

間隙水の吸引工法 (SKK工法) を適用して 軟弱掘削土の土質を改善 -田尻地区函渠その3工事-

国土交通省
関東地方整備局
首都国道事務所
副所長 **山田 明彦**



(株)鴻池組 本社
土木事業本部 技術部
部長 **國富 和真**



(株)鴻池組 東京本店
田尻地区函渠その3工事事務所
現場代理人 **安藤 速人**



はじめに

「田尻地区函渠その3工事」は、千葉県市川市田尻高谷地区の東京メトロ東西線に近接した延長134mの工区で、掘削幅約30m、掘削深さ約15mの掘削構造の道路トンネル(図-1)を開削工で築造する工事である。工事位置は河川沿いで地下水位が高く、掘削地盤には軟弱な高含水比の沖積粘性土が存在するため(図-2)、トラフィカビリティの不足や土砂搬出時の施工性の悪化といった問題が懸念された。そのため、スーパーウェルポイント(SWP)工法に吸送気管を組み合わせたSKK工法を利用し、軟弱地盤中の間隙水および地下空気を吸引することで土質改良を行い、上記問題の解決を図った。

本稿では、SKK工法の土質改良への適用性を、試験施工ならびに実施工において確認した結果を報告する。

SKK工法の概要

(1)SKK工法の概要(土質改良の原理)

SKK工法は、SWP工法を応用した技術で、高真空吸引で地下水位の低下速度を高め、水位低下した地盤中の地下空気を吸引して吸着水を気化回収し、地盤の含水比を効率的に低下させる工法である。SKK工法を用いて沖積粘性土地盤の含水比を大きく低下させることで、トラフィカビリティおよび土砂搬出時の施工性が改善できる。

SKK工法では、地下空気の回収を促進させるため、SWP井戸脇に吸気管を設置している。また、本工事では空気の送り込みで水みちを形成して透水性(通気性)を向上させるため、Qin-TAKO工法(吸送気管の追加設置)を併用した(図-3)。

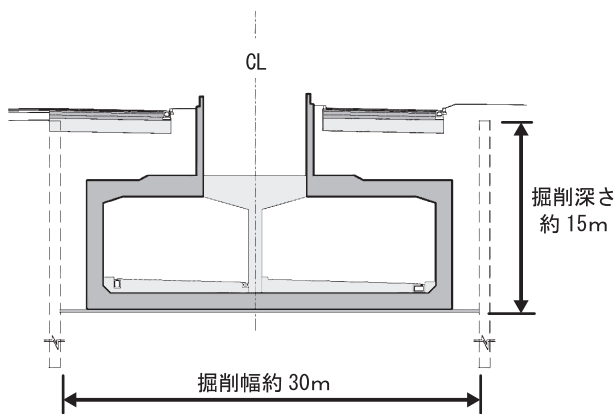


図-1 道路構造(標準)

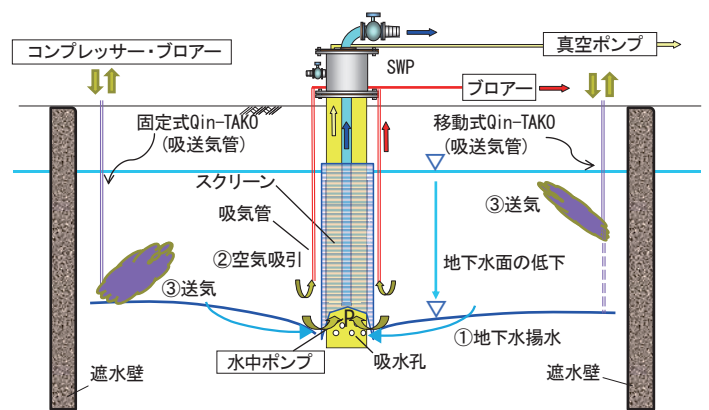


図-3 SKK工法の概要

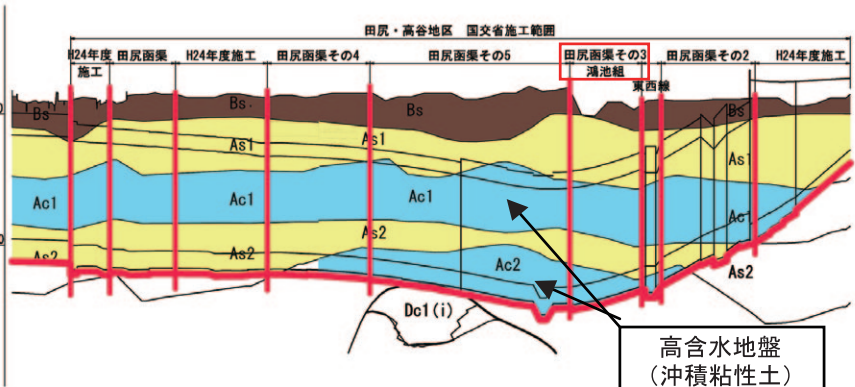


図-2 工事位置および土質縦断面図

(2)地盤内空気の吸引による含水比低下効果

真空吸引による含水比低下効果をみるために、真空釜を用いた基礎試験(要素実験)を行った。現地Ac1層から採取したボーリングコア試料を図-4中に示す真空釜に入れ、真空吸引(真空圧:0.08MPa)して含水比の変化を測定した。

図-4は試料の含水比と時間の関係である。試料の含水比は、時間の経過とともに直線的に低下し、約60%あった含水比が48時間後には20%にまで低下している。これより、地下水が完全に遮断された理想的な環境下では、真空吸引による吸着水の気化乾燥で含水比が相当量低下することが確認できた。

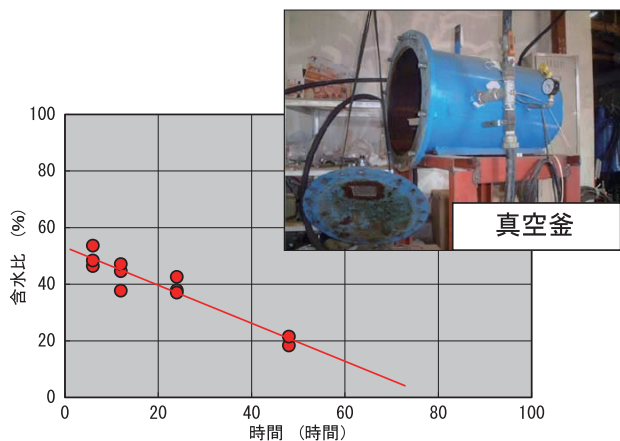


図-4 要素試験結果 (含水比～時間の関係)

現場試験施工による土質改良効果の確認

現場環境や施工条件は室内試験に反映できないため、室内試験の結果のみでは現場での含水比低下量、それに要する時間、1本の井戸による効果到達範囲等の推定ができない。そこで、土質改良効果の確認および実施工での対策仕様の設定を目的として、実物大規模の現場試験施工を行った。

(1)現場試験施工の概要

施工着手前の隣接工区用地に図-5に示す10×20mの試験ヤードを設けて試験施工を実施した。試験施工では、ヤード内に1本の井戸(SWP)と吸送気管を配置し、SKK工法の稼動による含水比の低下、三成分コーン貫入試験によるコーン指数qcの改善、地表面沈下量等を測定し、土質改良効果の判定を行った。各項目の測定頻度は0.5、1、2か月後の3回で、測定箇所は図-5に示すとおりである。

なお、実施工条件(環境)と整合させるため、試験ヤード外周は長さ15mの鋼矢板で締め切り、鋼矢板下端は粘性土(Ac2)に根入れして外部からの地下水の流入を極力遮断した。また、実施工では地盤改良施工(底盤改良)による削孔跡が生じるため、試験施工ではオーガもみで同様な削孔跡を設けている(図-5の破線丸)。

図-6に示すように、試験施工における井戸の下端は、下

部地盤からの地下水の回り込みを避けるために、As2層下端付近で止めている。したがって、効果確認の対象層は主にAc1層である。

(2)土質改良効果の確認結果

土質改良前後の含水比の変化を表-1に示す。含水比の値は、井戸から7m離れた位置(図-5のNo.4付近)の各層上下2か所の採取試料の平均値である。問題となる粘性土に着目すると、2か月間の土質改良によりAc1で11.6%、Ac2で5.6%の含水比低下効果が確認できた。Ac2の含水比低下量が少ないのは、先に述べたように、井戸がAc2層に達していないこと、および上位層のAs2の水位低下が不十分であったためと考えられる。

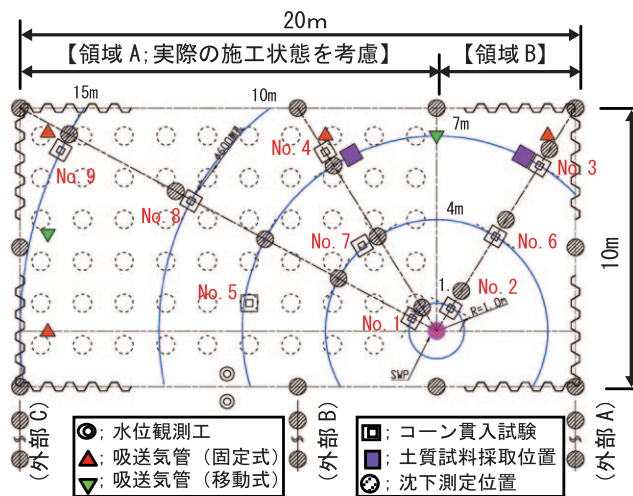


図-5 試験ヤード (測定位置)

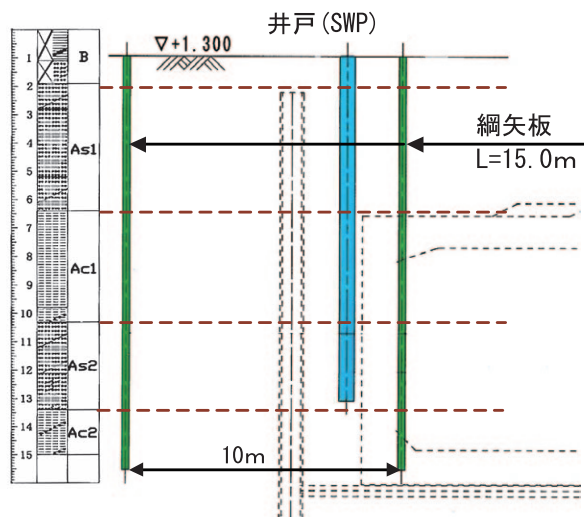


図-6 試験ヤード断面図 (土層・土層状態)

表-1 土質改良前後の含水比の変化

	事前 (%)	1か月後 (%)	2か月後 (%)	△ W (%)
As1	31.7	26.1	23.0	-8.7
Ac1	57.4	57.8	45.8	-11.6
As2	39.3	37.7	36.3	-3.0
Ac2	71.5	73.2	65.9	-5.6

次に、土質改良前後のコーン指数 q_c の変化を図-7に示す。 q_c のグラフは連続した出力値を層ごとに平均化したものである。図-7に示すように、2か月間の土質改良で q_c のラインは全体的に増加している。今回の試験施工において、全ての測定点および対象土層(粘性土)の q_c が本工事の目標値 $q_c \geq 400 \text{ kN/m}^2$ を満足する結果であったため、SKK工法の適用によりトラフィカビリティ確保および掘削土砂搬出の施工性向上に対する効果があると判断した。

(3)SKK稼働による地表面変位(沈下)の性状

地盤中の含水比が低下すると、それに伴い地表面沈下が発生する。試験施工では試験ヤード内外の土質改良前後の地表面沈下量をレベル測量で求め、SKK工法による効果および周辺への影響について検証した。地表面変位と原点(ヤード内は井戸、ヤード外は鋼矢板)からの距離との関係をまとめて図-8に示す。

試験ヤード内の測定位置は図-5に示すとおりで、地盤改良の削孔跡を考慮した側の「領域A」とその他の「領域B」に区分して地表面沈下を整理した。図-8より、削孔跡がある「領域A」の沈下量は80mm前後で、「領域B」に対して2倍以上の沈下量である。これは、削孔跡の存在で地下空気の流れが発生しやすくなり、地盤中の吸着水の乾燥を早めたと考えられる。なお、15m位置の測定が欠測になったが、目視からはヤード全面に等価な沈下が発生しているようであり、この点からもSKKによる効果は15m程度まで到達していると判断した。

試験ヤード外は長辺の鋼矢板の法線方向に3測線(長辺中央測線が「外部B」、長辺端部測線が「外部A」「外部C」)の測定箇所を設けて沈下測定を行った。図-8より、鋼矢板から1m離れた位置で最大4mm程度の沈下量が発生しているが、それより離れている箇所では測量誤差程度の値であった。なお、井戸近くの鋼矢板はヤード内地盤の沈下による共下がり最大8mm沈下しており、鋼矢板から1m離れた沈下はその影響を受けている可能性がある。遮水壁の共下がり沈下がなく、遮水が確実に行われる条件下では、SKK工の稼働に伴う周辺影響はほとんどないと考えられる。

SKK工法の適用結果(実施工での検証)

(1)目視による土質改良効果の確認

試験施工の結果、最遠端距離の15mの位置でも土質改良効果(目標 q_c の確保)が確認できたため、実施工でのSKK工法の井戸は図-9のとおり約30m間隔で配置することに決定した。SWPより半径15mを超える箇所には固定式の吸送気管を配置し、移動式吸送気管も必要に応じて配置する計画とした。

SKK工の施工は、土留め壁(工区境界の締切り壁を

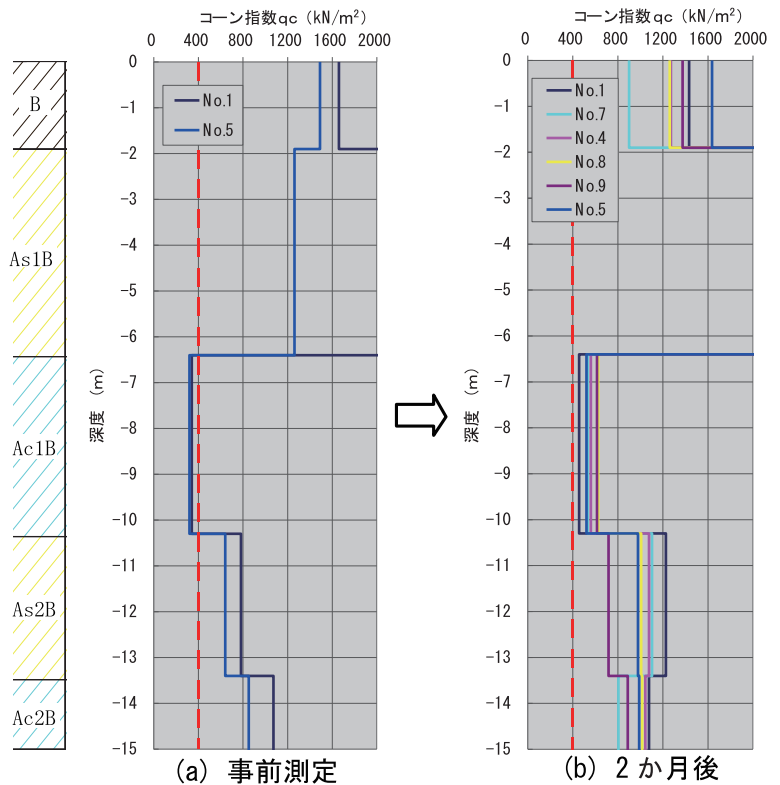


図-7 土質改良前後のコーン指数の変化

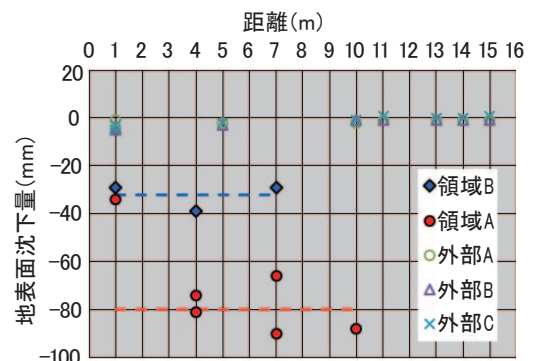


図-8 試験施工ヤード内外の地表面沈下量

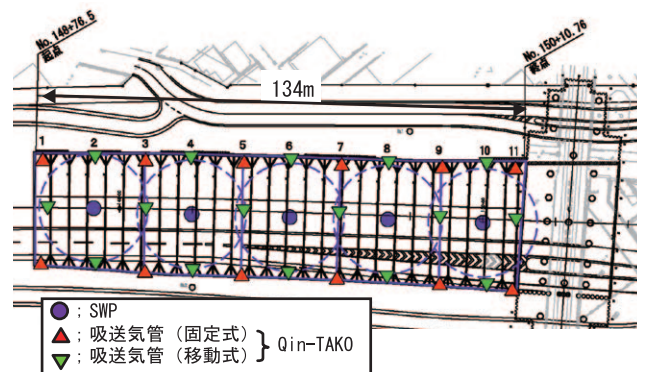


図-9 SKK工 (SWP + Qin + TAKO) 平面配置計画

む)、覆工および掘削敷きの全面地盤改良を施工した後に行った。SKK稼働時の揚水量は、運転開始直後が約 $60 \text{ m}^3/\text{日}$ 、1か月後は約 $30 \text{ m}^3/\text{日}$ 、2か月後は約 $10 \text{ m}^3/\text{日}$ と漸減した。地下水位は初期の段階でAs1層下端まで低下(低下量は約3m)し、その後は緩やかに低下する傾向であった。



写真-1 無処理状態での掘削地盤面の状況

土質改良効果



写真-2 SKK適用による掘削地盤面 (Ac1層)

Ac1層上層深度付近での掘削面の状況を写真-2に示す。比較のため、先行工区における沖積粘土地盤(Ac層)の掘削状況を写真-1に示す。SKK工適用により、本工事の対象地盤(Ac層)では地下水の染み出しや地盤の泥濁化は生じず、敷き鉄板程度で重機作業が可能であった。また、セメント改良処理を施すことなく掘削残土の搬出が可能となった。

(2)土質改良効果の確認

Ac1層は、3次掘削(掘削深さ約8m)の段階で出現した。3次掘削完了後、井戸間(SWP2~SWP3の間)のヤードを利用してSKK工法の効果確認試験を実施した。確認は掘削面付近(約1m深度)の採取試料による一軸圧縮強度 q_u と含水比である。なお、深度方向の強度分布の推定にはスウェーデン式サウンディング(SS)を用いた。測定位置(試料採取位置)は図-10に示すとおりである。

Ac1層の含水比測定結果を表-2に示す。事前含水比は工事着手時に調査したAc1層の自然含水比である。SKK工法による含水比低下に対する効果は、井戸から遠いNo.5ではやや少ないが、試験施工時と比較してほぼ同等であるといえる。

表-2 土質改良前後の含水比 (Ac1)

	事前 (%)	1か月後 (%)	ΔW (%)
試験施工	57.4	45.8	-11.6
実施工 No.1	58.3	48.1	-10.2
実施工 No.5	58.3	50.7	-7.6

次に、3次掘削面から下方の q_u 分布を図-11に示す。この q_u 分布は同一深度の一軸圧縮強度と整合させたSSによる換算強度である。これより、掘削面付近(表層)の強度は施工(掘削工事)による乱れの影響を受けて小さくなっているが、深部では、No.5を除き本工事における目標強度($q_u \geq 80 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow q_c \geq 400 \text{ kN/m}^2$)がおおむね得られている。地盤強度(コーン指数)においても、試験施工時と同等の土質改良効果が得られていることを実施工で確認できた。

No.5位置の q_u 値はやや小さい箇所があり、土質改良効果のバラツキは否めない。しかしながら、その大半が $q_c \geq 200 \text{ kN/m}^2$ ($q_u \geq 40 \text{ kN/m}^2$)であり、実施工においてトラフィカビリティに対する問題は生じなかった。

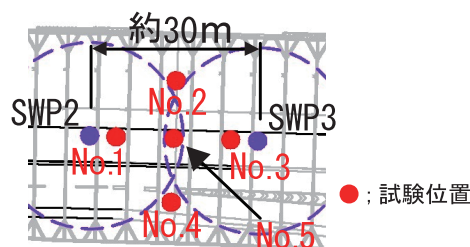


図-10 測定位置 (試料採取位置)

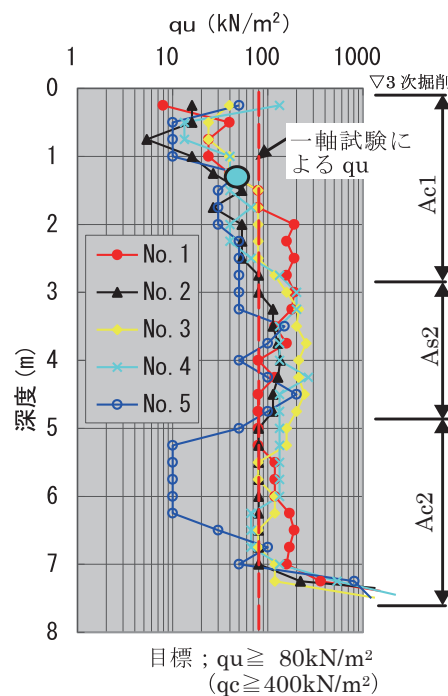


図-11 土質改良後の地盤強度分布

おわりに

本工事では、SKK工法による土質改良を実施し、軟弱な沖積粘土でのトラフィカビリティの確保や掘削土砂搬出の施工性向上が達成できた。SKK工法の適用により、先行地盤改良の省略およびセメント混じり土の発生抑止(産廃処分費の縮減)等、コスト縮減にも大きく寄与できたと考える。