

笠岡粘土に対する45mmサンプラーの適用性と試料の品質

Applicability of 45-mm sampler for Kasaoka clay deposit and the quality of its sample

正垣 孝晴*・丸山 仁和**・白川 修治**・茂籠 勇人*・須藤 剛史***

Takaharu Shougaki, Yosikazu Maruyama, Shuji Shirakawa, Hayato Moro and Takasi Sudo

A new small diameter sampler with two chamber hydraulic pistons (45-mm sampler) was developed, and its applicability is examined through the unconfined compression tests and the standard oedometer tests for samples obtained from both the 45-mm sampler and the 75-mm sampler (75-mm in inner diameter) normally employed in Japan. The samples obtained from the 45-mm and 75-mm samplers have similar strength and consolidation behaviors for Kasaoka clay deposits.

Keywords: clay, Sampling, Sample disturbance, strength properties

1. はじめに

標準貫入試験用のボーリング孔径 ($\phi 66\text{mm}$) から直径45mm、長さ500mmの乱さない試料が採取できる小径倍圧型水圧ピストンサンプラー (45mmサンプラー) を新しく開発し、サンプラー内径75mmの従来の水圧サンプラー (75mmサンプラー) と同等以上の品質が得られることを水戸市や佐倉市から採取した粘性土に対して検討してきた^{1), 2)}。

本稿は、岡山県笠岡市の沖積低地から45mmと75mmサンプラーで採取した沖積粘性土に対し、45mmサンプラーの試料の品質をセラミックディスクを用いたサクションの測定を伴う一軸圧縮試験から検討し、45mmサンプラーの実務への適用性を検討したものである。

2. 供試土と実験方法

供試土は岡山県笠岡市の沖積低地から採取した乱

さない沖積粘性土である。採取深度は、45mmサンプラーの場合GL.-7.0mと-7.5m、75mmサンプラーでは、GL.-2.0m、-4.0m、-6.0m、-8.0mである。45mmと75mmサンプラーによる試料の採取長は、それぞれ500mm、800mmであった。

45mmと75mmサンプラーから得た試料は、チューブ刃先側の土を10mm切り捨てた後、それぞれ長さ45mm、100mmに切り出した。75mmサンプラーから得た試料片からは直径 $d 35\text{mm}$ 、高さ $h 80\text{mm}$ のO (Ordinary size) 供試体を断面の中央から1個作成した。

図-1に45mmサンプラーから得た試料の切断状況を示す。図-1に示すように一軸圧縮試験のために長さ45mmに試料片を切り出し、刃先側から順にアルファベットを付けて他の試料片と区別した。これらの試料片からは図-2に示すように、 $d 15\text{mm}$ 、 $h 35\text{mm}$ のS (Small size) 供試体³⁾を1試料片から4個作成して

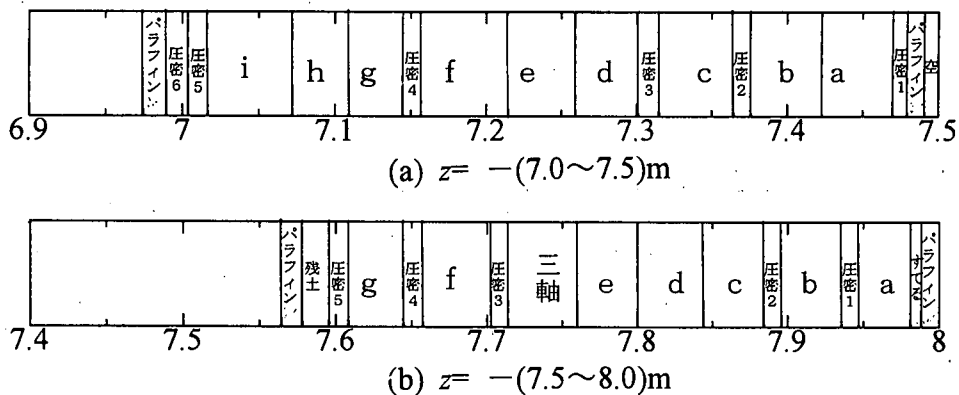


図-1 供試体位置図

* 正会員 防衛大学校 土木工学教室 (239 横須賀市走水1-10-20)

** 学生員 防衛大学校理工学研究科

*** 正会員 興亜開発 (株)

チューブ縦横断位置の強度特性を調べた。OとS供試体は携帯型一軸圧縮試験機³⁾を用いて1%/minの軸ひずみ速度で圧縮した。S供試体に対しては、セラミックディスク⁴⁾を用いてせん断前とせん断中のサクシジョンの測定を行った。

3. チューブ縦横断位置が強度特性に及ぼす影響
図-3は、45mmサンプラーから得た試料に対する一軸圧縮試験結果をチューブの刃先からの距離 D_s に対してプロットしたものである。図-3(a)が $z=-(7.0\sim7.5)\text{m}$ 、図-3(b)が $z=-(7.5\sim8.0)\text{m}$ から得た

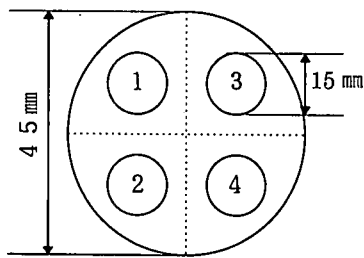
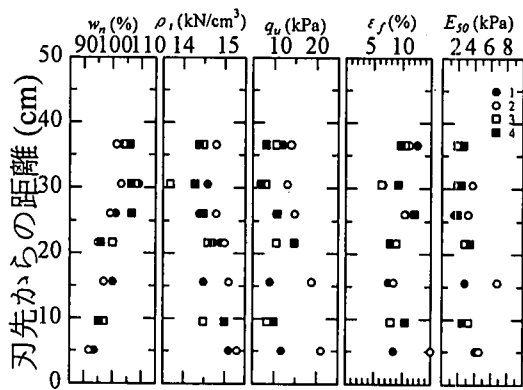
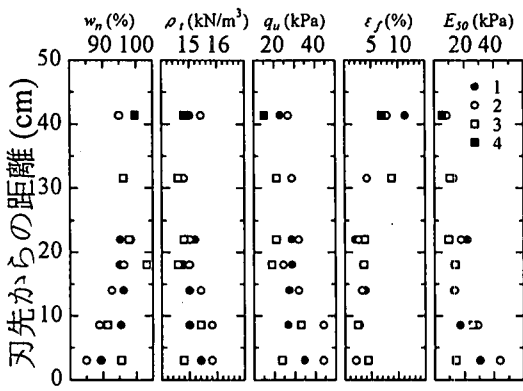


図-2 45mmサンプラーの供試体位置断面図



(a) $z=-(7.0\sim7.5)\text{m}$



(b) $z=-(7.5\sim8.0)\text{m}$

図-3 一軸圧縮試験結果

試料に対する結果である。 $z=-(7.0\sim7.5)\text{m}$ の試料は、サンプリング時の不注意で試料を落下させてしまったため、同じ孔内でサンプラーを水平に移動して同じ深度で再度サンプリングを行った。

図-3では、チューブ横断位置の影響を検討するため、図-2に示す供試体位置によって記号を変えてプロットしている。図-3(a)は、上述したようにサンプリング時の試料の乱れに起因して、 $\epsilon_f \approx 10\%$ と大きい。

図-3(b)の自然含水比 w_n 、湿潤密度 ρ_t は、それぞれ85~100%、14.8~15.9 kN/m^3 の範囲で分布し、刃先に近いほどその変動が大きいことが分かる。このような w_n 、 ρ_t の変動を反映して q_u と E_{50} は、 $q_u=15\sim45\text{kPa}$ 、 $E_{50}=5\sim43\text{kPa}$ の範囲で変動している。しかし、 q_u 、 E_{50} 値は供試体の横断位置に依存していない。また、縦断方向の q_u 、 ϵ_f 、 E_{50} を見ると、 $D_s > 30\text{cm}$ でボーリング孔の削孔や試料の押し出しの過程で生ずる乱れに起因する q_u 、 E_{50} 値の低下があるが、他の D_s の領域では ϵ_f が3%前後であり、-6m、-8mの75mmサンプラーのそれと同等である。

図-4は75mmサンプラーで得た結果を統合した土性図である。75mmサンプラーのプロットは $D_s=(20\sim40)\text{cm}$ の試料片に対する結果である。一方、45mmサンプラーは、1試料片から得た4個の供試体に対する平均値をプロットしている。

45mmサンプラーの $z=-(7.0\sim7.5)\text{m}$ の深度に注目すると、試料の乱れに起因して q_u は他の深度に比べて小さく ϵ_f は大きい。この深度のデータを除けば45mmと75mmサンプラーの q_u 、 ϵ_f 、 E_{50} 値に有為差はない。このことは45mmサンプラーは75mmサンプラーと同等の品質の試料が採取できたことを示している。

4. 一軸供試体のサクシジョンと有効応力挙動

図-5は、チューブ内の異なる位置の供試体に対するサクシジョン S と時間 t の関係を示したものである。()は D_s 値であり、記号を変えてプロットしている。 S は、2~3分で一定値に達し、この値は供試体が保

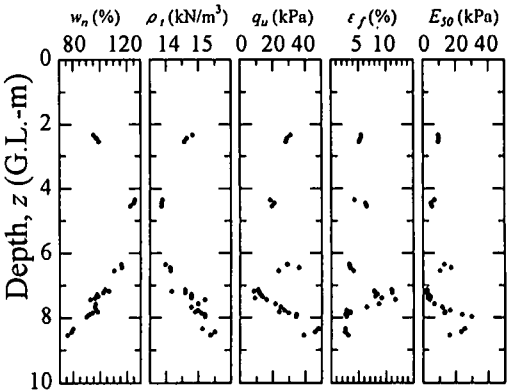


図-4 一軸圧縮試験結果

持っているサクシジョンの最大値 S_o とした。

図-6 は、図-5 の同じ供試体に対するせん断中の応力 σ 、 u と軸ひずみ ϵ_a の関係である。図-6 において

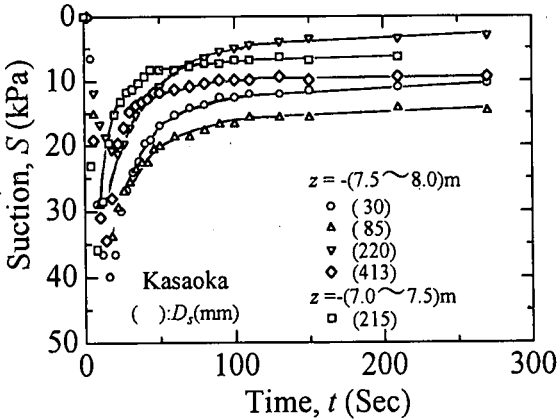


図-5 サクシジョンと時間の関係

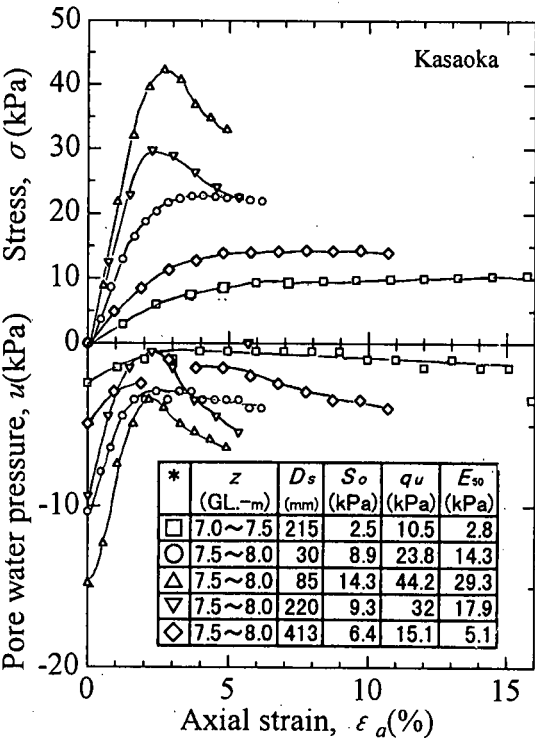


図-6 σ 、 u と ϵ_a の関係

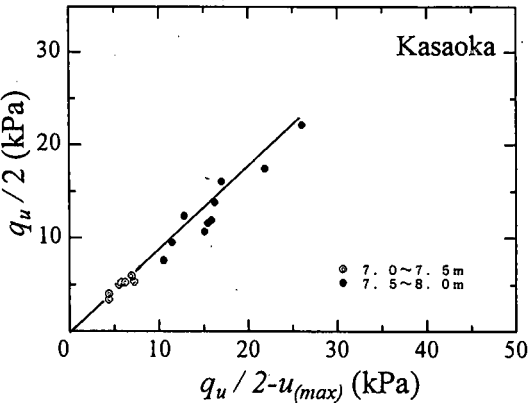


図-7 $q_u/2$ と $q_u/2 - u_{(max)}$ の関係

$\epsilon_a=0$ の u は S_o である。 S_o は $D_s=85$ mm で最も大きく、サンプラーの端に位置する供試体のそれは小さい。 S_o が小さくなると $\sigma \sim \epsilon_a$ 曲線の勾配と q_u が小さくなり、試料の乱れが大きくなることが分かる。

図-7 は両深度のサクシジョンを測定したすべての供試体に対する $q_u/2$ と $q_u/2 - u_{(max)}$ の関係をプロットしたものである。各供試体の破壊点は、有効応力に基づいた1本の破壊線上に位置している。このことは、自然堆積土の攪乱が有効応力原理で説明できることを意味する。

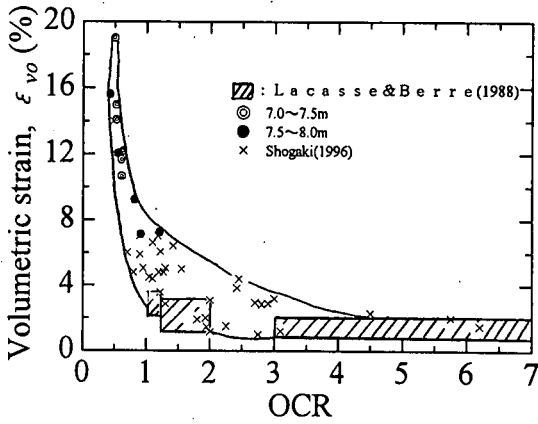


図-8 体積ひずみとOCRの関係

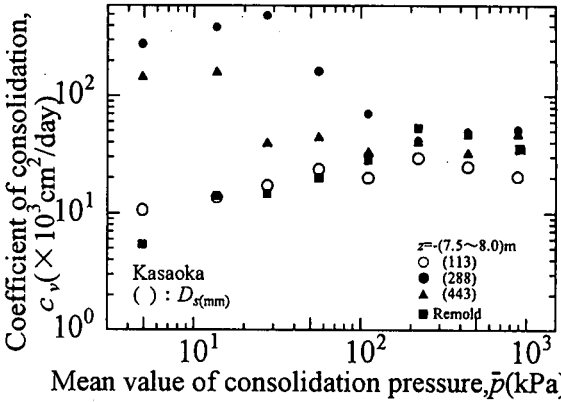


図-9 c_v と $\bar{p}$ との関係

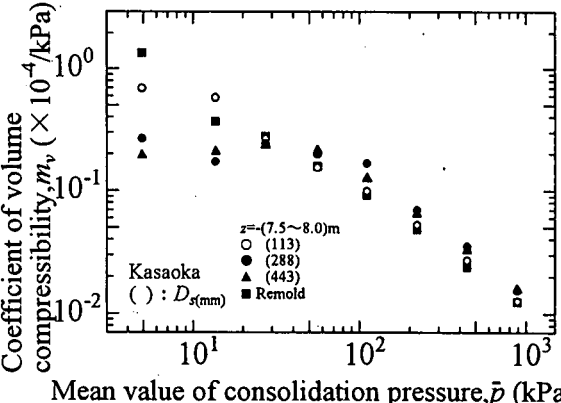


図-10 m_v と $\bar{p}$ との関係

5. チューブ縦断位置が圧密特性に及ぼす影響

図-8 は標準圧密試験の有効土被り圧で整理した体積ひずみ ϵ_v と OCR の関係である。図-8 には、Lacasse and Berre⁶⁾の結果に加え、我が国の10の堆積地から採取した乱れの少ない良好な品質を持つ試料に対する結果⁵⁾とその上下限値の範囲を実線で示している。

笠岡粘土に対するプロットは、従来の結果⁵⁾と同じ傾向線上にある。 $z=-(7.5\sim 8.0)\text{m}$ から採取した D_s の異なる3個の供試体と練返し土に対する圧密係数 c_v 、体積圧縮係数 m_v 、透水係数 k と平均圧密圧力 p の

関係をそれぞれ図-9, 10, 11 に示す。

供試体の乱れの程度が大きくなると、 c_v 、 k が小さくなり、 m_v は大きくなることが分かっている⁷⁾。この観点に立てば、 $D_s=288\text{mm}$ の供試体の試料の乱れが小さく、サンプラーの両端部に位置する供試体で乱れが大きい。 $D_s=113\text{mm}$, 443mm の供試体の c_v 、 m_v 、 k 値は、 $D_s=288\text{mm}$ と練返し土の間に位置している。この傾向は、過圧密領域で特に顕著である。

図-12, 13, 14 は原位置の一軸圧縮強度 q_u を得るための補正值 $R(q_u)^*$ を求める図である。 $R(q_u)$ は q_u の最大値 $q_{u(max)}$ に対する各供試体の q_u の比であり、

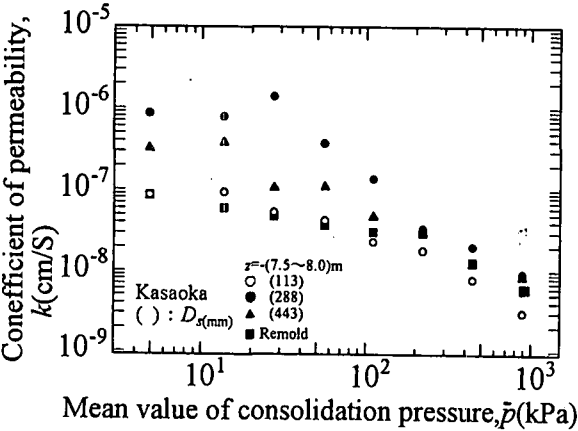


図-11 k と $\bar{p}$ との関係

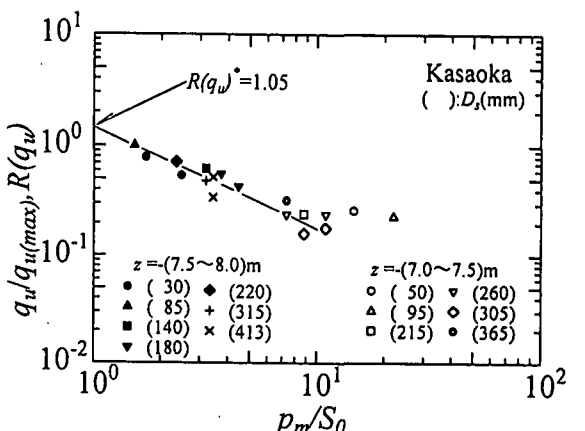


図-14 $R(q_u)$ と p_m/S_0 の関係

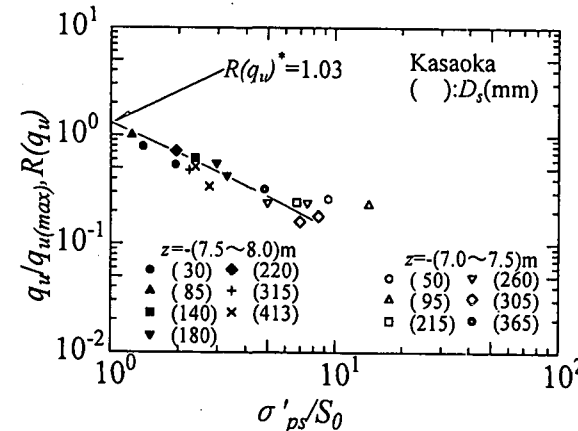


図-12 $R(q_u)$ と σ'_{ps}/S_0 の関係($K_c=0.4$)

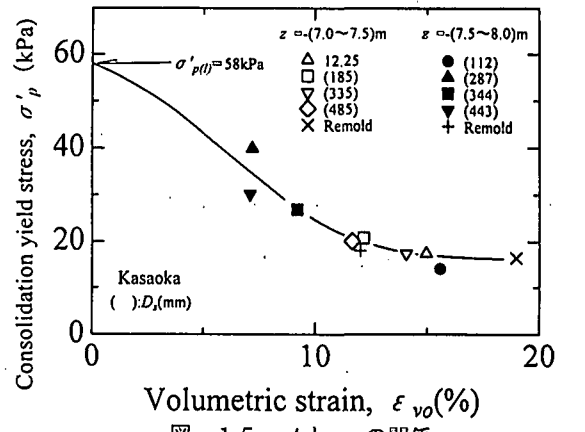


図-15 σ'_p と ϵ_{vo} の関係

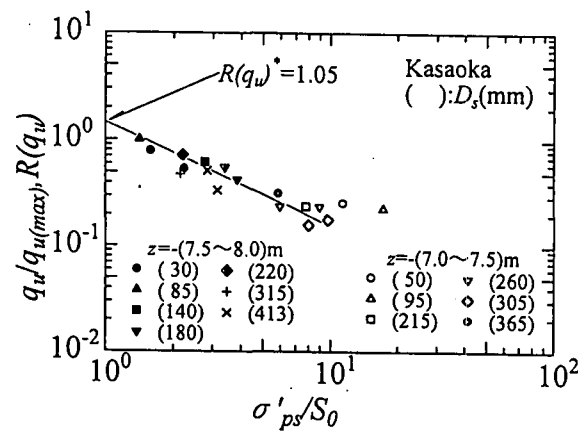


図-13 $R(q_u)$ と σ'_{ps}/S_0 の関係($K_c=0.5$)

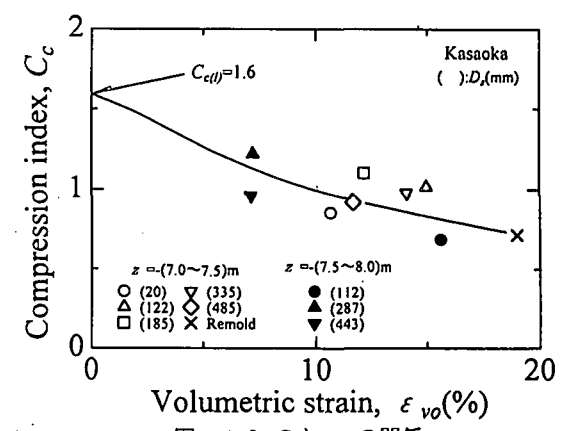


図-16 C_c と ϵ_{vo} の関係

σ'_{ps} は式 (1) で示す完全試料の有効圧である。

$$\sigma'_{ps} = \sigma'_{vo} \{ k_o + A_f(1 - k_o) \} \dots\dots (1)$$

ここで、 $A_f = \Delta u_f / q_o$ とした。

図-12 では、小型精密三軸圧縮試験機⁸⁾を用いて実測した $k_o=0.4$ 、図-13 では正規圧密粘土として実務設計に一般に用いられることが多い $k_o=0.5$ を用いた。また、図-14 の p_a は平均圧密圧力であり、 $k_o=0.5$ として $\sigma'_{vo}/1.5$ を用いた。プロットを近似する曲線から得た $R(q_u)^*$ は、整理方法の差によらずほぼ同じ値である。

図-15, 16 は、それぞれ σ'_p 、圧縮指数 C_c と体積ひずみ ϵ_{vo} の関係である。 ϵ_{vo} が大きくなり試料の乱れ

が大きくなると、 σ'_p 、 C_c 値は小さくなっており、従来の結果⁵⁾と同じ傾向である。これらのプロットを近似する曲線から原位置の σ'_p 、 C_c 値として、それぞれ $\sigma'_{p(I)}=58\text{kPa}$ 、 $C_{c(I)}=1.6$ を得る。

図-17 は、 $e-\log p$ 曲線であり、練返し土を含め乱れの異なる4個の供試体の結果を示している。 σ'_p 、 C_c 値は $D_s=288\text{ mm}$ の供試体で最も大きくサンプラーの端に位置する供試体で小さい。サンプラーの端に位置する供試体の ϵ_{vo} は大きく、この領域で試料の乱れが大きいことが分かる。図-17 には、図-15, 16 から推定した $\sigma'_{p(I)}$ 、 $C_{c(I)}$ 値を用いて原位置の $e-\log p$ 曲線を併せて示している。各供試体の σ'_p 値を結ぶ曲線から、推定した $\sigma'_{p(I)}$ 、 $C_{c(I)}$ 値はリーズナブルであると判断される。

図-18 は、小型精密三軸圧縮試験機⁸⁾による CK_0CU 試験から得た c_u/p と σ'_a/σ'_{vo} の関係である。ここで、 σ'_a は有効軸応力である。 c_u/p 値は、 $\sigma'_a/\sigma'_{vo}=1.0$ で0.60であるが、 $\sigma'_a/\sigma'_{vo}>2$ の正規圧密領域ではほぼ一定値となり0.38の値となる。

表-1 は、推定した $q_{u(I)}$ 、 $\sigma'_{p(I)}$ 値と三軸 CK_0CU 試験から得た c_u/p 値をまとめて示している。 $q_{u(I)}/2/\sigma'_{p(I)}$ 値は、0.40であり CK_0CU 試験から得た c_u/p 値と同等である。このことは、 $q_{u(I)}$ 、 $\sigma'_{p(I)}$ 値の推定法が妥当であることを意味している。

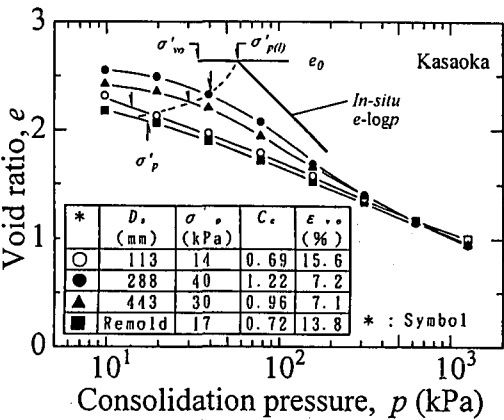


図-17 $e-\log p$ 曲線

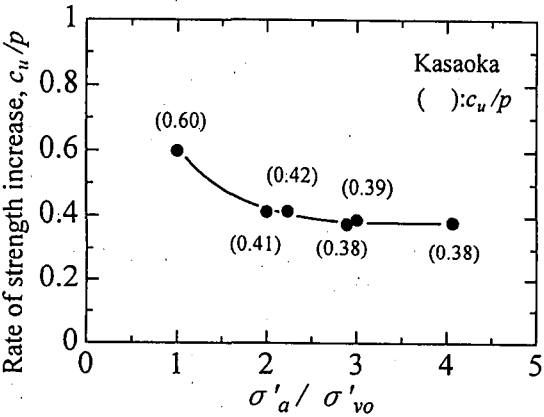


図-18 c_u と σ'_a/σ'_{vo} の関係

表-1 推定した $q_{u(I)}$ と $\sigma'_{p(I)}$ の結果
(笠岡, $z = -(7.0 \sim 8.0)\text{m}$)

q_{umax} (kPa)	$R(q_u)^*$	$q_{u(I)}$ (kPa)	$\sigma'_{p(I)}$ (kPa)	$\frac{q_{u(I)}}{2 \sigma'_{p(I)}}$	c_u/p
44.2	1.03	45.5	58	0.39	0.38
	1.05	46.4		0.40	
	1.05	46.4		0.40	

$R(q_u)^*$ 上段: $\sigma'_{ps}(K_o=0.4)$ 中段: $\sigma'_{ps}(K_o=0.5)$ 下段: p_m
 c_u/p : From CK_0CU

6. おわりに

45 mm サンプラーで採取した試料に対し、セラミックディスクを用いてサクシジョンの測定を伴う一軸圧縮試験を行った。その結果、笠岡粘土の試料に対しても45 mm サンプラーは良質の試料が採取できることが分かった。本研究で得た主要な結論をまとめると以下のようなものである。

- 1) 45 mm と 75 mm サンプラーで採取した試料に対して供試体の縦横断位置を変えて q_u 、 ϵ_f 、 E_{s0} 値を測定した。両サンプラーで得た値に有為差はなく、45 mm は 75 mm サンプラーと同等以上の品質の試料が採取できたことが分かった。
- 2) サンプラーの端に位置する供試体ほど S_o 、 q_u 値が小さくなっており、試料の乱れが大きいことが分かった。
- 3) $q_u/2$ と $q_u/2 - u_{(max)}$ の関係をプロットした結果は、1本の破壊線上に位置した。自然堆積粘土の攪乱は有効応力原理で説明できることが分かった。
- 4) 原位置の非排水強度を推定するための K_o 値は、正規圧密粘土として実務設計に一般に用いられることが多い0.5を用いても三軸試験で実測した0.4を用いても同じ原位置の非排水強度を与えた。また、 $K_o=0.5$ として $\sigma'_{vo}/1.5$ を用いても推定した原位置の非排水強度に有為差がなかった。
- 5) サンプラー内の乱れの程度の異なる試料に対す

る一軸圧縮試験と標準圧密試験から、原位置の非排水強度と圧密パラメータが推定できることが分かった。

- 6) サンプラー内の乱れの程度の異なる試料から推定した $q_{u(I)}/2\sigma'_{p(I)}$ 値は、0.40 であった。この値は、CK₀CU 試験から得た c_u/p 値である 0.38 と同等であったことから $q_{u(I)}$ 、 $\sigma'_{p(I)}$ の推定法が妥当であると判断された。

参考文献

- 1) 正垣・渡辺：小径倍圧型水圧ピストンサンプラーと試料の品質、土と基礎、Vol. 44, No. 11, pp. 13-16, 1996.
- 2) 正垣・豊原・須藤：45 mm サンプラーによって採取された試料の強度特性、第 24 回土木学会関東支部大会発表 pp. 344-345, 1997.
- 3) 正垣：携帯型一軸圧縮試験機とその適用、第 40 回地盤工学会シンポジウム論文集、1995.
- 4) 正垣ら：間隙水圧の測定を伴う一軸圧縮試験による原位置強度の推定、サンプリングシンポジウム論文集、pp. 95-102, 1995.
- 5) Shogaki, T.: A method for correcting consolidation parameters for sample disturbance using volumetric strain, Soils and Foundations, Vol. 36, No. 3, pp. 123-131, 1996.
- 6) Lacasse, S. and Berre, T.: "Triaxial testing methods for soils, Advanced triaxial testing of soil and rock," ASTM STP 977, pp. 264-289, 1988.
- 7) Shogaki, T. and Kaneko, M.: "Effects of sample disturbance on strength and consolidation parameters of soft clay," Soils and Foundations, Vol. 34, No. 3, pp. 1-10, 1994.
- 8) 正垣ら：小型精密三軸試験機、第 24 回土木学会関東支部大会、pp. 354-355, 1997.