

## トンネルボタ山掘削における補助工法の選定

戸田建設(株) 正会員 横山 洋司  
 戸田建設(株) 非会員 野崎 克博  
 戸田建設(株) 非会員 粟津 慎二

### 1. はじめに

本報文は、北海道横断自動車道ユーパロトンネル工事で施工した、ボタ山(石炭採掘時に発生する残土の山)掘削における補助工法検討・施工結果について述べる。ユーパロトンネルは北海道を東西に貫く北海道横断自動車道 694km のうち夕張 IC ~ トマム IC 間に位置する延長 1955m のトンネルである。地質は古第三紀層泥岩(幌内層泥岩)が分布し、終点側 67m にボタ山掘削区間が存在する(図 1)。

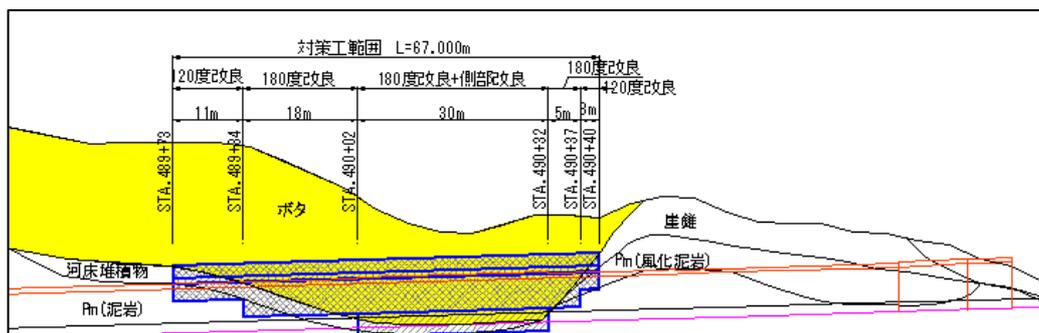


図-1: ボタ山区間縦断面図

### 2. 試験施工

一般的に、トンネル支保構造・切羽が安定する人工地盤の設計強度は  $1.0\text{N/mm}^2$  とされるため、空隙がありルーズなボタ山(石炭ズリ)の改良目標強度も  $1.0\text{N/mm}^2$  に設定した。

当初設計では、石炭ズリをN値 14.9 のゆるい状態の砂礫であると見なし、「ソレタンシュ地盤改良工法標準積算資料第 10 版」から 1 次注入材(セメントベントナイト) 15%、2 次注入材(特殊スラグ系注入材) 30% を地表面から薬液注入工法(2重管ダブルパッカー)にて施工する計画であった。

既往の室内試験結果では石炭ズリの間隙率は 26.2% ~ 49.5% の範囲を示していたが、現地試料採取による室内配合試験によって原位置強度を推定すると、注入率 26.6% で目標強度  $1.0\text{N/mm}^2$  を上回る結果を得た。

そこで、試験施工を実施してボタ山の改良効果・注入率の確認を行った。試験結果を表 1 に示す。

表-1 試験施工結果一覧

No.	注入率 (上段:1次 下段:2次)	注入前 物性値			注入後 物性値				コア観察
		N値 (平均)	変形係数 (MN/m <sup>2</sup> )	透水係数	N値 (平均)	変形係数 (MN/m <sup>2</sup> )	透水係数 (cm/sec)	一軸圧縮 強度(N/mm <sup>2</sup> )	
	CB10% シラクソル 40%	15	5.3	6.99E-03	21	11.5	1.48E-05	0.89 ~ 3.78	~ (バラツキが ありの割合が多い)
	CB10% シラクソル 30%	20	7.0	2.68E-03	31	22.4	1.90E-04	ブロックサンプル 採取できず	~ (バラツキが ありの割合が より多い)
	CB10% シラクソル 20%	13	14.9	7.91E-05	16	20.7	7.36E-05	1.68 ~ 2.96	~ (バラツキが ありの割合が多い)
	CB40%	18	23.3	1.32E-04	19	33.7	1.29E-05	ブロックサンプル 採取できず	(固結物は認め られない)

コア観察; ..完全に固化している、..固化しているが手で容易に崩れる、..固結物が少ない

キーワード トンネル, ボタ山, 補助工法, 薬液注入

連絡先 〒060-8535 北海道札幌市中央区北 3 条東 2 丁目 2 番地 戸田建設(株)札幌支店 TEL 011-231-9600

試験施工結果をまとめると下記の ) ~ ) となる。

- ) 標準貫入試験・孔内水平載荷試験において改良効果は認められるが、強度増加にバラツキがある。
- ) 一軸圧縮強度については、 $\bullet$  ではブロックサンプルが採取できず、 $\bullet$  では目標強度  $1.0\text{N/mm}^2$  以上の結果が得られたが、供試体自身の密度が  $1.5\text{g/cm}^3$  程度と小さく健全な状態ではなかった。
- ) 試掘による壁面やボーリングコア観察より、試薬反応はあるが施工注入量に対して固結物が少ない。
- ) 一次注入圧力が  $0.5 \sim 1.0\text{Mpa}$  以下で圧力上昇が見られず、注入前後で間隙率が 4% 程度増加している。

### 3. 試験施工の評価・考察

ボタ山は全体的に不均質な粒度組成で、場所によって土質性状にバラツキがあるため、注入材が完全には間隙内に留まっておらず、試薬反応が見られたものの粗粒部や堆積面に沿って薬液が逸走したと思われる。従って、注入工法によってボタ山区間の安定した改良域と改良強度を得るためには、注入材の逸走防止を考慮した対策工選定が必要であると判定された。

### 4. 工法選定

試験施工結果から、対策工として下記の )、 ) を選定した。

#### ) 一次注入材の変更

一次注入材の CB に替え、瞬結タイプの水ガラス系懸濁型注入材(RMG-S4)を使用する。その際、逸走防止のためゲルタイムは 10 秒以下、ホモゲルの固結強度は  $3 \sim 5\text{N/mm}^2$  以上の高強度なものを選定した。3 タイプの注入率(15%、30%、45%)によって再試験施工を実施し、「注入率」と「一軸圧縮強度」の関係近似線から  $1.0\text{N/mm}^2$  を満たす注入率として 34% が得られた。この注入によって、トンネル掘削時にグラウンドアーチが形成されることが期待される。しかし、瞬結タイプの脈状改良のために未改良部分が残し、トンネル掘削時の部分的な崩落の要因となりうる。

#### ) 坑内からの二次注入の実施

二次注入として、坑内から浸透性の高い材料(シラクソル)を注入する長尺鋼管先受工(AGF-R)を施工する。これにより、一次注入の未改良部分を補充して「鋼管 + 改良体」の複合地盤として改良体を形成し、トンネル掘削時の安定性向上を図る。

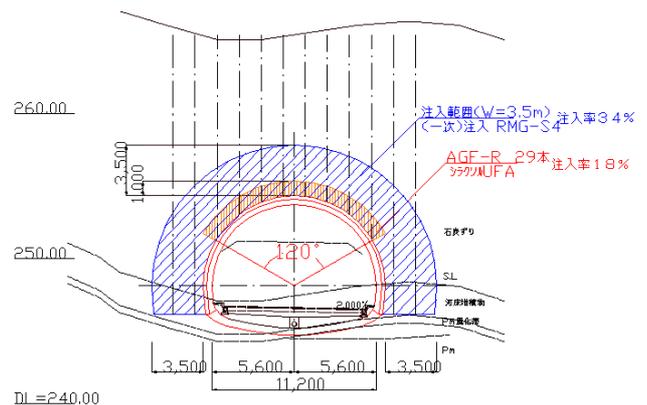


図-2：ボタ山対策工断面図

### 5. トンネル掘削

ボタ山掘削は、完了までに 1.5 ヶ月の期間を要した。AGF-R の注入管理方法としては、注入最大圧力  $3.0\text{Mpa}$  または設定数量注入によってステップアップするものとした。注入圧力と掘削実績(切羽崩壊等の状況)を踏まえて、次シフトの補足注入・管理基準見直し等を検討したが、切羽及び天端の自立性が良好であったため、結果的に補足注入を行うことなしにトンネル切羽の安定を確保することができた。注入圧力は平均で  $1.3\text{Mpa}$ 、注入率は設定数量の 91% となった。天端沈下、内空変位についても、それぞれ 30mm、20mm 程度で収束し、健全なトンネル構造体が施工できたものと考えられる。

### 6. おわりに

今回のボタ山掘削における施工実績は、1 次注入材(瞬結タイプ)によるグラウンドアーチ形成、AGF-R 工法による坑内からの地山補強が複合的に機能した結果であると考えられる。



写真-1：1800m 地点ボタ山区間切羽