

大規模なアンダーピニング工事の合理化

- 解析と、原位置での地盤調査、動態観測を組み合わせた事例の紹介 -

株式会社コンサルタンツ大地 フェロー会員 ○坂手 道明

神戸高速鉄道株式会社 正会員 井上 真次

神戸高速鉄道株式会社 正会員 長光 弘司

鹿島・奥村・佐藤・森・ハンシン建設工事共同企業体 正会員 渡辺 幹広

株式会社コンサルタンツ大地 正会員 松川 耕治

1.はじめに

営業中の地下鉄を仮受けしながら道路構造物を構築する開削トンネル工事において、工事段階毎の動態観測結果と、原地盤および改良地盤の地盤強度の測定結果を解析にフィードバックすることで鉄道函体下の地盤改良強度の発現を確認し、必要以上の改良とならないよう合理的に施工を進めている。

本文は、今回地盤の強度を測定するために採用した試験法とその結果および、今後の可能性について報告する。

2.工事の概要

本工事は、神戸高速鉄道の地下化されている高速長田～西代区間下を掘削し、阪神高速道路神戸山手線を構築する、鉄道函体の大規模なアンダーピニング工事である。

鉄道地下営業線函体を120m区間に渡って仮受けして地下掘削するもので、工事に当たっての最大のポイントは、営業中の地下鉄への影響を最小限にすることである。

仮受け鋼管杭打設用の導坑掘削($B \times H = 3.0\text{m} \times 3.5\text{m}$, 縦断方向@6m)に先立ち、函体支持地盤の強度を増加させる目的で、地下鉄函体直下に薬液注入により地盤改良を実施した。

また、工事開始前および工事中に、図-1に示すフローに従い、事前の試験施工、新しい解析手法による地盤解析、事前および施工中の地盤調査、さらに最近開発された原位置での「せん断摩擦試験(SBIFT)」により、原地山での強度確認と改良地盤の強度を確認することで、安全かつ合理的に工事を実施している。

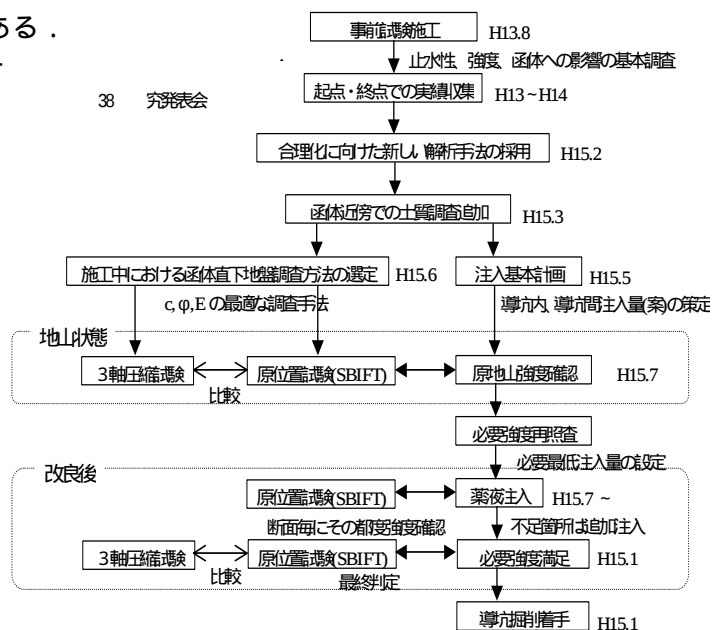
3.原位置せん断摩擦試験, SBIFT (Self Boring In-situ Friction Test)

図-1 検討フロー図

工事個所の地盤は、粘土と砂レキの互層で玉石が点在している。

導坑掘削中に地下鉄函体を支持するためには、解析の結果、最も必要強度の低い場所でも粘着力 $c = 20\text{kN/m}^2$ 以上が必要であるが、このような地盤で粘着力を精度良く測定して評価することは困難である場合が多い。一般的には三軸圧縮試験が採用されるものの、砂レキ地盤ではサンプリングに時間を要するとともに、良好にサンプリングができた場合でも室内試験に時間がかかる。そこで、原位置で地盤のせん断摩擦抵抗を測定し、地盤の強度を即座に推定することができる試験（以下「SBIFT」と称す）を採用した。

ただし、SBIFT は縦方向に挿入して測定した実績のみで、横方向に挿入測定した実績はないが、水压で等



キーワード 近接施工, 薬液注入, 地盤改良, 計測, 原位置せん断摩擦試験, ボックスカルバート

連絡先 〒733-0812 広島市西区己斐本町 2-20-16 TEL 082-273-1471

方加圧するため鉛直と相違ない結果が得られると判断した．さらに，SBIFT の実績は，軟弱な地盤でのものが大半であり，今回の地盤のように，N 値が 50 を上回るような固い地盤，しかも砂レキ層での試験例がないため，三軸圧縮試験のサンプリングが可能であった地盤で三軸圧縮試験と SBIFT の両方を実施し，三軸圧縮試験の結果と SBIFT の結果に大きな差がないことを確認した上で，採用した．

3.1 試験の概要

新工法の SBIFT は原位置におけるせん断摩擦試験で，試験機構としては従来からの地盤の変形係数測定のための孔内水平載荷試験と地盤のせん断定数を測定するための室内での直接型せん断試験を組み合わせたものと考えることができる．

SBIFT は水圧で装置を孔径方向に膨張させる過程で地盤剛性が測定でき，その後挿入方向にせん断することで地盤と装置の接触面での摩擦強度が測定される．

また，サンプリングが不要なため，地盤の乱れ（応力解放）の影響が少ないことと，迅速な調査結果が得られることなどが特徴である．

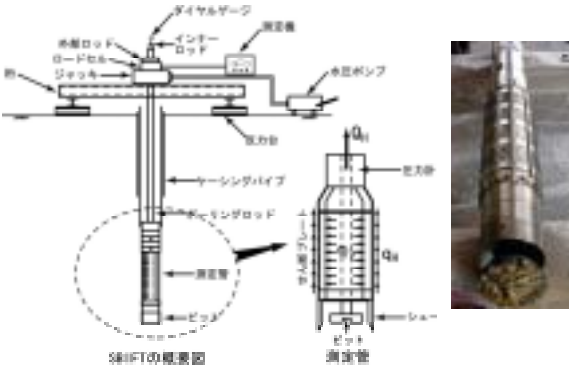


図- 2 機器構造図

3.2 採用理由

今回対象とする地盤はサンプリングが困難であることが想定されたので，仮にサンプリングが出来なかった場合には，地盤の統一的な評価が困難となることが懸念されたこと．

SBIFT は原位置試験であり，地下水位，上載荷重などの地盤の力学的条件をストレートに反映した結果が得られる．

SBIFT では，1 測定箇所複数個のデータが得られるので，統計的な処理が可能であり，信頼性解析につながる．

SBIFT の試験結果，パソコンに取り込んだデータを分析し，図表化することにより，即座に算出出来るため，追加注入の可否を短時間で判断できる．

3.3 試験結果

粘着力 c は『地山 < 一次注入 < 二次注入 < (追加注入)』の順になっており，せん断抵抗角 ϕ は注入による地盤改良後でも地山と同等か減少する傾向があり，地盤のせん断強度は段階的な地盤改良効果を反映している（表- 1 参照）．

この結果より導坑下部は注入不要，導坑切羽内は 1 次注入のみ，導坑間は最低限の 2 次注入が実施され，地盤改良の合理的施工が図れた．

表- 1 SBIFT測定結果一覧表（ c ， ϕ ）

断面(上載)	施工段階	c (kN/m^2)	ϕ ($^\circ$)
J断面 67kN/m2	地山	19.4	28.6
	一次注入後	25.9	32.4
	二次注入後	49.2	23.3
K断面 112kN/m2	地山	17.7	33.1
	一次注入後	25.5	20.1
	二次注入後	27.2	28.4
	追加注入後	34.9	26.0
L断面 162kN/m2	地山	2.1	31.8
	一次注入後	18.7	25.2
	二次注入後	26.1	22.3
	追加注入後	40.7	24.2

4.おわりに

薬液注入などによる地盤改良では，所要の強度を得るための注入量を適切に設定することが肝要である．したがって，注入を段階的に実施し，注入後早期に強度の確認が可能となれば，過度の注入を避けることが出来る．今回 SBIFT により，薬液注入による強度発現後直ちに強度の確認が可能となり合理的な施工につながる一助となった．

参考文献 1)坂手他；原位置摩擦試験による地質の強度・変形定数の推定と実務への適用，土木学会論文集,第 617 号 / -46, pp.191-200

2)田中,井上,長光他；大規模な仮受け工の設計と施工（その 1）,土木学会第 57 回年次学術講演会． pp393-394