

鉄塔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、本線トンネルが旧 JR 廃線隧道（以下廃線隧道と称す）と交差し、上部に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 号に近接した施工である（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、施工が完了している鉄塔近接部における施工時の数値解析による検討及び施工状況について述べる。



図-1 計画平面図

2. 施工概要

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 施工されていた。トンネルと地形との位置関係は斜面平行型であり、今回報告する鉄塔近接部の地質は、亀裂の発達した硬質の溶結凝灰岩が分布していた。

表-1 に工事概要を示す。廃線隧道との交差部分（L=115m）と鉄塔近接部に関しては、ECI の検討の中で施工範囲を限定した長尺鋼管フォアパイリングが計画されており、その計画に基づき施工を行った。

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10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（大型ブレイカ）	
	掘 削 工 法	DⅢパターンの、DⅢパターン（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）	

3. 数値解析による検討結果

鉄塔近接部では、図-2 に示すとおり、トンネル上部に不連続面が想定されていたが、ボーリング結果では確認されなかった。

トンネル切羽が鉄塔近接部に到達する前に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い、トンネル掘削の施工ステップを考慮した3次元解析による予測解析によりゆるみ範囲の見直しを行うとともに、鉄塔への影響や補助工法の妥当性を評価した。

再現解析結果では、図-3 に示す通り、未風化層の範囲がトンネル部分まで占めており、弱風化層、強風化層とも範囲が狭くなった。また、物性値は表-2 に示す通り当初風化層と設定した層は強風化程度（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）で再設定を行った。

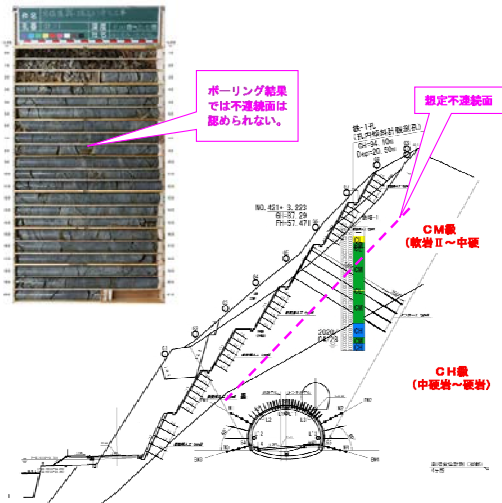


図-2 鉄塔近接部ボーリング結果

キーワード 山岳トンネル, 近接施工, 補助工法, 数値解析, 計測管理

連絡先 〒669-1136 兵庫県西宮市名塩木之元 1845-1 (株)鴻池組城山トンネル工事 TEL0797-69-7337

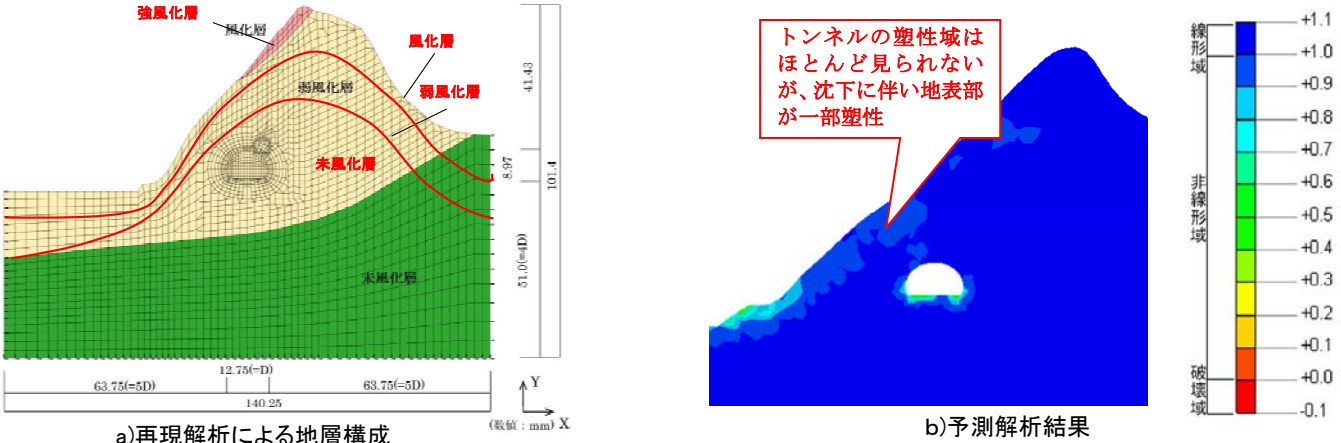


図-3 数値解析による検討結果

予測解析の結果では、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することが想定された。

4. 鉄塔計測結果

鉄塔近接部においては、鉄塔への影響を詳細に把握する目的から表-3 に示す計測を実施した。鉄塔基礎の許容変位量を表-4 に示す。鉄塔基礎間距離（7.2m）をもとに鉛直方向は 1/1,200、水平方向は 1/800 として設定した。

管理基準値としては、送電鉄塔（関西電力）の重要性を鑑み、より重みのある管理基準として、鉄塔基礎部は鉛直方向、水平方向ともに 6.0mm（1/1,200）とし、周辺地盤の沈下量に関しては許容値の80%の20mmと設定した。

施工時の計測結果は鉛直方向で最大0.1mm、水平方向で 0.3mm、周辺地盤が 0.1mm と小さく、トンネル施工（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できた。

5. おわりに

トンネル工事は 2021 年 3 月末現在、上半 296.2m、下半 296.2m、インバート 287.2m、覆工 128.2m の施工を完了している（写真-1）。今回報告した鉄塔近接部に関しては、ECI 方式による設計において、長尺鋼管フォアパイリングによる対策が検討されていたことに加え、施工時の数値解析による再現解析と挙動予測による対策工の妥当性評価ができたと考える。また、綿密な計測管理を行うとともに発注者、設計者および施工者で情報を共有することにより、鉄塔に影響を与えることなく無事施工を完了できた。

今回の報告が同種条件の山岳トンネルの設計・施工の参考になれば幸いである。

表-2 地山物性値

層名	単位体積重量 γ (kN/m ³)	変形係数 E (kN/m ²)	# アソビ 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



層名	単位体積重量 γ (kN/m ³)	変形係数 E (kN/m ²)	# アソビ 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

表-3 鉄塔計測一覧

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-4 鉄塔許容変位量

	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



写真-1 トンネル掘削状況