

未固結地山を対象としたトンネル掘削における先受け工注入材の検討(その1)

—注入試験と浸透性について—

鉄道建設・運輸施設整備支援機構 北海道新幹線建設局 北斗鉄道建設所* 非会員 山本丈迅
 岩田地崎・熊谷・不動テトラ・相互特定建設工事共同企業体** 正会員 大畑雅義 正会員 ○金子泰久
 (株)熊谷組*** 正会員 片山政弘 非会員 八木橋綾 岩手大学**** 正会員 大河原正文

1. はじめに

北海道新幹線新函館北斗・札幌間、渡島トンネル(村山工区)における地層境界付近では、切羽に現れる地質が未固結を呈し、徐々に砂が多くなったことで切羽崩壊が一部区間にて発生した。切羽・天端の安定をはかるための補助工法として AGF 工法を採用したが、現位置地盤に適合した品質、経済性の良い材料を選定する必要があった。今回最適材料を選定するため簡易な注入試験機(カラム試験器)を開発し室内試験を実施した。以下に結果を示す。

2. 工事、地形地質概要と課題

本工事は、北海道新幹線のうち、日本最長の陸上山岳トンネルとなる渡島トンネル(延長 L=32,675m)の最も起点方の工区となる、村山トンネル(延長 L=5,365m)及び路盤工(延長 L=15m)の工事である。図1に地層境界付近の地質縦断図を示す。本トンネルでは、新青森起点 151km980m 付近より火山岩類を主体とした黒松内層上部の古い時代の堆積物を掘削してきたが、152km060m 付近より火山礫凝灰岩からなる礫分が減少し、シルトもしくは砂が優勢な状態となった。この後、152km070m 地点に

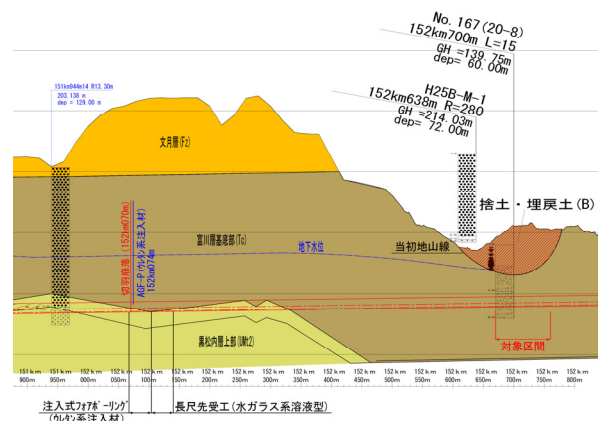


図1 地層境界付近の実績地質縦断図

において、切羽右側壁部より小崩落が発生し、崩落部を含む弱層部に注入式フォアポーリング、AGF-P 工法(注入材料はウレタン系を使用)を採用し掘削を継続した。しかし、本現場の未固結砂層への改良効果は限定的であり、満足な改良効果が得られなかった。その後、注入材を水ガラス系溶液型(無機系)に変更し同補助工法を実施した結果、効果的な浸透注入が可能となり、無事に掘削することができたが、今後 152km700m 付近の小土被り区間(当初地山土被り 20m 程度)においても同地質が出現することから、現位置地盤に適合した注入材料について、更なる経済性や施工性の向上を目的として室内試験を実施し、当該地盤に最も適した注入材を選定することとした。なお、地層境界部の土質試験結果は、相対密度 $Dr=103\%$ 、細粒分含有率 $F_c=1.85\%$ 、均等係数 $U_c=7.42$ の自立性の悪い未固結堆積物砂層であった。

3. 試験方法

①カラム試験器

カラム試験器による試験は、いくつかの事例があるが、これらは比較的大型のカラム試験器で実験に時間を要する。そのため、今回はハンドリングが容易な比較的小型の試験器を新たに開発した。浸透試験筒に内径 $\phi 50\text{mm}$ × 長さ $L=300\text{mm}$ のアクリル製パイプ(カラム)を用い、予め作成しておいた溶液(1 ショット, 1.5 ショット)を定量送液ポンプ(ペリスタルティックチューブポンプ)を使用して送液し、浸透試験筒内に構成した試験地盤を通過させることで試料(試験地盤)に注入材を浸透させることにした。図2および写真1に今回開発したカラム試験器および注入状況を示す。

キーワード：未固結地山，注入材，カラム試験，浸透性

*〒041-1251 北海道北斗市本郷344-2 ・TEL 0138-77-1722 ・FAX 0138-77-1733

**〒041-1242 北海道北斗市市渡631番地1 ・TEL 0138-77-2218 ・FAX 0138-83-7340

***〒162-8557 東京都新宿区津久戸町2-1 ・TEL 03-3235-8622 ・FAX 03-3266-8525

****〒020-8551 岩手県盛岡市上田4丁目3番5号 ・TEL 019-621-6444 ・FAX 019-621-6444

② 注入材の配合

注入材は水ガラス系溶液型－シリカゾル系、有機系、水ガラス系懸濁型(普通セメント、極超微粒子セメント)の4種類とした。各注入材の浸透特性と力学特性を評価するために、室内にて送水ポンプを用いて定量で注入試験を行い比較した。なお、注入後のサンプルに対する強度試験結果は別稿¹⁾にて述べる。4種類の配合方法を表1に示す。

③ 浸透確認方法

試験は図3に示す手順のカラム試験を実施してその浸透性(粘性、硬化時間、注入時最大圧力、浸透係数)を測定した。なお水ガラス系溶液型無機系(シリカゾル系)、および水ガラス系溶液型有機系の浸透水は、透明なため浸透状況の視認が難しいことから、赤色に着色し、さらに確実な浸透状況把握のため、塩分計を併用し充填時間を計測した。材料特性と注入時最大圧力の関係を表2に示す。また、浸透係数測定結果を図4に示す。なお、注入材が試験地盤体長を通過する時間で除した値を今回は見かけの浸透係数と呼称する。

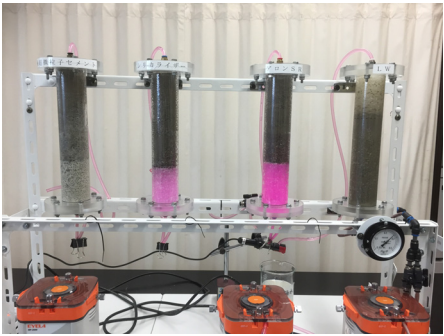
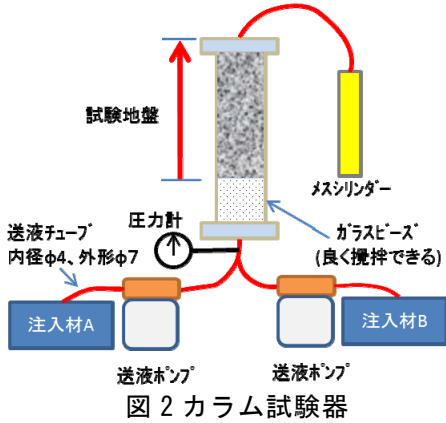


写真1 注入状況写真

表1 標準配合表

	薬材名	仕様	水ガラス系溶液型 無機系 (シリカゾル系)	水ガラス系溶液型 有機系	水ガラス系懸濁型 (普通セメント)	水ガラス系懸濁型 (極超微粒子)
A液	水		700ℓ	250ℓ	250ℓ	250ℓ
	水ガラス			250ℓ	250ℓ	250ℓ
	硫酸含有中和剤		50ℓ			
B液	炭酸エチレン 重炭酸カリウム	緩結		21.25kg		
	水			485ℓ	436ℓ	459ℓ
	極超微粒子S	HNP-1500				115kg
	分散材	ML-3000				1.7kg
	普通ポルトランドセメント 水ガラス		250ℓ		200kg	

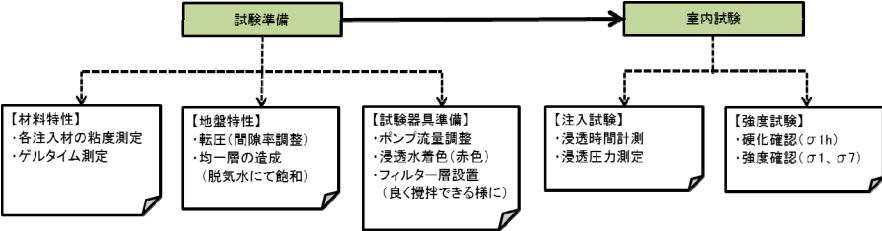


図3 試験手順

表2 材料特性と注入時最大圧力の関係

	ゲルタイム	粘性係数 (mPa・s)	注入時最大圧力 (kPa)
水ガラス系溶液型 無機系(シリカゾル系)	60分	2.25	15
水ガラス系溶液型 有機系	30分31秒	2.75	0
水ガラス系懸濁型 (普通セメント)	1分16秒	計測不可	300
水ガラス系懸濁型 (極超微粒子)	7分42秒	2.25	10

4. 試験結果

- ・ゲルタイムを長く設定した水ガラス系溶液型は浸透性が高い。
- ・粘性係数は普通セメント以外ほぼ同等であり、使用した水の粘性(1.0mPa・s)とほぼ同等であることから、普通セメント以外の溶液は浸透性の良い材料であることがわかった。
- ・注入時最大圧力はいずれも微小であり僅差である。ただし、普通セメントは高压で試験続行不可となった。
- ・浸透係数は水ガラス系溶液型注入材無機系(シリカゾル系)が最も浸透性が良い結果となったが、水ガラス系溶液型注入材有機系も極超微粒子セメントも概ね浸透性の良い材料であることが判った。

5. まとめ

今回、新たに開発したカラム試験器による室内試験結果から、当該地盤において水ガラス系溶液型注入材、または水ガラス系懸濁型(極超微粒子セメント)が浸透性に優れているという妥当な結果を得ることができた。今後、本試験を活用することで簡便に数種の材料に対する浸透試験が可能になった。

【参考文献】1) 山本ら(2018):未固結地山を対象としたトンネル掘削における先受け工注入材の検討(その2)－強度試験、評価と施工－, 土木学会 73 回年次学術講演会 講演集

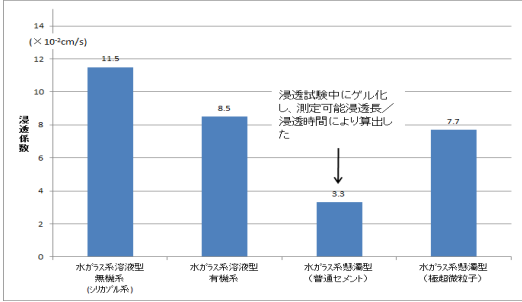


図4 浸透係数比較結果