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）
ー強度試験、評価と施工ー

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　中島慶介
㈱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で発生した．切羽・天端の安定をはかるための補助工法を採用したが，現位置地盤に適合した材料を選出する必要があり，今回，カラム試験を使った室内試験を実施した．ここでは，室内試験のうち，各注入材ごとのコアサンプリングの強度を示し，別稿[1)]の浸透性試験結果と併せて採用注入材料の選定を行った．また，採用した材料による実施工結果について記す．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 Fc=1.85%，均等係数 Uc=7.42 の自立性の悪い未固結堆積物砂層であった．

２．強度試験

強度試験は注入が完了し，硬化後，所定の長さに試験体を切断し，材齢1日及び7日の一軸圧縮強度を実施して，強度を確認した．また，トンネル掘削においては，注入後1時間程度の強度が重要となることから，材齢1時間の状況も確認した．表1に1時間後の指圧による定性的な強度を示し，図1に一軸圧縮強度(σ1，σ7)を示す．

表１　定性的な強度指標(1 時間強度)

	1時間強度
水ｶﾞﾗｽ系溶液型 無機系(ｼﾘｶｿﾞﾙ系)	・自立可 ・指で押すと凹む ・供試体上部(出口側)は崩れやすい ・ビーズ部分は固化せず
水ｶﾞﾗｽ系溶液型 有機系	・自立可 ・指で押すと凹む ・供試体上部(出口側)は崩れやすい
水ｶﾞﾗｽ系懸濁型 （普通セメント）	・(浸透部のみ)自立可 ・(浸透部のみ)指で強く押すと凹む
水ｶﾞﾗｽ系懸濁型 （極超微粒子）	・自立可 ・指で押すと凹む ・供試体上部(出口側)は崩れやすい

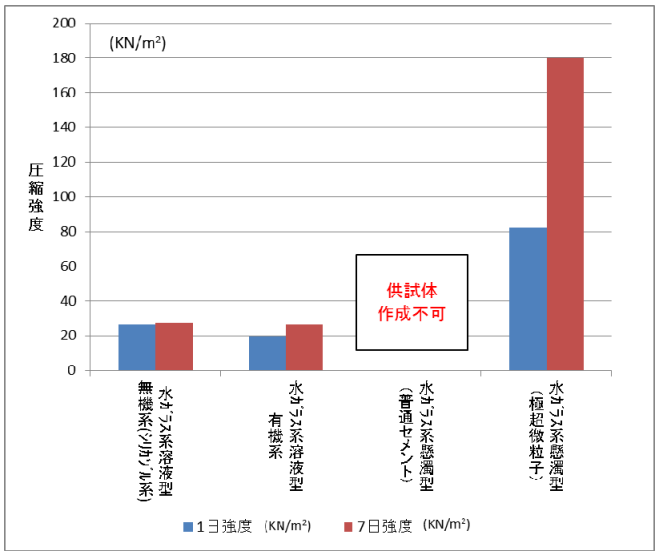

図１　一軸圧縮強度(σ1，σ7)

水ガラス系懸濁型(普通セメント)は，浸透試験中にゲル化し，供試体作成が不可であった．１時間強度では，指圧による触診ではあるが，全ての材料も指で押せば凹むほどの強度を有しており，全く結合力の無かった砂粒子に粘着力を与えている感触を得たことで，トンネル掘削時の短時間の切羽解放であれば安定性に期待できるものと判断した．σ1，σ7強度においては，水ガラス系懸濁型(極超微粒子セメント)が大きな値を示す特徴を示した．一方，水ｶﾞﾗｽ系溶液型は，有機系/無機系に関わらず強度はσ1，σ7ともほぼ同じであることがわかった．

キーワード：未固結地山，注入材，カラム試験，強度試験
*〒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

３．本工事における注入材料選定結果について

表2に今回行った全ての試験結果を示し，以下に採用した材料の考察を示す．

強度，経済性からは普通セメントが有利であるが，今回の地山では浸透性の良否が最も大きな課題であったことから採用を断念し他の材料を採用することとした．その結果，強度は懸濁型注入材に劣るものの浸透性も他の材料と遜色なく，経済性に有利な水ガラス系溶液型(有機系)材料が当該区間地山(未固結砂層：富川層基底部)に最も適した注入材であると判断した．なお，極超微粒子セメントはコスト面でやや不利であるが，浸透性，長期強度に優れることから，外力(土圧，外水圧)などに対応しなければならない条件において効果が期待できる材料と考える．また，従来より多用される普通セメントも，経済性で有利であることから，地盤状況に応じた活用が期待できる．

表２　室内試験結果一覧表

注入材料		水ガラス系溶液型注入材		水ガラス系懸濁型注入材	
		シリカゾル系(無機系)	有機系一般	普通セメント	極超微粒子セメント
ゲルタイム		60分	30分31秒	1分16秒	7分42秒
粘性係数(mPa・s)		2.25	2.75	計測不可	2.25
浸透係数(cm/s)		1.15E-01 (◎)	8.50E-02 (○)	3.30E-02 (△)	7.70E-02 (○)
一軸圧縮強度(KN/m^2)	σ1h	△	△	○(浸透部のみ)	△
	σ1	26.6	19.97	(試料作成不可)	82.8
	σ7	27.9	26.3	(試料作成不可)	179.9
経済性		△	○	◎	△
総合評価		強度はやや水ガラス系懸濁型注入材に劣る。浸透性は最も優れているが、コストがやや不利となる	強度はやや水ガラス系懸濁型注入材に劣るものの、浸透性が良く、広範な改良が期待でき、コストも過大とならない	浸透した範囲では強度は期待でき、またコストでも有利となるが、浸透性が劣っており、充分な改良ができない懸念がある	浸透性や長期的な強度は優位であるが、高コストとなる
		○	◎	△	○

◎優れている　○やや優れている　△劣っている

４．施工状況

室内試験結果から選定した水ガラス系溶液型有機系注入材を用い，実際に当該地盤に注入式長尺鋼管鏡ボルトを施工した．注入方法はAGF工法で使用される複数の注入管とパッカーを使用した同時注入方式にて行った．注入完了後，浸透範囲をフェノールフタレインにて確認した．その状況を写真1に示す．赤色に反応した部分が水ガラス系溶液型有機系注入材の浸透範囲となる．鏡ボルト鋼管を中心に横断方向に浸透範囲が確認できる．これは弱層部であった砂質優勢層部分に水ガラス系溶液型有機系注入材が浸透した状況である．浸透注入後の切羽状況は，それまで自立困難であった砂質優勢層の自立が可能となり，鏡面の安定が飛躍的に向上した．なお，注入式長尺鋼管鏡ボルトは合計63本打設したが，全て注入圧力が1MPa以下であり，弱層部を中心に確実に浸透注入させることができたと考える．

写真１　注入式長尺鋼管鏡ボルト改良効果の確認状況

５．まとめ

切羽における地質性状を正確に再現し，簡易なカラム試験器による室内注入試験を実施することで，現地盤にあった最適な注入材を選定することができ無事，当該区間を突破した．このような試験は地山条件，使用目的に応じて簡便に最適な材料を選定するうえで有効であるものと考える．

【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１）－注入試験と浸透性について－，土木学会 73 回年次学術講演会　講演集