

九州大学 工学部 正員 山内聖聡
西日本工業大学 正員 安原一哉
九州大学 工学部 学生員 〇了成公利

1. まえがき

ここでいう繰返し圧密とは、静荷重によるいわゆる一次元圧密と同様の側方拘束された条件で、ある一定荷重がある周期をもって繰返される場合に生ずる圧密沈下現象を指すものである。本文は以下の様なことを調べる目的で、過圧密粘土に限って実験的研究を行ったもので、今回は現象論的に図-6に示す力学モデルを、仮定して考察を行ってみた。

①一定荷重の繰返し荷重をうける場合と、静荷重をうける場合の圧密変形特性

②応力履歴の相違による圧密降伏応力への影響

③各々の応力履歴後の土粒子の圧密特性の比較

2. 実験概要

2-1. 試料 福岡市名島の海成粘土で、その物理的性質は表-1に示す通りである。 2-2. 実験装置 繰返し圧密試験装置は通常の静的圧密に

比 重 G_s	2.75
液性限界 W_L	83 %
塑性限界 W_P	38 %
塑性指数 I_P	45

表-1 物理的性質

用いる圧密試験機に、定荷重が繰返し荷重になるように、改良したもので先の報告と同一のものである。

2-3. 実験方法 ペースト状にした試

料に、人工的に先行荷重 $P_0 = 1.1 \text{ kg/cm}^2$ を与える。この試料を通常の圧密リングにセットし、 $P_0 = 0.2, 0.3, 0.4, 0.6, 0.8 \text{ kg/cm}^2$ なる5種類の荷重で2日間静的、繰返し圧密を行った後、荷重を除去し2日間放置した。その後、各々についてどの様に力学的、構造的に変化したかを調べるため通常の圧密試験を行った。なお繰返し試験における周期は1分(載荷30秒、除荷30秒)であった。

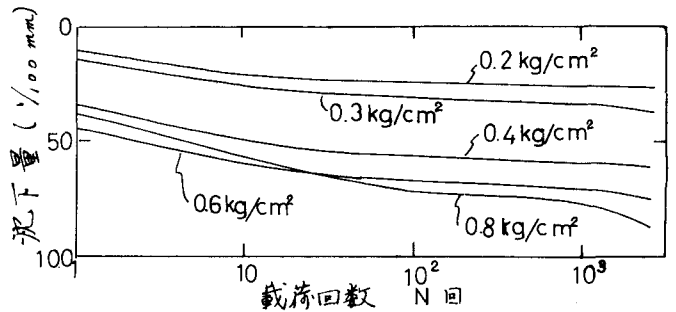


図-1 繰返し応力による載荷回数・時間曲線

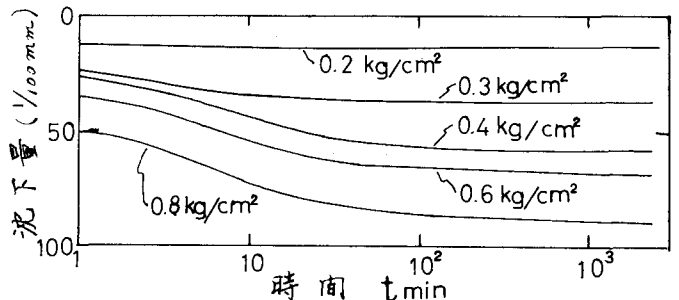


図-2 静的応力による時間・沈下曲線

3. 実験結果

3-1. 定荷重の繰返し、および静的圧密試験について 図-1、図-2に繰返し、静的圧密へ時間・沈下曲線を示す。先報では静的圧密より繰返し圧密の沈下量が卓越してしたが、今回の名島粘土においては48時間では、ほとんど差異がない。これは試料が海成粘土であるため、端面接触を形成している土粒

子の結合力が、強いため載荷、除荷による自由水の移動等の物理的作用があるにもかかわらず、48時間位では、リン7結合を完全に破壊するに至らないためと考えられる。しかし繰返し圧密において、10回を越えた付近に変曲点が見られる。これは、その付近において粒子がスライドし始めるためと推察される。又、このことより、それ以後に著しい況下が予想されるが、残念ながら十分なデータが得られていない。

3-2 繰返し及び静的応力載荷後の静的圧密特性

(1) $e-\log P$ 曲線 図-3 に繰返し応力載荷後の、図-4 に静的応力載荷後の $e-\log P$ 曲線を示す。繰返し圧密応力履歴をうけた試料では、圧密降伏応力 P_y はいずれも先行荷重 $P_c = 1.1 \text{ kg/cm}^2$ より大きく現われている。又、先報の先行荷重 $P_c = 1.2 \text{ kg/cm}^2$ の針尾粘土においても、 $P_o = 0.2, 0.3, 0.4 \text{ kg/cm}^2$ なる繰返し荷重載荷後の P_y は $1.4, 1.55, 1.9 \text{ kg/cm}^2$ と上昇している。これらのことから繰返し圧密によれば、過圧状態でもプロローディング効果があることがわかる。

一方静的応力負荷後の圧密降伏応力は先行荷重に、等しいか小さな値を示す。

以上により先行荷重より小なる繰返し応力及び静的応力を受けた際の圧密降伏応力 P_y と時間 t の関係は、模式図として図-5 の様に表わせる。つまりペースト状にした試料 P_c という荷重を長時間まで載荷し、以後繰返し荷重 $P_1, P_2, \dots$ 静的荷重 $P'_1, P'_2, \dots$ を載荷する。

(ただし $P_c > P_1 > P_2 > \dots, P_c > P'_1 > P'_2 > \dots$ とする) まず t_1 まででは、先行荷重 P_c を急速に記憶しようとする期間で、 $P_y < P_c$ である。 t_1 以後では、セメンテーション等の影響により $P_y > P_c$ となる。 t_2 以後では、繰返し応力 ($P_1, P_2, \dots$) を受けた場合は、構造変化やその他の要因で、 $P_y > P_{c2}$ となる。一方静的荷重を受けた場合は、繰返し応力を受けたときの様な土粒子のスライドはなく、たゞ単に土粒子間距離を縮めるだけであるので、降伏応力 $P_y = P_{c2}$ であるが、時間と共に以前の記憶を忘れるため若干であるが P_y は減少する。

(2) 四要素模型の定数 繰返し及び静的応力、履歴後の静的圧密曲線を、図-6 に示す様な四要素模型を仮定して解析を行った。

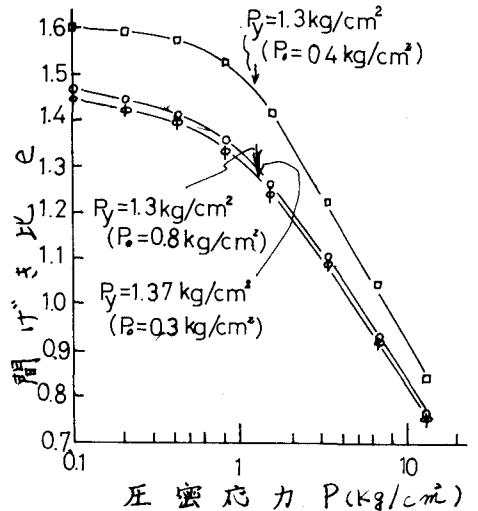


図-3 繰返し応力負荷後の $e-\log P$ 曲線

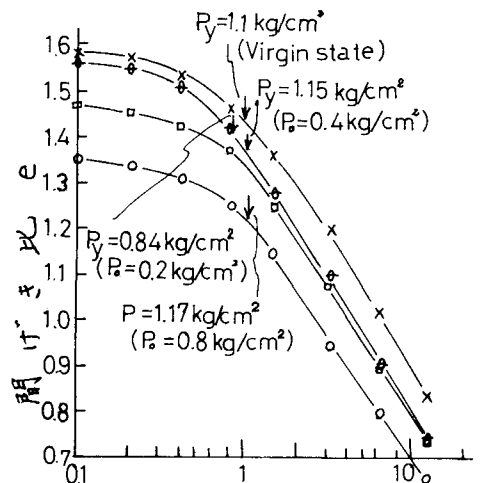


図-4 静的応力負荷後の $e-\log P$ 曲線

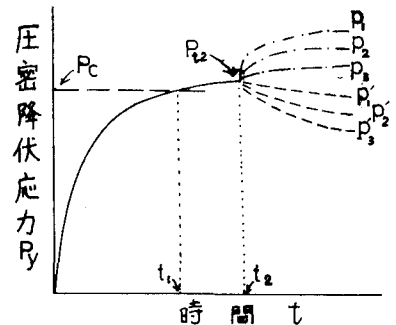


図-5 繰返し及び静的応力負荷後の P_y のプロセス

このモデルにおいて、一定応力 P を与えた沈下量とは、

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \frac{P}{E_1} + \frac{P}{\eta_3} t + \frac{P}{E_2} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{E_2}{\eta_2} t\right) \right\} \quad \text{--- ①} \\ &= \left\{ \frac{1}{E_1} + \frac{1}{\eta_3} + \frac{1}{E_2} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{E_2}{\eta_2} t\right) \right\} \right\} P \\ &= \left\{ J_0 + J_1(t) + J_2(t) \right\} \cdot P\end{aligned}$$

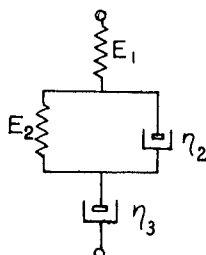


図-6 四要素模型

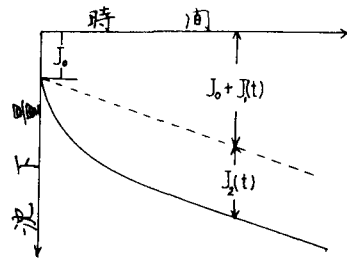


図-7 単位応力を与えるときの沈下量

ここで

$J_0 = 1/E_1$: 瞬時的成分

$J_1(t) = t/\eta_3$: 粘性成分

$J_2(t) = \left\{ 1 - \exp\left(-E_2 t/\eta_2\right) \right\}$: 遅延成分

となり、単位応力を与えたとき、図-7の様になることから、 E_1, E_2, η_2, η_3 が求まる。その結果を図-8 ~ 図-11 に示す。

まず E_1, E_2, E については、圧密降伏応力点付近を境にして勾配の異なる直線になるので、 E_1, E_2, E との関係を表式に示す。

○繰返し応力履歴の試料 単位 kg/cm^2

過 圧 密 領 域	正 規 圧 密 領 域
$E_1 = 250 P^{0.77}$	$E_1 = 250 P^{0.65}$
$E_2 = 36 P^{0.23}$	$E_2 = 18 P^{0.79}$
$E = 24$	$E = 20 P^{0.69}$

○静的応力履歴の試料 単位 kg/cm^2

過 圧 密 領 域	正 規 圧 密 領 域
$E_1 = 200 P^{0.78}$	$E_1 = 150 P^{0.79}$
$E_2 = 36 P^{0.26}$	$E_2 = 21 P^{0.72}$
$E = 24$	$E = 20 P^{0.69}$

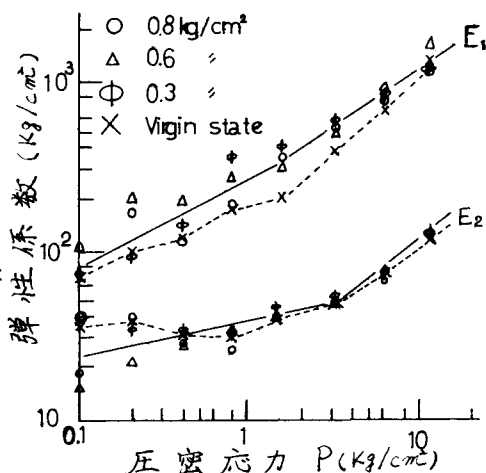


図-8 繰返し応力履歴後の弾性係数の変化

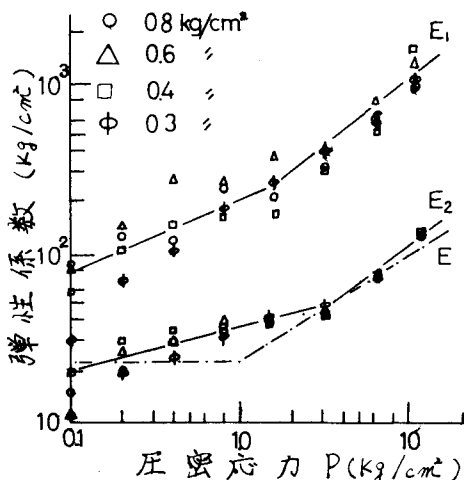


図-9 静的応力履歴後の弾性係数の変化

図でもわかるように静的応力履歴より、繰返し応力履歴の方が、 E_1 は卓越している。これは繰返し応力により構造上の変化が起り、瞬時的圧縮が生じにくい構造になったことを示している。 E_2 は、両者にほとんど差異がない。土粒子の弾性係数 $E = 1 / (1/E_1 + 1/E_2)$ も、差異がなく、図-9 の一点鎖線の様になる。両者とも過圧密領域

では、 $E = \text{const.}$ となり、弾性的であることを裏づけている。正規圧密領域では、 E に指数関数的に増加している。次に粘性係数 η は、弾性係数同様、降伏点を境にし、勾配の異なる二直線で示され

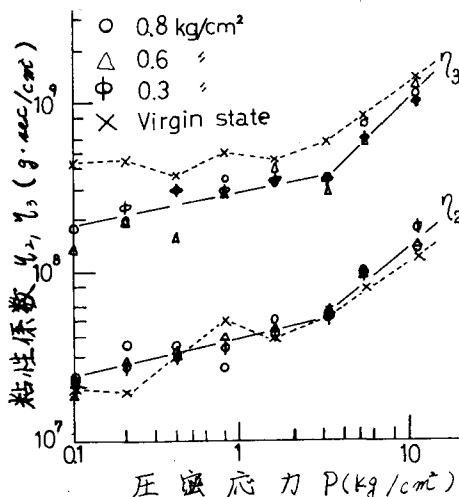


図-10 繰返し応力負荷後の粘性係数の変化

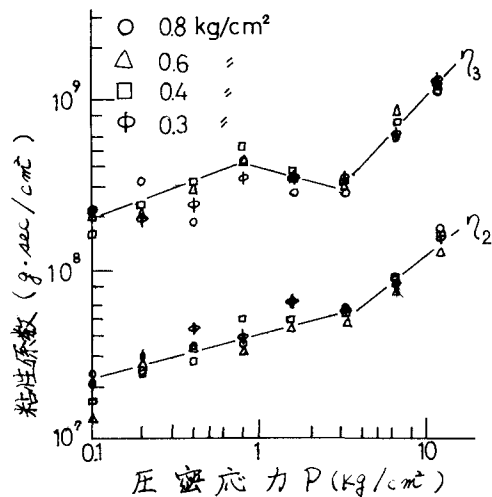


図-11 静的応力負荷後の粘性係数の変化

る。数式表示する。

繰返し応力履歴の試料 (単位: $g \cdot sec / cm^2$)

過圧密領域	正規圧密領域
$\eta_2 = 4.0 \times 10^7 \times P^{0.26}$	$\eta_2 = 2.2 \times 10^7 \times P^{0.77}$

静的応力履歴の試料 (単位: $g \cdot sec / cm^2$)

過圧密領域	正規圧密領域
$\eta_2 = 4.3 \times 10^7 \times P^{0.22}$	$\eta_2 = 2.4 \times 10^7 \times P^{0.71}$

図でもわかる様に、両者にはほとんど差異がない。上述の E_2 に差異がないことを考え合わせると、遅延時間 $\tau_c = \eta_2 / E_2$ は、ほとんど同じで10秒前後である。 η_3 は過圧密領域で繰返しより静的の方が卓越している。これは①の式より $d\epsilon_{t \rightarrow \infty} / dt = \eta_2 / t$ であるから、過圧密領域では、繰返しの方が、クリープ的沈下が卓越する結果であると言える。静的においても、若干ではあるが繰返しにおいても降伏応力が付近に、ピークをもつ。以上レオロジー定数の大小関係をまとめると表-2の通りである。

4. あとがき

以上まとめると次のようになる。

- ①定荷重の繰返し試験において、10³回前後で変曲点が見られ、沈下が著しくなる。表-2定数の大小
 - ②繰返し応力履歴をうけた過圧密粘土は、その圧密降伏応力を増大させるが、静的応力履歴をうけた過圧密粘土は、等しいか、またはやや減少させる。
 - ③繰返し及び静的応力履歴をうけた後のレオロジー定数の大小関係は、表-2のようである。
- 今後は、もっと長期間の繰返し載荷試験を行う予定である。

参考文献 12. 山内, 安原, 予戒(1972): 過圧密粘土の繰返し圧密特性について 第7回土質工学研究発表講演集

	繰返し	静的
E_1		>
E_2		≐
η_2		≐
η_3		<