

サンドコンパクションパイル改良地盤における杭間粘性土の乱れに関する調査事例 ～ SCP 改良地盤に対する電気式静的コーン貫入試験の適用性 ～

東亜建設工業 東京支店 正会員 ○中村 明教
国土交通省東京空港整備事務所 正会員 野口 孝俊

1. はじめに

東京国際空港 D 滑走路建設他工事（本工事）では、埋立護岸の構造形式に傾斜堤護岸を採用しており、施工時および完成時における堤体の安定確保のため、護岸直下の軟弱粘性土地盤に対して低置換サンドコンパクションパイル（SCP）改良を採用している。一般的に、SCP 改良範囲およびその周辺の粘性土地盤は、砂杭打設の過程で攪乱され強度低下するが、その一方で、打設された砂杭は排水層としても機能するため、一旦低下した杭間粘性土の強度は、時間経過とともに回復するといわれている^{1,2)}。これまで、SCP 打設前後の杭間粘性土の強度変化について調査した事例は、サンプリング試料による室内土質試験結果によるものが主であった^{3,4)}。そこで筆者らは、SCP 打設からの経過時間が異なる SCP 改良地盤内およびその直下の粘性土を対象に、原位置にて深度方向に連続した強度を得ることが出来る、電気式静的コーン貫入試験（CPT）を実施した。本稿では、これらの調査結果と、本工事施工前に実施した追加土質調査^{5,6)}にて得られた原地盤粘性土の地盤調査結果を用いて、砂杭打設による粘性土の強度低下および時間経過に伴うその強度変化について報告するとともに、SCP 改良地盤調査に対する CPT の適用性について述べる。

2. 地盤および調査概要

調査対象地盤は、現在建設中の東京国際空港 D 滑走路埋立部の護岸直下に施工された SCP 改良地盤である。調査時点において SCP 打設にともなう盛り上がり土の撤去および SCP 直上の盛土工は未施工の状態である。本工事区域の層序は、A.P.-20m～35m まで比較的均質な軟弱粘性土層、それ以深 A.P.-35m～40m に中間土的挙動を示す層、A.P.-40m～45m の比較的均質な粘性土層、A.P.-45m 以深の砂層となっている^{7,8)}。本調査は、原地盤の水深差 1m 以内の護岸部を対象に実施した。図-1 に調査位置図を示す。調査は、それぞれ SCP 打設からの経過日数が異なる A, B, C の 3 地点の杭間粘性土に対して CPT を用いて実施した。打設された SCP は、打設船のケーシング天端に取り付けられた RTK-GPS により管理され⁹⁾、出来形誤差は 200mm 以内である。また、CPT 位置についても同様に RTK-GPS を用いた位置出しを行い、各砂杭間粘性土の中心にて実施した。なお、使用した RTK-GPS の水平精度は 20mm 以内である¹⁰⁾。表-1 は、地点 A～C における SCP 打設からの経過日数および SCP 改良の所見をまとめたものである。また、本調査対象地点近傍では、追加土質調査にて、J-6, J-7 の 2 孔の CPT を実施しており、本調査結果をまとめるにあたり、原地盤強度としてこれら 2 孔の調査結果を用いている。

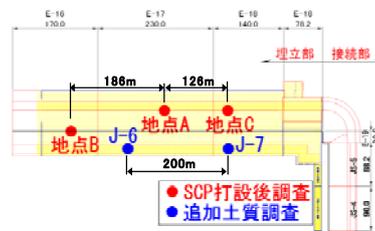


図-1 調査位置図

表-1 経過日数と SCP 仕様

	地点A	地点B	地点C
SCP打設からの経過日数	36日	66日	83日
打設下端深度	42m		
砂杭のピッチ	3.0m×3.5m		
砂杭の配置	長方形配置		
杭径	2.0m		
改良率	30%		

3. CPT 結果

図-2 は、A～C の各地点にて得られた非排水せん断強さ (s_u)、間隙水圧 (u_d) を深度方向にプロットしたものである。また、同軸上には J-6, J-7 の各孔同標高にて得られた s_u , u_d を平均化し、プロットしている。なお、図-2 に示す s_u は、CPT から得られる実コーン先端抵抗 ($q_{net}=q_t-\sigma_{vo}$) をコーン係数 (N_{kt}) にて除すことにより求めたものである。本調査結果の整理に使用した N_{kt} は、追加土質調査結果を用いて決定したものであり、上部有楽町層 (Yuc) については 13.5 を、下部有楽町層 (Ylc) および七号地層 (Nac) については 14.0 を採用している。SCP 打設前および各地点の CPT 結果を比較すると、SCP 打設にともなう地盤の盛り上がりの影響により試験開始標高がそれぞれ異なる。とりわけ、A.P.-30m 以浅ではこの影響が大きいものと推測され、原地盤強度からの強度変化を定量評価することが難しいが、概ね A.P.-35m 以浅の Yuc では、SCP 打設により一旦低下した s_u が時

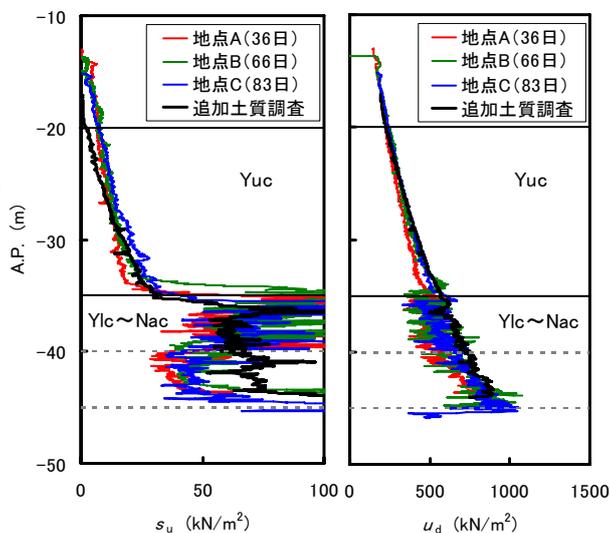


図-2 CPT 結果

キーワード 地盤改良, コーン貫入試験, 粘性土, 現地調査, 空港

連絡先 〒135-0064 東京都江東区青海 2 丁目地先中央防波堤外側埋立地(その 1) 羽田再拡張 D 滑走路建設工事共同企業体

間経過とともに大きくなる傾向がみられる。一方、A.P.-35m 以深の Ylc~Nac では、原地盤強度に比べ小さい傾向がみられる。各調査地点における SCP 打設下端深度は、いずれも A.P.-42m であり、SCP 打設による周辺地盤の乱れは、杭間粘性土のみならず SCP 直下の粘性土にも影響していることがうかがえる。また、 u_d に着目すると、A~C の各地点にて得られた u_d は、それぞれ同程度の値であり特筆すべき違いはみられないが、原地盤にて得られたそれに比べいずれも小さい傾向がある。しかしこのメカニズムについては未だ解明できていない。今後のデータの蓄積が望まれる。

4. SCP 打設前後の粘性土地盤の強度変化

図-3 は、A~C の各地点にて得られた s_u を同標高における原地盤のそれで除し (強度比)、深度方向にプロットしたものである。また、図-4 は、Yuc, Ylc~Nac の各層の強度比をヒストグラム化したものである。なお、Yuc は A.P.-20~30m と A.P.-30~35m に分けて算出、A.P.-35m 以深の Ylc~Nac については、比較的均質な粘性土層である A.P.-40~45m のデータを用いて算出している。さらに、砂質土的挙動を示す層境界付近のデータは採用していない。A.P.-20~35m の Yuc では、先述のとおり、SCP 打設にともなう地盤の盛り上がりの影響により SCP 打設前後の強度比はその上部ほど大きい傾向がみられるものの、各地点にて得られた強度比を比較すると打設からの経過時間が長いほど大きい。さらに打設後 83 日経過時点では、ほぼ全深度にわたり原地盤強度を上回る結果が得られた。

SCP 打設により水平拘束圧が増加したこと、打設された SCP が排水層として機能したことにより圧密が促進されたためであると考えられる。一方、Ylc~Nac のうち、A.P.-40~45m の比較的均質な粘性土層に着目すると、経過時間とともに強度増加傾向がみられるものの、原地盤強度に対しその回復の程度は小さい。この要因として、原地盤の過圧密比 (OCR) が Yuc は 1.3 程度であるのに対し、Ylc~Nac のそれは 2.5 程度であり¹⁾ SCP 打設にともなう周辺粘土の攪乱による強度低下の割合が大きいこと、SCP 改良下であるため水平拘束圧の増加が少ないことなどが考えられる。

5. まとめ

- ① SCP 打設位置および CPT 位置を RTK-GPS を用いて管理することにより、精度良く水平位置を捉えることが出来、一般的にサンドドレーン改良に比べ杭間粘性土部分が少ない SCP 改良地盤に対しても、CPT を用いた杭間粘性土の強度確認が可能である。
- ② SCP 打設にともなう周辺地盤の乱れの影響は、杭間粘性土のみならずその直下の粘性土にもおよび。
- ③ SCP 打設後の杭間粘性土の強度は、打設にともなう地盤の乱れにより一旦低下し、時間経過とともに増加する傾向が確認された。しかし、その強度低下および強度増加の割合は、原地盤の力学特性に関係している可能性があり、留意が必要である。

参考文献

- 1) 一本英三郎：サンドコンパクションパイル工法の実用設計と実施結果、第 36 回年次学術講演会研究討論会資料、土木学会、1981、pp.51~55、
- 2) 一本英三郎ら：サンドコンパクションパイル工法の実践と問題点 (3)、土と基礎 Vol.31 No.5、1983、pp.83~90、
- 3) 松田ら：サンドコンパクションパイルの打設が地盤改良域外の粘土地盤の強度に及ぼす影響、土木学会論文集 No.596/III-43、1998、pp.101~110、
- 4) 松田ら：SCP 打設後の粘土地盤の強度・変形特性に関する研究、地盤と建設 Vol.11、No.1、1993、pp.31~41、
- 5) 深沢健ら：軟弱地盤上における空港島築造工事への CPT の適用 (その 1)、第 62 回土木学会年次学術講演会、2007、pp.445~446、
- 6) 深沢健ら：軟弱地盤上における空港島築造工事への CPT の適用 (その 2)、第 62 回土木学会年次学術講演会、2007、pp.447~448、
- 7) 国土交通省 関東地方整備局：土質調査参考資料、2004、
- 8) 渡部要一ら：東京国際空港再拡張事業における海底地盤の調査結果、第 42 回地盤工学研究発表会、2007、pp.109~110、
- 9) 電子基準点を利用したリアルタイム測位推進協議会：協議会だより Vol.11、2006、
- 10) トリプルジャパン株式会社：MS750 ダイナミックな精密測位用 2 周波 RTK 受信器 カタログ、
- 11) 渡部要一ら：東京国際空港再拡張事業における海底地盤の物理・力学定数設定値：ばらつきに基づく設定値評価、第 42 回地盤工学研究発表会、2007、pp.111~112

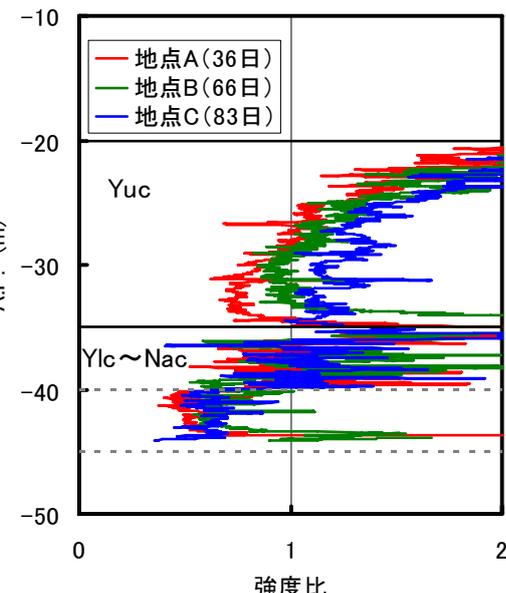


図-3 強度比の深度分布

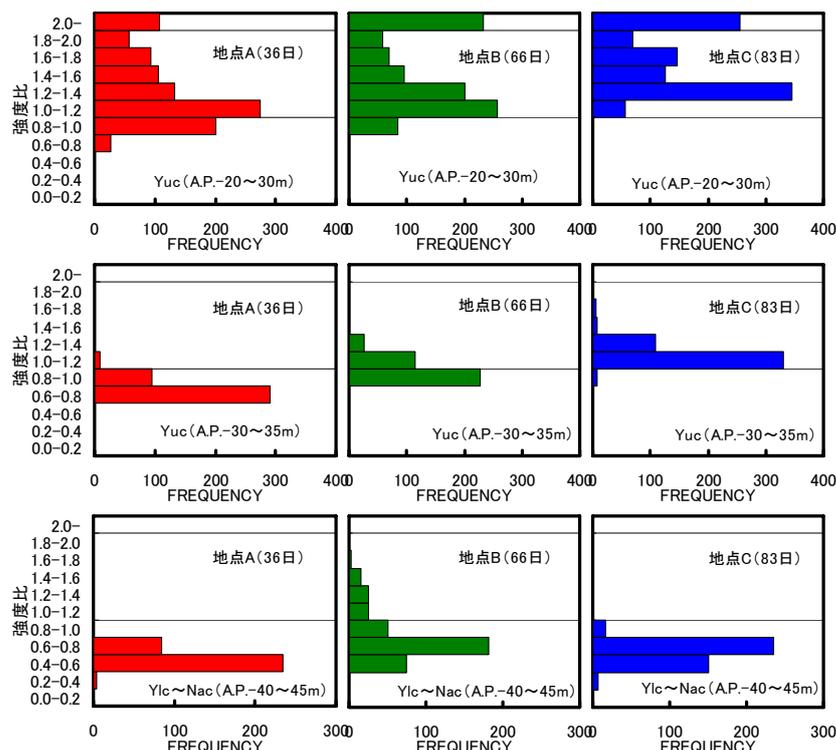


図-4 強度比のヒストグラム