

膨張性地山における吹付インバートによる変位抑制の工事実績

国土交通省 山形河川国道事務所 坂本 力
 鹿島建設(株) 正会員 ○岡崎勇樹 上南 隆 佐々木栄治 戸邊勇人 松崎裕亮

1. はじめに

国道47号岩清水トンネルは、山形県新庄市大字升形から最上郡戸沢村大字岩清水地内で施工した全長868mの道路トンネルである。地層は、新第三紀鮮新世に堆積した羽根沢層の凝灰質砂岩(Hts)及び砂岩シルト岩互層(Hal)を主体としており、両層の強度は一軸圧縮強度1N/mm²程度と固結度が低く、機械掘削により施工した。特に変位抑制対策区間は、脆弱な凝灰質砂岩が出現し、早期支保構築による地山のゆるみ抑制を求められた。本稿は、トンネル掘削の変位抑制対策として、断面外の一次インバートによる早期断面閉合にて対応し、合理的な施工サイクルを確立でき変位抑制に大きな効果があったので報告する。

2. 地質概要と変位発生区間の地質状況・計測結果

本トンネルの地質縦断面図を図-1に示す。本トンネルは終点側から掘削した。坑口部で想定より固結度の低い砂質土が出現し、不安定地盤の土質定数再設定と法面安定対策、長尺鋼管フォアパイリング、水抜き工を実施し克服した¹⁾。その後、羽根沢層の凝灰質砂岩(Hts)に入り、低土被り部を小さい変位で通過したが、TD550m付近をDIIパターンで掘削中に脚部沈下量が管理レベルIIIを超過した。切羽写真と計測結果を図-2に示す。

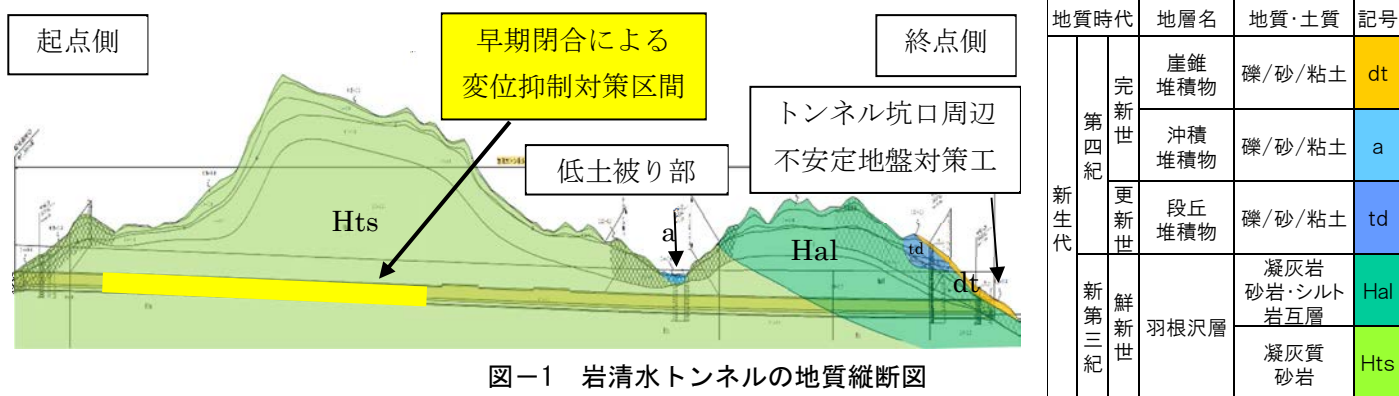


図-1 岩清水トンネルの地質縦断面図

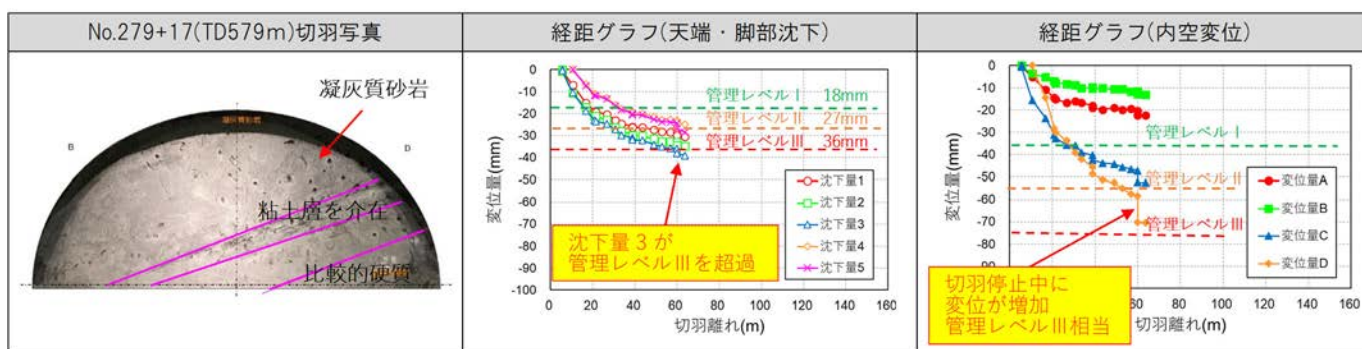


図-2 TD579m 切羽写真・A計測経距グラフ

切羽には、黒色貫入岩(粘土層)を介在した脆弱な凝灰質砂岩が出現している。黒色貫入岩(粘土層)と凝灰質砂岩をX線解析した結果、特に黒色貫入岩ではほとんどの指標で膨張性を示す結果が得られた。A計測結果から沈下量については、天端沈下よりも脚部沈下量が大きく、支保工脚部の地耐力が不足し共下がりが発生していた。内空変位量は上半よりも下半の変位量が大きく、トンネル掘削を行っていない期間も変位が増加していることから、支保工脚部の地山が塑性化し、坑壁の押し出しにより内空変位が増大していると想定した。

キーワード 山岳トンネル, 膨張性地山, 新第三紀鮮新世凝灰質砂岩, 吹付インバート, 早期断面閉合

連絡先 〒980-0802 宮城県仙台市青葉区二日町1-27 鹿島建設(株)東北支店土木部 TEL022-261-7111

3. 未施工区間における変位抑制対策の検討

既施工区間の計測結果から未施工区間の変位対策工を立案した。切羽近傍での初期変位速度が大きいことから、吹付インバートにより早期断面閉合を行って変位の抑制を図る方針とした。逆解析により、既施工区間の評価を行ったうえで、未施工区間の対策工の選定を行った。解析結果を表-1に示す。逆解析は、内空変位が最も大きいNo.279+17(TD579m)におけるA計測結果から行い、地盤物性値を設定した。この物性値を使用し未施工区間の支保パターンの妥当性を検討した。解析条件は、切羽離れ12mを目安に吹付インバートによる早期閉合をモデル化した。また土被りは最大土被りを想定した。未施工区間の解析結果から「吹付インバート($\sigma=18\text{N/mm}^2$, $t=200\text{mm}$)による早期閉合(上半切羽1D \cong 12m以内)」が変位抑制対策に最適であると判断した。

表-1 FEM 解析結果

		逆解析	未施工区間
断面の模擬状態		No.279+17	切羽を進めた場合
変形図			
変位 (合わせる変位)	天端沈下	38mm (33mm)	25mm
	上半脚部沈下	34mm (41mm)	10mm
	上半内空変位	51mm (56mm)	23mm
	下半内空変位	87mm (87mm)	38mm
緩み領域(R分布図) 0 0.1 0.3 0.5 0.7 1.0 1.1 (白線の目盛りは1目盛りあたり1m)			
応力度	鋼アーチ 支保工	曲げ圧縮 $\sigma_s=245\text{N/mm}^2 \leq \sigma_y=245\text{N/mm}^2$ …降伏	$\sigma_s=245\text{N/mm}^2 \leq \sigma_y=245\text{N/mm}^2$ …降伏
	吹付け コンクリート (上下半)	曲げ圧縮 $\sigma_c=10.0\text{N/mm}^2 \leq \sigma_{ck}=18.0\text{N/mm}^2$ …OK	$\sigma_c=12.3\text{N/mm}^2 \leq \sigma_{ck}=18.0\text{N/mm}^2$ …OK
	吹付け コンクリート (インバート)	曲げ圧縮 -	$\sigma_c=15.6\text{N/mm}^2 \leq \sigma_{ck}=18.0\text{N/mm}^2$ …OK
	曲げ引張	-	(全圧縮)

※鋼アーチ支保工の降伏応力分は吹付コンクリートが負担する

4. 変位抑制対策工の要否判断基準について

坑内変位が管理レベルIIを超過した計測断面の初期変位速度の実績をもとに、以下の条件に該当した場合には、対策工が必要と判定した。①初期変位速度(切羽離れ5m時点での変位量)が天端・脚部沈下10mm/5m、または内空変位15mm/5m以上。②予測最終変位量が管理レベルIIを超過する場合、10m毎に対策工の要否を判断することとし、A計測の計測間隔を10mとし、切羽直近のA計測結果により運用した。

5. 施工実績

未施工区間の施工において、肌落ち災害防止の観点から12m以内の早期閉合を目標としたが、切羽面の固結状態がよく、鏡吹付で自立させることができたため、安全を確保し支保変状がないことを確認しながら、8m以内で断面閉合を行うことができた(写真-1)。



写真-1 吹付インバート施工状況

6. 吹付インバートによる早期閉合の効果

今回、早期断面閉合による変位抑制対策工として断面外への吹付インバートを施工した。早期閉合の支保構成は、吹付コンクリートのみとした。これは、FEM解析により鋼製支保工を採用しなくても支保耐力が確保できる結果となったためである。B計測でも吹付インバートの発生応力が許容応力度以内であることが確認できた。また、吹付インバート完了後に、切羽離れ15m程度で沈下量、内空変位量ともに収束し始めたことを確認できた。施工面においても、鋼製支保工を設置しないため、切羽立入時間が減少し、安全性も確保できた。

7. おわりに

今回は、新第三紀鮮新世の膨潤性粘土鉱物を含有する凝灰質砂岩の掘削における変位対策として、吹付インバートによる早期閉合が変位抑制に効果があったことを報告した。同様の地質での変位対策として、本トンネルの施工実績が参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 佐藤浩明, 岡崎勇樹, 上南 隆, 戸邊勇人, 佐々木栄治, 松崎裕亮: トンネル坑口周辺の不安定地盤の土質定数設定と対策工選定, 土木学会第75回年次学術講演会 公演概要集, VI-37, 2020.