

三成分コーン貫入試験によるサンドドレーン改良効果の確認（その3）

東亜・清水・国土総合・竹中土木・りんかい・株木 正会員 深沢 健 山根 信幸  
 特定建設工事共同企業体 正会員 大角 貴樹 米今 智信  
 関西国際空港（株） 大西 正夫 近藤 武司

1. はじめに

軟弱地盤上に土構造物を建設する場合，安定問題に関しては初期の地盤強度に加えて施工中の強度変化についてできるだけ正確に把握することが重要となる．地盤強度の確認方法は，一面せん断試験（DST）や三軸圧縮試験（CIU）を用いた再圧縮法による方法も適用されつつあるが，通常，一軸圧縮試験（UCT）が一般的に実施されている．特に，圧密途中の地盤に対しては，再圧縮法による地盤評価法が確立されていないため，UCTによる方法のみにより行われているのが現状である．しかし，UCTから得られる一軸圧縮強度（ $q_u$ ）による地盤の評価には問題が指摘されており，より合理的で実用性のある軟弱地盤評価法の確立が望まれている．

筆者らは，大阪湾泉州沖における軟弱粘土地盤上に建設中の護岸工事に，コーン貫入試験（CPT）を中心とした調査・設計・施工管理法を提案し，実務に適用してきた．本論文は，上記手法を適用した一連の施工管理事例報告の第3報であり，既報告のまとめとして報告する．

2. 施工方法と調査実施時期

図-1に護岸の標準断面を示す．護岸の施工方法は次の通りである．原地盤に層厚1.5mの敷砂を敷設後，サンドドレーン（SD）杭の打設（直径 $\phi=0.4$ m，打設間隔は，護岸直下で $2.5 \times 1.6$ m，その他区域では $2.5 \times 2.5$ m）を行う．SD改良後，

層厚約6.0mの盛砂が土運船の直投により施工され，その盛土荷重による強度増加を待つために圧密放置（4ヶ月間）が実施される．放置終了後，さらに層厚約5.0mの盛砂，層厚約5.5mの捨石が施工され，この後に，2回目の圧密放置（4ヶ月間）が行われる．2回目の放置終了後，捨石工，上部工の順で施工が行われる．

図-2に図-1に示す位置に設置されている沈下板から得られた沈下量と施工層厚の経時変化を示す．同図には土質調査の実施時期と項目も併せて示してある．土質調査は施工開始前と各圧密放置期間の3ヶ月と4ヶ月目に実施している．

3. コーン貫入試験（CPT）の適用性

3-1 施工開始前調査結果

工事区域に分布する沖積粘土層の物理・力学特性については，細粒分が50%以上の概ね均質な粘性土であること，物理・せん断特性により粘性土層を上・中・下の3層に分類できること，その粘性土は過圧密状態にあることが文献1)に詳述されている．

また，事前調査では原位置強度を詳細に把握するため，一般的に実施されるUCTに加え，現場ベーン試験（FVT）やDSTおよびCIUを実施している．それらの試験から得られる原位置せん断強度（ $q_u$ ， $S_u(FVT)$ ， $S_{ufDST}$ ）&  $S_u(CIU)$ から求めた設計用せん断強度（ $S_{u(mob)}$ ）とコーン貫入抵抗（ $q_t - \sigma_{vo}$ ）には次式の関係が得られている<sup>2)</sup>．

$$S_{u(mob)} = (q_t - \sigma_{vo}) / 12 \quad (1)$$

3-2 圧密放置期間中の調査結果

図-2に示す施工時期に，圧密途中のSD改良地盤のせん断強度（ $S_u$ ）を確認するため，調査を実施している．圧密放置時の増加応力（ $\Delta\sigma$ ）は，1回目の圧密放置時で約75kN/m<sup>2</sup>，2回目では約175kN/m<sup>2</sup>である．

CPTの結果を図-3に示す．図-3(a)はコーン貫入抵抗（ $q_t - \sigma_{vo} - \Delta\sigma$ ）の深度分布を示している．図より， $q_t - \sigma_{vo} - \Delta\sigma$ は圧密の進行に伴い確実に増加していることが分かる．また，1回目の圧密放置時では，-40m以深の $q_t - \sigma_{vo} - \Delta\sigma$ は事

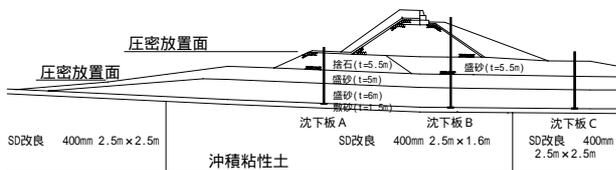


図-1 標準断面図

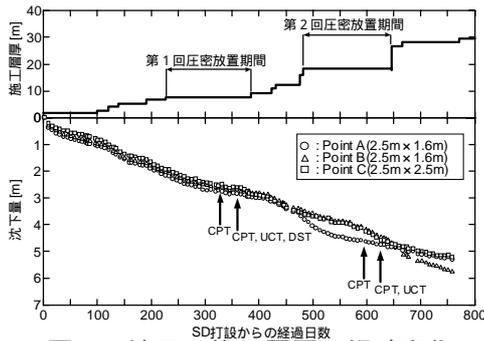


図-2 沈下，施工層厚の経時変化

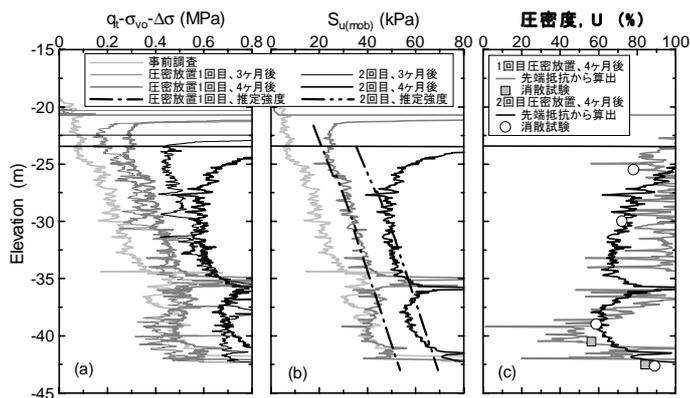


図-3 CPT 結果(圧密放置期間中)

コーン貫入試験，せん断強さ，粘性土

東亜建設工業(株) 大阪支店 関西国際空港総合事務所 岸和田市地蔵浜町 11-1 TEL 0724(39)0852 FAX 0724(39)0854

前調査結果と比べほとんど増加していない。これは、1 回目圧密放置の $\Delta\sigma$ とこの深度付近の粘性土の圧密降伏応力( $\sigma'_y$ )とがほぼ等しいためと考えられる。図-3(b)は(1)式の関係から  $q_t-\sigma_{vo}-\Delta\sigma$ より求めた  $S_{u(mob)}$ を示している。 $S_{u(mob)}$ も  $q_t-\sigma_{vo}-\Delta\sigma$ と同様に圧密に伴い増加している。また、同図には  $S_{u(mob)}$ の予測値も示しているが、各圧密段階とも両者は良い一致を示し、CPT から圧密途中の地盤のせん断強度を詳細に求めることができる。

圧密の進行度合いは圧密度(U)で評価される。今回、CPT では通常の計測に加え、コーンの貫入を停止した状態で間隙水圧の経時変化を計測する消散試験を行い、(2)式を用いて直接  $U(U_p)$ の測定を実施した。また  $q_t-\sigma_{vo}-\Delta\sigma$ からも(3)式を用いて  $U_p$ を求めている。

$$U_{p1} = (\Delta\sigma - \Delta u) / \Delta\sigma \quad (\text{消散試験より}) \quad (2)$$

$$U_{p2} = (\sigma'_{v1} - \sigma'_{vo}) / \Delta\sigma \quad (q_t-\sigma_{vo}-\Delta\sigma \text{より}) \quad (3)$$

ここに、 $\Delta u$ ：施工中の間隙水圧の増分

$\sigma'_{v1}$ ：盛砂後の有効鉛直応力、 $\sigma'_{v1} = 1/3.4(q_t-\sigma_{vo}-\Delta\sigma)$

図-3(c)より、消散試験から得られる  $U_{p1}$  と  $q_t-\sigma_{vo}-\Delta\sigma$ から得られる  $U_{p2}$  とは良い一致を示している。1 回目の圧密放置での CPT より得られた  $U_{p2}$ の平均は 85%であり、その時点の沈下測定から得られる  $U_\varepsilon$ は 87%であった。また、2 回目の圧密放置では、CPT および沈下測定から得られた  $U$ はそれぞれ 73%、77%であった。両者の関係は、応力の  $U(U_p)$ とひずみの  $U(U_\varepsilon)$ との関係を考慮すれば妥当な関係にある。

各圧密放置段階で 4 ヶ月経過後、CPT を実施した付近で不攪乱試料採取(図-2 中の沈下板 A, B, C 地点)を行い、UCT を実施している。試験結果を図-4 に示す。同図には事前調査での  $S_u$ の深度分布<sup>1)</sup>と CPT 結果も併せて示しており、図中のせん断強度は、 $S_{u(mob)}$ で表示している。

圧密放置期間中の UCT 結果は、平均的には CPT の傾向と類似しているが、バラツキが大きい。しかも、1 回目の圧密放置では、 $q_u/2$  は調査地点により強度の違いが見られ、予測強度に対して、地点 B は小さく、地点 C では大きい傾向を示し、2 回目の圧密放置では、-30m 以深の  $q_u/2$  が平均的に CPT や予測値より大きな強度を示している。

UCT のバラツキの要因としては、一般的には 試料採取による応力開放、採取から試験実施までの機械的な乱れ、対象土の土質等が指摘されているが、今回のような SD 改良地盤は自然堆積地盤に比べ、地盤そのもののバラツキに加え地盤改良を実施したことによる不確定要素が多く、バラツキの要因を特定することは困難である。そのため、UCT を施工管理に用いるには、複数の調査データの平均値により地盤を評価することも必要である。そのような状況にある中、圧密途中の地盤特性を精度良く評価できる試験法も望まれている。CPT は、せん断強度との関係より地盤のせん断強度を詳細に求めることができる。また、圧密途中の地盤のせん断強度との関係は図-5 に示すように、圧密により強度が増大するとともに、そのバラツキも大きくなっているが、その関係は、ほぼ  $q_u/2 = (1/8 \sim 1/16) \cdot (q_t-\sigma_{vo}-\Delta\sigma)$ の範囲にあり、平均的には事前調査の関係と同程度であることが確認された。このことより事前調査で得たせん断強度との関係を用いて、施工中に CPT を実施することによりせん断強度を推定することができる。さらに、消散試験により圧密度を直接求めることもでき、機動性等の作業性を考慮しても現段階において、工事の施工管理法として最適であると思われる。

4. まとめ

軟弱粘土地盤上に建設中の護岸工事における、コーン貫入試験を中心とした施工管理事例を報告した。一連の報告の結論を以下に示す。

CPT とせん断試験との相関は、事前、圧密放置後で変化しないことが確認できた。このことより、事前調査での相関を用いて、施工中の CPT からせん断強度を詳細に取得することができる。さらに、任意の地点で圧密度を求めることもでき、軟弱地盤における工事の施工管理法として有用である。

【参考文献】

- 1) 播本一正, 阪井田茂, 深沢健, 平林弘(2000)：大阪湾泉州沖積粘性土の物理・力学特性, 土木学会第 55 回年次学術講演会, -A58.
- 2) 深沢健, 平林弘, 播本一正, 大西正夫, 近藤武司(2001)：コーン貫入試験によるサンドドレーン改良効果の確認(その2), 土木学会第 56 回年次学術講演会, -A291

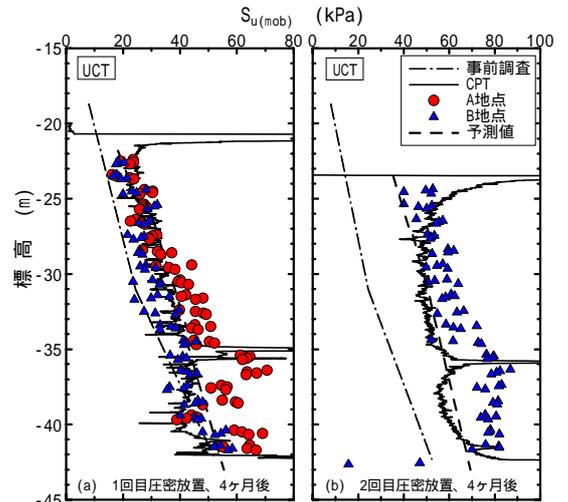


図-4 圧密放置期間中の UCT と CPT 結果

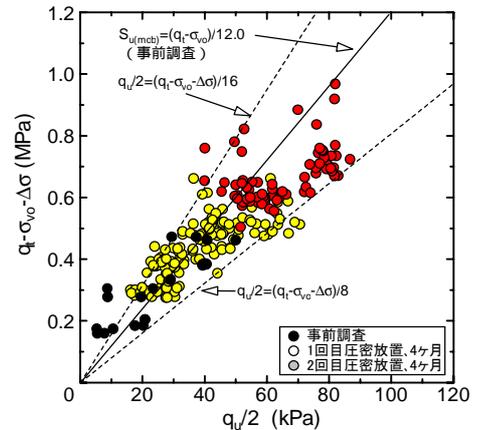


図-5  $q_t-\sigma_{vo}-\Delta\sigma$ と  $q_u$ の関係