山トンネル工事に係る技術協力業務」の公告時に求められた技術提案の内容は以下の通りである。

- ①旧JR隧道へのゆるみ抑制対策
- ②トンネル構造の安定化対策
- ③トンネルや鉄塔への影響低減対策
- ④表面緑化可能なのり面対策
- ⑤トンネルおよびのり面の動態観測の強化
- ⑥国道176号線への落石対策

十分な現地確認と関係者による会議を重ね、技術提案書を作成した。近畿地方整備局、専門部会により技術提案書が審査され、工事の優先交渉権者に当社が選ばれた。

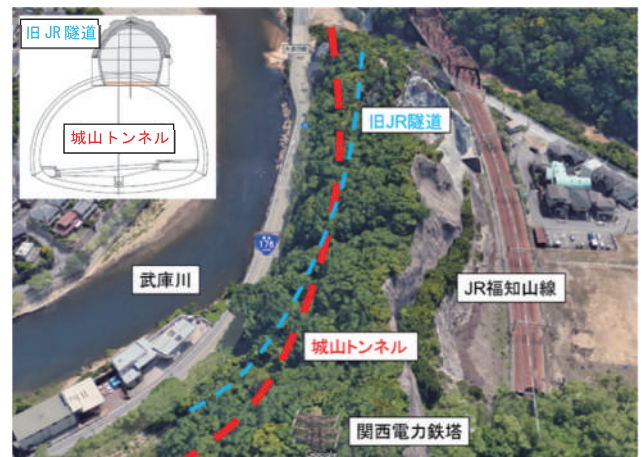


図1 工事区間の周辺状況図

*1 技術本部 土木技術部

3. 技術協力業務

技術協力業務では、約6ヶ月の契約業務期間に発注者の近畿地方整備局、設計者のオリエンタルコンサルタンツ、施工者の鴻池組が協力して基本設計に施工者の技術を反映させた修正設計書を作り上げる。それをもとに発注者と施工者が価格交渉を行い、合意できれば工事契約となる。もし、合意できなければ、次点の優先交渉権者が新たに技術協力業務を行うことになる。

3.1 優先交渉権者の役割

城山トンネル工事に係る技術協力業務を行う上で、役割分担が行われた。施工者の役割は、技術提案に対するスクリーニングと評価された技術提案に関する技術情報の提示である。また、設計者が行う修正設計の照査、設計の課題抽出と改善に向けた追加提案、施工計画の作成、仮設の計画、施工の実現性の検討、工事工程の検討、全体工事費算定、協議への参加、協議資料の作成なども担当業務である。

3.2 業務の内容と社内の役割分担

技術協力業務では、短時間で多岐にわたる業務を行う必要があるため、土木営業部、土木企画部、土木部、土木技術部が協力して業務を行った。それぞれの主な役割は、土木営業部が契約等事務手続き、土木企画部が全体工事費の算出、土木部が施工計画書の作成、土木技術部が設計確認、技術情報の提示、技術提案のスクリーニングである。また、社内に部長クラスによる技術審査会を設置し、定期的に業務内容や進捗状況を審査した。

3.3 履行期間中の協議回数

技術協力業務の履行期間中、合計22回の協議等を行った。修正設計を行うための設計協議7回、専門部会への説明3回、関西電力やJR西日本との関係機関協議4回、地元説明会3回、発注者と施工者による価格協議5回である。

4. 主な技術提案の採否と設計への反映

専門部会により採用とされた技術提案を詳細設計に反映させるため、現地条件に合わせてブラッシュアップする。設計者はブラッシュアップされたものを修正設計に反映する。施工者は修正設計を確認し、施工の実現性照査を行う。この作業を繰り返して修正設計書を完成させた。

4.1 旧 JR 隧道へのゆるみ抑制対策

旧 JR 隧道への緩み抑制対策として裏込め注入、隧道閉塞

工、ロックボルト補強工、隧道内のバラスト撤去工を提案し、専門部会が採否を決定した。技術協力業務において BIM/CIM で可視化するなど、さらに検討を重ね、最終的に表1に示すブラッシュアップした修正設計とした(図2)。

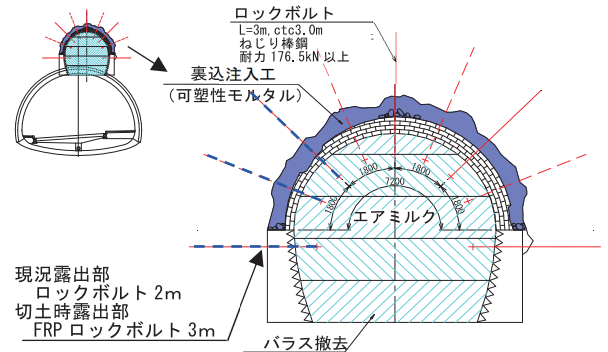


図2 旧 JR 隧道へのゆるみ抑制対策修正設計概要

表1 ブラッシュアップした修正設計内訳

項目	採用の可否	適用条件(特記事項)
①裏込め注入工	修正し採用	ウレタン系と比較し長期耐久性が高く煉瓦部からの漏出が少ない可塑性エアモルタルを採用
②隧道閉塞工	採用	エアモルと比較し軽量化によるトンネルへの荷重低減、経済性、施工性に優れたエアモルクを採用
③ロックボルト補強工	修正し採用	周辺地山、裏込材、隧道煉瓦積み覆工、隧道閉塞工を一体化し安定させるロックボルトを採用
④バラスト撤去	採用	本坑掘削時における天端からの崩落災害を防止するためにバラスト撤去を採用
⑤気泡削孔	特記事項	目視確認で削孔水による孔荒れや周辺地山への緩みが生じた場合に採用(特記事項)
⑥コア抜き	追加	合同現地調査により、隧道煉瓦部の劣化状況から削孔時の崩落対策としてコア抜きを採用
⑦ロックボルトの控除	追加	CIMモデルに合わせて、補強ボルトの長さ、材質を調整

4.2 トンネル構造の安定化

トンネル構造の安定化対策として、一次吹付けコンクリートと注入式フォアポーリングが採用された。修正設計では、BIM/CIM を活用して対策工の施工範囲を明確にし、数量を限定することで、工事費を削減した(図3)。修正設計の内訳を表2に示す。

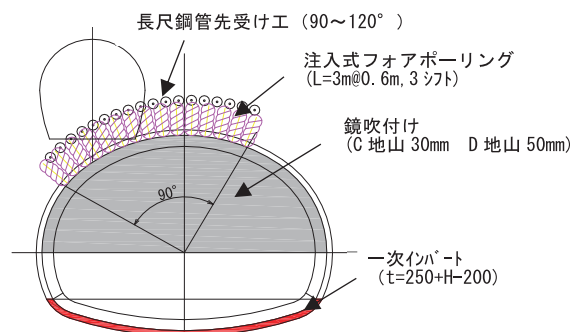


図3 トンネル構造の安定化対策修正設計概要

表2 数量を限定した修正設計内訳

項目	採用の可否	適用条件(特記事項)
①鏡吹付け	修正し採用	本坑の地山は亀裂性が高いため、地山劣化による肌落し対策として鏡吹付け(D地山:50mm、C地山30mm)を採用
②一次インバート	修正し採用	土砂地山の掘土圧に対して一次インバートを採用。ストラットはコストの増加率も小さく、効果が見込まれるため採用。対象区間以外で計測値がレベルIIを超える場合も採用の趣旨を特記に記載
③注入式フォアポーリング	採用	AGF先端部では鋼管の間隔が広くなり、AGFラップ部での天端崩落を防止するため、注入式フォアポーリングを3シフトで採用
④削岩工法	特記事項	近隣トンネルによる掘削実績を考慮して大型プレーカ3級を採用。硬質な岩盤が出現し掘削速度が大幅に低下する場合は削岩工法を採用する趣旨を特記に記載
⑥AGF段落とし	追加	良質地山であるため、AGFを隧道の交差位置に合わせて90°から120°の範囲で設定。地山崩落や計測値がレベルIIを超える場合は標準パターン(120°)に戻す趣旨を特記に記載

5. トンネル工事

表3 工事概要一覧

5.1 工事概要

5.1.1 地形、地質状況

起点側坑口部については、土被り確保のためソイルセメントによる盛土がL=50m 施工されていた。トンネルと地形との位置関係は斜面平行型であり、地質は傾斜した基盤岩上に転石を多く含む崖錐堆積物が厚く堆積していた。

起点側盛土区間の地山は、未固結で自立しない状態であり、掘削時に度々小崩落を繰り返す状況であった。

また、トンネル部分の地質は比較的硬質な地山であり、特に、トンネル中間部より終点側にかけての地質は潜在亀裂を有する硬質な溶結凝灰岩が分布していた。図4に地質縦断面図を示す。

5.1.2 施工概要

表3に工事概要一覧を示す。ECI方式における対策工の検討により、設計時に起点側の地山境界部分(L=38m)に関しては、小口径長尺鋼管フォアパイリング、吹付けインバート(ストラット有り)が計画され、旧JR隧道に関しては本坑の掘削を見据えて比重の軽いエアミルクにて閉塞した上で、旧JR隧道との交差区間(L=115m)および鉄塔近接区間では、長尺鋼管フォアパイリングが計画された。

また、終点側坑口部の人道トンネルの施工に関しては、小断面トンネル(A=17.4 m²)のため、硬質地山部の掘削において非火薬岩盤破碎工法を採用した。さらに、トンネルMRによる遠隔臨場システムの導入等DX技術の活用による生産性向上への取り組みを実施した。

なお、トンネル名は地元要望で「生瀬トンネル」に決まった。

5.1.3 ECI方式における対策工の検討

ECI方式における対策工の検討では、事業を円滑に進める上で、施工課題を解決するために、「国道176号」、「JR福知山線」、「関西電力鉄塔」の各施設に対し、トンネル

工事名称	名塩道路 城山トンネル工事	
工事場所	兵庫県西宮市塩瀬町城山地先	
工期	平成31年3月～令和4年9月	
発注者	国土交通省 近畿地方整備局	
施工者	株式会社 鴻池組	
工事内容	延長	本坑トンネルL=311m、人道トンネルL=37m
	断面	①2車線道路トンネル：掘削断面積A=80.9m ² ②人道トンネル：掘削断面積A=17.4m ²
	施工法	NATM
	掘削方式	機械掘削(大型ブレイカ)、非火薬岩盤破碎
	掘削工法	本坑：DⅢ ^h ターンの、DⅢ ^h ターンの(補助工法併用) 人道：DⅠ ^r ターンの、DⅠ ^r (補助工法併用) DⅢ ^r
	補助工法	天端安定対策： ①長尺鋼管フォアパイリング (L=12.5m, φ114.3mm, @450mm, 打設間隔9m) ②小口径長尺鋼管フォアパイリング(多段式) (L=13.5m, φ76.3mm, @900mm, 打設間隔5m) ③注入式フォアポーリング 本坑：(L=3.0m, φ24mm, @600mm, 打設間隔1m) 人道：(L=2.0m, φ24mm, @600mm, 打設間隔1m) 鏡面の安定対策：鏡吹付(t=50mm) 脚部の安定対策：吹付けインバート(t=250mm)

工事および切土法面工事による地山の変動・挙動を設計段階から高い精度で予測した上で、施工時には、情報化施工により各施設管理機関との事前協議に基づく制約条件を確実に管理することが必要だと考えられた。

そこで、技術協力業務の開始時より、図5に示すBIM/CIMモデルの作成を行い、地質状況の反映、および計画構造物と既存近接構造物の干渉について確認を行った。

前述のとおり、技術協力業務における旧JR隧道の閉塞方法やトンネル掘削時の鉄塔への影響、およびリスクを想定した計測管理等の仕様については、BIM/CIMモデルに基づく地山モデルを用いた3次元FEM解析の結果をふまえ、本トンネル計画の特徴である小土被り偏圧地形下におけるトンネル掘削および切土の影響の予測を行い、その結果を対策工の検討に反映した。

以下にECI方式における技術協力業務において検討された対策工の実際の現場での施工状況について述べる。

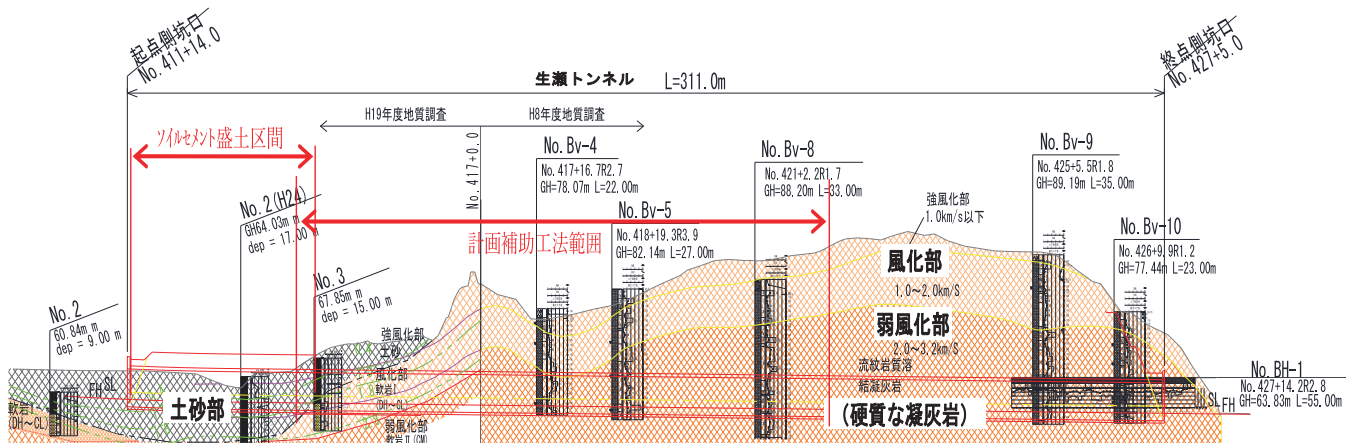


図4 地質縦断面図 1)一部修正



図5 BIM/CIMモデル（地盤情報反映）¹⁾一部修正

5.2. トンネルの施工

5.2.1 旧 JR 隧道交差区間における施工と対策

旧 JR 隧道交差区間の施工では、本坑掘削に先立ち、旧 JR 隧道（写真1）において以下のゆるみ抑制対策を実施した。

- ①トンネル底部にあるバラストを撤去する。
- ②充填材料をエアモルタルから充填性の高いエアミルクに変更し、本坑トンネルへの上載荷重の低減を図る。
- ③アーチ部、側壁部にロックボルトを打設し、エアミルクとの一体化と吊り下げ効果を図る。

図6に示すように、将来的に切土法面から露出する範囲においては、切土の支障とならないように川側のボルト長を3mから2mに変更するとともに、ボルトの材質には切土作業時に切断しやすいGFRPボルトを採用した。

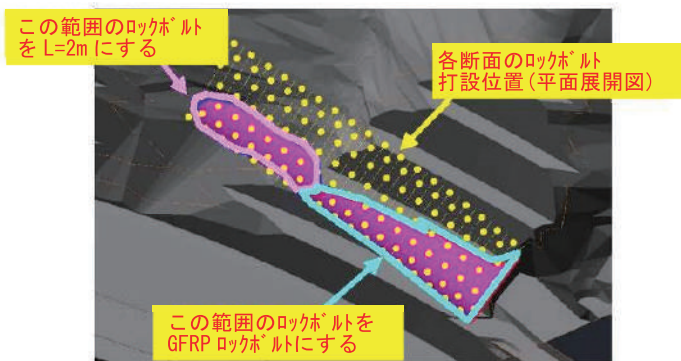


図6 ロックボルト補強工 検討結果²⁾

旧 JR 隧道閉塞工では、旧 JR 隧道坑口から115mの区間に補強ロックボルトを施工した。その内、地山の劣化が著しくロックボルト孔壁が自立せず、ボルトの削孔が困難となった箇所では自穿孔ボルトを198本適用した。その他の閉塞工の施工では、ほぼ計画どおりに完了した（写真2）。

本坑掘削時には、旧 JR 隧道が交差する区間では、対策工として旧 JR 隧道を支えるように長尺鋼管フォアパイリングを施工した。トンネル掘削状況を写真3に示す。

また、地質の変化等による不測の事態に対して次の対応を行った。①本坑掘削に伴う旧 JR 隧道の先行沈下測定を実施した。②本坑掘削時の補助工法削孔データを用いた切羽前方探査（DRISS）により前方地山状況を把握した。③図7に示すBIM/CIMモデルに基づき、本坑と旧 JR 隧道の位置関係を考慮して地山状況に応じて長尺鋼管フォアパイリングの施工を実施した。

なお、写真4に示す切羽前方探査では、長尺鋼管フォアパイリング（φ114.3mm）施工時の削孔データを用いて前方地山の地質確認と補助工法の必要性を評価した。

前方探査の結果は、事前にエアミルクを充填した旧 JR 隧道部分では、穿孔エネルギーが25 J/cm³以下の赤色を示す部分が多く、旧 JR 隧道の範囲から外れた部分は、おおむね100 J/cm³以上の高い値を示した（図8）。



写真2 旧 JR 隧道閉塞工（エアミルク充填状況）²⁾



写真1 旧 JR 隧道対策前



写真3 トンネル掘削状況（旧 JR 隧道交差区間）

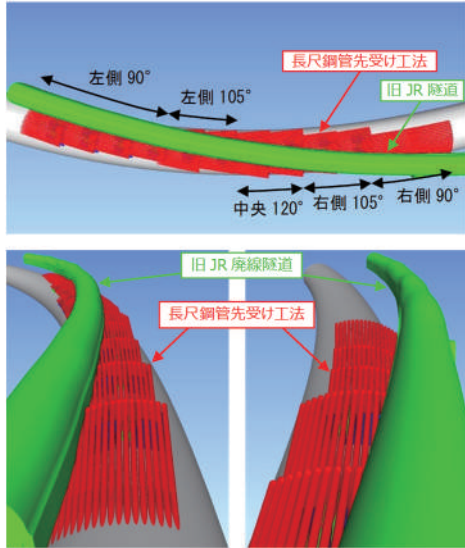


図7 旧 JR 隧道交差区間 補助工法 3次元モデル³⁾

トンネル切羽が旧 JR 隧道交差区間に到達する前に、2次元 FEM 解析により計測結果に基づく再現解析を行い、地山物性値や解析モデルの同定を実施した。その後、トンネル掘削の施工ステップを考慮した 3次元予測解析により、ゆるみ範囲の見直しを行うとともに、交差区間施工時の影響や補助工法の妥当性を評価した。図9に示すとおり、再現解析結果では、弱風化層の範囲がトンネル部分を占めており、当初解析結果より弱風化層の範囲が若干狭くなった。

また、再現解析結果による物性値は、表4に示すように当初(上表)、風化層と設定した層を強風化程度(軟岩相当)とし、風化層(軟岩Ⅱ～中硬岩)、弱風化層(中硬岩)、未風化層(硬岩)で再設定(下表)を行った。また、予測解析の結果では、図10に示すように肩部0.5D範囲ぐらいに掘削の影響により若干の塑性域が見られた。坑内計測の結果では、天端沈下の最大が7.4mm(注意レベルⅡ:23mm)、内空変位の最大が3.0mm(注意レベルⅡ:38mm)であり、交差区間全般において管理値の1/3～1/10で収まっており、変位モードは天端沈下卓越のひしゃげモードであった。

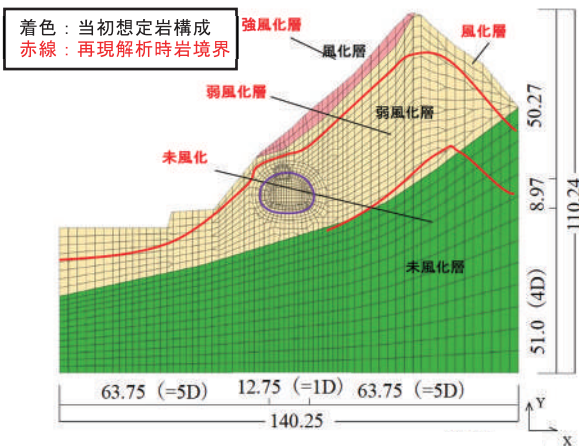


図9 再現解析による地層構成(旧 JR 隧道交差区間)⁴⁾



写真4 切羽前方探査実施状況⁵⁾

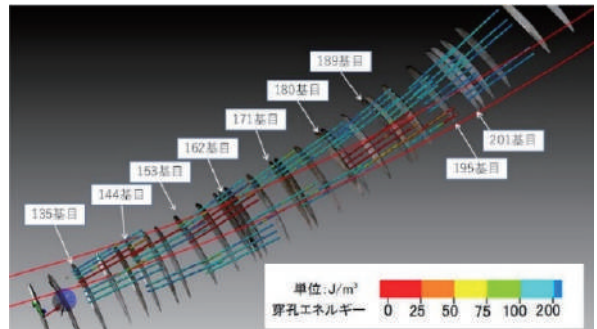


図8 切羽前方探査結果(旧 JR 隧道交差区間)⁴⁾

表4 地山物性値同定結果⁴⁾

【当初解析時の物性値】

層名	単位体積重量 γ (kN/m ³)	変形係数 E(kN/m ²)	ポアソン比 ν	粘着力 C(kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ (deg)
風化層	19	30,000	0.4	100	30
弱風化層	26	220,000	0.3	400	32
未風化層	26	410,000	0.3	450	34



【再現解析による物性値】

層名	単位体積重量 γ (kN/m ³)	変形係数 E(kN/m ²)	ポアソン比 ν	粘着力 C(kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ (deg)
盛土	19	3,500	0.4	30	35
強風化層	22	50,000	0.4	100	30
風化層	26	220,000	0.3	400	32
弱風化層	26	600,000	0.3	450	34
未風化層	26	1,300,000	0.3	1,250	40

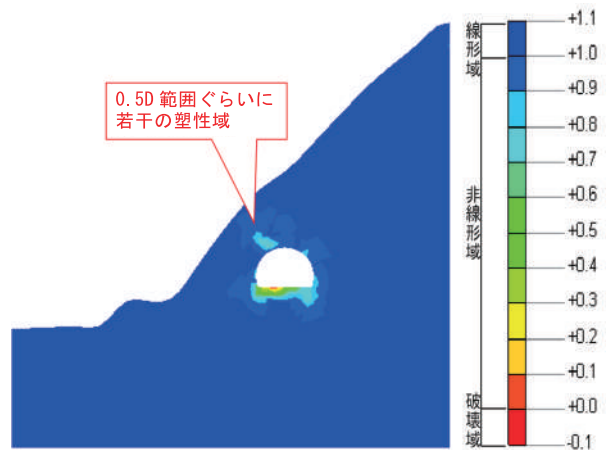


図10 3次元予測解析結果(旧 JR 隧道交差区間)⁴⁾

5.2.2 鉄塔近接区間における施工と対策

鉄塔近接区間の施工では、鉄塔への影響を抑制する目的で山側の影響範囲に限定した長尺鋼管フォアパイリングを施工した。また、トンネル切羽が鉄塔近接区間に到達する前に2次元FEM解析により計測結果に基づく再現解析を行い、地山物性値や解析モデルの同定を行った。その後、トンネル掘削の施工ステップを考慮した3次元予測解析により鉄塔への影響や補助工法の妥当性を評価した。

再現解析の結果は、当初解析と比較して未風化層の範囲がトンネル部分まで占め、弱風化層、強風化層とも範囲が狭くなった。予測解析の結果では、図11に示すとおり、トンネルの塑性域はほとんど見られないが、沈下に伴い地表部が一部塑性化することが想定された。

鉄塔への影響防止対策として長尺鋼管フォアパイリングを採用したが、地質の急変等で不測の事態が懸念されることから、鉄塔への影響を詳細に把握する目的で、表5に示す鉄塔計測工を実施した。

トンネル掘削時には、予測解析の結果とおおむね一致した比較的良好な地山が出現し、長尺鋼管フォアパイリングの先受け効果も確認された。また、鉄塔への影響を24時間体制で監視し、WEBを用いた統合管理システムにより関係者が情報共有するといった綿密な計測管理を行った。鉄塔基礎の許容変位量は、鉄塔脚部間の相対変位から表6のとおり設定した。なお、図12に鉄塔根開き、基礎沈下および周辺地盤計測の概要図を、写真5に鉄塔計測機器設置状況を示す。

管理基準値としては、送電鉄塔（関西電力）の重要性を鑑み、鉄塔基礎部の鉛直・水平方向変位ともに6.0mm（1/1200）とし、周辺地盤の沈下量に関しては許容変位量の80%の20mmと設定した。

表5 鉄塔計測工一覧⁵⁾

計測対象	計測項目	計測目的	使用計器
鉄塔	根開き (相対変位)	トンネル掘削時の鉄塔への影響(根開き・相対沈下量)を計測し、計測値と管理値とを比較検討することにより、構造物の安全性を確認する。	(鉛直変位) トータルステーション 計測点:4点 (水平変位) 伸縮計:4測線
鉄塔 周辺地盤	3次元変位 (絶対変位)	トンネル掘削時の鉄塔周辺地盤への影響(3次元変位)を計測し、地盤の挙動を把握する。	トータルステーション 計測点:4点
気温	外気温	外気温と各計測値との相関関係を把握し計測値を補正することを目的として設置する。	熱電対
坑外地中 変位計測	多段式傾斜計 測定	トンネル掘削時の地中の挙動を把握し、地滑りの兆候を把握する。	多段式傾斜計 10台@2m
地表面沈下 B計測	3次元変位 測定	鉄塔近傍斜面に地表面測点を設け、斜面挙動を把握する。	トータルステーション 計測点数:9点

表6 鉄塔基礎の許容変位量⁵⁾

	鉛直方向変位	水平方向変位	絶対(許容) 沈下量
許容変位量	6.0mm(1/1200)	9.0mm(1/800)	25mm

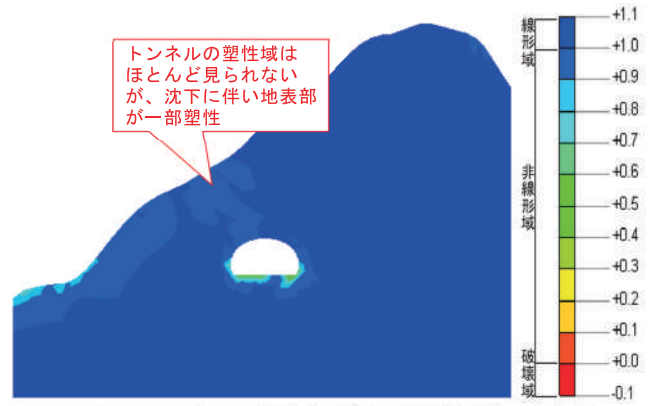


図11 3次元予測解析結果(鉄塔近接区間)⁵⁾

トンネル掘削時の鉄塔基礎の変位計測結果は、鉛直方向で最大0.1mm、水平方向で0.3mm、周辺地盤の沈下が0.1mmと小さな値で収束した。坑外地中水平変位に関しては、鉄塔通過時あたりから斜面表層1~2mの範囲で、川側への変位(変位速度0.2mm/10日)が見られたが、管理基準値(変位速度1.0mm以上/10日)と比べて非常に小さく、トンネル施工(本坑掘削、インバート掘削)により鉄塔に影響を与えることなく施工を完了した。

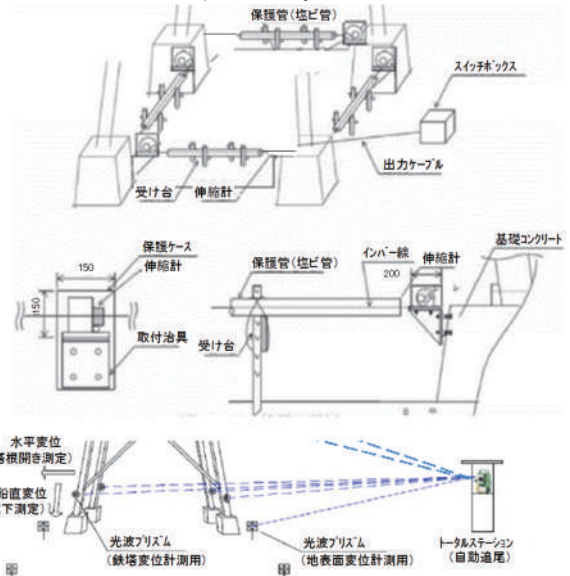


図12 鉄塔根開き、基礎沈下および周辺地盤計測⁵⁾



写真5 鉄塔計測計器設置状況

5.2.3 人道トンネルの施工

本坑掘削 (A=80.9 m²) では、硬岩地山において、前出の写真3で示したとおり、4t級+2t級大型ブレーカ併用での施工を行ったが、人道トンネルは、写真6のとおり小断面 (A=17.4 m²) のため、0.8t級ブレーカを使用して施工した。補助的に空穴の削孔を行ってサイクル向上対策を講じていたが、硬岩部では掘削に半日以上かかる状況であった。

さらに、人道トンネルの施工は昼間一方施工であり、吹付けコンクリートはプラント購入生コンを使用したため、掘削サイクルの遅れが工事全体の遅延につながる懸念があった。そのため、非火薬岩盤破碎工法を採用し、硬岩部の掘削の効率化を図った。

非火薬岩盤破碎工法とは、酸化還元反応 (テルミット反応) により破碎剤中に含まれる結晶水が瞬時に気化して水蒸気になり、破碎孔内に高い膨張圧 (ガス圧) が作用し、岩盤やコンクリート構造物を破碎する工法である。非火薬のため火薬類取締法の適用を受けず、取扱いが火薬と同様であるため、火薬類取扱いの資格を保有するトンネル作業員が作業することで安全性の確保もできた。

硬岩部の掘削において、自由面を形成するための芯抜き部 (中央) や当りを含めた外周部、および隅踏前 (足元) を岩盤破碎することで掘削時間の短縮が図れた (写真7)。

なお、トンネルの施工サイクルは、非火薬岩盤破碎工法の採用により1サイクル/日 (1m/日) の進行を確保できた。

5.2.4 DX技術の活用と効果

MR技術を活用したトンネル施工管理システム (トンネルMR) にDX技術を付加し活用した。この技術は、トンネルや周辺の地形、構造物を含んだBIM/CIMモデルに、施工時の計測データや切羽の観察記録などの施工情報を統合したデジタルツインをクラウドサーバー上に構築し、空間アンカー機能 (MR技術により座標を指定する機能) を使って、その映像をトンネル坑内に正確に表示できる。この技術により、トンネル坑内から覆工コンクリート背面の地質、旧JR隧道跡や近接した鉄塔を透視することができ、図面などの資料と現場を付き合わせることなく、トンネル周囲の状況が一目で分かる (図13、図14)。

また、この技術は施工中の近接構造物との位置関係や支障となる構造物の確認に活用でき、適切な対策工を事前に検討する場合にも有効である。さらに、トンネルの維持管理においても効果的な活用が期待できると考えている。

現在、国の重点施策として、インフラ分野におけるデジタル技術を用いた業務改善、業務変革が進められている。

今回、デジタル技術を現場に積極的に導入する目的で開発したDX技術の活用や遠隔臨場システムは、本現場での遠隔臨場等の実証実験により、その適用性が実証されている。



写真6 人道トンネル掘削状況

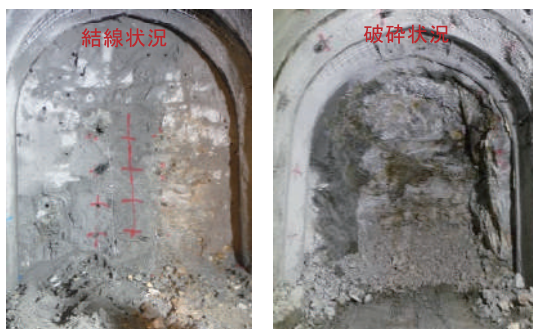


写真7 非火薬岩盤破碎状況

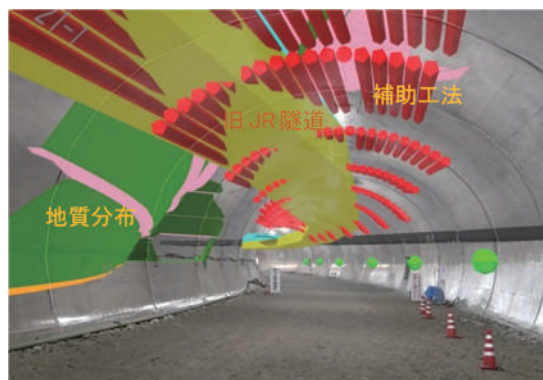


図13 トンネルMRによる映像⁶⁾

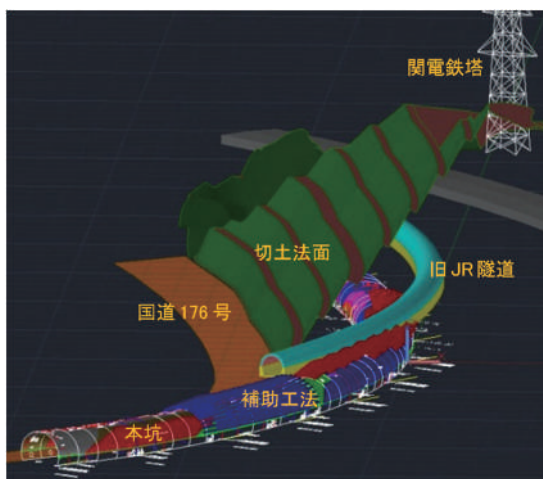


図14 BIM/CIMモデルによる近接構造物の状況⁶⁾

6. ECI 方式の効果と課題

ECI 方式による設計・施工に関する効果と課題を以下にまとめる。

(1) ECI 方式の効果

- ①設計では、BIM/CIM を用いた影響検討や予測解析結果を踏まえた対策工の検討において、発注者、設計者および施工者の三者で課題に関する認識を共有できた。
- ②発注者のリーダーシップの下、施工者の技術と経験を踏まえた当初設計の照査が早い段階で可能となった。
- ③関係機関協議や地元説明において、BIM/CIM を活用し、設計者、施工者の同行により合意形成が図れた。
- ④学識経験者へ意見聴取ができる体制の構築が可能となり、高度な技術的課題であっても、学識経験者の意見を踏まえた適切な設計を実施することができた。
- ⑤ECI 業務の検討において想定していなかった起点側坑口部の脆弱な地山における施工において、設計時の検討結果を参考に最適な補助工法により迅速な対応ができた。

(2) ECI 方式の課題

- ①検討内容によっては設計と積算がほぼ同時に進むため十分な検討期間が確保できなかった。
- ②事前の対策工を設計に反映することで工事費が膨らむため、三者による協議において、提案内容のブラッシュアップが必要。
- ③ECI 業務の中で課題とする項目に関して、十分な事前調査や施工条件等の検討が必要。

7. おわりに

ECI 方式による設計・施工を行うことで当初想定していた施工上の課題について効果的な対策が取れた。

旧 JR 隧道交差区間の施工においては、本坑掘削前にエアミルクによる旧 JR 隧道閉塞工を実施した上で、旧 JR 隧道における先行沈下測定や本坑施工時の補助工法削孔データを用いた切羽前方予測、および 3 次元 FEM 予測解析結果等を参考に交差部区間(L=115m)の本坑施工を無事完了した。

また、TD180m 付近の鉄塔近接区間における施工では、24 時間体制の綿密な計測管理を行うとともに、3 次元予測解析等の結果や補助工法の効果もあり、特に問題もなく本坑掘削を終えることができた。

さらに、BIM/CIM や 3 次元予測解析結果に基づく近接構造物への影響や対策工の検討、学識経験者の意見を踏まえた設計と施工の実施、関係機関協議や地元説明における合意形成が円滑に図れたと考えている。

今回のトンネル工事では、起点側盛土区間における補助

工法の検討、終点側切土工事や人道トンネルの施工といった追加工事や DX 技術の検証への対応が必要となった。そのような事案に対しても速やかな対応が取れたと考えられる。

写真 8 は、トンネル工事完了時の終点側坑口状況である。トンネル工事完了後、随意契約により切土法面工事が継続中である。この工事は、南側に供用中の JR 福知山線に近接した上部鉄塔付近での頂部平切り部施工時の落石防護対策、国道 176 号に近接する急峻な法面での工事用道路の確保や落石対策、重機足場の確保が困難な法面掘削や中硬岩掘削の施工における工程検討といった課題がある。

これらの課題に対しては、施工条件に応じた工区分割、各工区での適用工法や施工時の計測管理手法等の解決策について、城山法面 ECI の中で検討を完了している。

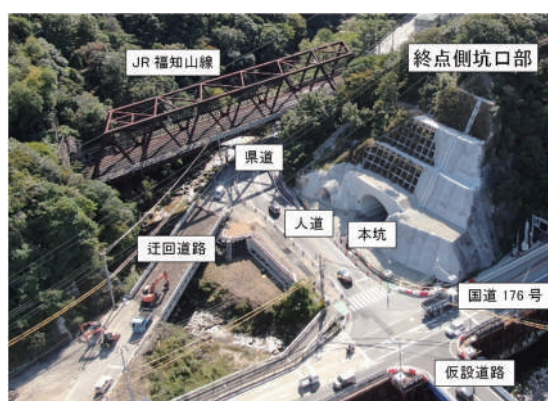


写真 8 終点側坑口部全景

参考文献

- 1) 中野陽平：技術提案交渉方式 名塩道路城山トンネル工事の取り組みについて、近畿地方整備局研究発表会論文集、インベション部門Ⅱ No. 2、pp. 1-6、2019
- 2) 山田浩幸、平松 丈、森岡大智、浦本康仁：都市部における既設廃線トンネルに近接した山岳トンネルの施工に関する一考察、第 55 回地盤工学研究発表会、23-8-2-05、2020
- 3) 山田浩幸、平松 丈、森岡大智、浦本康仁：都市部における既設廃線トンネルに近接した山岳トンネルの設計と施工に関する一考察、第 75 回土木学会年次学術講演会、VI-431、2020
- 4) 山田浩幸、大槻文彦、平松 丈、浦本康仁：既設廃線トンネルと本坑交差部の施工における設計・施工に関する一考察、第 56 回地盤工学研究発表会、12-7-1-05、2021
- 5) 山田浩幸、大槻文彦、平松 丈、森岡大智、大森功一：既設廃線トンネル及び鉄塔に近接した山岳トンネルの施工と対策に関する一考察、トンネル工学報告集 第 31 巻、I-3、pp. 1-6、2021
- 6) 山田浩幸、大槻文彦、平松 丈、松見 清、大森功一：都市部山岳トンネルにおける DX 技術の活用に関する一考察、第 77 回土木学会年次学術講演会、VI-807、2022