

# シールド河川横断に伴う護岸防護工

吉田 吉孝\*      村川 徳尚\*  
 Yoshitaka Yoshida      Norihisa Murakawa  
 山崎 宏\*      藤田 俊弥\*  
 Hiroshi Yamazaki      Toshiya Fujita

## 1. はじめに

シンガポール地下鉄 T228 工事では、泥土圧シールドにて河川直下を横断する計画である。この河川護岸直下は、護岸の長期安定を目的とし、軟弱な海成粘土層を浚渫後、海砂で置換されており、細粒分の少ない緩い砂層の一部がトンネル断面に出現する（図-1 参照）。シールド掘進時のリスクとして、トンネル内への土砂の噴発、裏込め材の地表面、河床への漏出が懸念された。このため、事前に薬液注入工による止水および強度増加（高圧噴射攪拌工法のようなセメント系改良と同程度）を目的とした地盤改良を行った。本報文は、この地盤改良の計画及び施工結果について述べるものである。

## 2. 地盤改良概要

地盤改良工法は、二重管ダブルパッカー方式で、低圧かつ高速注入により、大きな造成径が可能となるマックスパーム工法<sup>1)</sup>を採用した。理由を以下に示す。①均等係数が7程度と低い砂地盤、②改良対象地盤が広範囲（改良対象土量約 7,500 m<sup>3</sup>、改良厚 3 m）、③河川（貯水池の一部）直下における注入で、薬液の流出が許されない条件下での施工（写真-1）、④曲がり削孔を採用するため（削孔長約 100 m、図-1、図-2 参照）、削孔精度を考慮し、削孔間隔を拡げる必要があった。

改良の対象となる砂層の物理特性を表-1に示す。改良前に実施した現場透水試験結果より、透水係数は  $4.1 \times 10^{-5} \sim 3.3 \times 10^{-6} \text{ m/sec}$  である。

## 3. 試験施工

本地盤改良に関し、企業先からの要求品質を表-2に示す。この要求事項を満足させるため、数種類の注入材で試験施工（注入率 40%）を行った結果を表-3に示す。

本結果より、アルカリ系有機系溶剤であるジオキープ 300 hi を採用することに決定した。選定理由を以下に示す。①シリカライザに含まれる希硫酸が砂層内に介

在する貝殻や珊瑚片（CaCO<sub>3</sub> 換算で 10.0 - 12.5% 混入）と反応し、発泡現象が生じ、未改良部が発生した。②95% 粒径が 5 μm であるシラクソルを用いた超微粒子セメント系懸濁液型注入材では、浸透箇所における発現強度は高いが、均一に浸透する結果となっていない。③ジオキープによる改良後の透水係数が要求値より低い値であるが、本施工では多数の注入管による改良を行うため（試験施工は 3 本）、浸透効果が増す。④改良後の変形係数も要求値より小さい値であるが、シールド掘進による地盤への影響を無改良時（変形係数 2.5 MPa）と比較した結果、顕著な差異は無く、要求項目からの除外が認められた。

ジオキープ 300 hi の配合を表-4に示す。また、浸透注入に対する限界注入速度<sup>2)</sup>が実測で 18 l/分であったため、注入速度を 15 l/分に設定した。



写真-1 シールド河川横断部全景

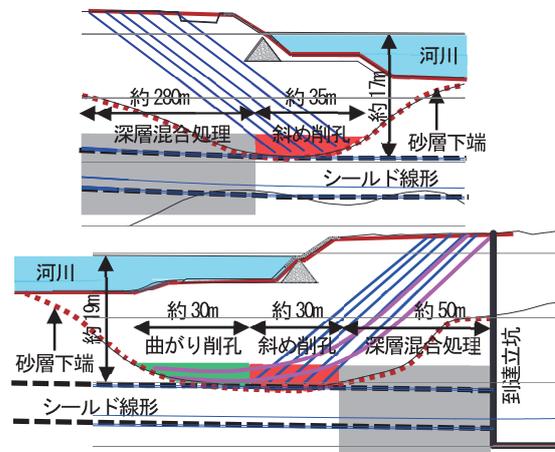


図-1 河川護岸防護工 (上: 右岸, 下: 左岸)

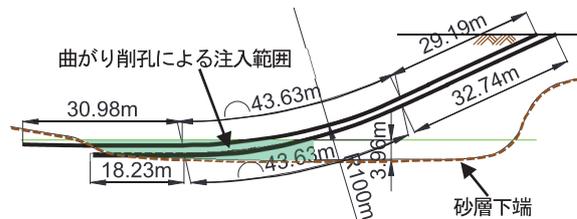


図-2 曲がり削孔線形

表-1 改良対象砂層の物理特性

粒度分布%			乾燥密度 Mg/m <sup>3</sup>	比重	間隙率 %
レキ	砂	細粒分			
7.6	82.9	9.5	1.66	2.69	38.0

\* シンガポール営業所地下鉄マリナベイ(出)

4. 施工管理

斜め削孔について、1本あたりの削孔長は30～65 m、削孔角度は20～56度である。削孔停止は、砂層下端から粘性土に貫入した位置とし、削孔時に使用するベントナイト溶液の送水圧が粘性土貫入時に急激に上昇するため、砂層下端位置を原位置にて確認できた。削孔精度を向上させるため、地表面にガイド管を予め設置し、削孔時はデジタル角度計で削孔ロッドの計測を行った。

曲がり削孔<sup>3)</sup>について、削孔本数は28本、1本あたりの削孔長は90～94 m、曲率半径は100 mである。削孔停止は、斜め削孔と同じく送水圧の上昇により粘性土への貫入を確認し、かつ、上昇した送水圧が維持されるか確認するため、更に3 m掘り込み、砂層の不陸による未改良部の発生を防いだ。削孔精度の確認は、削孔ロッド先端に設置されているジャイロによる同時計測を行い、かつ、より計測精度の高い挿入式傾斜計を6 m削孔毎に挿入し確認した。注入範囲における削孔精度は1/200以下で平均1/400程度であった。削孔延長と削孔精度の関係および削孔対象となる砂層のN値について図-3に示す。

注入手順について、注入材の部止まりを向上させるため、間隙水圧の低い、浅い位置から開始し、平面上は陸側から河川側へ片押しとした。本施工における注入率は44%（1ステップあたり注入量3,200リットル、ゲル時間30分）、打ち止め時の最小注入圧は0.5 MPa（初期注入圧の1.5倍程度）とした。注入管理について、注入材の部止まりを向上させるため、まず3,200リットル/ステップにて全ての注入を完了させた。その後、注入圧が0.5 MPaに達しなかった箇所にて再注入を行い、0.5 MPaに達した時点で完了した。曲がり削孔部における圧力マップを図-4に示す。

改良後に実施した試験結果について、表-5にまとめる。せん断強度が要求された300 kPaを下回った供試体が11本中2本あったが、浚渫された海成粘土が供試体中に介在していたためと考える。透水係数も5か所中3か所において要求された値を上回ったが、ほぼ同程度の止水性を確保できていることから補足注入はしなかった。参考までに、品質要求項目から除外された変形係数E<sub>50</sub>について、E<sub>50</sub> = (30～80) × C<sub>U</sub>の範囲であり、破壊時における軸ひずみ量は6～19%（平均13%）であった。

5. おわりに

工法および注入材の選定、注入手順の工夫等により、薬液注入工で一般的に要求される改良体の強度および止水性を大きく上回る結果を得ることができた。

最後に、施工を進めるにあたり、土木設計部を始め技術研究所、国際事業本部、ライト工業株式会社から貴重なご助言を頂戴した。ここに改めて謝意を表します。

表-2 改良体の要求品質

せん断強度C <sub>U</sub>	変形係数E <sub>50</sub>	透水係数
300 kPa	150 MPa	1x10 <sup>-8</sup> m/sec

表-3 試験施工結果まとめ（平均値）

	注入材	削孔間隔 m	せん断強度 C <sub>U</sub> (kPa)	変形係数 E <sub>50</sub> (MPa)	透水係数 m/sec
1	シリカライザ	2.0	275.4	13.5	2.52x10 <sup>-6</sup>
2	ジオキープ	2.0	435.2	34.5	2.52x10 <sup>-7</sup>
3	シラクソル	1.5	897.5	67.7	Fail
4	シラクソル	1.2	1,012	79.7	Fail

表-4 ジオキープ 300 hi 配合表

使用材料		配合表 (単位: ℓ)			
		試験施工		本注入	
		A液	B液	A液	B液
主剤	水ガラス	200	—	350	—
反応剤	グレオキサール	—	50	—	40
	リン酸	—	50	—	10
水		300	485	150	450
合計		500	500	500	500
		1,000		1,000	

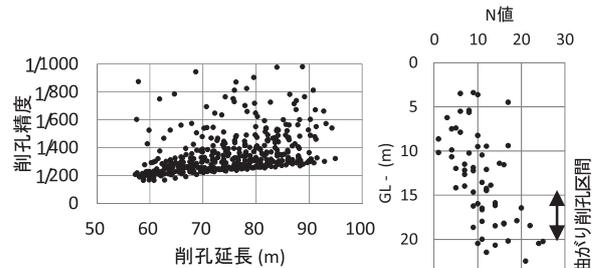


図-3 曲がり削孔精度

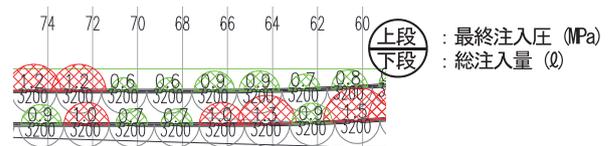


図-4 注入圧マップ（曲がり削孔部）

表-5 本注入結果まとめ

せん断強度C <sub>U</sub> (kPa)			変形係数E <sub>50</sub> (MPa)			透水係数(x10 <sup>-8</sup> m/sec)		
平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小
395	553	211	18.3	40.8	4.2	1.43	1.96	0.92

参考文献

- 1) ライト工業株式会社ウェブサイト：<https://www.raito.co.jp/project/doboku/grout/groutkouhou/maxpalm.html> (2017/01/23 確認)。
- 2) 森麟他：薬液注入において浸透固結形を考慮した限界注入速度の決定方法，土質工学会，Vol.33，No.3，pp159-169，1993。
- 3) 三宅，入山，林：新しい滑走路用の曲がり削孔式浸透固化処理工法，地盤工学会誌，Vol.63，No.6，Ser.No.689，pp.36-37，2015。