

粘性土のせん断挙動に及ぼす異方構造の影響

池 浦 勲

Effect of Inherent Anisotropy on the Shear Behavior of Cohesive Soils

Isao IKEURA

要 旨

一次元載荷（予圧密）中の土粒子配向によって形成される粘土の異方構造が等方圧密非排水せん断試験（CIU 試験）に及ぼす影響を考察し、CIU 試験ではその影響が極めて少ないという結果を得た。

Synopsis

The effect of an inherent anisotropy which is caused by particle orientation during one-dimensional loading is investigated by means of CIU test results. It is shown that the anisotropy is less effect under CI shear conditions.

1. ま え が き

粘土粒子が自然堆積やその後の一次元載荷の間に水平方向に配向することは在来の多くの研究で明らかになっている。この配向によって粘土は強度や変形状の面で異方性を示すと予想される¹⁾。さらに建造物などの載荷によって粘土地盤中には主応力の回転が生じるのであるから、粒子構造も含めた異方性の解明は地盤の強度や変形を考える際の必須の問題といえ、この面での研究は粘土のみならず粗粒土に至るまで活発に進められてきている²⁾³⁾。

今回、粘土構造のうえでの異方性に着目し、それが等方圧密後の非排水せん断強度に及ぼす影響について若干の考察を加えたので、ここに報告する。

2. 目的と実験方法

2-1 試 料

実験に用いた試料は表-1に示す物理的性質をもつ乱した粘土である。この試料土に混入している異物を取り除いたあと、モルタル用ミキサーでスラリー状（液性指数 $I_L \approx 1.6$ ）にほぐしたものを

420 μ フルイ上で水洗いして粗粒物を除いた。それを次節の方法で予圧密して実験した。

比重 Gs	液性限界 W _L (%)	塑性限界 W _p (%)	粘 土 分 (%)	*統一分類	採 取 地
2.57	61.2	21.4	53.0	CH	早来郡 早来町

表-1 試 料

2-2 実験方法

(1) 予圧密

CBR 試験用モールドを改造した直径 15 cm、深さ 18 cm の容器に試料を流し込み、標準圧密試験用載荷枠を用いて図-3に示す5種類の条件で予圧密した。試料がスラリー状であることから所定の予圧密応力 p_c に至るまで4~5日を要した。圧密終了後1日以上放置したのちに試料を容器から押出し、直径 5 cm、高さ 12 cm の円柱供試体2個を整形した。その供試体の計算上の飽和度は $S = 1.00 \sim 1.03$ であり飽和状態と見なし得る。なお予備実験の時間~圧密量曲線と含水比分布から、予圧密での1次圧密は載荷後1週間以内に終了すると判断された。

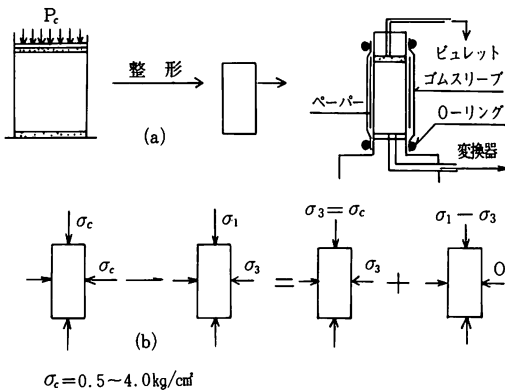


図-1

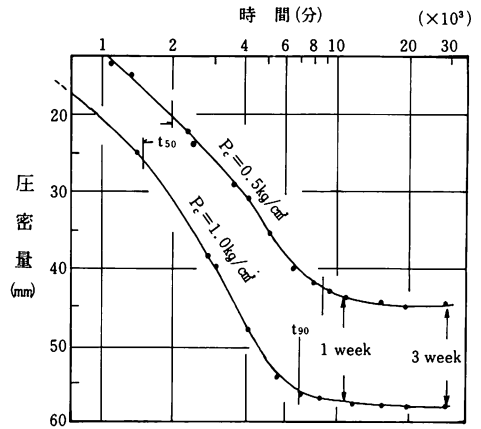


図-2

(2) 等方圧密

供試体にペーパータオルを二重に巻いて排水路とし、水中で図-1 (a) に示すように三軸セル下盤に装着したのち等方応力 σ_c で圧密した。排水は円周方向のみであり、端面摩擦の軽減策としてプラスチック板（あるいはテフロンシート）とシリコングリスを塗付したゴム膜を用いた。間ゲキ水圧として供試体下端中央部（直径 1 cm）の平均水圧をヒズミ変換型圧力計で測定した。なお圧密中はバックプレッシャーとして 1.0 kg/cm^2 を供試体およびビュレットに付加している。

(3) セン断試験

(2) の等方圧密は 1 日以内に終了するので、圧密開始から 24 時間後に排水バルブを閉じて、等方応力とバックプレッシャーを一定に保ったまま $0.12\%/分$ の速度で軸方向にヒズミ ε_1 を与え適当間隔に軸応力 σ_1 を測定した。すなわちセン断中の最小主応力は $\sigma_3 = \sigma_c$ （一定）、最大主応力は $\sigma_1 = \sigma_v$ であり、それらの方向は予圧密時の主応力方向と同一である。セン断は $\varepsilon_1 = 15\%$ にいたるまで続けた。

2-3 実験目的

以上の実験方法を図-1 (a), (b) に示したが、(a) 図の予圧密で形成される粘土の異方性が、整形時などの乱れを経て (b) 図の圧密非排水セン断 (CU 試験) 特性にどのような影響を及ぼすかを考察することが本実験の具体的目的である。それは、一般的には異方圧密状態にある自然堆積粘土地盤におけるサンプリングから CU 試験にいたる一連の過程を想定している。

3. 実験結果と考察

以下においては試料の状態を、たとえば $1.0 - 3W$ と表わす。これは $p_c = 1.0 \text{ kg/cm}^2$ で 3 週間予圧密をした試料という意味である。

3-1 予圧密について

図-2 に予圧密の時間と圧密度の関係を示す。曲線定規法による圧密度 50% の時間 t_{50} とそれに基く t_{90} に着目すれば、1 週間は一次圧密終了時に 3 週間は二次圧密部分に相当すると考えられるが、二次圧密部分の傾きは極く小さいことが注目される。

図-3 には平均圧密応力 σ_m と含水比 w_c の関係を示した。 σ'_m の計算においては水平応力 $\sigma_h = K_0 p_c$ ($K_0 = 0.5$)、すなわち $\sigma'_m = \frac{2}{3} p_c$ と仮定した。同様の方法で通常の圧密試験（試料直径 6 cm、厚さ 2 cm、24 時間載荷）、いわゆる Oedometer テストで得られた σ'_m と w_c の関係も示した。図によると $\log \sigma'_m$ と w_c が、供試体寸法や圧密期間によらずに 1 本の直線関係にあることがわかる。このことは予圧密では一次圧密終了までに長時間を要するためその間に二次圧密も同時に進行し、前述したように 1 週間後からの二次圧密度が極く小さいことのためと解される。

3-2 等方圧密について

図-3 には CU 試験の含水比 w_n と平均主応力 σ'_m の関係も示す。この密は等方条件で行なわれるのであるから $\sigma'_m = \sigma'_c = \sigma_c - u_0$ (u_0 : セン断開始時の間ゲキ水圧) となる。

ここで注目すべきは、予圧密の場合と異なって

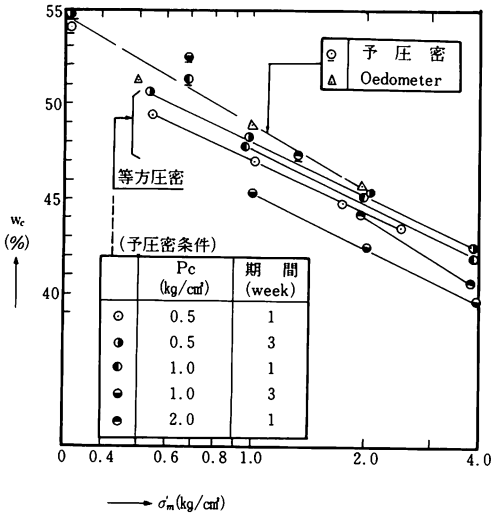


図-3

等方圧密の $\log \sigma'_m$ と w_n の関係が一義的に定まらないことである。すなわち同じ σ'_m で比較した場合 p_c の大きいほど、あるいは圧密期間の長いほど w_n が小さくなる傾向にある。これは予圧密の圧力や期間が含水比のほか粘土の構造にも影響を与えていることを示している。

3-3 セン断特性について

(1) 応力とヒズミの関係

図-4 は正規化した応力-ヒズミ曲線を示す。Ladd¹⁾はこの曲線が同じ過圧密度を有する粘土では圧密圧力 σ'_c によらずにほぼ同一になることを示し、同様の手法を変形係数や有効応力径路に適用することによって正規化の意義を強調している。今回の実験では図-4 に一例を示すようにある程度以上の ϵ_1 では σ'_c の小さいほど軸差応力 $(\sigma_1 - \sigma_3)/\sigma'_c$ は大きな値となった。

つぎに変形指標として、強度の50%が発揮される点までの正割係数(変形係数) Eu に着目すると Eu/σ'_c は σ'_c によっては変動しないが Eu/Cu (Cu : 非排水試験の強度)は σ'_c の増大と共に漸増した。 Eu/σ'_c の予圧密条件ごとの平均値を比較すると 1.0-3 W, 0.5-1 W, 0.5-3 W, 1.0-1 W の順に大きくなり応力および期間ともに予圧密の影響は見られない。同様に Eu/Cu の平均値は 0.5-3 W, 1.0-3 W, 1.0-1 W, 0.5-1 W の順に大きくなった。 Eu/Cu は塑性や有機物含有量が大きくなるほど、同一の粘土では過圧密比が大きいほど減少するという Ladd の報告をあてはめ

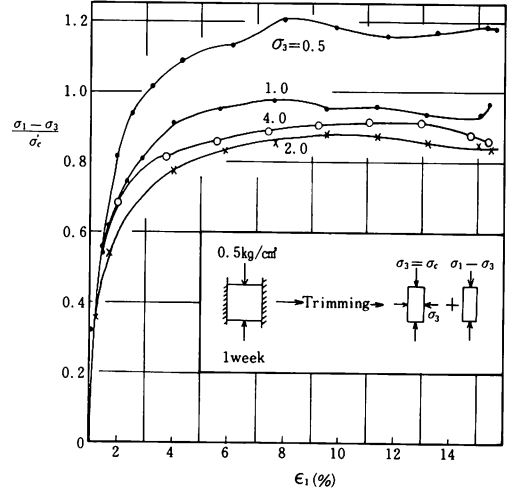


図-4 (a)

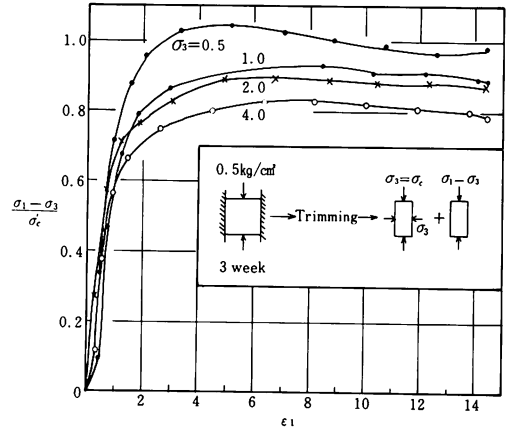


図-4 (b)

れば、予圧密期間の長いほうが過圧密土の変形性状に近いといえそうである。

(2) 応力径路について

図-5 に供試体内 45°面上の有効垂直応力とセン断応力の軌跡すなわち有効応力径路の一例を示す。 $\sigma'_c \approx 2 \text{ kg/cm}^2$ の場合以外の供試体はいずれも、セン断初期には有効垂直応力 $(\sigma'_1 + \sigma'_3)/2$ が増加するが途中からは間ゲキ水压のために有効垂直応力を減じつつ破壊状態に至っている。図示はしていないが他の予圧密条件においても同様の応力径路が得られている。図の $\sigma'_c \approx 2 \text{ kg/cm}^2$ の場合は有効垂直応力を減じつつもなお相当のセン断

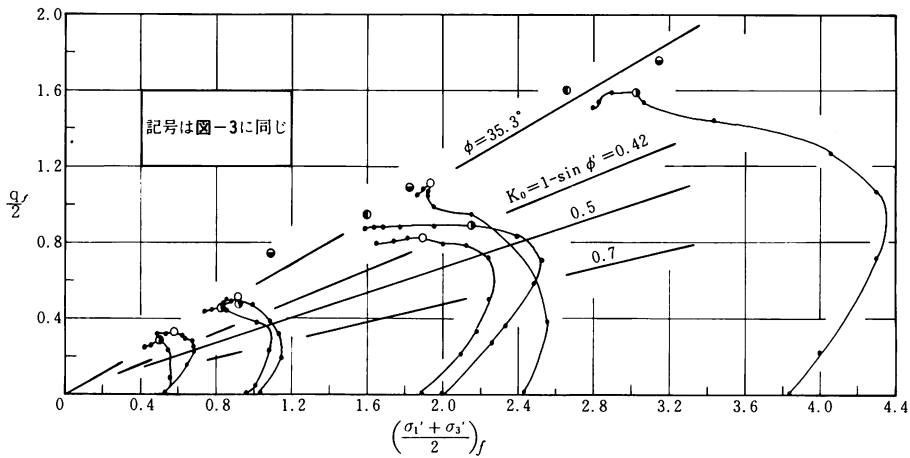


図-5

応力を保っている状態を示すが、このことと予圧密条件との関連は説明は付けられない。

(3) セン断強度について

軸差応力 q の最大値 q_f を破壊応力とすると非排水セン断強度は $C_u = q_f/2$ で表わされる。図-5には C_u と $(\sigma'_1 + \sigma'_3)/2$ の関係を示したが、それらは予圧密条件に依らずに一本の直線上に位置する。有効応力表示によるセン断抵抗角 ϕ' は $\sin \phi' = q_f/(\sigma'_1 + \sigma'_3)$ で計算されるから、図-5は予圧密条件が ϕ' に影響を及ぼさないことを示している。なお今回の ϕ' は 35° であった。

図-6は含水比 w_c と q_f の関係を示すが、この場合にも予圧密条件の影響は見られない。3-2で前述したように予圧密の応力の大きいほど、期間の長いほど同一の σ'_m での w_c は小さい傾向にある。そのことと図-6のような w_c と q_f の一義的関係を合せ考えると、予圧密応力の大きいほど、期間の長いほど同一の σ'_m での強度 q_f が大きいということになる。北郷らは²⁾ K_0 圧密後すぐに非排水セン断を行なった場合と、 K_0 圧密後に軸差応力を解放したのちに等方圧密非排水セン断を行なった場合の強度を比較し、同一 σ'_m においては前者のほうが10~20%ほど大きな q_f を示すと報告している。今回の実験では途中に供試体整形の段階を経ていることと、圧密応力 σ'_m が異方圧密時の p_c より相当に大きいことから、予圧密時の異方性はかなり消滅するものの傾向としてはその報告と一致している。いっぽう三笠⁴⁾らは K_0 圧密時間が長くなるほど、同じ W_c での強度が大きくなることを示しているが、図-6はそれと一致しない。

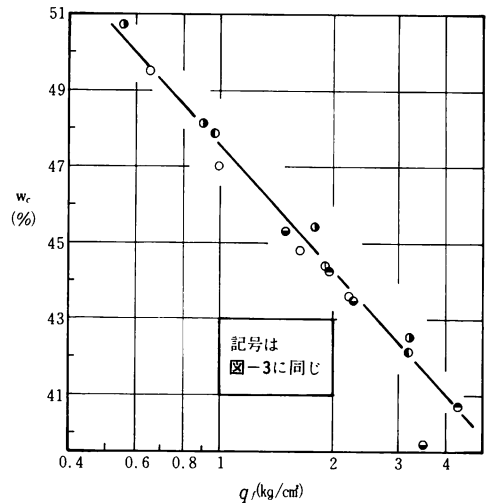


図-6

4. ま と め

以上、5種類の予圧密条件が、その後の圧密非排水セン断挙動に及ぼす影響を述べてきたが要約すると次のようである。

- 1) 予圧密条件を変化させたのは、粘土の異方構造の程度を変えることを意図したものである。
- 2) 予圧密条件は、セン断前の等方圧密後の含水比に、ひいては強度に影響を及ぼす。
- 3) セン断中の有効応力径路の形状や、含水比と強度の関係、変形係数は予圧密条件の影響を受けない。

しかしながら1)を直接的に証明する手段がないことや、強い異方構造があるならば3)の事項にも影響が現われるはずとの予期に反したこと、さらには実際の地盤では今回の軸対称三軸圧縮状態とは異なる応力条件であることなどの問題点があるが、今後さらに実験を重ねていきたい。

本研究を行なうにあたっては、実験や資料整理に佐々木宏視技官、本校卒業生の降矢修君に多大の御協力を得た。記して深く感謝する次第である。

参 考 文 献

- 1) C. C. Ladd ; Stress-Deformation and Strength

Characteristics, Proceedings of the 9th International Conference on S. M. F. E, SOA Report, 1977

- 2) 北郷繁, 三田地利之ほか; 粘性土のサンプリングに伴う応力変化が非排水せん断強度におよぼす影響, 技術報告資料, No.12, 1972, 土質土学会北海道支部
3) 山田恭央, 石原研而; 立方体三軸せん断装置における砂の異方性, 第31回土木学会講演集, 1975
4) 三笠正人, 木下哲生ほか; 粘性土の圧密時間とせん断強さについて, 第6回土質工学研究発表会講演集, 1971

(昭和52年11月30日受理)

