第19回土木施工管理技術論文　最優秀論文

三成分コーンを用いたSCP工法による地盤改良効果確認について

東京土木施工管理技士会
東亜建設工業株式会社
樺沢健一郎
現場代理人　堺谷　常廣

1．はじめに

⑴工事名：岩国飛行場（H22）遊水池整備工事
⑵発注者：防衛省中国四国防衛局
⑶工事場所：山口県岩国市
⑷工　期：平成23年３月22日
～平成25年１月25日

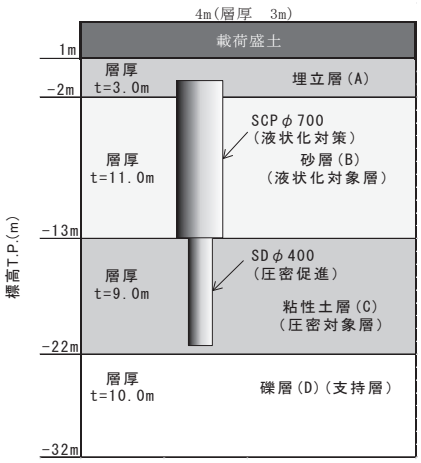
本工事は、岩国飛行場の沖合への拡張に伴うターミナル地区の整備のうち、当該区域の池（ダイヤモンドレイク）を埋立て、代替となる遊水池（代替遊水池）の造成を行うものである。ダイヤモンドレイクは、埋立と共に、圧密・液状化対策として地盤改良工（SCPφ700+SDφ400）を施工する。

また、ターミナル地区のアンダーパスの地盤改良及び土留壁、圧密沈下対策のための応力遮断壁として深層混合処理工（φ1600×２連）を施工する。

代替遊水池は、既存の池（ペニーレイク）を掘削し拡張した。地盤改良工は液状化対策と圧密促進工を兼ねており、レベル１の地震に対して設計されている。

2．現場における課題、問題点

原地盤は、GL－13mまで緩く砂層が堆積し、その下に軟弱な粘土層が堆積した地盤である。図－１は、改良前の地盤構成である。GL－13mまでＮ値= ３～11の緩い砂層が堆積し、下層（GL－13m ～ 22m）まで粘土層が堆積している。その下には砂礫がある。砂層の粒度は概ね75μｍ以下粒径（シルト分・粘土分）が35%以下である。50%粒径（D50）は0.01 ～ 0.5mmに分布している。砂層を液状化対策工としてφ700でサンドコンパクションパイル（SCP,@2.5mの矩形で打設）、粘性土層を圧密促進工法としてφ400のサンドドレーン（SD,@2.5mの矩形で打設）の複合杭で改良している．図－１中に改良工の概要を記している．改良工を行った後、プレロード（ｔ=3m）を行う。



図－１　原地盤と地盤改良の概要

本工事では、砂層が粘性土層の上に堆積しているため、砂層内に粘性土が薄く挟まっている。そのため、粘性土ではＮ値が小さくなり、SCPによる地盤改良効果を確認できない事がある。粘性土は、地震による過剰間隙水圧の発生がないため液状化の可能性が低いのでＮ値が小さい場合でも、

地盤が変状することはない。また、標準貫入試験（以下SPT）では、計測ピッチが１ｍと粗いため、Ｎ値が小さい場合、粘性土なのか、地盤改良効果がないのか明確に判定できない短所がある。そのため、このような地盤ではSPTだけでなく、他の試験法を組み合わせてSCPの改良効果を判定することとした。

このような、短所を克服するために最近では電気式CPT（JGS1435）が注目されている。電気式CPTは計測の面で精度、情報量、計測の簡易性、オペレーターの熟練度によらないなどの点で標準より優れており、CPTの液状化判定の判定を基準化したものに建築基礎構造設計指針などがある。

このように、計測精度などでSPTの短所を克服しているCPTであるが実際の計測ではボーリングマシンに他鋼材を使ってカウンターウエイトを必要とするなどの制約がある。静的に押し込む為にカウンターウエイトが50 ～ 100kN程度が必要であるため、CPTの簡便性が損なわれているのが現状である。この点を克服するために、動的に貫入できるようにCPTを改造し試験を行った。ここでは、改良したCPTをH-CPTと呼んでみる。

３．対応策・工夫・改善点と適用結果

３－１．改良したCPTの概要

H-CPTは、国際地盤工学会によって標準化された電気式CPTと同様に断面積10cm^{2}の円錐型である。コーンプローブ内にロードセル、間隙水圧計、加速度計を備えている。H-CPTの特徴は動的に貫入するため、一般的なCPTがロードセルの定格荷重を10kNに対して、その４倍の40kNとしている。

また、動的な衝撃に耐えるため従来のCPTにと比較して大きな衝撃荷重に耐えるよう設計している。動的貫入は、SPTと同様にドーナッツ型ハンマーを落下させる方法をもちいる。

ただし、現場での計測の簡易性を高める為に、貫入機にラムサウンディングを用いて現場での取り扱いを簡便にできるようにした。H-CPTの計測項目は、先端抵抗、間隙水圧、加速度であり、先端抵抗の組み合わせにより土質分類が可能である。表－１に比較表を載せる。

表－１　現位置試験の比較表

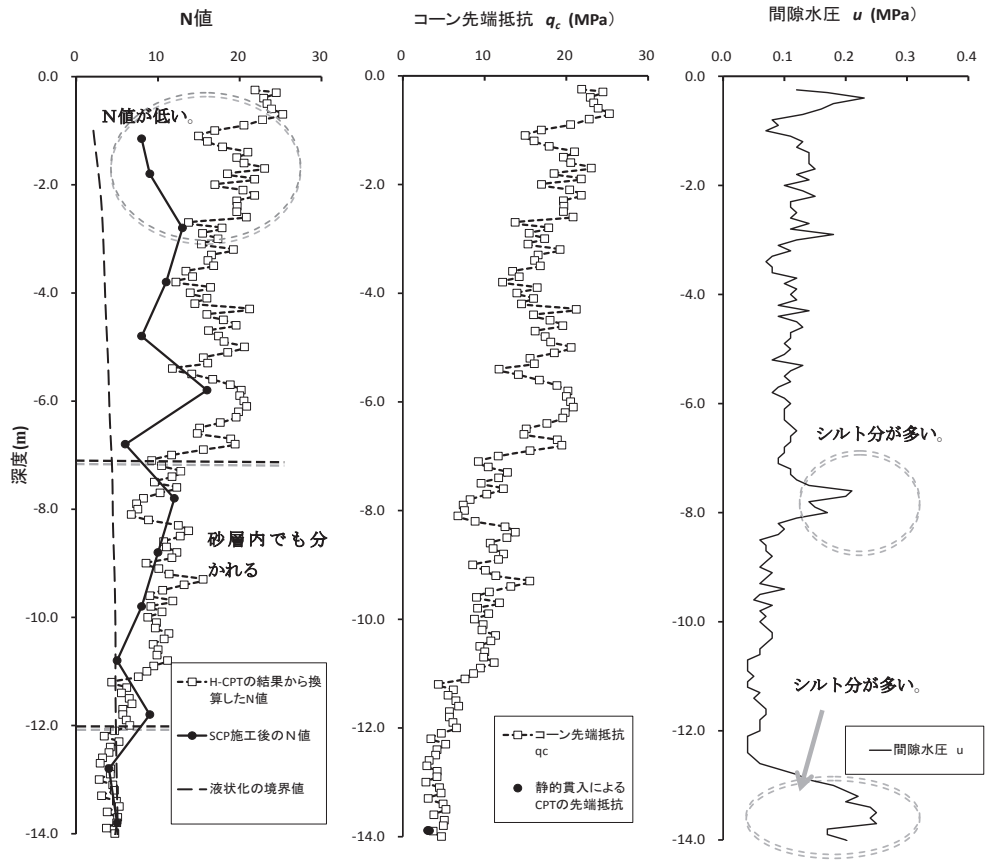
調査方法	標準貫入試験 （SPT）	電気式コーン （CPT）	高レンジ三成分コーン （H-CPT）
調査基準	JIS1219 レイモンドサンプラー	JGS1435 電気式コーン	断面積10cm^2 （JGS1435に準拠）
貫入方法	動的貫入	静的貫入	動的貫入
貫入試機械	ボーリング	ボーリング＋カウンター	ボーリング及び ラムサウンディング
測定物理値	Ｎ値	先端抵抗　q_c 間隙水圧u 周面摩擦　f_s	先端抵抗　q_c 間隙水圧　u 加速度　α
細粒分含有率	必要	不要	不要
土質判定	サンプリングにより 目視判定	測定物理値の組合せで判定	先端抵抗及び間隙水圧より 判定
計測ピッチ	50cm,100cm	1～2cm	2～10cm
判定基準	・港湾の施設の技術上の基準・同解説	・建築基礎構造設計指針	・建築基礎構造設計指針

３－２．H-CPTの計測結果

図－２は、SPTの調査結果、図－３はH－CPTの調査結果であるが、図－２のSPTの調査結果には、H-CPTから求めたコーン先端抵抗（qc）から推定換算したＮ値を併記している。推定Ｎ値＝１／（800～1300・qc）で計算している。今回の調査では、工程の関係から１回の計測ピッチを10cmとしているがCPTのように１～２cmとする事も可能である。それでもSCPの計測ピッチが50cmから100cmであることを考えると５～10倍の情報量である。図－３を見るとほぼSPT、H-CPTともに同様の傾向を示しており、地盤表面から下層の粘土層に向かいＮ値が漸減している大きく違うのが地表面の強度の計測と砂層内の強度分布の違いである。

SPTは、地表面で拘束圧が小さいため地表面付近（～GL－３m図中点線で囲った部分）でＮ値が小さくなる傾向があるが、H-CPTでは克服されている。また、H-CPTの結果を見ると砂層内で強度分布の違いがあり、３層の砂層（図中GL0～－7m、－７～－12m、－12m～－14m）に分けられる事が確認出来る。これは計測ピッチがSPTより細かい事によるものである。

図－３は先端抵抗qc(a)、図－４は間隙水圧ｕ(b)の深度分布である、計測はSCP改良下端（GL－14m）まで行っている。qcは概ね20MPから4MPである。GL－12mからqcが小さくなっているが、図－１の土層構成から推測するとGL－13m付近から粘性土層との境界となっているため、シルト分の混入が多くなっているためと考えら



図－２　SCP施工後のSPTの結果

図－３　H-CPTの先端抵抗

図－４　H-CPTの間隙水圧

れる。間隙水圧の分布を見ると、GL－13m付近より貫入時の間隙水圧が大きく、これはシルト分が多くなる事により貫入時の間隙水圧（Δ u ＝0.2 ～ 0.24MPa）の消散が遅れ過剰間隙水圧が発生したものと考えられる。

液状化は砂のような地盤で起きやすく、このような層は本来地震時に液状化しにくい性質をもつ。しかし従来のSPTでは計測ピッチが粗い事と間隙水圧の計測が出来ないため判別出来ないが、H-CPTでは明確に計測結果に現れる。図－３中の●（GL－14m付近）は、下層の粘土層の改良後の圧密調査に行ったCPTの結果である。圧密層から２m程度上層から試験と行っており、この層がH －CPTとCPTが共に同じ層を計測した結果として比較ができる。

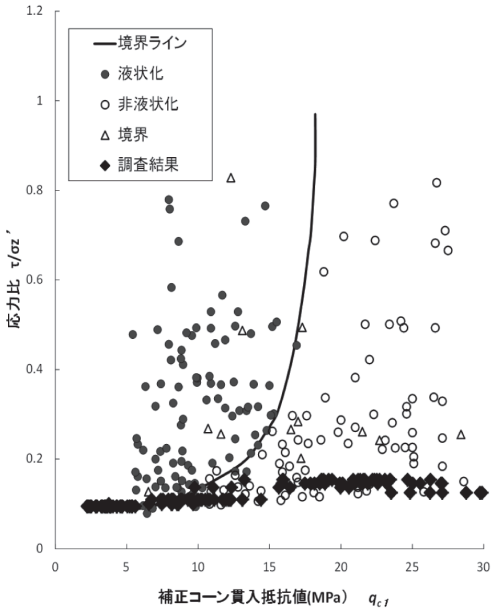
CPTはGL－14mまで一度削孔を行い、砂層を除いて計測を行っている。二つの結果を比較すると、動的な貫入と静的な貫入であっても対象地盤が砂あるいはシルト層であれば強度に大きな違いがないことが分かる。

３－３．液状化判定

CPTによる液状化判定は、液状化を生じさせる応力比（$\tau / \sigma z'$）と基準化したコーン先端抵抗qc1（拘束圧98kN/m^{2}で補正）をプロットし、過去の液状化後の液状化調査データから境界を設定する方法が主であり、今回もこの方法により液状化判定を行った。判定には建築基礎構造設計指針を用いている。図中のプロットは次の手法により求めた。判定結果はN値による判定と同様、液状化しない判定となっている。（図－５）

４　おわりに

H-CPTの開発の目的は、現場での計測の簡易性と計測精度の向上という背反するものであった。従来は、動的な試験は非排水条件、静的な試験は排水条件と強度に違いがでるため分けられており、それぞれに特化している。H-CPTは、砂地盤を対象として動的にCPTを使ってみた。結果は予想を超えて有用な情報の取得ができたと考えている。



図－５　H-CPTによる液状化判定

H-CPTは、比較的硬い地盤に対して適用するために開発されているのでその対象は広く、例えば盛土などにも対応が可能である。地震により谷部を埋めた盛土など今後も適用範囲が広がるものと考えている。まだ、適用事例を増やす必要があるがポテンシャルの高い計測方法であると考えている。

CPTによる液状化判定は、建築基礎構造設計指針では記載があるが、一般的でないのが現状である。それは、CPTが硬い地盤に対してなかなか適用できなかったのが原因であるが、今回のように計器を改良することで計測範囲が広がる事がわかった。性能設計が主流になって来ている中で適用性が高い計測方法であると考えている。