

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

(株)鴻池組 大阪本店 城山トンネル工事 正会員 ○山田 浩幸
 (株)鴻池組 大阪本店 城山トンネル工事 平松 丈
 (株)鴻池組 大阪本店 城山トンネル工事 森岡 大智
 国土交通省 近畿地方整備局 兵庫国道事務所 浦本 康仁

1. はじめに

一般国道 176 号名塩道路は、地域の交通混雑の緩和、異常気象時の通行規制区間の解消、交通安全の確保を目的とした兵庫県西宮市山口町から兵庫県宝塚市栄町に至る延長 10.6km の 4 車線化工事である。その内、城山トンネルは、延長 311.0m の山岳トンネルで、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（以下廃線隧道と称す）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 号に近接して施工する（図-1）。このような厳しい施工条件での施工に当たり、設計段階から施工者が参画し施工の実施を前提として設計に対する技術協力を行う ECI 方式が採用された。

本報告では、設計時の技術協力業務の概要と施工が完了している廃線トンネルの閉塞工及び本坑掘削時の補助工法について述べる。

2. 地形・地質概要

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 施工されている。トンネルと地形との関係は斜面平行型であり、地質は傾斜した基盤岩状に転石を多く含む崖錐堆積物が厚く堆積している。また、トンネル中間部より終点側にかけて硬質な凝灰岩が想定されている。

表-1 に工事概要を示す。起点側地山境界部分（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、廃線隧道との交差部分（L=110m）に関しては、長尺鋼管フォアパイリングが計画されている。

3. ECI 方式の概要

城山トンネルは現道（国道 176 号）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が近接する位置に計画されている。

また、約 110m にわたり、廃線隧道が本坑に接するように位置している（図-2）。

以上のとおり、トンネルの高度な設計・施工技術が必要になるため、設計段階から施工者が参画し施工の実施を前提として設計に対する技術協力を行う技術提案交渉方式の技術協力・施工タイプ（ECI 方式）が採用された。

キーワード 山岳トンネル、近接施工、補助工法、数値解析、CIM



図-1 計画平面図

表-1 工事概要一覧

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3年3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	L=311m
	断面	掘削断面積A=80.9㎡ 2車線道路トンネル
	施工法	NATM
	掘削方式	機械掘削（大型ブレーカ）
	掘削工法	DIIIバターン、DIIIバターン（補助工法併用）
	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, @450mm, 打設間隔5m) ③注入式フォアボーリング (L=3.0m, 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）

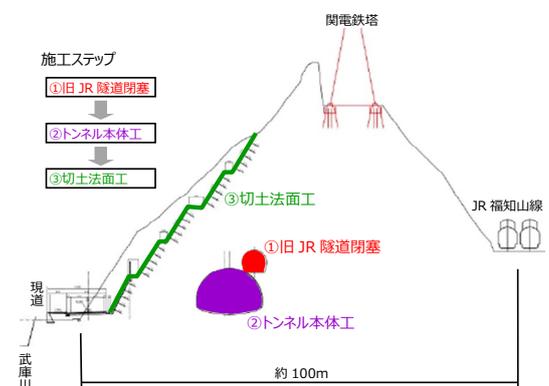


図-2 計画断面図

本トンネルの施工上の課題である廃線隧道の閉塞方法や切土工事の施工方法、及びリスクを想定した計測管理等の仕様については、発注者・設計者・優先交渉権者による合同現地確認や地質調査結果、CIMモデルを活用した問題抽出時にリスクを洗い出したうえで、優先交渉権者による技術提案をさらにブラッシュアップした。

表-2 旧 JR 隧道への緩み抑制対策

①旧JR隧道への緩み抑制対策	
当初	修正
<p>裏込注入工 (エアモルタル)</p> <p>エアモルタル</p> <p>バラスト</p>	<p>裏込注入工 (可塑性モルタル)</p> <p>エアミルク</p> <p>バラスト撤去</p> <p>ロックボルト φ13000 cts=3.0m ねじりモーメント 耐力176.5kN/m以上</p>
<ul style="list-style-type: none"> ・充填性を考慮し、バラストを撤去を行う。 ・煉瓦積み間に隙間が多く、充填性と圧送性が優れているエアミルクを採用 ・計画トンネル掘削時に分離構造である。アーチ部・側壁部にロックボルトを打設 	

4. トンネル閉塞工の設計と補助工法の検討

本トンネルの施工上の課題の1つである廃線隧道の閉塞方法については、表-2に示すとおり、技術協力業務において、本坑トンネル施工に配慮して、ゆるみ抑制対策をとった。

- 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エアミルクに変更し、充填性を高めるとともに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。

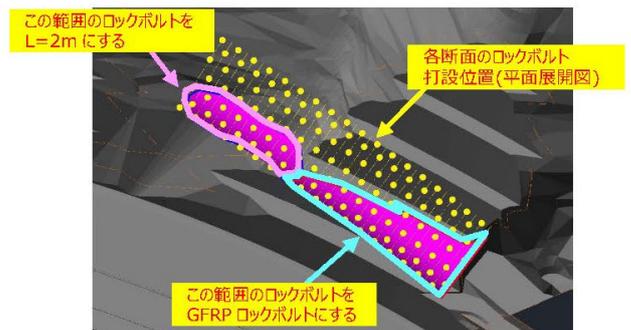
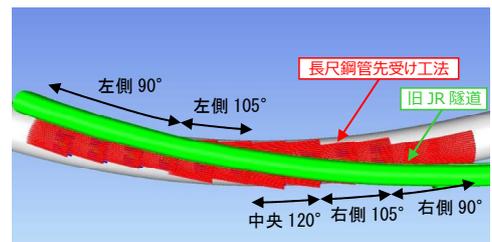


図-3 ロックボルト補強工 検討結果

なお、図-3に示すとおり、廃線隧道、現況地表面や将来的な切土法面を3次元モデル化(CIM)し、それぞれの施工段階におけるロックボルトの露出範囲を3次元モデル上で確認した。

その結果、川側のボルト長を3mから2mに計画変更するとともに、将来的に切土法面から露出する範囲においては、ボルトの材質を切土作業時に切断しやすいGFRPボルトに計画変更した。



また、隧道交差区間110m間では、3次元モデルによりトンネルと廃線隧道との交差状況を詳細に把握した。これにより、トンネル上部で交差する廃線隧道との位置関係に合わせて、長尺鋼管先受け工法(φ114.3mm, L=12.5m@0.45m, 9mシフト)をトンネル上半90°・105°・120°と3段階で変化させて経済性に配慮しつつ、廃線隧道の荷重によるトンネルへの影響を合理的に低減する計画とした(図-4)。3次元モデルでトンネルと廃線隧道との交差状況を正確に確認することで経済的な補助工法の設計ができた。

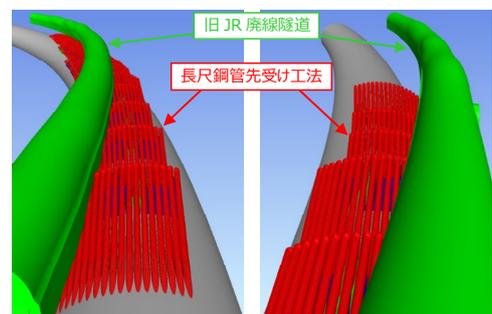


図-4 廃線隧道交差部 補助工法 3次元モデル

5. おわりに

トンネル工事は、2019年9月末に廃線隧道の閉塞工を完了し、2020年3月末現在、上半51m、下半46mの掘削を完了している(写真-1)。今回のECI方式による設計に関して、施工上の課題と対策について、発注者、設計者および優先交渉権者で共有することにより、発注者のリーダーシップの下、優先交渉権者の経験・知識を踏まえた当初設計の照査が可能となった。さらに、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と考えられる。



写真-1 トンネル掘削状況