

# 舞鶴若狭自動車道における Ⅱ期線トンネルの超近接施工について

土井 翔悟<sup>1</sup>・宮内 智昭<sup>2</sup>・中畦 耕史<sup>3</sup>・高山 慎介<sup>4</sup>・境 浩司<sup>5</sup>

<sup>1</sup>正会員 西日本高速道路(株) 関西支社 建設事業部 (〒567-0871 大阪府茨木市岩倉町 1-13)  
E-mail: s.doi.ac@w-nexco.co.jp

<sup>2</sup>正会員 西日本高速道路(株) 関西支社 建設事業部 (〒567-0871 大阪府茨木市岩倉町 1-13)  
E-mail: t.miyauchi.aa@w-nexco.co.jp

<sup>3</sup>西日本高速道路(株) 中国支社 保全サービス事業部 (〒731-0103 広島県広島市安佐南区緑井 2-26-1)  
E-mail: k.nakaune.aa@w-nexco.co.jp

<sup>4</sup>正会員 青木あすなる建設(株) 土木技術本部 (〒101-0053 東京都千代田区神田美土代町 1)  
E-mail: Shinsuke.Takayama@aaconst.co.jp

<sup>5</sup>正会員 青木あすなる建設(株) NEXCO 綾部作業所 (〒623-0232 京都府綾部市館町岸ノ下 2 番地)  
E-mail: hiroshisakai@aaconst.co.jp

舞鶴若狭自動車道の福知山 I C～綾部 I C間を四車線化する事業において、供用中の私市円山(きさいちまるやま)トンネルにⅡ期線トンネル(延長 125m)を併設する。Ⅰ期線トンネルとⅡ期線トンネルとの離隔は全線にわたり 1m 未満である超近接施工となる。また、ほぼ全線にわたり土被りが 1.5D 未満の小土被りであり、トンネル上部には国の史跡である私市円山古墳がある。そのため、供用中のⅠ期線トンネル、および、私市円山古墳に対して安全な施工が求められている。本稿では、本工事の超近接施工に対する施工方法、計測管理、施工体制について報告する。

**Key Words:** tunnel, eye-glass shaped tunnel, super proximity construction, measurement management, construction system

## 1. はじめに

私市円山(きさいちまるやま)トンネル(Ⅱ期線)は、舞鶴若狭自動車道の福知山 I C～綾部 I C間に位置し、京都府綾部市の南西部を貫く延長 125m のトンネルである(図-1)。

本トンネルは、山頂部に発見された「私市円山古墳(直径 71m×高さ 10m)」の文化財保護のため、当初の切土計画を変更し、急きょトンネル構造とした先進導坑めがねトンネルであり、下り線(以下Ⅰ期線という)が 1991 年(平成 3 年)対面通行で供用開始している(図-2)。

今回、四車線化事業に伴い、上り線(以下Ⅱ期線という)のトンネル掘削を 2019 年(平成 31 年)4 月より開始している。



図-1 工事位置図

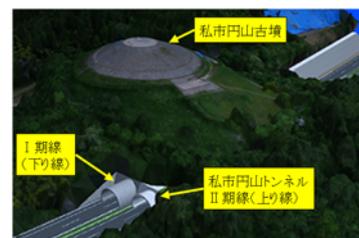


図-2 私市円山トンネル完成予想図(VR写真)

## 2. 地形および地質概要

当該地は丹波山地を貫通する由良川中流に開けた福知山盆地の北側に位置し、標高 94.12m の『円山』と呼ばれる円錐型の丘陵で、北側は鞍部によって北方の丘陵とつながっている。

私市円山トンネルの地質は、輝緑岩とハンレイ岩を主体とし、古期花崗岩が挟まれている。Ⅱ期線においては土被りがほぼ全線で 1.5D=16.5m (掘削幅 D=10.5m) 未満となっており、Ⅰ期線の地質調査に追加して 5本の鉛直ボーリング、Ⅱ期線トンネル上方に水平ボーリングを実施して地質分布を確認した結果、DL 級、DH 級が主体で、トンネル中央部で一部 CL 級が出現することを確認した (図-3)。

また、トンネル上部には国の史跡である私市円山古墳が位置している (図-4)。

## 3. 本工事の課題

当初、私市円山トンネルは“めがねトンネル”として計画されていたが、供用路線の点検結果を加味した解析の結果、Ⅱ期線トンネル施工の影響によりⅠ期線とⅡ期線の間接地山が緩み、Ⅰ期線右肩部の覆工引張応力が超過することが確認されたことから、当初計画より線形を 50cm シフトさせて“超近接構造”に変更することとした (図-5)。

したがって、本トンネルの施工における課題は、超近接トンネルの施工、および超近接施工時の安全対策 (Ⅰ期線への影響を最小限とする) であり、本論文は、その課題に対する対応について言及するものである。

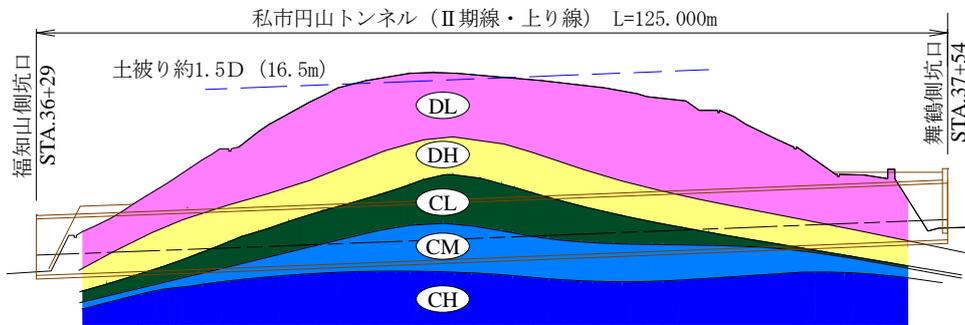


図-3 私市円山トンネル縦断面図

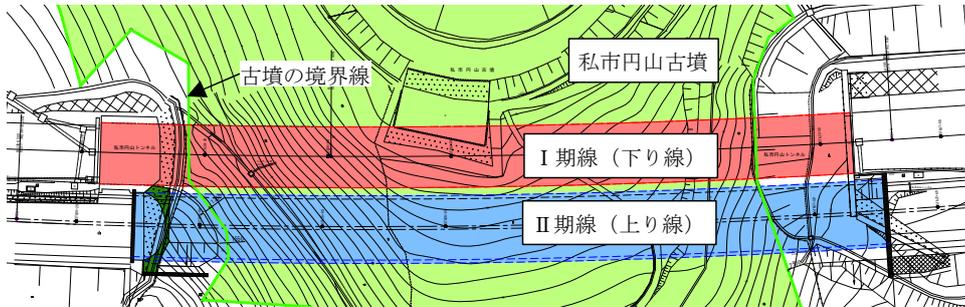


図-4 私市円山トンネル平面図

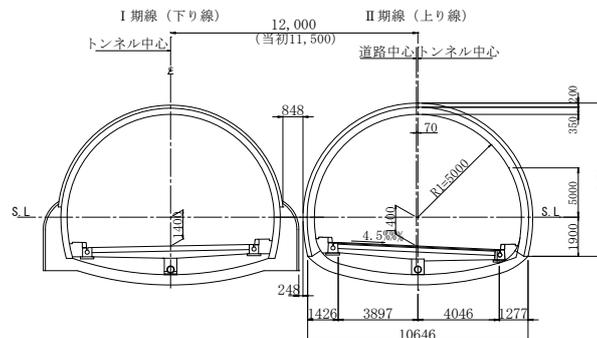


図-5 私市円山トンネル標準断面図

## 4. 解決の方法

### (1) 施工計画

超近接トンネルの施工は、後進坑の掘削の影響を先進坑が受けることになるため、後進坑となるⅡ期線トンネルの施工にあたっては、供用中のⅠ期線トンネル、および私市円山古墳へ影響を及ぼさないよう施工計画を再立案することとした。課題へ対応する具体的な施工計画を下記に記す。

掘削方法は、機械掘削方式、補助ベンチ付全断面方法で計画し、トンネル掘削による緩みの進行抑制、トンネルの変位抑制対策として、切羽から8m以内で一次インバートを施工する早期閉合を実施する。

補助工法は、天端からの崩落に伴うⅠ期線および私市円山古墳への影響を防止するため、注入式長尺鋼管先受け工法（AGFφ114.3mm、t=6mm、L=12.5m、〔DL級、DH級分布区間〕ダブル配置、〔CL級分布区間〕シン

グル配置）を実施する。また、脚部の安定のため、インバートストラットをDL級、DH級が分布する区間に設置する計画とした（図-6、図-7）。なお、検討断面を3断面設定して2次元FEM解析を実施し、Ⅱ期線の施工がⅠ期線および私市円山古墳へ影響がないことを確認した（図-8）。

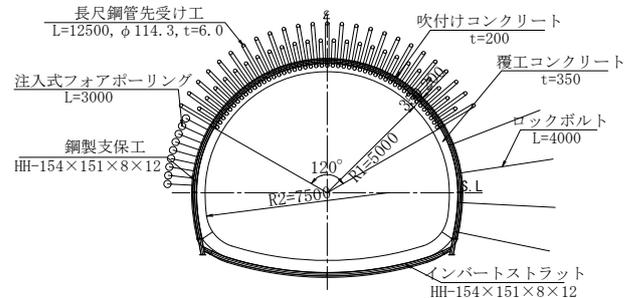


図-6 支保パターン図

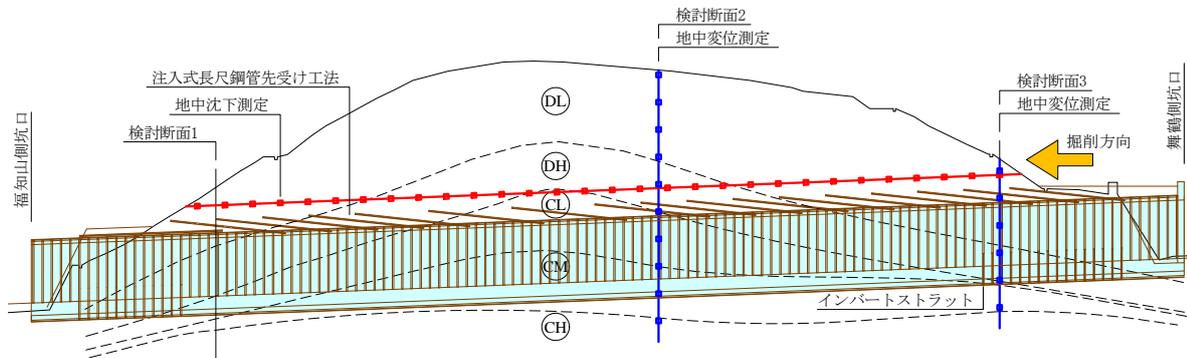


図-7 私市円山トンネル（Ⅱ期線）の施工・計測工概要図

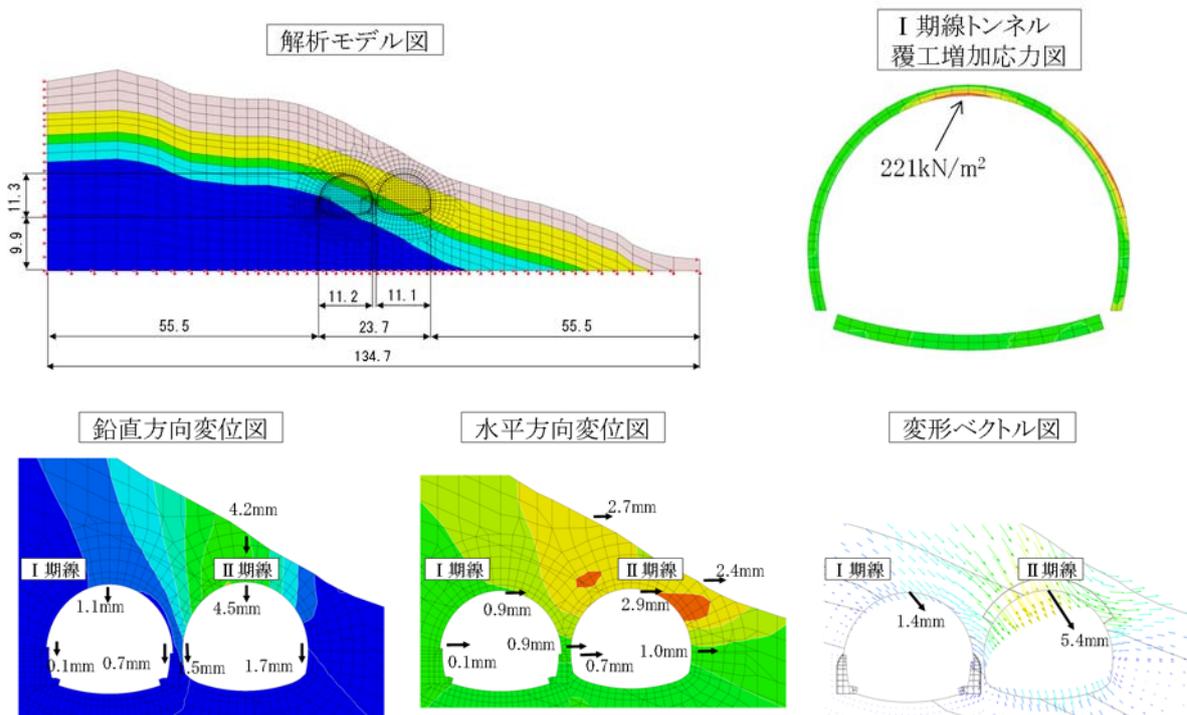


図-8 2次元FEM解析概要

## (2) 計測計画

II期線施工では、当初計画していたI期線の覆工コンクリート応力測定等の計測項目に、地中沈下測定、地中変位測定（2断面）を追加計画した（図-7）。また、主計測項目であるI期線の覆工コンクリート応力測定の計測値は小さく、温度の影響も大きく、掘削に伴う影響をリアルタイムで正確に判断することが困難と予想されたため、地中沈下測定を主計測項目に追加した。なお、計測工の管理基準値は、NEXCO 西日本の設計要領第三集に従い、I期線覆工の健全度区分判定がB判定であることから、覆工増加引張応力の許容値  $0.06 \sigma_{ck} = 1,080\text{kN/m}^2$  で決定した。

地中沈下測定は、II期線の直上で実施した水平ボーリング孔に水平傾斜計を挿入し、3m 間隔の測点でリアルタイムに沈下を計測する。計測で得られる沈下量と切羽位置との相関関係から特性曲線を作成し、切羽からの距離に応じた管理基準値と比較して注意レベルを判断することとした（図-9）。なお、注意レベルは、事前の影響解析でI期線への影響が大きかった検断断面1において、覆工増加引張応力が許容値  $1,080\text{kN/m}^2$  となる時の地中沈

下測定位置での沈下量 30mm を注意レベル I とし、注意レベル II を 22mm（注意レベル I の 75%）、注意レベル III を 15mm（注意レベル I の 50%）とした。

## (3) 施工体制

注意レベルに応じた計測頻度の強化や補助工法変更に加え、供用中I期線の近接施工であるため、I期線の通行止め、対策実施を検討可能な施工体制を立案し、施工を実施することとした（図-10）。注意レベル III を超えた注意体制では、計測頻度を2倍に強化するとともに、長尺鏡ボルト、インバートストラットを追加し、注意レベル II を超えた要注意体制では、AGF を強化するとともに、I期線を通行止めして近接目視点検を実施する。

また、地中沈下測定、特性曲線等の全ての計測結果を統合管理ソフトにより一元管理し、インターネット上で関係者がリアルタイムに情報を共有する。測定値が注意レベルを超える場合、自動で関係者にメール配信する計測システムを構築し、迅速に対応できる体制とした。

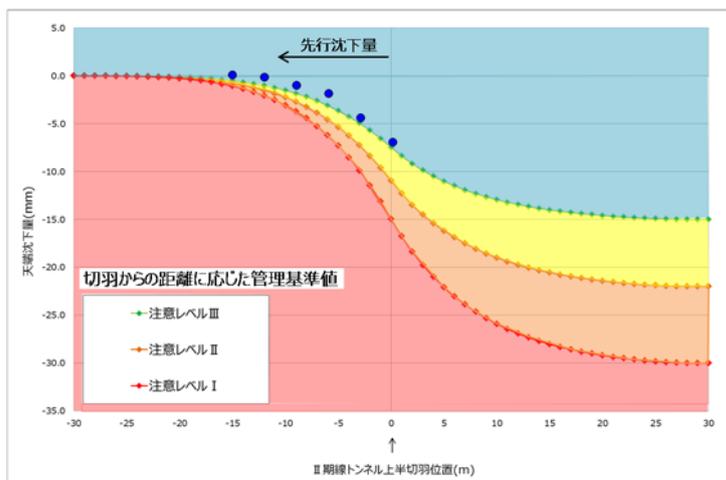


図-9 特性曲線

		通常体制		注意体制		要注意体制		嚴重注意体制	
安全レベル		注意レベルIII (レベルIの50%)		注意レベルII (レベルIの75%)		注意レベルI			
地中沈下測定		15mm		22mm		30mm			
I期線覆工応力測定		540kN/m <sup>2</sup>		810kN/m <sup>2</sup>		1,080kN/m <sup>2</sup>			
II期線トンネル施工体制		<ul style="list-style-type: none"> <li>・定時計測</li> <li>・坑内観察</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>・掘削の一時中止</li> <li>・計測頻度を2倍に強化</li> <li>・作業員への注意強化</li> <li>・注意レベルIII対策工法の実施</li> <li>・注意レベルII対策工法の検討</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>・掘削の全面中止</li> <li>・計測体制強化（A計測の測点追加）</li> <li>・影響発生要因の分析、</li> <li>・対策工の実施</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>・掘削の全面停止</li> <li>・対策工の協議</li> <li>・対策工の実施</li> </ul>	
II期線トンネル対策工案		<ul style="list-style-type: none"> <li>注意レベルIII対策工</li> <li>・長尺鏡ボルトの追加</li> <li>・インバートストラットの設置</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>注意レベルII</li> <li>・長尺鋼管先受け工打設本数の変更（@450mm→@300mm、設置範囲120°→150°）</li> <li>・長尺鋼管先受け工打設間隔の変更（シングル→ダブル）</li> <li>・早期閉合実施距離の短縮（閉合距離8m→6m）</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>・掘削距離の短縮（1.0m→0.8m）</li> <li>・プレロードシールド工法の実施</li> </ul>			

図-10 安全レベルと施工体制

## 5. おわりに

私市円山トンネルのⅡ期線工事では、Ⅰ期線トンネルとの離隔が1m未満となる超近接施工となる。

補助工法として長尺鋼管先受け工を採用し、補助ベンチ付き全断面掘削で8m以内の早期閉合にて施工を行う。これによりⅡ期線トンネルの変位を抑え、Ⅰ期線トンネル健全性の確保、上部にある古墳への影響を最小限抑える計画である。

また、計測に際しては、Ⅰ期線覆工コンクリートの応力測定に加え、トンネル直上で全線にわたり水平傾斜計

による地中変位測定を行う。この2計測を主計測項目とし、検討断面3断面で実施する2次元FEM解析の結果より管理基準値を定め計測管理を行う。

本施工に際して得られる変位のデータを用い、事前解析結果と実際の観測結果を比較して分析し、その結果を次の施工に反映させる情報化施工を予定している(図-11)。本分析結果についても、上記と併せ報告の予定である。

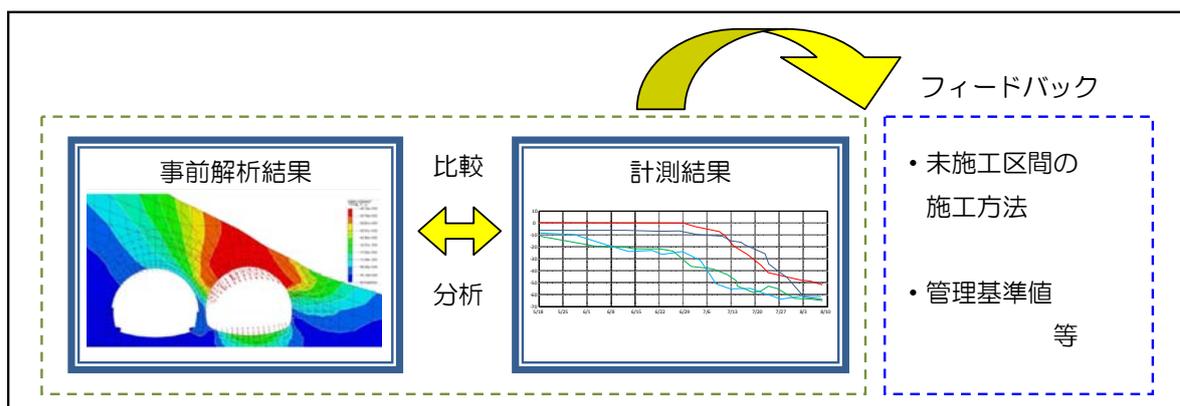


図-11 情報化施工の概念図

(2019. 8. 9 受付)

## SUPER-PROXIMITY CONSTRUCTION OF II STAGE LINE TUNNEL ON MAIZURU WAKASA EXPRESSWAY

Syogo DOI, Tomoaki MIYAUCHI, Koji NAKAUNE, Shinsuke TAKAYAMA  
and Hiroshi SAKAI

In the project to make four lanes between Fukuchiyama IC and Ayabe IC on the Maizuru-Wakasa Expressway, a Phase II tunnel (125 m in length) will be added to the Kisaichi Maruyama tunnel during service. The distance between the stage I tunnel and the stage II tunnel is an ultra-close construction with less than 1 m across the entire line. In addition, the soil cover is a small soil covering less than 1.5D over almost the whole line, and there is the private city Maruyama burial mound, which is a national historical site, at the top of the tunnel. Therefore, safe construction is required for the Phase I tunnel in service and the private city Maruyama burial mound. In this paper, we report on the construction method, measurement management, and construction system for super-proximity construction of this work.