採取試料の品質に及ぼすチューブサンプリングの影響

防衛大学校 (学) 〇酒井 裕美・熊谷 尚久・正垣 孝晴

1. はじめに

室内土質試験のために採取した試料の品質は、土質試験結果やそれを用いた設計信頼度を直接的に支配する。土の力学的性質を調べるための乱れの少ない試料採取法は、土の状態や種類、試験目的に応じて異なり、単管、二重管、三重管のチューブとブロックサンプリングの方法が地盤工学会で基準化¹¹されている。しかし、チューブサンプリングの場合、チューブの貫入に伴う有効応力変化や試料の乱れの影響は明らかにされていない。

本稿は、採取試料の品質に及ぼすチューブサンプリングの影響を検討するため、採取試料の有効応力変化と強度特性につい て検討する。供試土は自然堆積土としての沖積粘土に対しては、コーンサンプラー²⁾を用いて採取した。また、ブロックサン プリングとチューブサンプリングの比較として、本牧粘土の再構成土を用いて地盤を模擬した土槽に、2つ割りチューブを貫 入させた際のチューブ内外の試料の品質を、サクションSo測定を伴う一軸圧縮試験³⁾結果から考察する。

2. 供試土と試験方法

自然堆積土は柏市の沖積低地からコーンサンプラー²⁾を用いて採取した。採取深度は地表面から-12m(有効土被り圧 σ'_{v0} =93 kPa)であり、土粒子密度 $\rho_s 2.653$ 、液性限界 $w_L 96\%$,塑性指数 $I_p 60$ の高塑性粘土(CH)に分類される。

採取した試料は現地でチューブから押し出し、直に図-1 に示すS-1、S-2、S-3、S-4、S-5 の位置の供試体の S_0 を測定した。また、図-1 に示す他の位置の試料は、ラップフィルムとパラフィンで含水比 w_n が変化しないように密封し、試験室に持ち帰り、 試料採取後9日と51日に S_0 測定を伴

う一軸圧縮試験³⁾を行った。

本牧粘土は、 *ρ*_s2.613, *w*_L114 %, *I*_p69の高塑性粘土 (CH) に分類され, 2mm篩で貝殻片等を除去した後の粒 度組成は砂分が 18 %, シルト 48 %, 粘土 34 %であった。最終の圧密圧力*p* は 200 kPa, 500 kPa, 800 kPaの 3 種 類としたが, 10 kPaの初期圧密圧力か ら数段階で最終圧力に到達した。各 荷重段階において,排水が終ったこ とからその段階の圧密終了を確認し, 最終の圧密段階の試料をサンプリン グ実験の供試土とした。この供 Specimen site, $z=(12.0\sim12.5)$ m



Length from tabe edge, L_{e} (cm)

図-1 供試体寸法と試験位置(柏粘土)

試土に対し、サンプリングをシミュレートした実験を以下の手順で行った。

- d24 cm, h40 cm, 肉厚 5 mm, 刃先角度 7°の半割り塩ビパイプ(図-2 (a))をビニールテープで1つに合体し、この塩ビ パイプを圧密土槽上部のベロフラムシリンダー(ストローク 32 cm)で圧密土槽に連続的に押し込み、その後試料を採取す る(図-2 (a))。
- 2) 試料採取後,カッターとワイヤーソーを用いて塩ビパイプを2つに区分し,パイプ内の土を2分割する(図-2(b))。
- 3) 分割された切断面に土の移動を観察するためのターゲットを格子状に配置し(図-2(b)),この面をアクリル容器の前面 に密着(図-2(c))して模擬地盤とする。
- 4) 45-mm と 75-mm の半割りチューブをこの模擬地盤に貫入して、ターゲットの動きをデジタルカメラで動画撮影する(図 -2 (d))。ターゲットは土要素の移動が正確に追えるように星型とした。また、土要素の動きを阻害することなく追随し て動けることも必要条件である。ターゲットは長径 3 mm、厚さ 1 mm、0.05 g/個のプラスチック製である。 底は平面であ り、この面をアクリル容器面に接するように配置し、土要素の移動に追随できるようにした。



図-2 圧密土槽を用いたチューブ貫入の流れ

- 5) 半割りチューブで採取したチューブ内の試料と後述図-8の位置 8から得たブロックサンプリング試料に対して, d15 mm, h35 mmの小型供試体を用いてサクション測定を伴う一軸圧縮試験³⁾を行う。
- 6) 撮影した画像から,チューブ貫入量と時間に応じたターゲットの動きを詳細に分析し,強度試験結果との関係を考察する。

本牧粘土で圧密した試料に 45-mm と 75-mm サンプラーを貫入した際のターゲットの移動量からチューブ内の土要素の変位 を検討する。この検討には、ターゲットが土要素の変形を阻害することなく追随することが必要条件であるが、以下のターゲ ットの動きでその要件を確認した。

- i) チューブ 刃先の進行上にあるターゲットは、刃先と共に移動し、刃先に対するターゲットの位置関係を反映した方向 に回転しながらチューブ 内外の 適正な位置に移動した。
- ii) チューブ直近に位置するターゲットは、チューブの進行に応じて、流線的に回転移動した。

3. 自然堆積土の品質に及ぼすチューブサンプリングの影響

図-1 に示すUCT-2, S-2, UCT-3の供試土のS₀と時間の関係を図-3 に示す。S-2 は図 - 1 に示した 9 分割の試料片で測定した

結果であり、これらのS₀の平均値は 22 kPaである。UCT-2 とUCT-3 の各4供試体のそれらは、それぞれ 36 kPaと 33 kPa であり、S-1 よ り大きい。このような傾向は他の組み合わせにおいても同様であっ た。UCTの試料は現地でチューブから押し出して密封したが、試料 の押し出しから密封までの間の試料の弾性的な膨張によりS₀が大き くなったことが推察される。なお、S-2の9供試体のS₀はチューブ内 の位置に依存することなく同等であった。このことはチューブ内の 試料の変形はチューブ壁面からの距離に依存しない事実⁴⁾と符合す る。また、チューブ壁面の摩擦に起因する試料の乱れは、壁面から 数mmの範囲とした微視構造の観察結果⁵⁾とも整合している。





図-4 せん断時の応力・間隙水圧挙動(柏粘土)

図-4 に試料採取後 9 日 (UCT-3) の S_0 測定と一軸圧縮試験結果を 示した。自然堆積土であることを反映して,一軸圧縮強度 q_u 、変 形係数 E_{50} , S_0 の変動はあるが,破壊ひずみ ϵ_f は 1.8~2.0%と小さ く,良好な品質の試料であることがわかる。また,このような強 度特性や試料の品質は,試料の貯蔵時間にも依存していないこと を確認している。

図-5 は図-1 に示す CK_0 UC-1 の位置から得た供試体の強度増加 率 c_u/p と圧密圧力 σ'_a の関係である。 σ'_{v0} と原位置の圧密降伏応 力 $^{6}\sigma'_{p(1)}$ に対応する σ'_a に,それぞれ矢印を示している。 $\sigma'_{p(1)} < \sigma'_a$ の領域の c_u/p は一定値を示し,正規圧密的な挙動である。 $\sigma'_{p(1)}$ に対応する c_u/p (=0.42)のpに $\sigma'_{p(1)}$ を代入して原位置の非排水強度 ⁷⁾ $c_{u(1)}$ として 120 kPaを得る。図-6 は図-5 の供試体に対応する有効 応力経路である。一軸圧縮試験UCTとの整合を考慮して,大きな



軸ひずみ速度 ϵ (1%/min)を採用したことを反映して,有効応力経路は右側に膨らむが,破壊包絡線は σ'_{v0} と σ'_{p0} の応力状態と も整合している。

図-7 は一軸圧縮試験結果を深度に対してプロットしている。 $c_{u(I)}$ の値(120 kPa)を c_u の欄に併記した。 $q_u/2$ の平均値は $c_{u(I)}$ の 56~67 %程度である。この値は有機質土や他の沖積粘土の値⁷⁾と同様である。

4. チューブサンプリングが再構成土の品質に及ぼす影響

再構成した本牧粘土に対し、チューブ壁の摩擦による試料の乱れを定量的に検討する。チューブ貫入に伴う土槽表面の土の 変形量D_sを図-8の平面位置で調べた。図の右半分が75-mm、左半分が45-mmサンプラーの場合である。本牧粘土の圧密圧力が 800 kPaの場合、D_sの最大値は平面位置1の75-mmサンプラーで2mmであるが、他は0mmか1mm程度と小さく、測定に用い た1mm精度の巻尺を考えると、チューブ貫入に伴う表面変形はチューブ近傍でも無視できるほど小さかった。半割りの45-mm と75-mmサンプラー内と図-8に示す平面位置8でブロックサンプリングした試料の一軸圧縮試験の結果を図-9に示す。



w, S₀, q_u, E₅₀, ε_fの値は, チューブ径やブロックサンプリングした試料, チューブ刃先からの距離に依存していない。これ は, 45-mmと 75-mmサンプラーで採取した試料の品質は, ブロックサンプリングしたそれと同等であることを意味する。以上 の結果は圧密圧力や試料に関係なく同様であった。また, このことはターゲットの移動の観察からも確認している。

自然堆積土と再構性粘土に対する以上の結果から、 $q_u/2 \ge c_{u(l)}$ の強度差は、せん断時の拘束圧の有無が大きく影響していることを推察させる。

5. おわりに

本稿の主要な結論は以下のように要約される。

- 現地で測定したサクションS₀は室内で測定した値より小さかった。室内の測定値は、現地でチューブから押し出して直ち に試料を密封したが、試料の押し出しから密封までの弾性膨張によりS₀が大きくなったことが推察された。また、チュー ブ断面を 9 分割した試料のS₀はチューブ内の位置に依存することなく同様であった。このことはチューブ内の試料の変形 はチューブ壁面からの距離に依存しない事実⁴⁾と符合した。また、チューブ壁面の摩擦に起因する試料の乱れは、壁面から 数mmの範囲とした微視構造の観察結果⁵⁾とも整合した。
- 2) コーンサンプラーで採取した試料の品質は、一軸圧縮強度qu、変形係数E₅₀、S₀、破壊ひずみε_fの観点から良好な品質の試料と判断された。また、このような強度特性や試料の品質は、試料の貯蔵時間にも依存していなかった。qu/2の平均値は推定した原位置の非排水強度cu0の56~67%程度であった。この値は有機質土や他の沖積粘土の値⁷⁾と同様であった。
- 45-mmと 75-mmサンプラーで採取した試料の強度特性は、ブロックサンプリングした試料のそれと同等であった。qu/2 と cu(f)の強度差は、せん断時の拘束圧の有無が大きく影響していると推察された。

謝辞;本牧粘土を提供頂いた(独)港湾航空研究所地盤工学研究室に深甚の謝意を表する。

参考文献

- 1) (社) 地盤工学会, 第5編サンプリング, 地盤調査の方法と解説, pp.173-242,2000.
- Shogaki, T., Sakamoto, R., Kondo, E. and Tachibana, H.: Small diameter cone sampler and its applicability for Pleistocene Osaka Ma 12 clay, *Soils and Foundations*, 44 (4), 119-126, 2004.
- 3) (社)地盤工学会,サクション測定を伴う一軸圧縮試験マニュアル,最近の地盤調査・試験法と設計・施工への適用に関す るシンポジウム発表論文集, pp.付 1-14, 2006.
- 4) 酒井・熊谷・正垣:サンプリングチューブの壁摩擦に起因する土要素の移動,第4回地盤工学会関東支部発表会,発表 講演集, pp.329-334, 2007.
- 5) Shogaki, T.: Microstructure, strength and consolidation properties of Ariake clay deposits obtained from samplers, *Jurnal of ASTM International*, Vol. 3, No.7, pp.98-105, 2006.
- 6) Shogaki, T.: A method for correcting consolidation parameters for sample disturbance using volumetric strain, *Soils and Foundations*, 36 (3), pp. 123-131,1996.
- 7) Shogaki,T.: An improved method for estimating *in-situ* undrained shear strength of natural deposits, *Soils and Foundations*, 46 (2), pp. 109-121, 2006.