

低土被り区間を有し、複数トンネルと 近接するNATMトンネルの施工について ～主要地方道小倉西舞鶴線 白鳥トンネル～

駿河 輝行¹

¹京都府 建設交通部 都市計画課 (〒602-8570京都府京都市上京区下立売通新町西入藪ノ内町)

主要地方道小倉西舞鶴線の4車線化事業において、既設トンネルの北側に近接し新たなトンネルの掘削を行った。新たなトンネルは、既設道路トンネルだけでなく運用中の鉄道トンネルとも近接しており、また、一部区間においてトンネル天端部より地山が低くなる低土被り区間を有している。このような特殊な条件下にあるトンネルの設計段階、施工段階の検討内容やの工事中に発生した課題について紹介する。

キーワード NATMトンネル、機械掘削、近接施工、低土被り、4車線化

1. 事業概要

主要地方道小倉西舞鶴線は、舞鶴市字小倉の国道27号を起点とし、舞鶴市字引土で国道27号に接続する約11kmの道路で、複眼都市である舞鶴市の東西市街地を最短距離で結ぶ道路です。第二次緊急輸送道路に指定されているとともに、生活道路としての側面ももった道路で2万台/日近い交通量を抱えています。

本事業は、老朽化の進む幅員狭小で大型車の離合が困難な白鳥隧道(写真-1)を中心に東西約1.4kmを4車線化(図-2)するとともに、歩道を築造するもので、安全かつ円滑な通行環境を確保し、地域間の交流・連携を推進するものです。

トンネル部の4車線化においては、新トンネルを現トンネル(白鳥隧道)の北側に新たに掘削し、両トンネルを上り線・下り線とし運用するものです。



図-1 広域図



写真-1 既設トンネル及び付近の状況

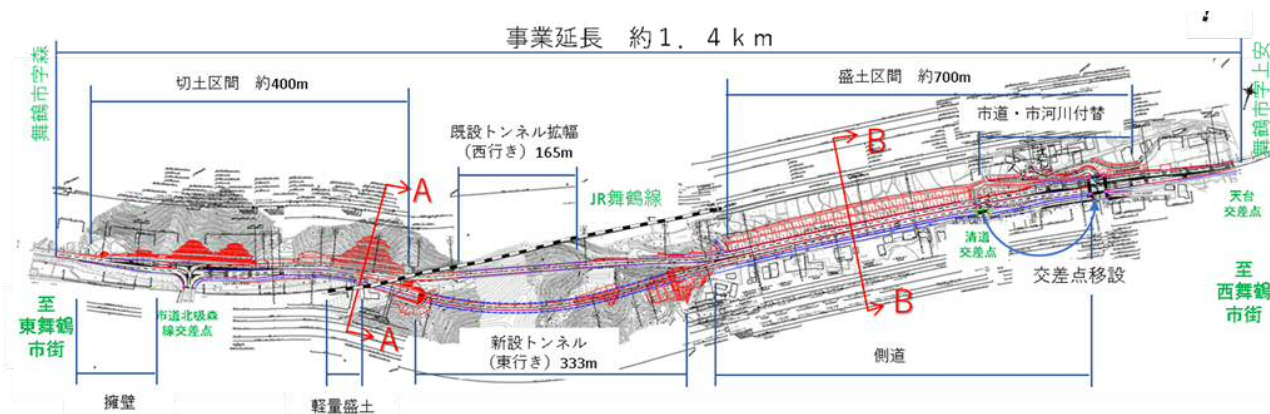
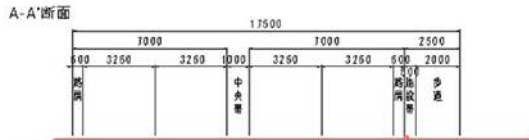


図-2 平面図

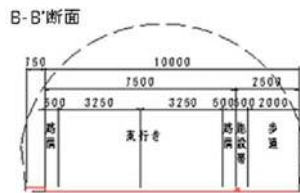
2. 白鳥トンネルの概要について

(1) 事業計画

路線名：主要地方道 小倉西舞鶴線
 延長：L=約1.4km（うち、新トンネルL=0.333km）
 幅員：
 <一般部>W=17.5m



<新トンネル部>W=10.0m



道路等級：第4種1級
 計画交通量：19,600台/日
 設計速度：60km/h
 トンネル等級：C等級

(2) 新トンネル部の地質概要・掘削方法・支保構造

本トンネルは中生代～古生代の頁岩・砂岩を基盤岩とする。基盤岩の健岩は硬質であるが、亀裂帯、低土被り断層破砕帯、礫混じり土砂の崖錐・段丘堆積物区間がある。

掘削方法は、住宅地と近接する他、鉄道トンネルにも近接するため、爆破による影響、また、掘削箇所の地山強度を検査し自由断面掘削機による「機械掘削方式」による施工とした。

また、本トンネルに用いる支保構造の組み合わせは、「道路トンネル技術基準（構造編）・同解説平成15年2月日本道路協会」に従った組み合わせとし、必要に応じ、補助工法の検討を行った。

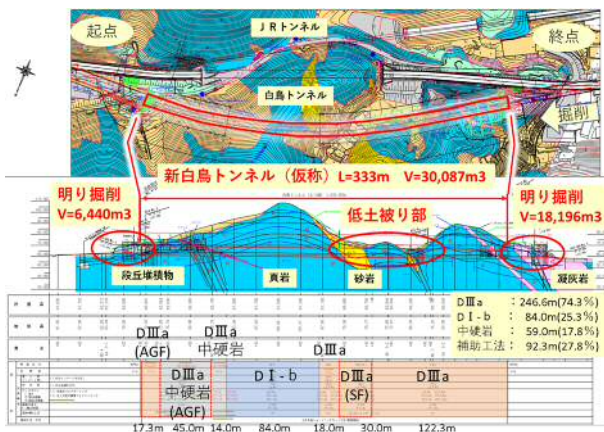


図-3 地質平面図・地質縦断図

3. 特殊な施工条件

(1) 既設トンネルとの近接施工

新トンネルの近傍には府道トンネル（S25供用）と鉄道トンネル（M37竣工）の2本が供用されており、近接施工となることから設計時にFEM解析（表-4）による、新トンネル掘削の影響有無を検討した。解析結果は、影響は非常に小さく既設トンネルの対策は不要との結果を得た。

この結果に基づき、鉄道事業者と協議のうえ、施工前・施工中・施工後の3回にわたり既設鉄道トンネルの観測を鉄道事業者に委託することとなった。観測結果は、鉄道事業者が定めた管理基準値以下でFEM解析の結果とも相違が見られなかった。

また、府道トンネルにおいても、計測工Aに準じたトータルステーションによる定点観測を行い、結果として顕著な変状は確認されなかった。



写真-2 新トンネルと既設トンネルの近接状況



表-4 FEM解析結果

(2) 低土被り下での施工

新トンネルの掘削箇所の一部が、谷地形を縦断するためトンネル天端部より地山が低い低土被り部（図-4）が発生する。切羽となる谷部の未固結な堆積土はセメント改良を行い、また、トンネルのグラウンドアーチ形成のため、土被り3mの範囲もセメント改良土で盛土を行ったうえで、トンネル掘削を行う。

地山のセメント改良箇所の切羽状況を図-5に示す。セメント改良により切羽の肌落ちもなく安全に施工が可能となった。

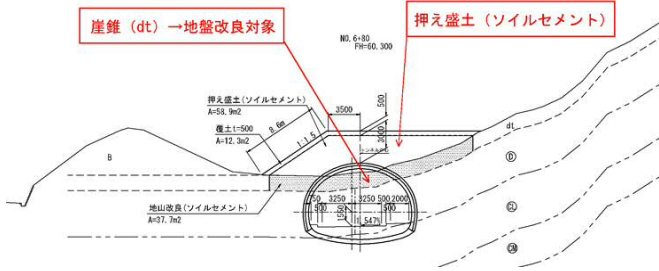


図4 低土被り部横断図



図5 低土被り部切羽状況

4. 工事中に発生した課題

(1) 機械掘削不能な硬岩の出現による施工方法の見直し

一日当たりの進行長が4 m程度で推移していたが、全体延長の2/3程度掘削した周辺から1～3 m程度に鈍化した(図-6) こと、現地ポイントロード試験により機械掘削の適応範囲を超える地山の強度(一軸圧縮強度49N/mm²以上)が確認されたこと、DRISSによる先方探査(図-7) 及び水平Brの結果、硬岩区間が当面続くことが確認されたため、効率的な掘削方法への見直しを検討することとなった。

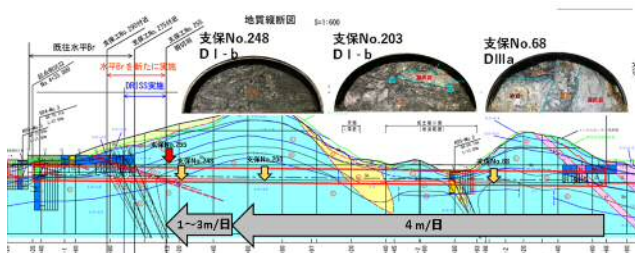


図6 硬岩出現箇所とこれまでの切羽状況

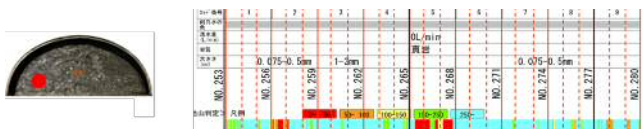


図7 硬岩区間のDRISS結果の比較

施工方法の見直しにおいては、以下を検討した。

案1) 施工能力の高い自由断面掘削機に入れ替え

標準機械(240kW級)からより能力の高い機械(330kW級)へ入れ替えを検討したが、機械の入れ替えに相当の時間を要すること、機械損料が標準機械の17倍程度

と高額であること、掘削地山の強度が入れ替えた機械の能力を超える可能性も排除出来ないこと、以上から棄却する。



図8 自由断面掘削機(240KW級)

案2) その他工法の検討(ブレイカー掘削、割岩工法)

自由断面掘削機ではなく、ブレイカーによる掘削を検討した。現地に下半掘削の標準機械であるブレイカー

(1,300kg級)が常駐しており、掘削を試みたが良好な結果が得られなかったため、より能力の高い大型ブレイカー(2,200kg級)を検討。また、対象地山である頁岩の走行が立っており(切羽に亀裂が見られない)、打撃を加えてもブレイカーのみ先が滑り効果的に切羽に衝撃を伝えられていないことが掘削を困難にしていると考えられることから、切羽面に複数の穴を窄孔し、のみ先のかかりとする割岩工法(ボアホール窄孔併用大型ブレイカー掘削)を選定する。



図9 ボアホール窄孔併用大型ブレイカー掘削

(2) 覆工コンクリートの充填不具合が発生したことによるコンクリート配合設計の見直し

NATM工法における覆工コンクリートの機能は、地山の荷重が作用するものではないが、供用開始後の外力の変化や地山、支保工材料の劣化に対し構造物としての耐久

性を向上させること、湧水の坑内への進入防止、照明などの施設を保持することされている。また、供用後において抜本的な改修が困難なため施工時には充填不良や空洞は発生させないよう十分品質に注意を払う必要があるが、特に天端部は狭隘なため施工が困難な箇所である。

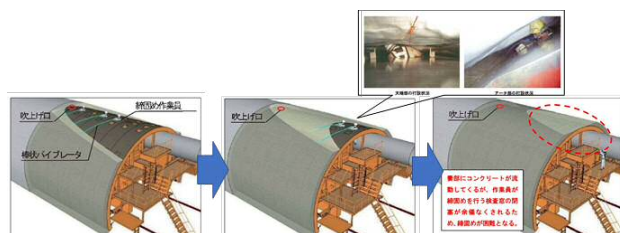


図-10 覆工コンクリート（天端部）の施工手順

本トンネル工事において、覆工コンクリートの打設後に充填不良・空隙が確認されたことから、原因の究明と施工方法の見直しを行った。

2BLの脱型後に1BLとの目地部に隙間が目視で確認された（図-11）ため、コア採取および非破壊検査（レーダー探査）により空隙の位置・範囲を特定した（図-12）。空隙はコンクリート吹上口の背面のみ確認された。

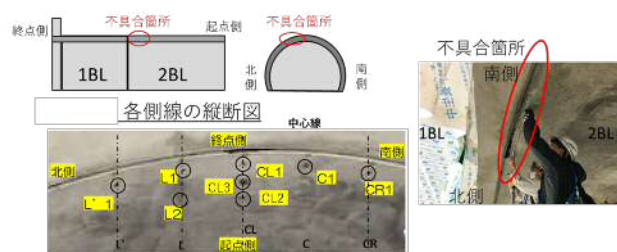


図-11 覆工コンクリートの不具合箇所

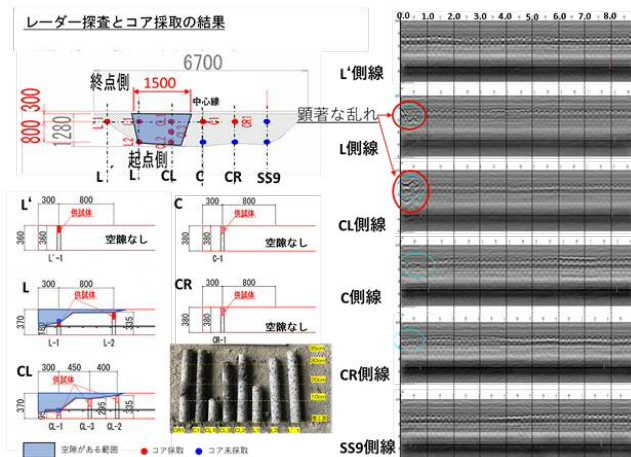


図-12 不具合箇所のコア、レーダー探査状況

吹上り（コンクリートの打設口）付近でコンクリートが詰まり壁となったため背面に充填されなかったものと考えられる。詰まった原因は、補強筋による流動性の阻害のほか、使用する骨材などコンクリートの流動性に起因するものとする。

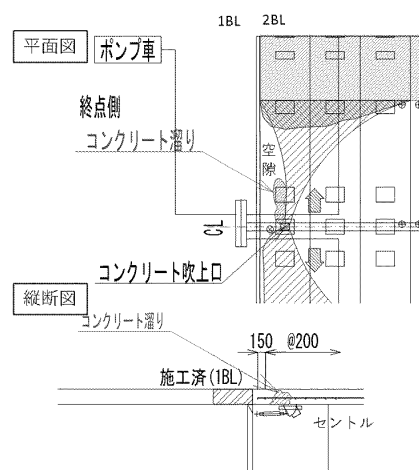


図-13 不具合発生箇所の模式図

以上からコンクリートのワーカビリティ（流動性、材料分離抵抗性、ポンプ圧送性）の向上を目的にコンクリートの配合設計の見直しを検討した。検討においては、流動化材の有無・混和剤の種類・セメント量を調整した4つの案を試験練りしスランプ試験、スランプフロー試験、簡易ブリージング試験の結果を比較検討のうえ、最も優れた配合③を選定した。

表-5 覆工コンクリート配合の比較

	①	②	③	④
配合	21-15(18)-20BB	24-15-20BB	24-18-20BB	24-18-20BB
混和剤	AE減水剤・流動化材	AE減水剤	高性能AE減水剤	AE減水剤

5. 終わりに

本トンネルは、令和4年2月より本格的な掘削を開始し令和5年1月23日に貫通、9月に覆工コンクリートが完成し令和7年5月24日に供用を開始している。

地元 舞鶴市の主催によるプレイベントや府主催の開通式典など多くの方々に見守られ供用させていただいた。貫通の瞬間や式典の様子など、思いのあふれる動画を是非ご覧いただきたい。

小倉西舞鶴線の4車線化事業としては、半分程度の進捗で、今後も縦断修正を含む現道拡幅、既設トンネルの拡幅など難易度の高い工事が残っている。これからも安全第一に早期の全線供用が出来るよう、慎重に工事に取り組んで参りたい。

舞鶴市公式ムービーチャンネル (YouTube)



【祝】白鳥トンネル 5月24日開通（記念動画）

