

シールド河川横断に伴う護岸基部改良工 — その1 施工方法と薬液注入材の検討 —

西松建設(株)国際事業本部 正会員 ○草野 孝三
西松建設(株)国際事業本部 正会員 山崎 宏
西松建設(株)国際事業本部 正会員 吉田 吉孝

1. 地盤改良の目的

シンガポール地下鉄 T228 工区は、図-1 のようにシンガポール川の河口部における 1980 年代の埋立て造成された土地に位置している。海底に堆積していた軟弱粘土層の上を埋立て、現在の地形が形成されている。河川の両岸にあたる場所は、護岸の安定を図るため、海底部の軟弱粘性土を浚渫し、海砂で置換したのち護岸を構築している。海砂にて置換した護岸基礎構造（以降、サンドキー）は、トンネル掘削断面の天端付近に出現する。トンネル掘削時に土砂の噴発や裏込め材が河川へ漏出するリスクを低減させるため、トンネル直上 3m、トンネル外側左右 3m の範囲において、サンドキーの地盤改良が求められた。

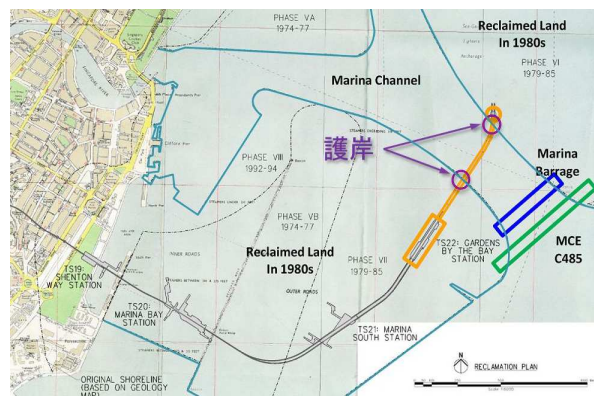


図-1 T228 工区および護岸位置

2. 技術的課題

地盤改良工を施工するにあたって、以下の技術的課題を解決する必要があった。

- ① 改良対象であるサンドキーは、粒径の揃った緩い砂質土である — 均等係数：7程度，N値：5～20，透水係数： $4.1 \times 10^{-5} \sim 3.3 \times 10^{-6}$ m/sec
- ② 改良範囲は、河川直下かつ広範囲に亘る
- ③ 河川の水は飲料水にも利用されるため、環境負荷の低減が必要である
- ④ 改良体に高い品質が要求されている — せん断強度 (Cu)：300kPa以上，透水係数(k)： 2×10^{-8} m/sec以下

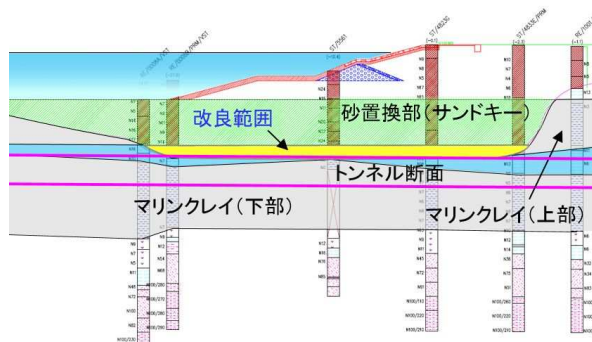


図-2 護岸断面

水不足に悩むシンガポールにとってこの河川は貴重な水資源であり、特に項目③は、企業先が憂慮していた課題であった。また、項目④にある要求品質は、日本の薬液注入では例を見ない高強度かつ不透水性であった。

3. 工法および注入材の検討

(1) 工法の選定

地盤改良の工法選定にあたり、表-1 のように、a. 陸上部からの曲り削孔による薬液注入工、b. TBMからのグラウト注入工、c. 改良範囲直上の河川仮締切りからの薬液注入工の3工法について、工程、施工性、経済性、環境負荷の面から、比較検討を行った。

表-1 地盤改良工法比較

工 法	a. 曲り削孔による薬液注入	b. TBMからのグラウト注入工	c. 仮締切りによる薬液注入
工 程	○	×	△
施工性	○	△	×
経済性	△	○	×
環境負荷	○	○	×
総合評価	○	△	×

キーワード シールド，河川横断，砂地盤，環境負荷低減，曲がり削孔，高強度薬液注入

連絡先 〒105-6310 東京都港区虎ノ門 1-23-1 虎ノ門ヒルズ森タワー10階 西松建設(株) 国際事業本部 TEL03-3502-7693

「b. TBMからのグラウト注入工」は、TBMから注入を行うため、注入材が固化するまでの養生期間中掘削することができず、当現場のクリティカルパスであるトンネル掘削工の工程に大きな影響を与える。また、「c. 仮締切りによる薬液注入工」は、石張り護岸（写真－1参照）に仮締切りを行い、さらに埋立が必要となるため、施工性、経済性が悪く、また環境への負荷が大きいため、課題を解決するに至らない工法であった。

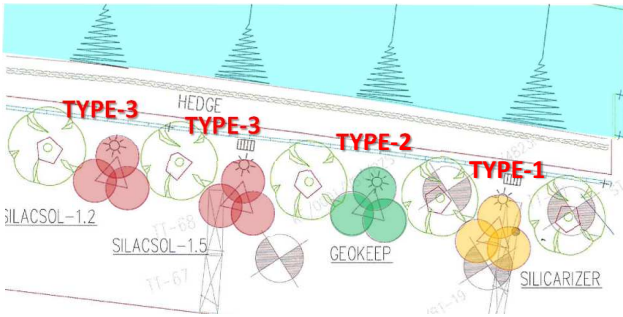
以上から、河川への環境に負荷を与えず陸上部から改良範囲への注入が可能となる「a. 曲り削孔による薬液注入工」を本地盤改良の工法として採用した。



写真－1 河川護岸

(2) 注入材の選定

注入材は、分類の異なるアルカリ系溶液型注入材、非アルカリ系溶液型注入材、セメント系懸濁型注入材の3種類を候補とした。強度発現の側面では、セメント系材料が適しているが、材料の粒径が溶液型に比べ大きい浸透性が悪く、要求される透水係数を満足できない可能性があった。溶液型材料は、アルカリ系と非アルカリ系それぞれから発現強度が期待できる材料を候補とし、浸透性に影響するゲルタイムと発現強度を確認するために、事前に屋内試験を行い、配合を決定した。



図－3 試験施工配置図

最も適した材料を選定するために、原地盤で試験施工を実施し改良体の品質確認を行った。試験施工の改良体配置図を図－3に、結果を表－2に示す。

① Type-2（非アルカリ系溶液型）

サンドキー中の貝殻と注入材の希硫酸が化学反応（発泡現象）を起こし、未改良部が生じたため、せん断強度および透水係数ともに要求値を満たさなかった。

② Type-3（セメント系懸濁型）

部分的に割裂注入となり、均一な改良体を造成できなかったため、注入材が十分に浸透している部分のせん断強度は要求値を大幅に上回ったが、透水試験の削孔中に孔壁が崩壊し、透水試験を実施できなかった。

③ Type-1（アルカリ系溶液型）

ほぼ均一に地盤を改良できており、せん断強度について要求値を満足した。また透水係数も3種類の材料中、最も低い値が得られた。

したがって、当該改良工の注入材としてアルカリ系溶液型注入材を採用することとした。

ただし、透水係数は要求値より若干高い値であった。試験施工は図－3に示すような3本のみの改良体で実施したため、薬液が土中に拡散しやすい状況であったと推察した。実施工では改良範囲が広いため、群効果により薬液の部留まりが良くなり、透水係数が向上できると判断した。

4. まとめ

サンドキー地盤改良に対し、比較検討より曲り削孔による薬液注入工を採用した。また、現地盤で試験施工を行い、コア採取による改良体のせん断試験と現場透水試験の結果から、アルカリ系溶液型の注入材を選定した。

表－2 注入材料の試験施工結果

品質項目	要求品質基準	Type-1	Type-2	Type-3	
		アルカリ系溶液型	非アルカリ系溶液型	セメント系懸濁型	
削孔間隔 (m)	—	2.0	2.0	1.5	1.2
せん断強度 Cu (kPa)	300	435	275	898	1,012
透水係数 k (m/s)	2×10^{-8}	2.5×10^{-7}	2.5×10^{-6}	×	×
改良状況	—	実施工では群効果で透水係数向上が期待できる	土中の貝殻と反応し発泡し未改良部が発生	均一に浸透せず透水試験のための孔壁が崩壊	
総合評価		○	△	×	×