

RI-CPT を用いた載荷盛土の圧密度調査について

東京土木施工管理技士会

東亜建設工業株式会社

現場代理人

堺 谷 常 廣

Tsunehiro Sakaiya

1. はじめに

- (1) 工 事 名：岩国飛行場(H22)遊水池整備工事
- (2) 発 注 者：防衛省中国四国防衛局
- (3) 工事場所：山口県岩国市
- (4) 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。原地盤に $N > 0$ の軟弱な地盤があり、将来の沈下が構造物に与える影響が懸念されるため、載荷盛土を採用して圧密促進とした。

2. 現場における課題、問題点

軟弱地盤上に直接基礎構造物を建設する場合、圧密による沈下や残留沈下による長期的な変形が避けられない。この課題を解決するために各種の対策工法がとられるが、この中で載荷盛土工法が

実績もあり安価であるため採用される事が多い。載荷盛土工法は、軟弱地盤上に盛土を行いその荷重により圧密を促進させて、将来の有害な沈下を防ぐ事を目的としている。圧密度の管理は、動態観測による沈下量、間隙水圧計をあらかじめ設置して過剰間隙水圧を計測するなど動態観測により行う。工程管理や品質管理には、載荷盛土の撤去時期や残留沈下量などの指標が必要である。しかし、これらの指標の評価には長期的な動態観測が必要である事や、計測計器を設置した箇所での管理ができないなど、施工において制約条件となる事がある。理想としては、その都度、あるいは任意の箇所で地盤調査を行い載荷履歴と合わせて地盤情報を把握することが施工の効率化、高品質化につながる。しかしながら、従来のサンプリングによる地盤調査ではコスト、工程の関係から圧密管理に用いる事が少なく評価方法も汎用化されているとは言いがたい状況にある。また、地盤の性能評価を行う場合も地盤情報の把握は必須になりつつあるが、施工上の制約条件（コスト、工程）から、地盤調査が活用される事は少ない。本文は、軟弱地盤上の直接基礎構造物の載荷盛土による圧密の評価に、従来の動態観測（沈下量計測）に加えてサウンディングによる地盤調査を行い、地盤の間隙比、先端抵抗など複数の地盤情報を取得し、載荷盛土の影響について評価した手法）、事例に

ついて述べるものである。サウンディングは、RI-CPT（ラジオアイソトープ併用電気式三成分コーン試験 JGS1435）を使用し、圧密対象層の全層を2 cm 毎の間隙比 e 、先端抵抗 q_t を計測している。また、圧密対象層の中間で間隙水圧を計測し、過剰間隙水圧も検証している。RI-CPT による計測の長所は、①従来の地盤調査と比較してコストが低い②調査期間が短い③間隙比、先端抵抗、間隙水圧、地盤内の温度が1～2 cm 毎に計測できるために精度の高い地盤情報が取得できる。④原位置での計測であるため、計測結果が拘束圧など試験条件に左右されない。⑤任意の箇所、任意の時間で計測ができるなどがあげられる。短所としては、①先端抵抗がコーン係数など指標でしかないため、精度を上げるためサンプリングが必要である。②硬質の地盤には適用できないなど軟弱な地盤に特化した調査法であることがあげられる。本文の適用例では、事前に調査箇所で RI-CPT とサンプリングを行い、載荷後に RI-CPT による調査で載荷による効果を評価している事前のサンプリングで採取した試料は、室内試験を行い（標準圧密試験及び一面せん断試験）圧密係数 C_c 及び強度増加率 C_u/P を求めた。これらの複数の地盤情報を組み合わせて、原位置での有効応力や間隙比を求めて評価を行った。

3. 対応策・工夫・改善点と適用結果

3-1. 調査方法

地盤調査には、以下の項目について行った。

① 載荷前の調査

- ・サンプリング（T. P. -18m 及び T. P. -21m）
- ・RI-CPT（T. P. -13m～T. P. -22m）
- ・標準圧密試験（JIS A1217）²⁾
- ・土の圧密定体積一面せん断試験（JGS0560）
- ・物理試験（ ρ_s など）

② 載荷後の調査

- ・RI-CPT（T. P. -13m～T. P. -22m）

サウンディングに用いた RI-CPT について概要を示す。RI-CPT は図-1 に示すように、電気

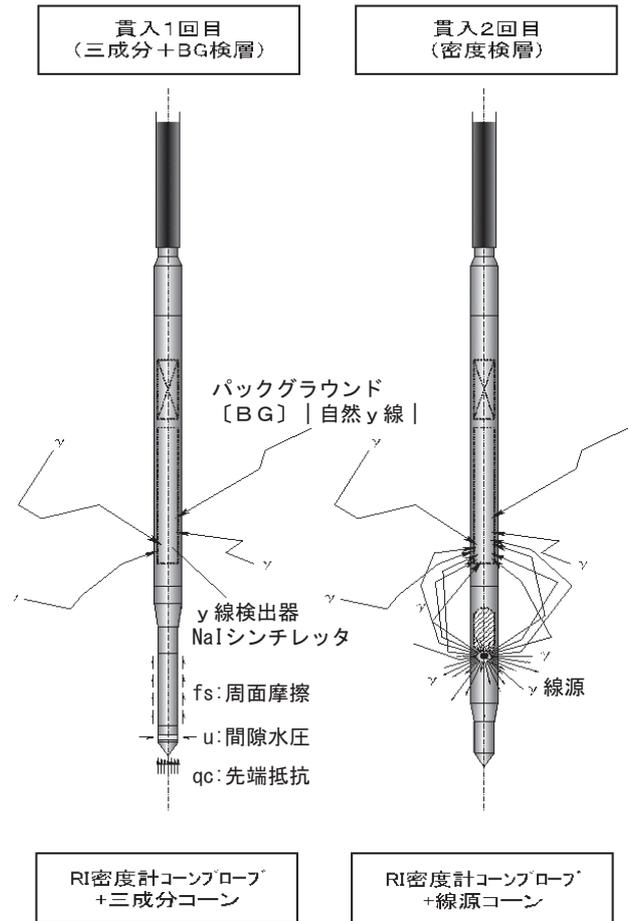


図-1 RI-CPT の概要図

式三成分コーン（JGS1435）にガンマ線による湿潤密度計測機能を有したサウンディング試験である。計測項目は、コーン指数 q_t 、間隙水圧 u 、周面摩擦 f_s 、温度、湿潤密度 ρ_w である。土粒子密度 ρ_s が既知の場合、水位下で飽和度 $S_r = 100\%$ の場合間隙比 e を求めることができる。計測は、1～2 cm 毎にできる事から地盤構成や強度、砂や粘土などの性状を正確に把握することが可能である。貫入は2回行い、1回目は三成分コーンとBG計を貫入し、原位置での q_t 、 f_s 、 u 及び自然状態の放射線量を計測する。2回目に、ガンマ線密度計を貫入し ρ_w を計測する（図-1）。

3-2. 対象地盤

対象地盤は、図-2 に示すように、上から埋立層（A）、砂層（B）、粘性土層（C）、礫層（D）の4層からなり、圧密対象層は、C層である。この地盤に3 m の載荷盛土を行い、約2ヶ月程度

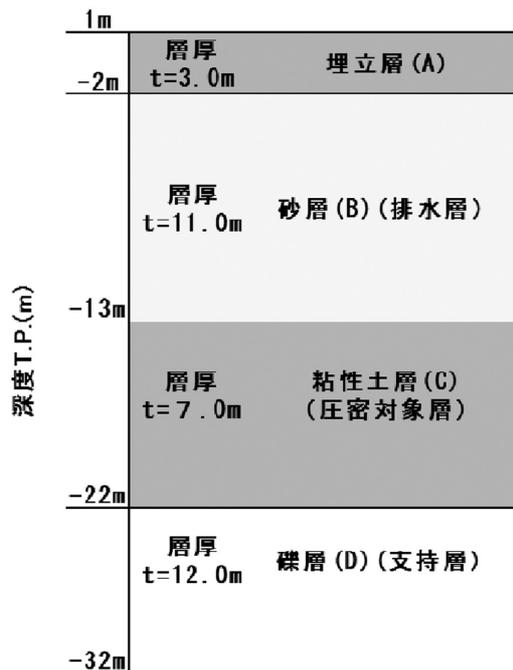


図-2 調査地盤の概要

放置し、圧密促進を行う。放置期間は通常3ヶ月以上と比較すると短い。当初の計算ではC層で

概ね40cm程度の圧密沈下が予想されていた。載荷後の実測沈下量は $S=25\text{cm}$ だった。C層はRI-CPTの計測結果を見ると上(T.P-13m~-16.5m)と下(T.P-16.5m~-22m)に分けられ、上層は砂層を細かく挟む比較的硬質な地盤である。下層は均一な粘性土が堆積する層となっている。上層の代表値は、 $IP=25.7$ 、 $e_0=1.130$ である。下層は $IP=28.7$ 、 $e_0=1.563$ である。事前調査では、T.P-18mとT.P-21mの2箇所からサンプリングを行い、 C_c 及び C_u を求めている。圧密試験で求めた C_c は0.69、0.66であった。

3-3. 評価方法

- ①原位置の拘束圧による試験(コーン係数 N_{kt} を求める。)
- ②正規圧密状態によるせん断試験(強度増加率 C_u/P を求める。)

事前に調査で得られた間隙比から、圧密度 $U=100\%$ の場合の間隙比を求め、載荷後の計測値と

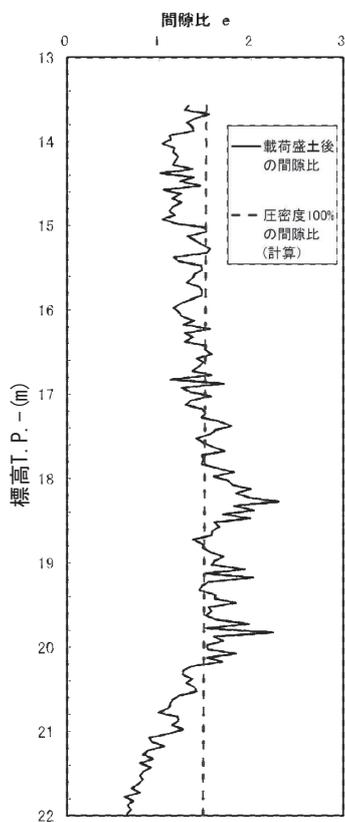


図-3 間隙比の深度分布

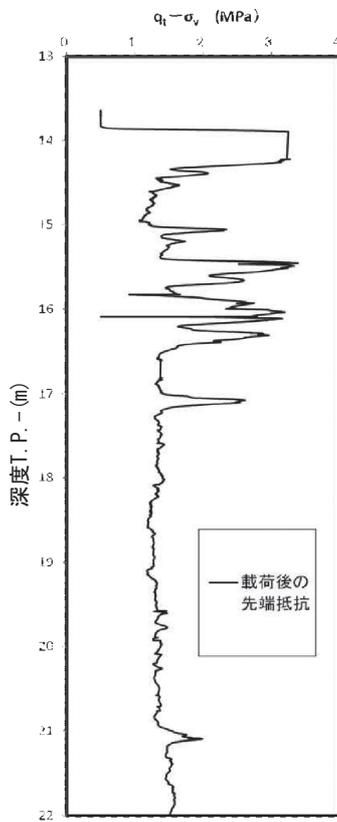


図-4 先端抵抗

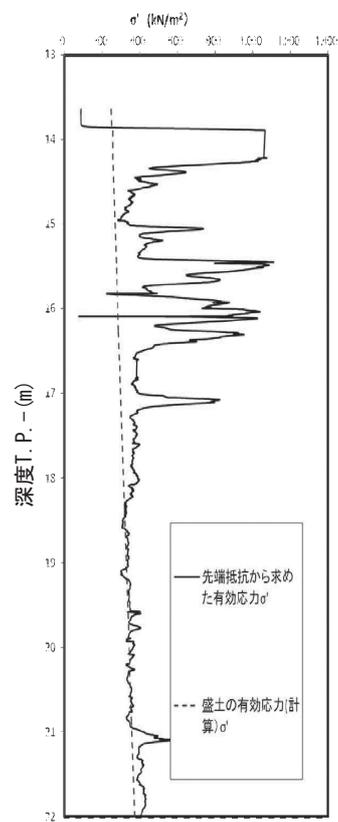


図-5 有効応力の深度分布

比較し圧密の評価を行う。また、 N_{kr} 及び Cu/P を使って式(1)により載荷後の有効応力を求める。

$$P=Cuf/(Cu/P) = \frac{q_t-\sigma_v}{N_{kr}Cu/p} \quad (1)$$

P ：地盤中の有効応力 (kN/m²)

Cuf ：原位置のせん断応力 (kN/m²)

Cu/p ：強度増加率

$q_t-\sigma_v$ ：コーン指数-全応力 (kN/m²)

N_{kr} ：コーン係数 (事前の試験結果より)

(1)式は、コーン先端抵抗 ($q_t-\sigma_v$) からせん断応力を求め、そして圧密中の有効応力を求める形となっている。事前の試験結果は、 $Cu/P=0.249$ 、 $N_{kr}=11.2$ となった。載荷後の調査結果のうち間隙比の深度分布を図-3に示す。図中の点線は、A層による増加荷重を考慮した間隙比の深度分布である。この点線上あるいは下回る場合、十分に載荷盛土の効果が現れたと考えられる。図-3を見ると T. P. -13m~T. P. -18.0m、T. P. -18.6m~T. P. -22m までこの点線を下回り十分な効果があった事がわかる。T. P. -18.0m~T. P. 18.6m まではこれを上回り残留沈下として残った部分である。この部分の沈下量は計算では $S=0.9\text{cm}$ であった。構造物の許容される残留沈下量が $S=1.5\text{cm}$ であったためこれを下回るものであった。図-4は、コーン先端抵抗の深度分布である。圧密中は、載荷された応力が間隙水圧と有効応力によ

って分担され、圧密の進行に伴い間隙水圧が有効応力に転嫁されていく。そのため、圧密に伴い転嫁された有効応力により地盤のせん断力が増加していくと考えられる。このせん断力から逆に有効応力を推定してみた。粘性土の強度増加率は、概ね $Cu/p=0.25\sim0.3$ 程度のばらつきである。この事例でも、 $Cu/p=0.249$ とこの範囲であると考えられる。図-5は、原地盤のせん断力から強度増加率を使って求めた有効応力である。図中の点線は、A層を埋立した後の地中の応力である。この結果を見ると埋立後の地中応力上に連なっており、所定の応力を満たしている。載荷盛土による応力が小さい部分は先に述べた間隙比から考えて将来の悪影響は少ないと評価した。

4. おわりに

圧密過程の評価に RI-CPT を使用して圧密過程を評価した事例について述べてきたが、今までサウンディングを用いる事により地盤の性能評価が簡便にできる事を示すことができたものと考えている。ただし、実際の施工では、この手法を更に簡便にしていく事が重要であろう。例えば、室内試験を伴うなど部分や適用地盤などの性能を向上させ汎用性を高める必要がある。今後は、原位置でのデータと統計手法を組み合わせることで簡易で精度のよい手法を考えてみたい。