防衛大学校 学生会員 上浦正行・正垣孝晴

(株) 竹中工務店 技術研究所 金田一広

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。軟質な粘性土の乱れの少ない試料採取は,我が国では固定ピストン式シンウォールチューブサンプラー (JGS 1221-1995)が用いられるが、チューブ貫入やそれに続く試料の押し出し時のチューブ壁面と試料の間に 発生する摩擦に起因して、チューブ内の試料の乱れの領域やそれが強度・圧密特性に及ぼす影響を定量的か つ適正に検討した研究は少ない。正垣¹⁾は有明粘土を対象に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 の範囲であり,チューブ径に依存しないことを示したが,試料が限られていることに加え, 実態的な検討は出来ていなかった。そこで著者ら^{2),3)}は、カオリンと本牧粘土の再構成土を用いて、直径 d48mm と d75mm の 2 つ割りチューブを貫入させたモデル試験から、チューブ貫入に起因する土要素の移動 を実験的に観察した。

本稿は, 飽和した豊浦標準砂(豊浦砂)に対して同様なモデル試験を行う。チューブ貫入に起因する土要素 の移動に及ぼすチューブ径と相対密度 Dr の影響に加え,

採取試料の品質を間隙比の変化から定量的に検討する。小 径倍圧型水圧ピストンサンプラー(45-mm サンプラー)⁴⁾ は、新潟砂に対しても凍結サンプリングと同等の品質の 試料が採取できることが分っている⁵⁾。新潟砂の粒径加積 曲線や均等係数は豊浦砂のそれらと同等である。豊浦砂に 対するモデル試験は自然堆積した新潟砂のような地盤を 想定している。

2. 供試土と実験方法

供試土は豊浦標準砂である。これらの基本的性質と粒径 加積曲線を表-1 と図-1 に示す。表-1 と図-1 には新潟砂 5) の範囲も併せて示した。豊浦砂は ρ_s=2.653g/cm³ であり、均等係 数 U_c=1.5, 曲率係数 U_c'=0.94 である。新潟砂のそれらが、それ ぞれ 1.8 と 1.08 であることから両砂は同等な粒度特性を有して いることがわかる。

図-2 はモデル地盤の作成に続くチューブ貫入と採取試料の間 隙比測定の流れを示している。すなわち, 半割りの塩ビパイ プに標準砂を衝撃荷重によって均一に詰めてターゲットを配置 した後、 アクリル水槽に挿入後木矢で固定する。 水槽を縦置 して飽和させ、 半割りチューブを貫入した。チューブ貫入後、

採取試料を 2cm 毎に取り分け間隙比を測定した。Dr は 20%、30%、40%、50%、60%、70%を基本として6種類に変化させた。

表-1 供試土の基本性質

試料名		豊浦砂	新潟砂
一 般	土粒子の密度ρ, (g/cm ²)	2.653	2.693
	自然含水比 w _n (%)	-	-
	間隙比 e	0.61~0.73	0.73~0.91
粒 度 特 性	石分 (75mm以上) %	0.00	0.00
	礫分 (2~75mm) %	0.00	0.78
	砂分 (0.075~2mm)%	100.00	97.69
	シルト分 (0.005~0.075mm) %	0.00	3.42
	粘土分 (0.005mm未満)%	0.00	
	最大粒径 mm	0.850	1.910
	均等係数 U。	1.5	1.8
	曲率係数ひと	0.94	1.08
コンシステンシー 特性	液性限界 w _L %	-	-
	塑性限界w _p %	-	-
	塑性指数I _p %	NP	NP
分類	分類名	砂	砂
	分類記号	s	S



キーワード 標準砂, 試料の乱れ, チューブサンプリング, 相対密度, 間隙比, モデル試験 連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校 E-mail: shogaki@nda.ac.jp 半割りチューブは実 務で用いられている 75-mm と 45-mm サン プラーのチューブをマ イクロレーザーで縦に 半割りした。長さ 60cm で肉厚1.5mmのステン レス性チューブで直径 *d* が,それぞれ 75mm と 48mm である。

チューブの貫入速度 は、両チューブともに 5.3 cm/sec を目安とし

た。これは倍圧サンプラーの実務の実態に整合させたも のであるが、75-mm サンプラーのそれの2倍程度の値とな る⁶。

3. 半割りチューブ貫入の軸対象性

モデル試験として、アクリル面のターゲットの動きを 定量的に検討することの妥当性は、チューブ貫入が軸対 象的な挙動であることの保証が前提となる。チューブ貫 入による砂表面の変化量 D_s (mm)を,砂表面に図-3 に示 す位置に静置した直径 1cm の金属性の画鋲の変位から測 定した。一例として、Dr61%の飽和砂の 75-mm と 45-mm チューブの結果を図-4 に示す。ここで、チューブ貫入に よる砂表面の盛り上りを正、沈下を負値としている。アク リル面上の半割チューブ中心から同心円上に位置する画 鋲の D_s を X-X 軸上から円弧上の距離 D_c に対してプロッ トした。ここで、図-4の英文字は図-3に示すそれに対応 している。すなわち、75-mm の a,b,c,d,e は、それぞれ D_c=3.6cm, 4.0cm, 6.3cm, 8.6cm, 11.0cm である。また, 45-mmのa,b,c,dは, D_c=3.0cm, 5.6cm, 8.2cm, 11.0cm に対応 している。75-mm, 45-mm チューブともに $D_{\rm c}$ によらず $D_{\rm s}$ はほぼ一定であり、特徴的な傾向はない。これは、チュー ブ貫入によって発生した砂表面の画鋲の変位は、チュー ブ中心から同心円上で同じ挙動であり、軸対象性が保証 されている事を意味する。この挙動は他の Dr の条件下で も同様であった。

4. チューブ貫入による土要素の移動

45-mm と 75-mm サンプラーをモデル地盤に貫入した際 のターゲットの移動を画像解析して,土要素の移動を検討した。





図-2

実験手順

- 49

(b) 75-mm サンプラー

0.3 0.6 0.9 1.2

Difference of vertical displacement of target, D_v (cm)

ターゲットの動き(Dr61%)

Depth, z (cm

 $D_{\rm r}$ (%)

15

20

0

(a) 45-mm サンプラー

30

図-5

10

15

20

25

30

0.5

Difference of vertical

displacement of target, D_v (cm)

Jepth, z (cm

 $D_r 61\%$ の飽和砂を例示してターゲットの動きを図-5 にまとめた。 矢印の先端がチューブ貫入後のターゲットの位置である。チューブ 内の同じ深さのターゲットの D_v は同等であり,チューブ壁面からの 距離に依存していない。このことは,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 であった有明粘土の結果¹⁾と同じ である。チューブ内部の同じ z に対するターゲットの移動量の平均 値 \overline{D}_v を図-6 に示す。75-mm と 45-mm サンプラーを比較すると 45-mm の方がターゲットの移動量が大きい。また,同じ径のサンプラーの 場合,相対密度 D_r が小さいと移動量が大きい。一方, D_r 70%で 75-mm の D_v が大きいが,これはチューブがアクリル板に強く密着して,貫 入中にアクリル板が破損したことが原因であると考えている。また, 27cm 以上の深さでは D_v に及ぼす D_r の影響はない。これは,底面拘 束の影響と考えている。

図-7 と図-8 は D_r 22%と 61%の \overline{D}_v と $e \ge z$ に対してプロットしている。 e は深さ 2cm 毎のチューブ内の砂量から求めた。チューブ貫入前の飽和砂全体の初期間隙比 e_0 を図-7 と図-8 に破線で示し、チューブすから得た間隙比の平均値 \overline{e} も図中にまとめた。チューブ貫入による \overline{e} の低下は D_r 22%で 0.188(45-mm サンプラー),0.227(75-mm サンプラー)と 75-mm で大きい。一方, D_r 61%の \overline{e} の低下は 0.016(45-mm), 0.008(75-mm)と e_0 からの変化は無視できるほど小さい。

5.半割チューブで採取した 試料の品質

正垣ら⁵⁾は新潟市の女池 小学校校庭で45-mmと 50-mmサンプラーを用いて 新潟砂を採取した。図-9は その結果から得た*D*rを*z*に 対してプロットしている。 図-9には同じサイトで吉見 ら⁷⁾が行った凍結サンプリ ング(Fs:)に加えサンプリ ング研究委員会⁸⁾による



70-mm(+)と他のチューブサンプリング(Other TS: x)の結果も併せて示している。

図-10 は e_0 に対する半割チューブ貫入で採取した試料のeの比 $R_e(e_0)$ を D_r に対してプロットしている。また, 新潟砂に対して得た 70-mm サンプラーに対する 45-mm と 50-mm の D_r の比 5 に加え,図-9 から求めた R_e の 結果もシャドーで示している。 D_r 50%で 45-mm,50-mm,70-mm サンプラーの R_e は 0.7,他の Ts は 0.9 と小 さく,チューブサンプリングで採取した e は Fs のそれより小さく,チューブ貫入による間隙比の減少が明ら かである。しかし, D_r 61%と 72%の R_e はほぼ 1 であり, Fs の e と同等であった。半割チューブから得た $R_e(e_0)$ は D_r > 50%の領域でほぼ 1 であるが D_r 40%,30%,20%の $R_e(e_0)$ はそれぞれ 0.9,0.8,0.75 となり, D_r が小さくなると $R_e(e_0)$ も小さくなる。このような挙動にチューブ径は依存していない。 D_r > 45%にプロットさ れる新潟砂は自然堆積土であることや,各供試体の乾燥密度から D_r を求めたことを反映して R_e の変動が大 きいが,半割チューブの結果と同じ傾向であると判断される。シャドー で示す R。の範囲もまた新潟砂と豊浦砂と同じ位置にある。このことは, チューブサンプリングで採取した試料の間隙比の変化は自然地盤や半割 チューブのモデル地盤にも依存しないことを示している。

 $D_{r}51\%$ においては 1.0cm/sec のチューブ貫入速度 S_{p} の結果をプロットした。他の半割チューブの $S_{p}=5.3$ cm/sec と比較して $R_{e}(e_{0})$ が 0.6~0.7 と小さい。これはチューブ貫入に起因する間隙比の低下が大きく,採取試料の乱れが大きいことを示している。このような挙動は粘性土に対する結果⁶⁾とも符合する。

6.おわりに

本稿の主要な結論は以下のように要約される。

- チューブ貫入による砂表面の変化量を砂上に静置した直径 1cm の金属の画鋲から測定した。画鋲の変位は、チューブ中心から同心円状で同じであり、半割チューブを貫入するモデル試験は軸対象的な挙動を示した。
- チューブ内側の土要素の移動はチューブ壁面からの距離に
 関係なく同等であり、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 である有明粘土の結果と符合した。
- 3) D_rが 50%以上の地盤では 45-mm と 75-mm サンプラーによっ て採取した試料の間隙比は原地盤と同等であり,新潟砂に対 する凍結サンプリングとチューブサンプリングの結果とも 符合した。しかし, D_r40%, 30%, 20%下では,間隙比が, それぞれ 10%, 20%, 25%小さくなり採取試料の密度が大き くなった。



 $R_{\mathrm{e}(e_0)}$

 $e_{0,r}$

e(45-mm,75-mm)

 $0^{\scriptscriptstyle \mathsf{L}}_0$

図-10 $R_{e}(e_0)$ と D_r の関係

40

Relative density, D_r (%)

60

80

20

参考文献

- Shogaki, T.(2006): Microstructure, strength and consolidation properties of Ariake clay deposits obtained from samplers, *Journal of ASTM International*, Vol. 3, No.7, pp.98-105.
- 2) 酒井・熊谷・正垣・金田(2007): 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, pp.329-334.
- 3) 熊谷・上浦・正垣・金田(2008): チューブ貫入に伴う土要素の移動と採取試料の品質,第5回地盤工学会関東支部発表会, pp.8-13.
- Shogaki, T.(1997): A small diameter sampler with two-chambered hydraulic piston and the quality of its samples," *Proc. of the 14th ICSMFE*, Hamburg, pp.201-204.
- Shogaki, T., Sakamoto, R., Nakano, Y. and Shibata, A.(2006) :Applicability of the small diameter sampler for Niigata sand deposits, Soils and Foundations, Vol.46, No.1, pp.1 ~ 14.
- 6) 正垣・中野(2006): コーン機能を有する倍圧サンプラーとその適用性,地盤工学会誌, Vol.54, No.4, pp. 13-15.
- 7) Yoshimi, Y., Tokimatsu,, K. and Hosaka, Y. (1989): Evaluation of liquefaction resistance of clean sands based on high-quality undisturbed samples, *Soil and Foundations*, Vol.29, No1, pp. 93-104.
- 8) Japanese Geotechnical Society(1988): A report on the sampling and evaluating sample quality methods for sand deposits ,The Soil Sampling –Committee of the Japanese Society for Soil Machanics and Geotechnical Engineering,71(in Japanese).

