

サンプリングチューブ貫入による試料攪乱のメカニズム

防衛大学校 筒井啄士・吉津考浩・正垣孝晴

1. はじめに

砂地盤にチューブサンプラーTSを貫入した場合のチューブ内の間隙水圧(砂の有効応力)挙動や砂粒子の移動は、粒径、地盤の相対密度 D_r 、チューブ径にも関係して採取試料の品質を直接的に支配する。しかし、このような視点に立つ研究は、TSで試料を採取する原理や採取試料の品質を規定するメカニズム解明の基本であるが、実証的な研究は十分でない。一方、粘性土¹⁾や砂試料²⁾に対して、内径 $d45\text{mm}$ のチューブで採取した試料の品質が、 $d75\text{mm}$ のそれと同等以上である理由がチューブ貫入速度が速いことが一因である³⁾との見解がある。しかし、これらに対する精緻で詳細な検討も十分ではない。

本稿はサンプリングチューブを地盤に貫入する際のチューブ内の間隙水圧 u 挙動と採取試料の間隙比 e や砂粒子の移動を、半割チューブを用いた豊浦砂に対する模型実験から検討して、チューブ貫入による試料攪乱のメカニズムを検討する。

2. 供試土と実験方法

供試土は豊浦砂である。豊浦砂の土粒子密度は 2.653g/cm^3 であり、均等係数 1.5、曲率係数 0.94 であり、新潟砂に対するチューブサンプリングで得た試料²⁾と同等の粒度特性を有している。豊浦砂に対するモデル試験は自然堆積した沖積の細粒分の少ない新潟砂のような地盤を想定している。 $d35\text{mm}$ 、 48mm 、 75mm の半割チューブを貫入させたモデル試験から、チューブ内の u と砂粒子の移動、採取試料の e の変化を検討する。刃先角度は 6° と 90° の2種類である。 D_r は新潟地盤の実態²⁾を考慮して、30%~58%の範囲で設定した。アクリル前面に配置するターゲットやモデル実験の概要は既報³⁾と同じである。チューブ貫入速度 S_p は $0.8\sim5.5\text{cm/sec}$ の範囲であるが、 D_r やチューブ径に関係なくほぼ等速であった。また、この S_p は倍圧サンプラー($4.5\sim5.5\text{cm/sec}$)と通常のサンプラーの貫入速($0.5\sim2.0\text{cm/sec}$)⁴⁾を考慮して設定した。

3. チューブ貫入による砂粒子の移動

図-1はチューブ内のターゲットの鉛直変位 D_v を S_p に対してプロットしている。 $D_r=40\%$ の一連の実験からのプロットは破線で結び、 $D_r=30\%$ と 50% のそれらは、チューブ径を()に示して区別している。 D_v と S_p の関係に関しては、以下の傾向が読み取れる。① 35-mm の $D_v(=D_{v(35)})$ は、 45-mm と 75-mm の D_v (それぞれ、 $D_{v(45)}$ と $D_{v(75)}$) より大きい。② $D_{v(45)}$ は S_p に依存していない。 45-mm のチューブ径近傍では、刃先角度と S_p に関係なく、 D_v はほぼ一定になることが推察される。③ 90° の D_v は 6° の D_v より小さい。この傾向は、 35-mm の $S_p < 2\text{cm/sec}$ を除いてチューブ径や S_p に依存しない。④ $S_p \approx (3.5\sim5.5)\text{cm/sec}$ の領域の 6° のプロットは、 D_r が 30% と 50% の両者ともに、チューブ径が小さくなると D_v も小さくなる傾向にある。しかし、 90° に対しては $D_{v(75)}$ が $D_{v(45)}$ より僅かに小さい。チューブ刃先部のターゲットの D_v を基準にして、この D_v からの各ターゲットの変化量(CD_v)を刃先からの距離 L に対して図-2(6°)と図-3(90°)にプロットしている。図-2の 6° では、試料がチューブ内に入ると CD_v は大きくなり、試料の移動量が大きくなるが、 CD_v はチューブ径が小さくなると大きくなる。図-2には $S_p=0.8\text{cm/sec}$ の 75-mm の結果(Δ)を併せて示している。 S_p が小さくなると D_v が大きくなる図-1の結果を反映して、このプロット(Δ)の CD_v は、 75-mm の $S_p=4.1\text{cm/sec}$ ($\times$)より大きくなり、 45-mm の $CD_v(+)$ と同等になる。実務において 75-mm と 45-mm の S_p の実態は、それぞれ 1cm/sec と 5cm/sec 程度⁴⁾であり、これらの CD_v は同等である。両サンプラーで採取した試料の品質が同等²⁾である根拠として矛盾しない。一方、 90° の図-3においては 45-mm と 75-mm の CD_v は、ほぼ0であり、 L に依存して

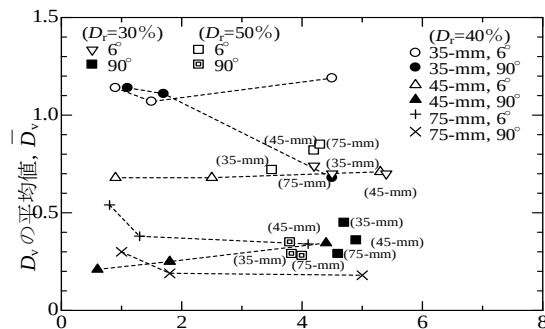


図-1 ターゲットの鉛直変位と貫入速度

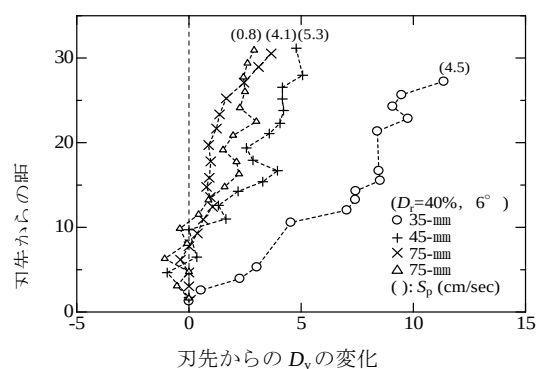


図-2 チューブ刃先からのターゲットの変化量

キーワード：豊浦砂・サンプリング・試料の乱れ

連絡先：〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校建設環境工学科 TEL 046-841-3810

いない。しかし、35-mmは L とともに CD_v も大きくなり、砂粒子はチューブ内を移動した距離が大きくなる(図-3)と CD_v も大きくなり、45-mmと75-mmの傾向とは異なっている。図-2と図-3で示した結果は他の D_r や S_p においても同じであることを確認している。表-1は本研究で得た結果を総括して、 F_p , u , D_v , e の e_0 からの変化の大小関係を刃先角度とチューブ径に対してまとめている。チューブ貫入で発生する u が小さく有効応力変化が小さいと、試料の乱れは小さく e の変化も小さい。 u を測定した砂粒子がチューブ貫入によって受けた全応力の絶対値を測定することは実質的には不可能である。しかし、 u の大小は全応力の小大と表裏の関係にある。この視点で表-1を見ると、 6° の場合45-mmで得た試料は75-mmのそれより品質が良いことになる。しかし、 D_v は 6° と35-mmが大きい。チューブ内の e の変化はチューブ内の位置に依存しないことを考えると、チューブ壁面に接する試料が塑性化してチューブ内に一体的に納まり、壁面近傍を除く試料には、チューブ壁面摩擦等による乱れが及び難いことが推察される。本研究で得たすべての D_r , S_p , チューブ径において、 90° の D_v が 6° のそれより小さいのは、 90° の方が塑性領域が形成され易いのが理由であると考えている。しかし、この領域はチューブ壁面から数mm以内であることが、ターゲットの動きからも確認された。

4. チューブ貫入による試料攪乱のメカニズム

図-4は以上の結果を総括してチューブ貫入による試料採取のメカニズムを考察している。図-4に示す塑性領域の範囲は、粘性土ではチューブ壁面から2mmより小さいことが走査型電子顕微鏡による微視構造⁵⁾や強度特性⁶⁾の検討から確認されている。チューブの刃先角度やチューブ径による砂粒子の移動、間隙比変化に関しては、一般的な通説や観念とは異なる結果であるが、図-4に示す塑性領域の存在を考えれば、これらの現象が统一的に解釈できることになる。

5. おわりに

豊浦砂のモデル試験の結果は、新潟砂をチューブサンプリングと凍結サンプリングで採取した試料の品質の実態^{2),4)}や粘性土に対するチューブサンプリングの試料の実態⁶⁾を統一的に説明できるものである。チューブ壁近傍に生成される塑性域は、チューブに刃先を付与しないほうが、採取試料の品質に有効に働くことも明らかになった。

参考文献 1) Shogaki.T. and Sakamoto.R.: The applicability

of a small diameter sampler with a two-chambered hydraulic piston for Japanese clay deposits, *Soils and Foundations*, 44, (1), 115-126, 2004. 2) Shogaki, T., Sakamoto, R., Nakano, Y. and Shibata, A. : applicability of the small diameter sampler for

Niigata sand deposits, *Soils and Foundations*, 46, (1),1-14, 2006. 3)Shogaki, T. and Sato, M.: Estimating *in-situ* dynamic strength properties of sand deposits, *Proc. of the 14th Asian regional conf. Soil Mechanics and Geotechnical Engg*, CD-Rom, 2011.

4) 正垣孝晴・中野義仁：コーン機能を有する小径倍圧型水圧ピストンサンプラーで採取した試料の品質，*地盤工学ジャーナル*, 5, (8), 363-375, 2010. 5) Shogaki, T.: Microstructure, strength and consolidation properties of Ariake clay

deposits obtained from samplers, *Journal of ASTM International*, 3,(7), 98-105, 2006. 6)Shogaki, T.: An improved method for estimating *in-situ* undrained shear strength of natural deposits, *Soils and Foundations*, 46, (2), 1-13, 2006.

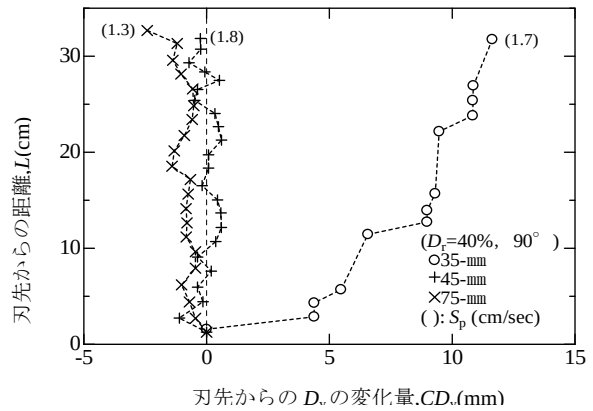


図-3 チューブ刃先からのターゲットの変化

表-1 チューブ径と刃先角度による F_p, u, D_v, e の関係

	刃先角度	チューブ径
チューブ貫入力, F_p	$6^\circ < 90^\circ$	$35\text{-mm} < 45\text{-mm} < 75\text{-mm}$
間隙水圧, u	$6^\circ < 90^\circ$	$35\text{-mm} \approx 45\text{-mm} < 75\text{-mm}$
ターゲットの鉛直変位, D_v	$6^\circ > 90^\circ$	$35\text{-mm} > 45\text{-mm} \geq 75\text{-mm}$
間隙比の変化, e	$6^\circ \approx 90^\circ$	$75 < 45$ ($S_p=5.3\text{cm/sec}$) $75 > 45$ ($S_p=1.0\text{cm/sec}$)

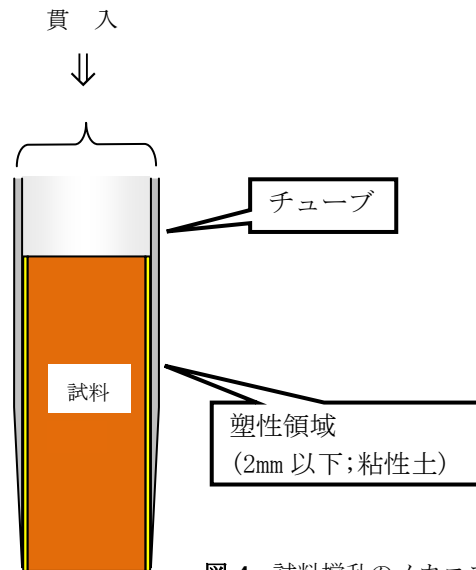


図-4 試料攪乱のメカニズム