

Ⅲ-B60

崩落性・押出し性・膨張性地山のトンネル掘削施工報告

戸田建設（株）東北支店 正会員 ○ 小野寺 泉
 戸田建設（株）東北支店 小林 修
 秋田県土木部道路維持課 中山 敏夫

1. はじめに

秋田県は、広域基幹道路網の一環として、隣接する阿仁・田沢両町間を連絡する町道ぶな森線を、交通隘路の解消を目的に、県代行事業として整備を進めている。ぶな森トンネルは、この路線のほぼ中央（町境を跨ぐ）に計画された全長1,511mのトンネルであり、町境で2工区に分けられ、当社を主体とする企業体が田沢湖側889mを施工中である。

工事は平成4年に着手され、平成10年11月現在上半掘削778m下半掘削755m覆工190mの進捗状況にある。この間、平成8年坑口より635m付近で、切羽の地質が石英安山岩から凝灰質泥岩（新第三紀中新世・阿仁合層）に変化してから、坑内変位が著しく増大し、側壁部の押出しと天端崩落・切羽の崩壊が発生した。ここに、崩落性・押出し性・膨張性地山に於いて実施した対策工とその実施結果を報告する。

2. 地質概要

トンネル周辺の地質は、新第三紀中新世に堆積した阿仁合層のうえに、後の第四紀洪積世に入ってから活動を開始した玉川火山（仮称）により堆積した凝灰岩から構成される。玉川火山は火砕流の活動が主体で、その多くは溶結凝灰岩（玉川溶結凝灰岩 $\sigma_c=200\sim300\text{kgf/cm}^2$ ）となっている。しかし、火砕流が堆積するときは、その底部は地表面に冷却され溶結温度に達しないため、未固結土砂状となることが多く、基盤である阿仁合層と玉川溶結凝灰岩の境界部にはこの非溶結層が挟在している。この層の分布形状は、基盤の地形に左右され起伏が大きいと予想される。一方基盤である阿仁合層は、海底に堆積した泥岩・砂岩・凝灰岩から構成される。生成年代が若く固結作用が進んでいないため、いずれも $\sigma_c=100\text{kgf/cm}^2$ 程度以下の『軟岩』である。

膨張性地圧発生の有無を予測評価するには、その指標として『地山強度比』を因子とする例が多く、押出し性・膨張性の目安として仲野が $G_n \leq 2.0$ 、吉川他が $G_n \leq 1.5$ を提案している。平成8年、坑口より672m上半切羽で実施した先進ボーリングに於いて、岩石の強度値をトンネ

表-1 針貫入試験による強度推定値と地山強度値

項 目	推定一軸圧縮強度	地山強度比
シルト質泥岩	40kgf/cm ²	1.17
粘土質泥岩	17kgf/cm ²	0.49
凝灰岩（緑色変質）	27kgf/cm ²	0.79
凝灰岩（灰色）	60kgf/cm ²	1.75

表-2 鉱物-物理試験結果

項 目	地 質 名	粘 度	コンシステンシー		浸 水	CEC	X 線 解 析
		含 有 率	液性限界	塑性指数	崩壊度		
単 位		%	%	%	区 分	ml/100	鉱 物 名
膨 張 目 安	可能性大	30以上		70以上		35以上	モンモリロナイト
	可能性有	20以上	100以上	25以上	4以上	20以上	含有
試料 A	泥岩（粘土質）	29.0	135.5	99.9	3	75.1	Caモンモリロナイト 緑泥岩
試料 B	泥岩（粘土質）	29.0	167.4	129.5	4	71.6	Caモンモリロナイト 緑泥岩
試料 C	凝 灰 岩（灰色）	17.0	80.2	44.0	4	76.3	Caモンモリロナイト

ル縦断方向に連続的に把握するため、針貫入試験を1.0mピッチに採取直後のコアで実施し、経験式からその一軸圧縮強度を推定した。結果、泥岩に於いては粒度の違い（シルト質の層と粘土質の層）、凝灰岩に於いては変質の程度（緑色を帯びた部分と灰色を呈する部分）によって、表-1に示す通り明らかに強度に差があり、地層や区間毎に変形挙動の異なることが予想された。また、推定強度値から算出される地山強度比は、1.0 ないしこれ下のかなり低い値を示した。

次に、平成7年、坑口より635mの下半切羽で実施した先進ボーリングコアから採取した試料による鉱物-物理試験結果を表-2に示す。結果をみる限り、阿仁合層の材料特性は、一般に膨張性を示すとされる基準をほとんどの指標に於いてうわまわり、膨張性を示す素因があると判断された。さらに、平成8年の先進が
 キーワード：トンネル、崩落性、膨張性 連絡先：宮城県仙台市青葉区一番町3-7-23、TEL022-222-1368、FAX022-261-5826

ーリングに並行して、坑口より667m上半クラウン部及び側壁部からトンネル断面に直角方向に実施した調査ボーリングでは、崩落性の強い非溶結層は、クラウン上部3mに存在しているのが確認された。

トンネル変状発生メカニズムを図-1に示す。

3. 対策工の施工

上記変状発生要因より、天端崩落の防止・切羽周辺地山の改善・坑内外の支保力強化による地山塑性領域の拡大阻止が、本トンネルの変状対策の主眼と言える。

以下に、施工した対策工とその選定理由を述べる。

（1）天端崩落に対する対策工

非溶結層の分布形状は、基盤の地形に支配されるため、今後の位置を予想することは難しく、天端崩落等の危険が予想される。また、切羽に出現する阿仁合層は、脆弱な地質であり、天端の剥落等が予想される。

①確認注入工の施工（非溶結層の存在確認）

- ・打設角度：切羽前方 $\phi=60^\circ$ 上向き
- ・注入上限圧(30kgf/cm²) 注入量(30kg $\pm$ /本) 管理

②固結工の施工（非溶結層を確認した場合）

- ・注 入 材：ウレタン系薬液

③注入式フォアボーリングの施工

（2）切羽押し崩壊に対する対策工

切羽の地質（阿仁合層）は、時間経過に伴う節理の発達が著しく、切羽の自立性に乏しい。

①上半及び下半鏡吹付コンクリートの施工

②フェイスボルトの施工

（3）膨張性地圧に対する対策工

膨張性地山に対し、長期的な変形を抑えるために

4. 対策工実施結果

対策工実施前後の初期変位速度と推定最大内空変位量及び計測結果に基づく収束値を表-3に示す。

5. おわりに

補助工法には、通常の設備・人員編成を大幅に変更することなく、トンネルの掘削のサイクルの中で施工できるものと、施工設備の変更や作業員の編成替えを要するものがある。本工事に於いては、前者を念頭に置いて対策工を選定した。対策工実施後の変位量は実施前に比較して1/3程度の値にある。これまでの経過を見る限り、変位傾向・変位速度とも、収束に向かい良好な動きを示していると判断できる。しかし、最終収束の確認までに、1年程度と長時間を要しているのが現状である。現在、二次覆工も施工中であることから、覆工前の収束確認に至らない区間が生じることも想定される。今後とも、観察、計測によるデータの解析に努め、トンネル供用後も視野に入れた、より合理的で安全かつ経済的な施工法の検討が必要である。

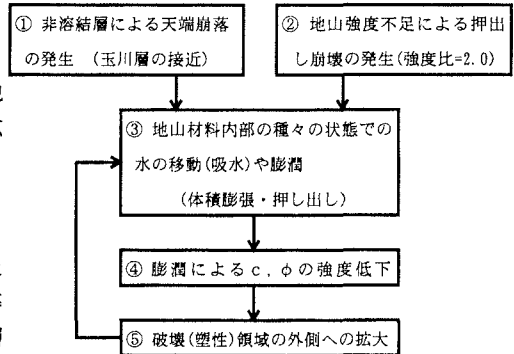


図-1 トンネル変状発生メカニズム

は早期に剛性の高い支保構造とすることが重要であり、リング閉合を早期に行うことも有効である。

①支保パターンをD₁からE（特殊）に変更

- ・上半部に変形余裕量+100mmを採用
- ・鋼製支保工はH-200を採用
- ・インバート外周に、鋼製支保工を採用
- ・吹付コンクリートの厚さは250mmを採用
- ・上半に根固めボルトを採用
- ・上半に仮インバートを実施

②施工方法の変更

- ・地山は吸水膨張する素因を有することより削孔は、水削りから泡削孔に変更

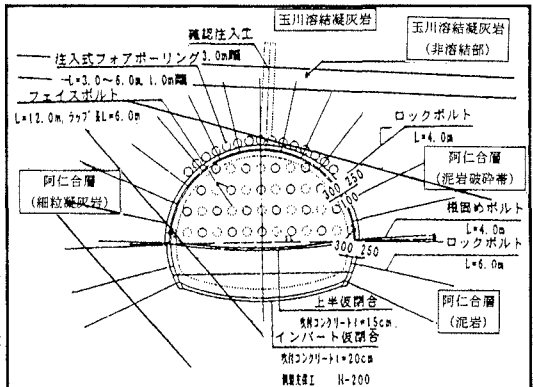


図-2 支保パターン（Eタイプ）図

表-3 判断される対策工実施結果

項 目	対策工採用前	対策工採用後
初期変位速度	48～58 (mm/日)	6～21 (mm/日)
推定最大変位量	480～580 (mm)	60～210 (mm)
収束値（予測値）	424～585 (mm)	75～189 (mm)