

供用中道路直下のトンネル掘削における補助工法の設計と施工

(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構 北井 慶一, 三浦 徹
前田建設工業(株) 正会員 ○田中 貴大, 北岡 英基

1. はじめに

柿原トンネルは、北陸新幹線の加賀温泉駅・芦原温泉駅間に位置する延長 2,530m の NATM 工法による山岳トンネルである。本トンネルの約 3 分の 1 は土被り 10m 未満の小土被り・含水未固結地山であり、地山のアーチ作用は期待できないことより、補助工法として事前地山改良工が計画されていた(図-1)。しかし、この小土被り区間において地域物流の主要幹線である広域農道がトンネルを横断するため、迂回路設置などが必要となるが、工期や経済性の観点より、道路横断部は事前地山改良工に代わる補助工法を検討した(写真-1)。

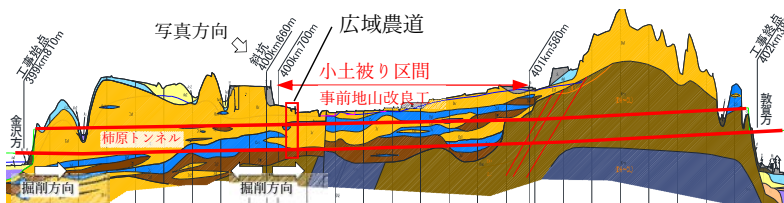


図-1 トンネル縦断面図

2. 地山・立地条件

この小土被り区間のトンネル上部は N 値 10~20 程度の洪積層の砂質土(Ds1)及び粘性土(Dc1)の互層が水平に分布している。

道路部(土被り約 5m)にはトンネル天端から離隔 2.5m に農業用パイプラインφ600, 離隔 4.0m に上水道管φ200 が埋設されており、これらの利用状況を考慮すると、道路と水道を供用しながら対策工やトンネルを施工することが条件となる(図-2)。

3. 対策工の検討

対策工は、事前地山改良工に伴う開削空間を利用できるため、工期及びコスト面で優位性のある超長尺先受け工を採用することとした。本工法はパーカッションドリルと鋼製定規を用いて、30m の鋼管を坑外から打設することで削孔角度 1° 程度で施工できるため、トンネル掘削面からの離隔が小さくなり、効率的にトンネル外周地山を補強できる利点を持つ(図-3)。

4. 超長尺先受け工の設計

地山・立地条件に従い、表-1 の解析手法により超長尺先受け工を設計した¹⁾。解析手法の適用による設計では、あらかじめ設定した構造(φ114.3mm×t6mm, 打設間隔 300mm)に対し、(1)切羽安定性、(2)構造体耐力、(3)沈下量について検討を実施した。(参考文献1)トンネル工学ライブラリーVol.10, 土木学会, 2000.6.)

表-1 解析手法の適用による検討結果

項目	項目と検討手法	検討結果
(1)切羽安定性	切羽前方土塊の釣り合いによる検討(極限解析)	補助工法を施工しない場合→ 不安定 , 長尺先受け工を施工する場合→ 不安定 長尺先受け工に追加に必要な鏡安定対策を計算, 長尺鏡ボルト13本
(2)構造体耐力	モーメントの釣り合いによる計算(梁モデル)	1m掘削した時, 切羽直前の支保工を支点として計算, 最大曲げ応力度 < 許容曲げ応力度 φ114.3mm×t6mm, 打設間隔300mm
(3)沈下量	FEM解析(有限要素法)	掘削ステップは自重→上半掘削→支保→下半掘削→支保, 掘削解放率は掘削40%, 支保60% 先受け工の改良範囲・物性値を設定し, 粘着力・剛性を向上 地表面沈下量は54mm

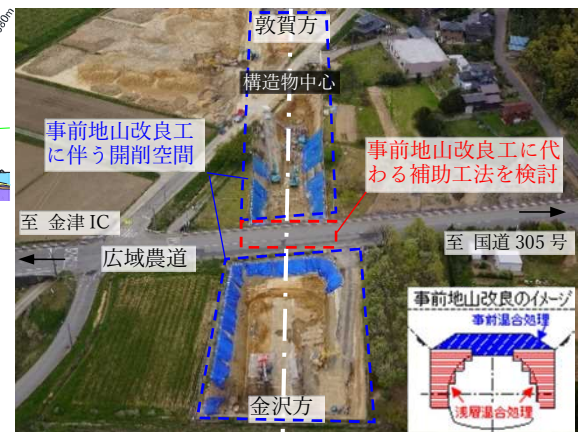


写真-1 トンネル直上の状況

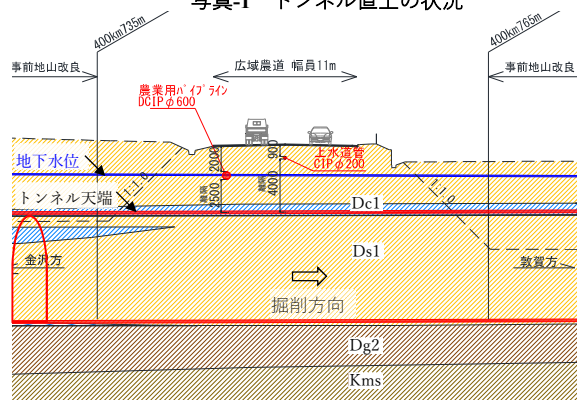


図-2 地質縦断面図

キーワード 供用中道路直下, 小土被り, 含水未固結地山, 超長尺先受け工, 補助工法の構造的検討, FEM 解析
連絡先 〒541-8529 大阪市中央区久太郎町 2-5-30 前田建設工業株式会社 関西支店 TEL06-6243-2383

また掘削工法においては、脚部の安定や変位抑制に有効なミニベンチカット工法を採用し、地山の安定化に有効な一次インバート(H-125,t=200)による早期閉合を標準とした(図-4)。

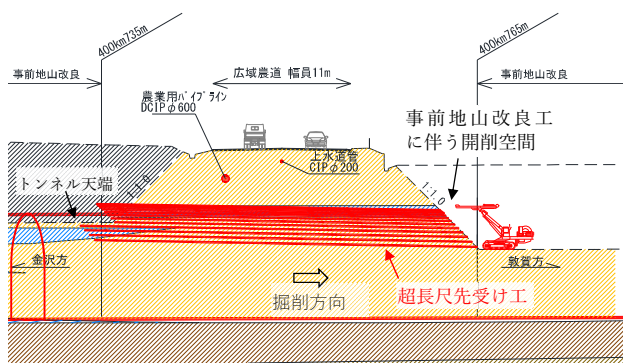


図-3 超長尺先受け工の縦断図

5. 管理基準値と計測位置の設定

工事の安全性や設計の妥当性、及び近接構造物に与える影響を評価するためにトンネルと近接構造物の基準値を比較し、近接構造物の管理者との協議の結果、トンネルの基準値(FEMの解析結果54mm)を管理基準値と設定した(表-2)。

一般に土被りが小さい場合、FEMの解析結果(54mm)は地山の全変位量を示しており、切羽到達前までの先行変位(40%)と、切羽通過後に発生する計測変位(60%)に分けられる。道路と水道を供用しながらのトンネル掘削となるので、施工中は計測結果に応じて適切な処置・対策を実施するために、先行変位について対策フローを検討して3段階の管理レベルを設定した(表-3)。

地表面沈下測定の対象は横断方向45°範囲を掘削影響範囲とし、縦断方向は5m間隔に計測ポイントを設置した(図-5)。

6. 計測結果とその評価

測点400km735mの計測結果に示すように、切羽到達前に地表面沈下がレベルIIとなり、前方地山補強として長尺鏡ボルト(φ76.3mm×t5mm, L=12.5m)を施工した(図-6)。

切羽通過後に測点400km735mの脚部沈下量はレベルIとなり、切羽安定対策として分割施工及び上半仮閉合を施工した。

地表面沈下の最大値は、測点400km750mにおいて46mmで収束を確認した。FEM解析ではミニベンチカット工法や一次インバート等を表現していないため、それらの効果によって収束値(46mm)は解析値(54mm)より8mm小さい値になったと評価できる。

7. おわりに

今回は、道路と水道を供用しながらトンネルを掘削することが制約条件となるため、管理者との協議による埋設物の措置、土圧条件や安全度を見込んだ補助工法の構造的検討、事前の地質調査に基づいたFEM解析による管理基準値と対策工を設定した。適切な対策工の設計と施工により、道路と水道を供用しながら合理的かつ安全な施工を実現できたと考える。

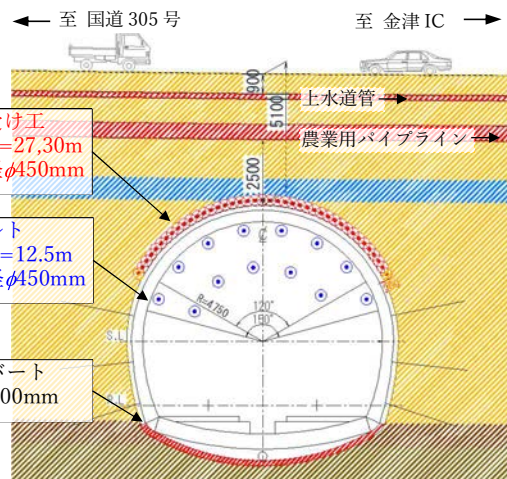


図-4 超長尺先受け工の断面図

表-2 管理項目と管理基準値

管理項目		管理基準値
トンネル	支保部材の安全性 (FEM解析による地表面沈下量)	54mm

表-3 管理レベルと対策フロー

地表面沈下測定 先行変位 54mm×40%≒20mm	天端・脚部沈下測定 計測変位 54mm×60%≒30mm
レベルI	
5-10mm	10-20mm
計測強化	
レベルII	
10-20mm	20-30mm
鏡ボルト追加施工	
レベルIII	
20mm以上	30mm以上
交通規制	
支保工補強対策の検討	

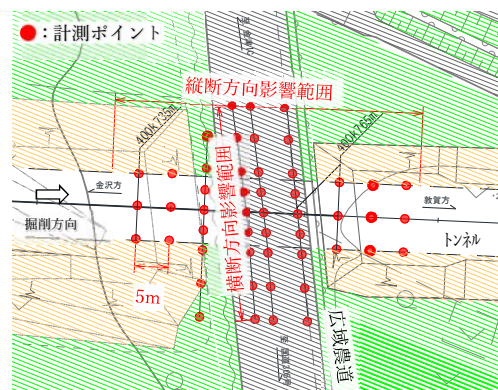


図-5 地表面沈下の計測位置平面図

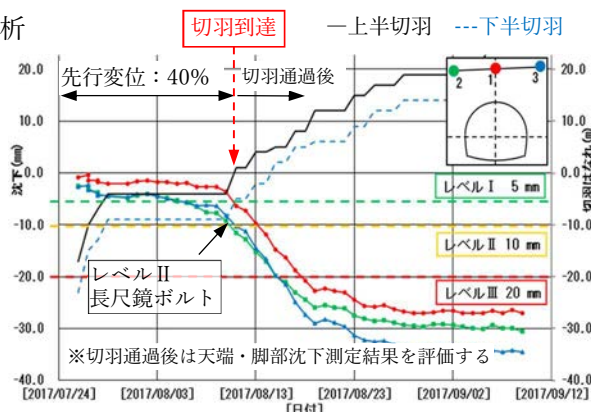


図-6 400km735m 地表面沈下の計測結果