

日本鉄道建設公同東京支社松代鉄道建設所 正会員 服部修一

同

花崎春男

同

小松哲也

1. 概 要

鍋立山トンネルは、上越線六日町駅より信越線犀潟駅に至る北越北線のほぼ中央に位置する延長9,117mの単線鉄道トンネルである。このトンネルは新第三紀の超膨張性を呈する軟弱な泥岩地帯を貫いており、さらに可燃性ガスが湧出するという条件も加わり施工は極めて難航している。平成元年1月から導坑用のTBM（Φ3100mm）により未掘さく区間(250m)の掘さくを試みたが、約65m掘進したところでメタンガスの噴出とともに強大な押し出しに遭い、地山に押されてTBMが後退し、最終的には切羽から約100m後退した位置で厚さ3mのスチールファイバーコンクリートのバルクヘッドを構築し押し出し土を止めた。押し出し土に対しては、デンカESと普通ポルトランドセメントミルクによる1.5ショットの注入工法により改良を行った。押し出し土はきわめて良好に改良され、再掘さく中は押し出しは全くなく、順調に掘さくできた。

本報告は押し出し土に対する注入工法について述べる。

2. 地山物性およびセグメント背面土圧計測

押し出し切羽の地質は、未固結な粘土で、その中に硬質なノジュール（最大径80cm）を挟んでいる。粘土の含水比は通常25～30％程度であるがヘドロ化し80％程度となることもある。岩石試験結果を表－1に示す。

TBM掘さく中に実施したセグメント背面土圧測定結果によれば、背面土圧は最大250tf/m²に達し、土被り150m、単位体積重量2 tf/m³とするとほぼ全土被り圧に近い値となる。

表－1 岩石試験結果

	岩 質	自然単位 体積重量 r(tf/m ³)	一軸圧縮 強度qu (Kgf/cm ²)	液 性 限 界 LL(%)	塑 性 限 界 Wp(%)	塑 性 指 数 Ip	粒 土 分 析				膨張率 ex (%)	自 然 含水比 Wn(%)
							砂 (%)	シルト (%)	粘 土 (%)	2μ以下 (%)		
坑内試料中央導坑 (32k798m)	泥 岩	1.847	2.360	145.5	33.9	111.6	0.2	28.8	71.0	60.0	7.390	28.16
坑内試料 (32k799m)	ヘドロ	—	—	137.3	28.8	108.5	0.2	29.8	70.0	53.0	—	53.50
坑内試料TBM 中央導坑(32k984m)	ヘドロ	—	—	163.2	24.3	138.9	0.4	31.6	68.0	56.0	—	80.30

3. 押し出し土に対する注入工法

(1) 注入材の選定

注入材の必要条件としては、①ホモゲル強度が高いこと②ゲルタイムを適度に調整できること③地山との付着が良いこと、の3点が挙げられ、この条件に合致ししかも比較的安価な注入材としてデンカESを選定した。デンカESは、セメントの急硬性セメント鉱物を主成分とする材料で、セメントと同時に水和すると、セメントから溶出するアルカリと急速に反応し短時間に強度を発現する。

(2) 注入計画

注入は、TBM導坑内10mまで（バルクヘッドから41.29m）改良することを目標とした。注入孔数は7孔（そのうち1孔を

表－2 注入材配合表

A液 (200ℓ)		B液 (200ℓ)	
デンカES	40 Kg	セメント	160 Kg
ESセッター	0.8Kg	水	149.2Kg
水	172.2Kg		

導坑内まで伸ばす)とし、充填率30%、最大圧力50Kg/cm²と設定した。削孔機はロータリーバーカッショ
ン方式のビューラーを使用した。注入材の配合は表-2に示すとおりで、ゲルタイムは3分、一軸圧縮強
度は40Kg/cm²と設定した。

(3) 施 工

削孔は、当初Φ56m/mの単管掘りで36.4mまで削孔できたが、削孔長を伸ばすため外管(Φ95m/m)を
とりつけて二重管方式とし、最終的には目標を大きく上まわる61.9mの削孔ができた。注入孔数は、押し
出し土中のノジュールや鋼材等の障害物に当たり削孔不能になったものを含めて12孔となった。

注入圧については、当初4～7 Kg/cm²と低かったが、注入量が増大するに従い上昇し、最終的には初期
圧でも40Kg/cm²を上まわる程になった。

最終注入量は、本坑部分が175m³、導坑部分が338m³で合計513m³となった。充填率は、本坑で29%、導
坑部分で188%となった。導坑部では切羽方向にかなりの量が逸出したものと考えられる。なお、注入に
要した日数は約50日であった。

4. 注入効果

(1) 確認孔およびコアボーリング

注入終了後、掘さく可能か否かを判断するため、押し出しおよびガス湧出状況の確認のための確認孔(Φ95m/m、 $\ell=33.4$ m)と改良地山物性の確認のための水平コアボーリング(Φ105m/mとΦ60m/mの二重管工法、 $\ell=42$ m)を実施した。この結果、押し出しおよびガスの多量の湧出のないことを確認し、また改良後の地山は、注入材単体で50Kg/cm²、注入材と粘土の互層状の部分で約7 Kg/cm²、粘土だけの部分で5 Kg/cm²の一軸圧縮強度となっており、注入効果が充分あったと判断した。

(2) 掘さく

ボーリング終了後、中央導坑断面で人力掘さくを行うこととし、バルクヘッド(厚さ3m)をとりこわし後、約23日をかけて33.1m掘さくした。ガスの湧出はほとんどなく、押し出しも全くなり、切羽は自立し、良好な状態であった。

5. まとめ

今回の注入は、覆工コンクリート、セグメントの中に押し出してきた地山に対する注入であったこともあり、かなりの効果をあげることができた。今後未掘さく区間の改良については、さらに技術の開発が必要であるが、注入工法の効果について一応の目途を立てることができたと考えている。

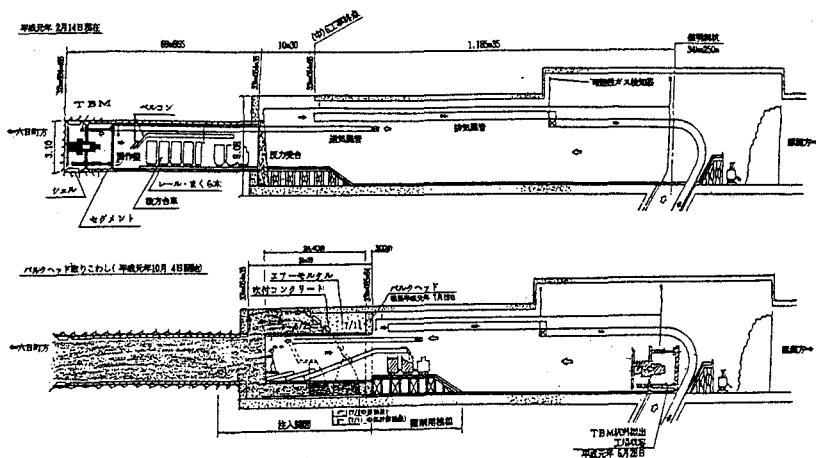


図-1 掘さく状況図