

東京湾の海底地盤から採取した不攪乱粘土試料の一軸圧縮強度と三軸 UU 強度の比較と考察

広島大学大学院工学研究科 正会員

土田孝

1. はじめに

粘土地盤の設計せん断強度は、不攪乱試料の一軸圧縮強度 q_u の平均値 $q_{u(ave)}$ より、次式で求めた $S_{u(UCT)}$ が用いられている。

$$S_{u(UCT)} = q_{u(ave)} / 2$$

試料の乱れが大きい場合 $S_{u(UCT)}$ は本来の強度を過小に評価する可能性があり、この点を考慮して、一軸圧縮試験と三軸圧縮試験を併用する方法（以下に併用法と呼ぶ）が提案され¹⁾²⁾、港湾施設の技術上の基準に取り入れられた³⁾。本文は、一軸圧縮強度と三軸圧縮試験を併用した強度評価が行われた東京国際空港 D 滑走路建設事業の事例を検討し、併用法の妥当性について考察した。

2. 一軸圧縮強度と三軸試験を併用した粘土地盤の強度決定法¹⁾²⁾

併用法の強度決定の手順は以下のようになる。

- 1) 原位置における有効拘束圧の平均 ($\sigma_v' \cdot (1+2K_0)/3$, K_0 は静止土圧係数で通常は 0.5 と仮定) で 120 分間等方圧密する。
- 2) 0.1%/min のせん断速度で非排水圧縮する。本試験を簡易 CU 試験と称し、本試験で求められる最大軸差応力の 2 分の 1 を簡易 CU 強度 $S_{u(SCU)}$ と呼ぶ。
- 3) 不攪乱試料を採取したサンプラーごとに 3 個の供試体から q_u を求め $q_u/2$ の平均を $S_{u(UCT)}$ とする。同じサンプラーの試料から簡易 CU 強度 $S_{u(SCU)}$ を求め図 1 のグラフにプロットする。
- 4) プロットされた領域により試料品質と設計せん断強度を以下のように判定する。

領域 I $S_{u(UCT)} > 0.80 S_{u(SCU)}$: 試料の品質は良好もしくは非常に良好。

$S_{u(UCT)}$ は過大評価の可能性があるが、過去の実績を考慮し $S_{u(UCT)}$ を用いて設計できると判断する。

領域 II $0.70 S_{u(SCU)} \leq S_{u(UCT)} \leq 0.80 S_{u(SCU)}$: 試料の品質が適切なレベル。

$S_{u(UCT)}$ あるいは $0.75 S_{u(SCU)}$ を設計に用いる。

領域 III $0.60 S_{u(SCU)} \leq S_{u(UCT)} \leq 0.70 S_{u(SCU)}$: 試料の品質は不良。 $S_{u(UCT)}$ は強度を過小であり、 $0.75 S_{u(SCU)}$ を用いる。

領域 IV $S_{u(UCT)} \leq 0.60 S_{u(SCU)}$: 試料の品質は非常に不良。応力ひずみ曲線から図 2 を用いて乱れのタイプを判別し、クラック型の場合は $0.75 S_{u(SCU)}$ 、練返し型の場合は $0.65 S_{u(SCU)}$ を用いる。

3. 東京国際空港 D 滑走路建設プロジェクトにおける強度評価⁴⁾

東京国際空港 D 滑走路建設プロジェクトは図 3 に示すように、羽田空港の沖合に滑走路を新設するものである。建設工事は 2005 年に開始し 2010 年に完成した。本プロジェクトのため 2000 年に図 3 に示す各点で地盤調査が実施された。図 4 は地盤調査結果をもとに作成した土層断面図である。図のように、建設地点の水深は 13~20m であり、海底地盤の表層には沖積粘土層 (A_{c1} 層) が層厚 14~24m で堆積している。 A_{c1} 層は正規圧密状態に近いので、本プロジェクトでは全層がサンドドレーン工法（一部は置換）によって改良された。このため、護岸設計時の安定解析においては、 A_{c1} 層の下の沖積粘土層 (A_{c2} 層、深度 15~30m) とその下に砂層との互層状態で堆積している洪積粘土層（深度 25~60m、上から D_{c1} 層、 D_{c2} 層、 D_{c3} 層）の強度評価が必要になった。不攪乱粘土試料の採取深度は最大 60m であり、試料は固定ピストン式シンウォールサンプラーおよびデニソン型三重管サンプラーで採取された。 A_{c2} 層と D_{c1} 層 (D_{c1} , D_{c2} , D_{c3} 層) の特性は以下のとおりである。

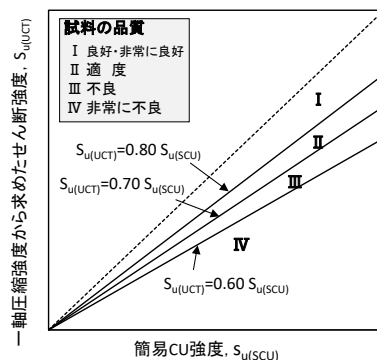


図 1 一軸圧縮強度と簡易 CU 強度を併用した試料の品質評価¹⁾²⁾

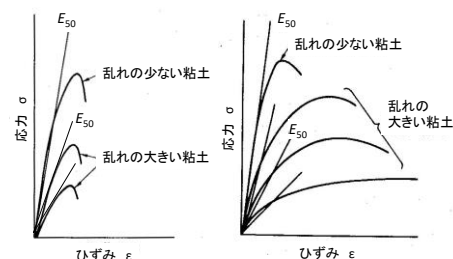


図 2 一軸圧縮試験の応力ひずみ曲線¹⁾²⁾

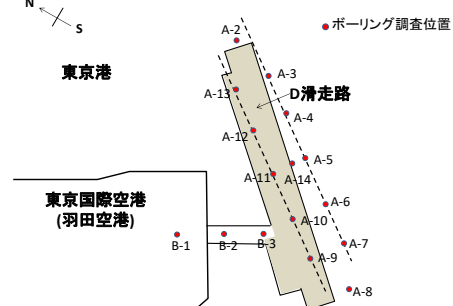


図 3 羽田空港第 4 滑走路建設工事における土質調査地点

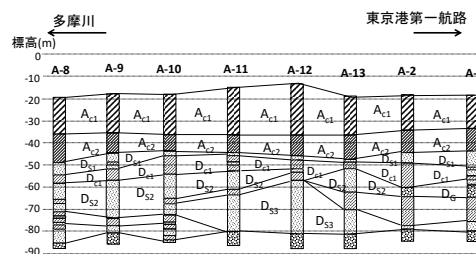


図 4 想定される土層断面図

キーワード：粘土，海底地盤，三軸 UU 試験，一軸圧縮試験，せん断強さ

連絡先 〒739-8527 広島市鏡山 1-4-1 広島大学大学院工学研究科 社会基盤環境工学専攻 地盤工学研究室

TEL : 082-424-7784

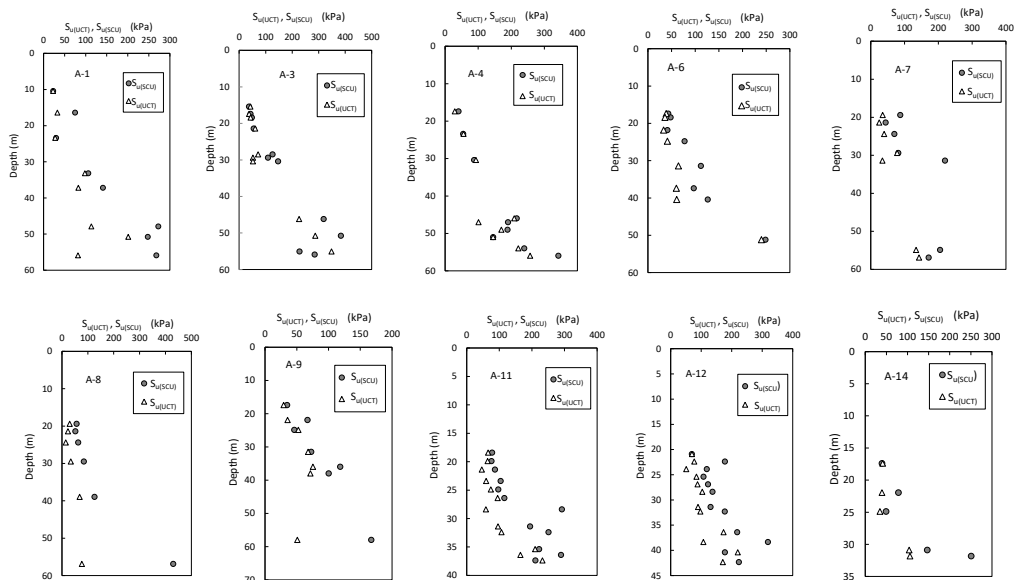


図5 各地点における一軸圧縮強度より求めたせん断強度 $S_u(UCT)$ と簡易 CU 試験から求めたせん断強度 $S_u(SCU)$

A_{c2} 層：細砂を混入する粘土質シルトで、液性限界は 30～60%に分布し、その平均は 38%前後である。

D_c 層：粘土質シルト層で、液性限界は 35～70%に分布し、その平均は 40%前後である。

図 5 は各地点における一軸圧縮強度より求めたせん断強度 $S_u(UCT)$ と簡易 CU 試験から求めたせん断強度 $S_u(SCU)$ を示している⁴⁾。図のように、ほとんどの地点において $S_u(SCU)$ は $S_u(UCT)$ よりも大きく、両者とも深度とともに増加している。図 6 は $S_u(SCU)$ と $S_u(UCT)$ の比較であり、データは深度によって 3 つに分類されている。図をみると、いずれの深度においてもデータは領域 I、II、III、IV に分布しており、採取深度の違いによるサンプルの品質の違いはみられない。図 7 では、同様のデータを液性限界 40%未満と 40%以上の試料を区別し、示している。図をみると、液性限界が 40%以上の場合、多くの点が領域 I、II にプロットされているが、40%未満のデータの多くは領域 III、IV にプロットされている。よって、本事例では試料の品質は試料の液性限界によって大きく左右され、液性限界 40%未満の試料の品質が不良であることがわかった。

本事例では原位置の有効土かぶり圧相当を拘束圧とする三軸 UU 試験も行われた。図 8 は、深度 20m 以深から採取した試料の三軸 UU 試験による強度（最大軸差応力の 1/2）について、一軸圧縮強度の強度と同様に併用法を適用し評価を行った結果である。40 点のデータの内訳は、領域 I (良)、II (適度)、III (不良)、IV (きわめて不良) がそれぞれ 23、10、4、3 であり、全体として適度からやや良質な品質と判定された。

なお、本事業では、A_{c2} 層以深の粘土のせん断強度は簡易 CU 強度から求めた強度に基づき決定されている⁵⁾。

参考文献

- 1) 土田孝, 水上純一, 森好生, 及川研：一軸圧縮試験と三軸試験を併用した新しい粘性土地盤の強度決定法, 港湾技術研究所報告, Vol.28, No.3, pp.81-145, 1989.
- 2) Tsuchida, T.: Evaluation of undrained shear strength of soft clay with consideration of sample quality, Soils and Foundations, Vol.40, No.3, pp.29-42, 2000.
- 3) (社)日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説, 上巻, 第 3 編作用及び材料強度条件編, 第 3 章地盤条件, 2 地盤定数, pp.290-329, 2007.
- 4) 土田孝, 野口孝俊, 渡部要一：東京湾の海底地盤から採取した不攪乱粘土試料の各種強度試験に基づいた品質評価, 地盤工学ジャーナル, Vol.12, No.1, 135-149, 2017.
- 5) 渡部要一・田中政典・野口孝俊・宮田正史：東京国際空港 D 滑走路の海底地盤調査結果と設計値の統計的位置づけ, 土木学会論文集 C, Vol.64, No.3, pp.585-597, 2008.

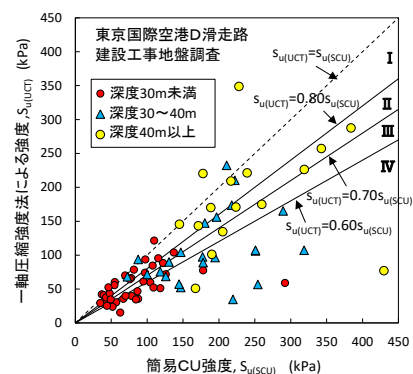


図6 $S_u(UCT)$ と $S_u(SCU)$ の比較 (深度別)

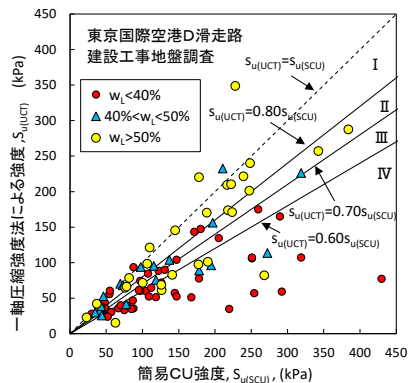


図7 $S_u(UCT)$ と $S_u(SCU)$ の比較 (液性限界別)

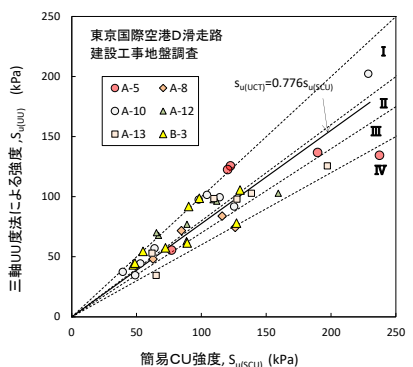


図8 併用法による三軸 UU 試験の強度の品質評価