

脆弱な坑口部における追加地質調査に基づく安定対策の検討

西松建設(株)	北日本支社	正会員	○佐藤 宏飛	八巻 大介
西松建設(株)	関東土木支社	正会員		萱森 昇
西松建設(株)	土木設計部	正会員		大谷 達彦
福島県県南建設事務所	事業部道路課	正会員		櫛田 卓也
(株)建設技術研究所	東京本社	正会員		黒澤 保

1. はじめに

当工事は、福島県白河市南湖から豊地まで 5.9km の国道 294 号白河バイパス整備事業のうち、トンネル 474m を含む延長 611m の工事を行うものである。トンネル掘削開始側の終点側坑口部付近は、特に脆弱な地質であり、標準的な NATM 工法での設計施工が困難であると判断された。そのため当初設計段階において FEM 解析を実施して、トンネル掘削前にトンネル上部よりセメント改良を行う計画であった。しかし、現地坑口部の地形が複雑に湾曲していることから正確な地質構造が把握できていない可能性があるため、工事着工後に追加調査ボーリングを実施し、安定対策を検討した。本編では、一般的な標準パターンの適用が出来ない脆弱地山の安定対策の検討内容について報告する。

2. 工事概要

図-1 に地質縦断面図を示す。当トンネルは、終点側の小田川層(火山礫凝灰岩 (Stt), 砂質凝灰岩(St))で構成される地層と起点側の白河火砕流堆積物(低溶結凝灰岩(Sdt)及び砂質凝灰岩(Swt))で構成される区間に大別される。全線にわたり土被りが小さく(最大 3.5D、平均 2D 程度 D:トンネル掘削幅)、軟弱な地山であるため D I パターン 163m(35%), DIII パターン 206m(43%), E パターン 103m(22%)で計画されていた。また、トンネル全線で地盤改良, AGF 等の掘削補助工法が設計段階より計画されていた。

掘削開始側の終点側坑口部は、当初設計段階で非常に軟質な層で構成されていることがわかっており、その中でも細粒で礫の少ない砂質凝灰岩(St 層)は、一軸圧縮強度 0.069N/mm^2 (N 値 3~6, 地山強度比 0.1)と非常に脆弱であるため、標準的な NATM 工法での坑口施工が困難であった。そこで、FEM 解析が実施され、トンネル内からの補助工法だけでは支保応力が許容値を超過すると判断し、トンネル外よりトンネル外周 4m の範囲をセメント改良(深層混合処理)する工法を行う設計となった。

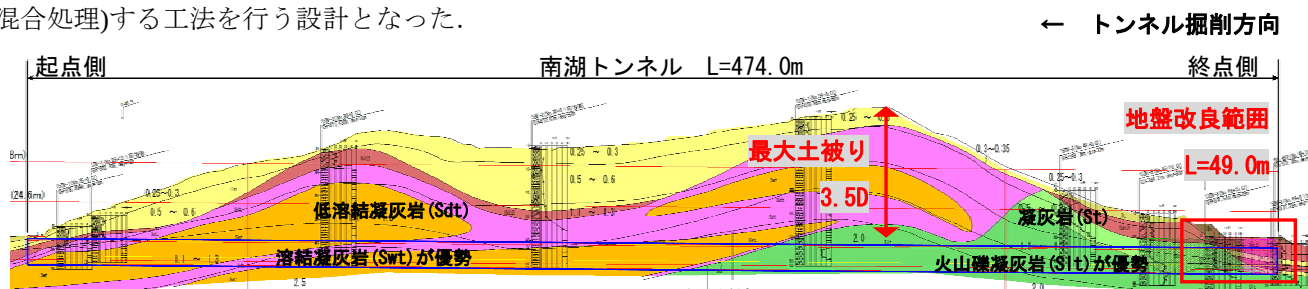


図-1 地質縦断面図

3. 追加ボーリング調査

終点側坑口付近はセンター付近が谷型に落ち込んだ埋没地形になっており、谷部分に埋積した火砕流堆積、火山降下物によって複雑な地層序列をなしている。工事着工後、地盤改良箇所の地質を正確に把握するため中央左右 3 点×3 列の不足箇所 7 点ボーリング調査を図-2 の位置で実施した。その結果を用いて、終点側坑口付近の 3D 地質モデルを作成した。さらに、地盤改良の施工計画を行うために、改良対象地盤の配合試験試料採取および強度特性の試験を実施した。

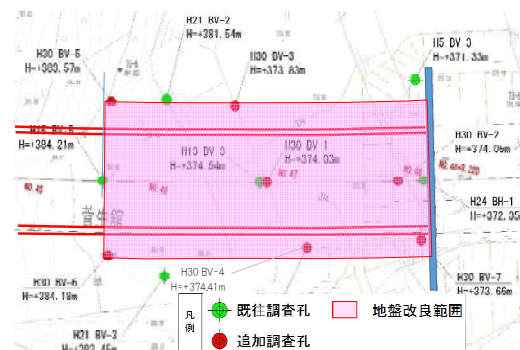


図-2 調査ボーリング位置図

キーワード 脆弱地山の安定検討, FEM 解析, 3 次元地質モデル

連絡先 〒961-0854 福島県白河市菅生館 29-14 西松建設(株)五郎窪トンネル出張所 TEL 0248-21-5630

4. 追加調査結果

追加調査ボーリングに基づき作成した3次元地質モデルと既往調査ボーリングを比較した結果、地層境の起伏が大きいことがわかった。また、基盤岩と評価されている Slt 層の N 値を比較すると、追加ボーリング調査では、N 値 30 以下、N 値 100 以上の頻度が多く、ばらつきが大きい結果となった。そこで Slt 層を対象とし、追加ボーリングにおいて得られたコアを用いて、変形係数を得る目的で室内岩石試験を行った。物理性状を把握するために土粒子の密度、自然含水比、粒度、液性・塑性限界試験を、力学性状を把握するため三軸圧縮試験を実施した。

追加調査により、Slt 層の上部の地層は脆弱岩盤が存在することが確認された。また、追加調査で得られた変形係数値は表-1 のとおりであり、N 値<20 地層においては、既往調査の平均値よりも低い変形係数が得られている。よって、終点側坑口部において Slt 層は、N 値 20 以下の地層は既往調査とは強度特性が異なるものと判断し、N 値 20 未満の地層に対しては火山礫凝灰岩風化部 (wSlt 層) として区別することとした。

追加調査結果を受け火山礫凝灰岩 (wSlt, Slt 層) の地質物性値を検討した。N 値 10 以下の箇所は採取されたコアは土砂化しているため、三軸圧縮試験に必要なコア長が採取できず、物性値は得られなかった。そこで、N 値 10 以下の脆弱部の物性値評価に当たっては準岩盤圧縮強度の考え方を準用した。なお、ポアソン比、単位体積重量については既往提案値とした。地山の一軸圧縮強度は、亀裂の存在が無視できる地山においては、試料の一軸圧縮強度を適用できるが、亀裂の影響が大きい地山には準岩盤圧縮強度を用いることが適している。既往調査の地層縦断面図には準岩盤強度が示されており、終点側坑口付近では Slt 層で 0.1 が設定されている。よって、前述したようにコアの採用が出来ない脆弱部については、岩盤強度を参考として粘着力及び変形係数を設定した。以上より検討された地質物性値を表-2 にまとめた。

5. FEM 解析を用いた安定検討

当トンネル工事においては非常に軟弱な地山であるため、標準支保パターンを用いる標準的な経験的手法では設計を行うことが困難であった。工事着工後の追加地質調査に基づく検討においても解析的手法により安定検討を実施することとした。FEM 解析における安定検討の実施位置は次の通りである (図-3 参照)。

- ①断面：当初設計では FEM 解析を実施していない位置であるが、当初設計時に考慮していない wSlt 層がトンネル下方に分布しているため再解析を実施する。
- ②・③断面：当初設計時の FEM 解析を実施した位置と同じであるが、地質条件および地盤改良範囲の変更となるため、FEM 再解析を実施する。

解析結果より、①断面は追加対策等は不要であると判断した。②・③断面は、どちらも許容沈下量を超える解析結果となったため、新たな支保パターンを設定した (表-3 参照)。

6. まとめ

今回の追加調査により、支保パターンの見直しを行った結果、A 計測による天端沈下・内空変位状況は、インバートストラットの施工を境に天端沈下・内空変位が収束傾向を示したことが確認できた。非常に脆弱な地山の掘削であったが、追加対策を必要としない管理レベル以下で収束し、掘削を完了することが出来た。以上より、当トンネルのように脆弱地山のため一般的な標準パターンの適用が出来ない場合は、FEM 解析を用いた設計・変更手法は有効であることが確認できた。

表-1 Slt 層の 変形係数と N 値

N 値範囲	変形係数(MN/m ²)
~20 (三軸)	20.0~51.3 (平均50.7)
20~30 (三軸)	75.0~118 (平均96.5)
30以上 (孔内載荷)	26.6~134 (平均83.6)

表-2 地質物性値

地層	記号	単位体積重量 γt(kN/m ³)	粘着力 (MN/m ²)	内部摩擦角 φ (°)	初期変形係数 D ₀ (MN/m ²)	ポアソン比 ν
火山礫凝灰岩風化部	wSlt	16.4	0.11[0.01]	13	50.0[5.0]	0.3
火山礫凝灰岩	Slt	16.4	0.11	13	80.0	0.3

[] は準岩盤圧縮強度を準用した場合の物性値
既往物性値は c=0.07MN/m², φ=25°, D₀=90N/m²

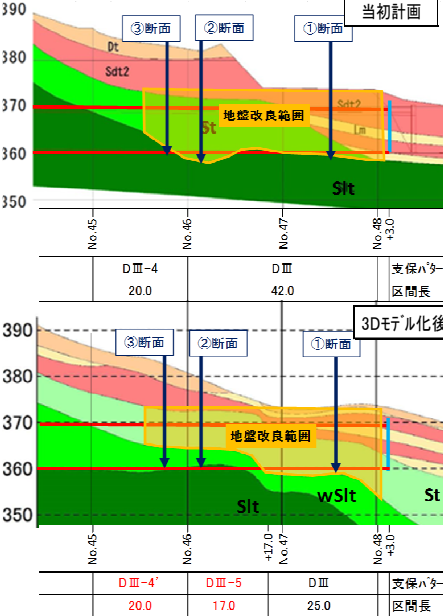


図-3 トンネル支保構造検討位置図

表-3 FEM 解析結果

断面	支保パターン	支保工	収付ユグナト	追加対策工 他
断面①	当初	D III	H250 SS400 30cm 18N/mm2	—
	変更	D III	H250 SS400 30cm 18N/mm2	当量変更なし
断面②	当初	D III	H250 SS400 30cm 18N/mm2	—
	変更	D III-5	H250 SS400 30cm 18N/mm2	早期閉合(ストラット等)
断面③	当初	D III-4	H250 SS400 30cm 18N/mm2	—
	変更	D III-4'	H250 SS540 30cm 18N/mm2	早期閉合(ストラット等)・高規格支保工