

流砂現象が懸念される未固結砂質土の薬液注入改良試験について

東日本高速道路(株) 福原 寛光
(株)大林組 正会員 ○鈴木 拓也
(株)大林組 正会員 山口 高司
(株)大林組 正会員 鈴木 健太

1. はじめに

本稿は圏央道事業の大栄～横芝間における仮称芝山トンネル(以下、芝山トンネル)にて実施した補助工法の薬液注入試験結果及び、試験により選定した薬液の現場適用結果について報告するものである。

千葉県内の圏央道沿線のトンネルでは、これまでに砂地山のトンネルで掘削時に流砂現象を起こした結果、陥没事象が発生している(図-1)．芝山トンネルも同様の地質条件であることから、補助工法が適切であるかを試験施工により確認した。



図-1 千葉県内の圏央道概要

2. 地質条件と流砂現象

本トンネルの地質は主に横芝層上部層と中部層から構成され、アーチ部には上部層が堆積する．未固結砂質土は地下水下において流動化を示す指標¹⁾の物理条件を満たすと流砂現象が生じると言われている．芝山トンネルの砂質土特性は流動性を示す指標と比較すると飽和状態の場合に流砂現象を起こす可能性があることがわかる．また、含水比が低いことから乾燥流砂を起こす条件にも該当する(表-1)．

表-1 地山物性値と流動化指標の比較

地山物性値		流動化の条件
N値	20～30程度	
変形係数(N/mm ²)	86	
粘着力(kN/m ²)	5	
内部摩擦角(°)	34	
土被り	最大17m(平均10m)	4～5以下で流砂を起こす条件とされる
均等係数	2.1～15.8	
細粒分含有率(%)	9.3～14.9	
含水比(%)	14.5～27.8	

3. 流砂現象の発生メカニズムと注入改良形態

流砂現象の発生は先受工の鋼管の隙間から地山が抜け落ちることによって生じるものと考えられている．従って、流砂を防ぐには、薬液注入により形成される改良体の形態が「浸透注入」となり、鋼管の周辺に均一な改良体が形成され、アーチ方向に連続させることが重要となる．図-2に注入形態の概念図を示す。

一方で、一般的に注入式長尺先受工は、割裂注入形態として岩盤の亀裂に薬液を注入することで地山改良することがほとんどである．以上から、本トンネルの砂質土に適した薬液を試験施工により選定することとした。

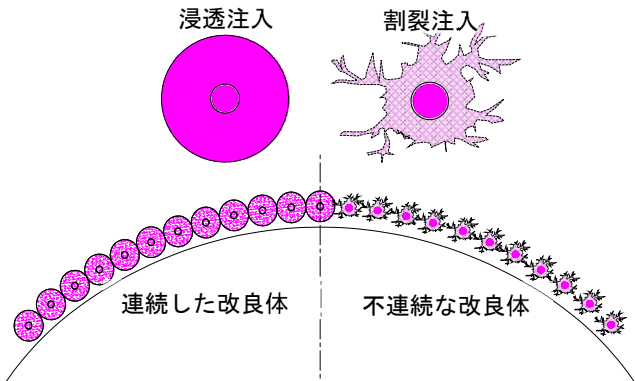


図-2 注入形態の概念

4. 試験施工の内容

4.1 材料の選定

本トンネルは、注入式長尺先受工の薬液としてシリカレジンが設計されていた．しかしながら、既往の

キーワード 流砂現象, 未固結砂質土, 薬液注入試験施工, 特殊水ガラス, 山岳トンネル

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ B 棟 (株) 大林組 TEL03-5769-1319

研究²⁾では、シリカレジンは締まった砂地盤において割裂注入形態を示すことが報告されている。従って、より浸透性の高い薬液を複数選択し、比較検討することとした。薬液は浸透性を確保するため液粘度の低い薬液を試験施工の材料に選定した。薬液の物性比較を表-1に示す。

表-2 薬液の比較

	シリカレジン	シリカレジン (低粘度タイプ)	ウレタン (高強度・高浸透タイプ)	超微粒子セメント	特殊水ガラス系 溶液型
液粘度 mPa・s	110±40 (25℃)	50±20 (25℃)	55±30 (25℃)	180	2~10 (20℃)
発泡倍率 (自由発泡)	6~10倍	2~8倍	3~9倍	-	-
一軸圧縮強度 N/mm ²	3.0±0.5 (3倍発泡時)	1.0±0.4 (3倍発泡時)	7.0以上 (3倍発泡時)	8.0 (材齢28日)	1.0~1.5
その他	設計注入材(長尺先受工)	シリカレジンの浸透性を低下させ、浸透性を向上させた材料	シリカレジンと比べ浸透性が低く発泡圧力のため浸透性に優れる。	設計注入材(長尺鏡補強工)	浸透度が非常に高く砂地山の適用性が高い。山口トンネルにて開発後に注入材として採用している。

※数値はメーカーカタログから引用

4.2 試験の方法

試験は本トンネルと同じ横芝層上部層の切土法面部に延長 L=5.0m 分の鋼管を打設し、薬液注入後に掘り起こす方法で行った。浸透性の高い材料を用いることから、薬液のリーク対策として端末部にウレタン注入によるバルクヘッド(L=1.5m)を形成し、残りの L=3.5m を改良した(図-3)。

注入量は改良径 50cm の形成に必要な量及び、その 2 倍量を試験するものとして、「最近の薬液注入工法 総合土木研究所」に示される算出式を用いて計算した。注入速度及び注入圧等の諸条件は表-3 に示す通りである。

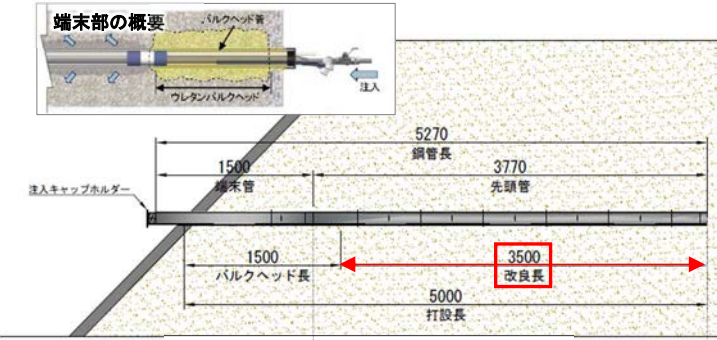


図-3 試験施工の概要

表-3 注入の管理方法

材料	注入量		注入圧力	注入速度
	定量	2倍量	上限圧	
シリカレジン	52kg	104kg	初期圧+2.5MPa	5kg/分
シリカレジン(低粘度タイプ)	50kg	100kg	初期圧+2.5MPa	5kg/分
ウレタン(高強度・高浸透タイプ)	47kg	94kg	初期圧+2.5MPa	5kg/分
超微粒子セメント	292L	584L	初期圧+2.5MPa	10~15L/分
特殊水ガラス系溶液型	292L	584L	初期圧+2.5MPa	10~15L/分

4.3 試験の結果

試験の結果、ウレタン系の注入材は3種類ともに割裂注入形態を示し、圧力も初期圧からほとんど上昇することなく薬液が逸走していた。定量・2倍量と

もに同じ結果となった。超微粒子セメントについては 30L 程度注入後に口元からのリークが止まらなくなり、インターバル注入を行ったが、リークを止められなかったため途中で終了した。結果、ボアホール内を充填したのみとなり、改良体は形成されなかった。特殊水ガラス系溶液型については改良径 50cm を想定した定量注入において平均径 58cm の良好な改良体を形成することができた。2 倍量は未実施としている。以上の結果から、薬液は長尺先受工と長尺鏡補強工ともに特殊水ガラス系溶液型を選定した。結果を図-4に示す。



図-4 試験施工の結果

5. おわりに

試験施工により選定した注入材は実施工においても良好な改良体が形成できていることが確認できた。改良体の効果により切羽は安定した状態を保ち、順調に掘削を行っている。



図-5 実施工の適用状況

参考文献

1) (社)土木学会；トンネルライブラリー第 20 号山岳トンネルの補助工法 - 2009 年版 - , pp.21
2) 鈴木雅行ほか;シリカレジン注入材の模擬地山における発泡圧と浸透性に関する基礎的研究,トンネル工学研究論文報告集第 12 巻, 2002.11