

投稿論文 (和文)
PAPERS

排水を伴う非排水繰返し三軸試験における異方圧密不攪乱粘土の挙動

安原一哉*・Knut H. ANDERSEN**
・Torolv BERRE**

波浪荷重を受ける粘土地盤の挙動を調べるため、不攪乱正規圧密および過圧密粘土に対して、非排水繰返し三軸試験を行った。特に、非排水繰返し載荷の休止期間における排水の効果がその後の力学的性質に及ぼす影響を調べ、排水履歴は正規圧密粘土の性状を改善するが、過圧密粘土では逆に排水によって強度を低下させることがあるので設計施工にあたって注意を要することを指摘した。

Keywords : clay, cyclic triaxial test, compressibility, drainage

1. 緒言

長期繰返し荷重に属する交通荷重や波浪荷重の特徴の一つは、あるシリーズとつぎのシリーズの繰返し載荷の間に休止期間があって、このとき非排水繰返し履歴中に累積した過剰間隙水圧が消散する可能性があることである。著者ら^{1),2),3)}は、先に乱さないドラメン粘土に対する繰返し単純せん断試験によってこのような条件下での粘土の変形挙動及び再沈下特性と、その後のせん断挙動を調べたことがある。それによって次のことが判明した。

(1) 正規圧密粘土では、非排水繰返し応力負荷後の排水履歴によって粘土供試体は、次のシリーズの繰返し応力に対する抵抗力を増大させる。

(2) これに対し過圧密粘土では、たとえ排水履歴を受けても、次の繰返し応力に対してむしろ抵抗力は低下し、ついには破壊に至ることがある。

(3) 繰返し履歴後の排水に伴う再沈下は非排水繰返し荷重負荷中に生じた間隙水圧と鉛直応力との比、 $\Delta u/\sigma'_c$ によって一義的に決まる。そしてこの関係は、正規圧密粘土、過圧密粘土に共通である。またこのような再沈下の予測のためのパラメータとしては、圧密試験から得られる再圧縮指数 C_r が有用である。

このうち、(1)は松井⁴⁾によってすでに確かめられた事実である。また、(2)については Andersen ら⁵⁾が最初に行った結果をさらに著者ら¹⁾が追試を行って確認したものである。

本文では、乱さないドラメン粘土に対する繰返し単純せん断 (DSS) 試験¹⁾⁻³⁾との比較のために行った排水を伴う繰返し三軸試験結果を上記の単純せん断試験におけると同じ立場から考察を加え、長期繰返し荷重を受け

る粘土の挙動に対する排水履歴の影響を明らかにするとともに、応力状態や主応力反転の影響についても議論を加えたものである。

2. 海洋構造物下の地盤内応力状態⁶⁾

波浪の繰返し作用を受ける海洋構造物下の応力状態は極めて複雑である。Fig.1は構造物下の基礎地盤において、破壊の可能性のある面に沿ったいくつかの典型的な土要素における荷重状態を、対応しうると考えられる試験条件として表示したものである。ここでせん断応力は三軸試験においては水平面と45°を成す面土の応力を表すものとする。したがって、平均せん断応力 τ_a は、①初期せん断応力 $\tau_0=0.5(1-K)\sigma'_{v0}$ (σ'_{v0} :初期鉛直有効応力、 K :主応力比) および②構造物載荷後のせん断応力 $\Delta\tau_a$ との重ね合わせによって

$$\tau_a = \tau_0 + \Delta\tau_a \dots\dots\dots (1)$$

と表される。ここで、 $\Delta\tau_a$ は最初是非排水条件で作用するが、構造物の自重によってこのせん断応力は排水に寄与することになる。

一方、繰返しせん断応力については、Fig.1では圧縮・伸張それぞれの領域でのみ荷重が繰返される土要素の場合を示しているが、要素によっては載荷中常に主応力が反転(圧縮から伸張領域または伸張から圧縮領域)する場合もある。

繰返しせん断強度 $\tau_{f,cy}$ は上述の破壊時の平均せん断応力 $\tau_{a,f}$ と破壊時の繰返しせん断応力 $\tau_{cy,f}$ の和によって支えられる。すなわち

$$\tau_{f,cy} = (\tau_a + \tau_{cy})_f \dots\dots\dots (2)$$

によって定義される。

3. 異方圧密粘土の静的非排水強さ⁷⁾と繰返し荷重強度の設定

乱さないドラメント粘土を $\sigma'_0=392$ kPa で異方圧密

* 正会員 工博 茨城大学教授 工学部都市システム工学科 (〒316 日立市中成沢町4-12-1)

** Norwegian Geotechnical Institute, Section Leaders

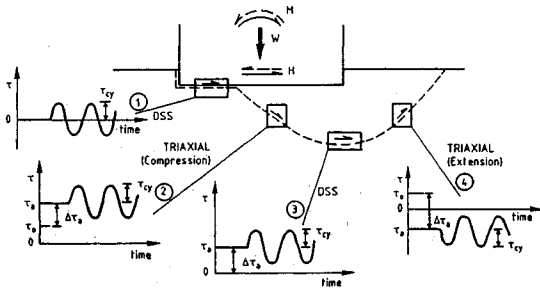


Fig.1 Simplified load conditions for some elements along potential failure surface⁶⁾

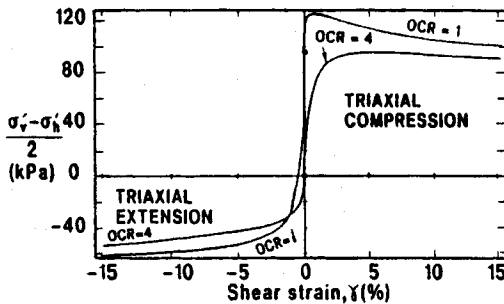


Fig.2 Stress-strain curves for undrained static loading on Drammen clay⁷⁾

Table 1 Undrained static shear strengths (Failure defined as peak shear stress or as shear stress at 15% shear strain if there is on peak.)

OCR	σ'_{vc} (kPa)	σ'_{hc} (kPa)	Undr. static shear strengths (kPa)		
			s_{uC}	s_{uDSS}	s_{uE}
1	392	200	126.5	84.0	63.0
4	98	100	96.0	69.0	52.5

s_{uC} : undrained static triaxial compression strength

s_{uDSS} : undrained static DSS strength

s_{uE} : undrained static triaxial extension strength

(圧密中 K_0 条件を近似的に満たすよう圧密)させた後、ひずみ速度 0.1%/min で圧縮および伸張せん断させる。このときの応力・ひずみ曲線を Fig.2 に示している。また、 $\sigma_v = 392$ kPa より OCR=4 となるように除荷した後 $\sigma_{vc} = 98$ kPa ($\sigma_{hc} = 100$ kPa) のもとでせん断させた結果も併記している。このときの有効応力パスは Fig.3 に示されている。Fig.2 の応力ひずみ曲線のピークをせん断強度としてこれをまとめてみると Table 1 のようになる。ピークの出ないものについては 15% ひずみに相当する $(\sigma_v - \sigma_h)$ の 1/2 をせん断強度として採用している。これから静的せん断強さについて伸張強さは圧縮強さの約 50% であり、このことから非排水強さは強い異方性を示すことがわかる。

異方圧密土の繰返し載荷強度は Fig.2 に示された応力・ひずみ曲線によって決められた。すなわち、Fig.4 を参照すると、鉛直応力 σ_{vc} 、水平応力 $\sigma_{hc} (=K_c \cdot \sigma_{vc} (K_c$

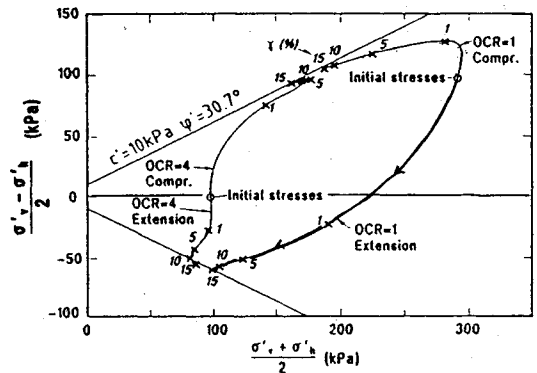


Fig.3 Stress paths for static triaxial tests on Drammen clay⁷⁾

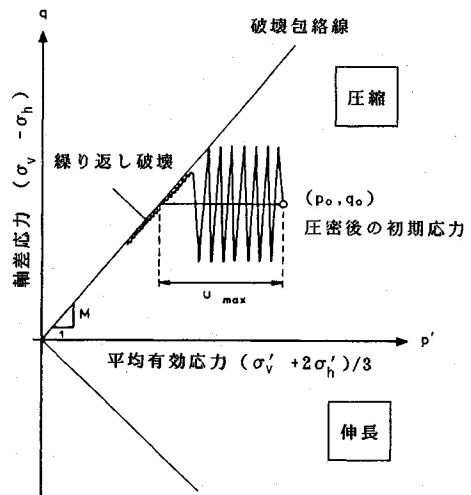


Fig.4 Limiting value of residual pore pressure for anisotropic CU cyclic loading¹²⁾

(主応力比)) で異方圧密後 $\tau_{cu} = \Delta\sigma_v/2$ なる非排水繰返し荷重を受けるとき、破壊までに生じる過剰間隙水圧 u_{max} は

$$\frac{u_{max}}{\sigma'_{vc}} = 1 - \frac{3}{M} \left[\frac{(1-K_c)}{1+2 \cdot K_c} \right] \dots \dots \dots (3)$$

によって与えられる。ここで、 M は限界状態パラメータである。本文では、主として破壊に至らない海洋構造物下の地盤の沈下問題を扱っているので、繰返し載荷中に供試体が破壊に至らないように注意を払った。したがって、上式による間隙水圧が生じる以前に載荷を停止しなければならない。同時に、通例繰返し載荷を受ける異方圧密土の破壊時のせん断ひずみ γ_a ($\tau_{cu} = 0$ K におけるひずみ) を 5% とすると、非排水繰返し載荷とその後の排水過程を繰返すとき、少なくとも、最初のシリーズの非排水繰返し載荷ではこれに至る以前で載荷を停止する必要がある。本研究における繰返し応力強さとその載荷回数は以上のような考えに従ったひずみを基準とし

Table 2 Stress conditions of cyclic triaxial tests on both NC and OC Drammen clays

Test no.	σ_{vc} (kPa)	σ_{hc} (kPa)	τ_{cy} (kPa)	$\Delta\tau_a$ (kPa)	OCR	τ_{cy}/s_u^A
C-1 (Type A)	392	196	19	0	1	0.15
C-2 (Type A)	"	"	31	0	"	0.25
C-3 (Type B)	"	"	"	0	"	0.25
C-4 (Type A)	39.2	49	20	-4.8	10	0.28
C-5 (Type B)	"	"	17.5	-5.2	"	0.25

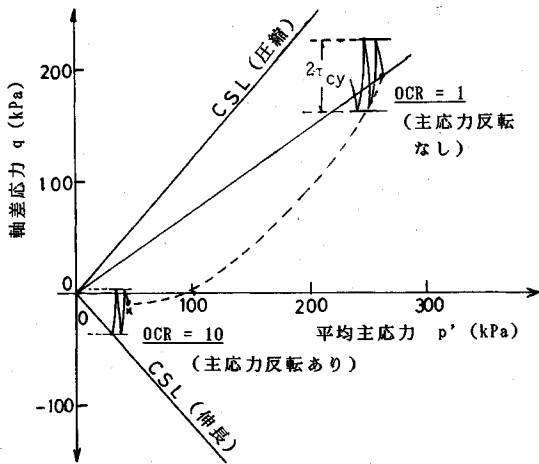


Fig.5 Stress paths for anisotropic CU cyclic loading on both normally consolidated and overconsolidated soils

て決められた。

4. 乱さないドラメン粘土に対する 非排水繰返し三軸試験

Fig.1における要素②を想定した応力状態に対応するような繰返し三軸試験を行った。試験には乱さないドラメン粘土 ($G_s=2.76$, $w_L=55\%$, $I_p=27$, 自然含水比 $w_i=50\sim 55\%$) を用いた。供試体は径 54 mm, 高さ 110 mm の円筒状である。先行圧密はいずれも鉛直応力, $\sigma_{vpc}=392$ kPa のもとで異方圧密された。このときできるだけ K_0 圧密 ($K_0=0.5$) を保ちうるよう異方圧密中の供試体の体積ひずみ ϵ_v と軸ひずみ ϵ_a とが等しくなるよう鉛直荷重と側圧とをコントロールした。また, 過圧密供試体 (OCR=10) では, Fig.5 に示すように先行圧密後 $\sigma_{vpc}/\sigma_{vc}=10$ となるよう所定の σ_{vc} ($=39.2$ kPa) まで除荷させる。このとき側圧も先行圧密時の $\sigma_{hpc}=196$ kPa から $\sigma_{hc}=49$ kPa まで除荷させる。したがってこのとき主応力比は $K_c=\sigma_{hc}/\sigma_{vc}=49/39.2=1.25$ であ

るが, この値は Brooker と Ireland⁸⁾ の過圧密粘土の静止土圧係数に関する研究を参考にして決められた。

正規圧密粘土では, 先行圧密後, 増加初期せん断応力 $\Delta\tau_a$ を非排水条件のもとで 1 時間負荷した。その後繰返しせん断応力 τ_{cy} を周期 $T=10$ sec で所定の回数だけ負荷する。このような手順を供試体が十分安定化, あるいは完全破壊 ($8a=5\%$) する直前まで繰返す。ここで行われた実験条件は Table 2 にまとめられている。

ここで, タイプ A とは繰返し載荷後 1 度だけ排水過程を許すものを指し, タイプ B とはこのようなシリーズを数回繰返すものを指している。

なお, 非排水繰返し載荷によって生じる間隙水圧は供試体底面中央部において測定された。

5. 排水を伴う繰返し荷重を受ける 正規圧密粘土の挙動

土が軸対称条件で両振りの繰返し荷重 τ_{cy} を受けるとき, 主応力反転のある場合 ($\tau_{cy} > \tau_a$), ない場合 ($\tau_{cy} < \tau_a$) とで挙動が異なることがある。ただし, ここで行われた異方圧密 ($K_c=0.5$) された正規圧密粘土に対する繰返し三軸試験においては, いずれも $\tau_{cy} < \tau_a$ なので供試体は主応力の反転の影響を受けない。それゆえ, ここでは主応力反転の影響を議論することはできない。

まず, $\sigma_{vpc}=392$ kPa で異方圧密された後, $\Delta\tau_a=0$ で $\tau_{cy}/s_u^A=0.15$ (s_u^A : 異方圧密粘土の非排水強さ) なる繰返し荷重を $T=10$ sec の周期でせん断ひずみ γ_a がほぼ 2% (すなわち, 軸ひずみ $\epsilon_a \approx 3\%$) に到達するまで負荷した。このとき, 繰返し載荷に伴う軸ひずみ ϵ_a と過剰間隙水圧比 $\Delta u/\sigma_{vc}'$ の変化を Fig.6 と Fig.7 に示している。主応力の反転がないため繰返し軸ひずみ ϵ_{cy} は小さいが, 平均軸ひずみ ϵ_a ($\tau_{cy}=0$ におけるひずみ) が卓越することがわかる。

同じ正規異方圧密粘土に対し, 繰返し荷重強度 $\tau_{cy}/s_u^A=0.25$ のもとで Type B の繰返し三軸試験を

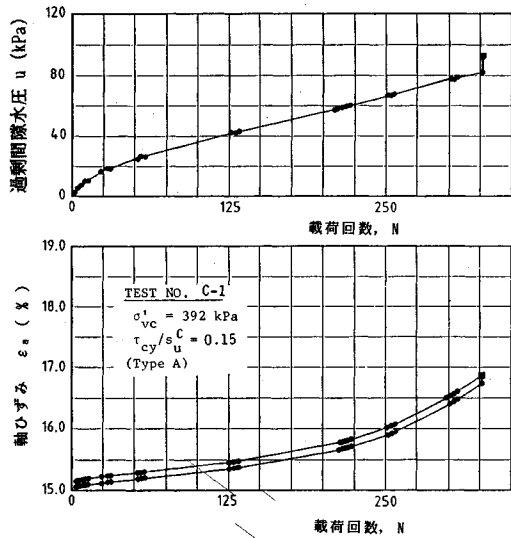


Fig.6 Variations of pore pressure and axial strain with number of load cycles in cyclic triaxial tests on NC Drammen clay (Type A).

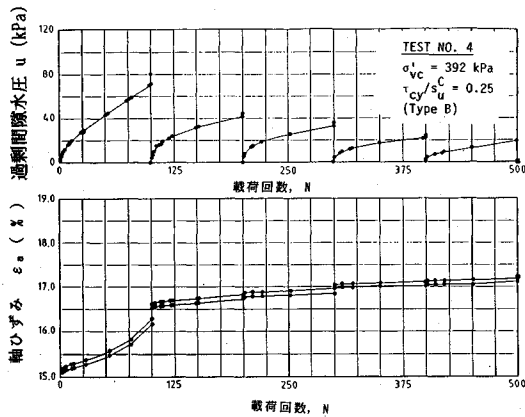


Fig.7 Variations of pore pressure and axial strain with number of load cycles in cyclic triaxial tests on NC Drammen clay (Type B).

行った。この試験では先行圧密後繰返し荷重を 100 回負荷した後、いったん、繰返し荷重を停止し、生じた間隙水圧 Δu を消散させる。このときの測定時間は生じた間隙水圧が十分消散するのを確認するため約 3 時間とした。その後さらに所定の繰返し荷重を加える。そしてこのような過程を 5 回繰返す。したがって、平均的に繰返し回数は合計で 500 回となる。

この実験 (Type B) の非排水繰返し過程における間隙水圧 Δu および平均軸ひずみ ϵ_a と载荷回数との関係を Fig.7 に示している。軸ひずみ、間隙水圧ともに排水履歴を受けるたびに増加の度合いが鈍くなっており、繰返し荷重に対する抵抗性が改善されていることがこれらの結果からわかる。この事実は繰返し単純せん断試験の結

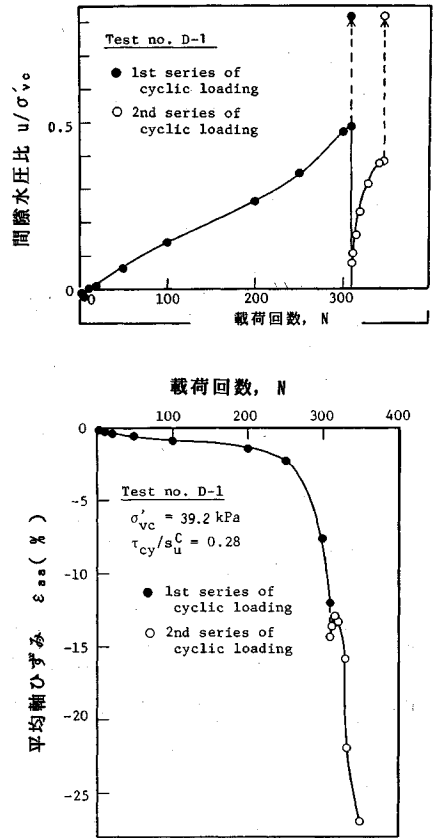


Fig.8 Development of pore pressure and axial strain with number of load cycles in cyclic triaxial tests on OC Drammen clay (Type A).

果とも共通している^{11),13),14)}。

6. 排水を伴う繰返し荷重を受ける過圧密粘土の挙動

OCR=10 の乱さないドラメン粘土に対しては繰返し応力比 $\tau_{cy}/\sigma_{oc} = 0.219$ と 0.250 となるよう繰返しせん断応力 τ_{cy} を周期 $T=10$ sec で負荷した。この場合、载荷回数 N の選び方などはかなり任意である。 $\sigma_{opc} = 392$ kPa, $\sigma_{hpc} = 196$ kPa から除荷して、 $\sigma_{oc} = 39.2$ kPa, $\sigma_{hpc} = 49$ kPa なる主応力のもとで膨潤 (24 hrs) 後、繰返しせん断応力を負荷する。この場合 Fig.5 に示したように、繰返し载荷に伴って主応力は常に反転しており、Test D-1 (タイプ A) において特にこのことは顕著である。Test D-1 と Test D-2 (タイプ B) とでは、過剰間隙水圧とせん断ひずみの変化の様子はそれぞれ異なっていることが、Fig.8, Fig.9 からわかる。なお、両図では、繰返し载荷停止後間隙水圧はかなり上昇しているが、これは供試体内の間隙水圧の再配分によるものと思われる。

まず、Test D-1 では Fig.8 からわかるように、最初シリーズの繰返し荷重のもとで伸張側にひずみが累積

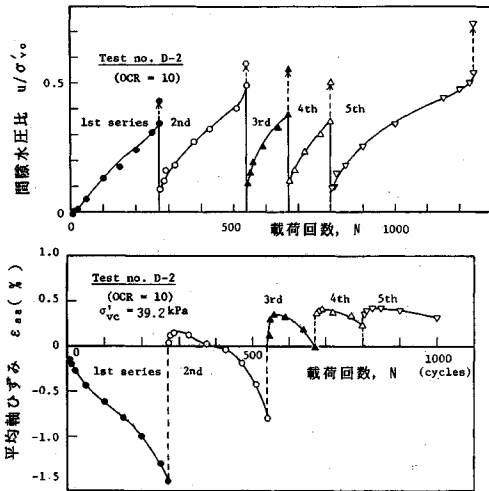


Fig.9 Development of pore pressure and axial strain with number of load cycles in cyclic triaxial tests on OC Drammen clay (Type B).

し、破壊に至っている。そして、排水過程を経験してもいったん劣化した粘土構造は回復しえず、次のシリーズの繰返し載荷によってほとんど完全に破壊に至っている。このとき過剰間隙水圧は繰返し載荷停止後は、鉛直荷重 σ_{vc} のほぼ8割ほどに達している。この点は正規圧密粘土のそれと良く類似している。

一方、Test D-2では Fig.9 に示すように、最初のシリーズの繰返し載荷ですでに危険な状態にあることが $\epsilon_a \sim N$ 関係から予測されたが、いったん排水履歴を受けた後は、平均軸ひずみも次第に圧縮側に累積する傾向を示すとともに、繰返し荷重に対する間隙水圧の応答も鈍感となり、より安定な状態に至っていることがわかる。このような挙動は、同じ粘土に対する繰返し単純せん断試験におけるものと良く類似している¹⁾。このように、過圧密粘土では、非排水状態で繰返しせん断途中に排水過程を含むことによって繰返しせん断応力のレベルによって粘土正規圧密土と同様に安定化して構造を形成させる場合と、排水過程の有無に関係なく、次のシリーズの繰返しせん断によって破壊して構造が逆に劣化する場合とがあり、この点が正規圧密粘土と異なるところである。

7. 繰返し荷重履歴後の圧縮特性

(1) 繰返し荷重履歴後の再圧縮

繰返し荷重によって生じた過剰間隙水圧は、繰返し荷重載荷の停止によって消散する可能性がある。このとき、この間隙水圧の消散に伴って粘土供試体は体積変化を生じ、これが実際の粘土地盤では再沈下につながるようになる。

著者ら^{2),3)}は、すでに述べたようにこのような挙動を

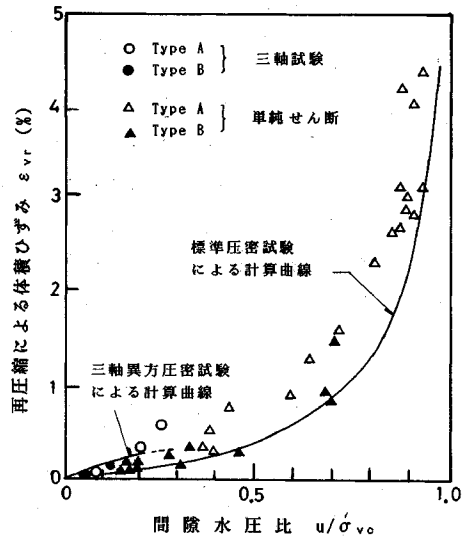


Fig.10 Post-cyclic recompression volumetric strain related to excess pore pressure ratio on normally consolidated Drammen clay.

繰返し単純せん断試験によって調べた。実験に用いた粘土供試体は同じ乱さないドラメン粘土であるが、ここで行われた繰返し三軸試験とは応力経路が異なっているので、その結果を本研究で得られた結果とを直接比較することはできない。両者の大きな相違は、単純せん断試験においては主応力の連続的な回転を伴うのに対し、等方圧密土に対する繰返し三軸試験においては主応力が圧縮から伸張状態に移るとき急激に90°反転する。しかし、ここで行った試験では先行圧密が異方応力状態であるため、正規圧密土では、繰返し載荷時にも主軸の反転がみられない。したがって、本研究における結果と先に得られた単純せん断試験結果^{1),13)}を対応させることによって、繰返し荷重負荷後の再沈下に対する主応力回転の影響について議論することができる。

これに対し過圧密粘土 (OCR=10) では先行荷重除荷後の応力状態はすでに述べたように、ほぼ等方応力状態に近い。そのため繰返し応力負荷に伴って主軸が反転する。したがって、ここにおいて三軸試験と単純せん断試験結果を比較することによって、主応力の連続的回転の再沈下に対する影響を調べることができる。

以上の観点から実験結果を考察してみよう。Fig.10と Fig.11はそれぞれ、正規圧密粘土と過圧密粘土 (OCR=10) の非排水繰返し荷重負荷後に生じた間隙水圧と $\Delta u/\sigma'_{vc}$ とその消散に伴う体積ひずみ ϵ_{vr} との関係を示している。これらの図には同時に、先に行った単純試験結果も併せてプロットしている。これから以下のようなことがわかる。

1) 繰返し後の再沈下による体積ひずみは、三軸試験

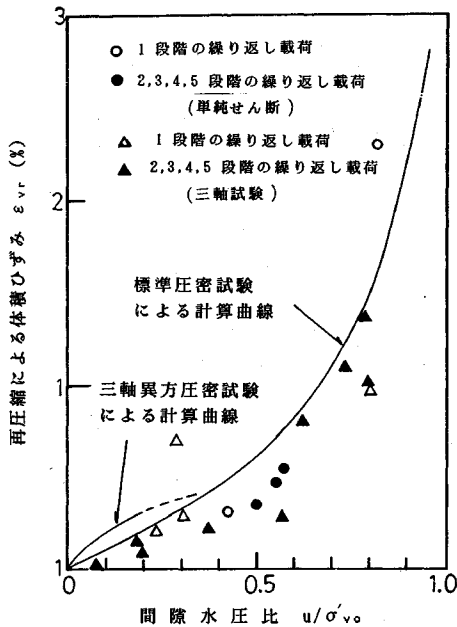


Fig.11 Post-cyclic recompression volumetric strain related to excess pore pressure ratio on overconsolidated Drammen clay.

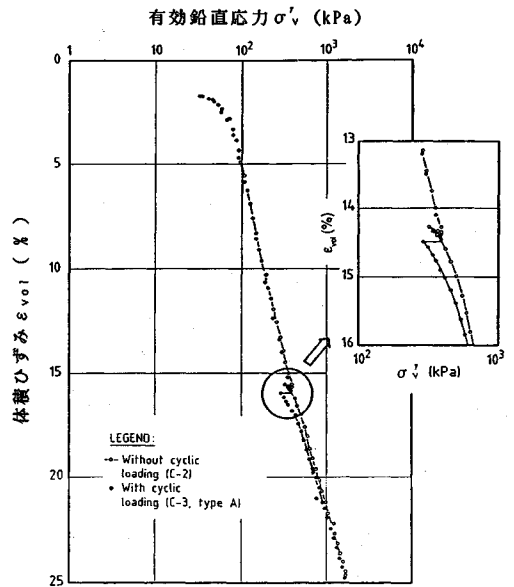


Fig.13 Void ratio versus effective vertical stress relation of Drammen clay subjected to cyclic loading with drainage (Type A).

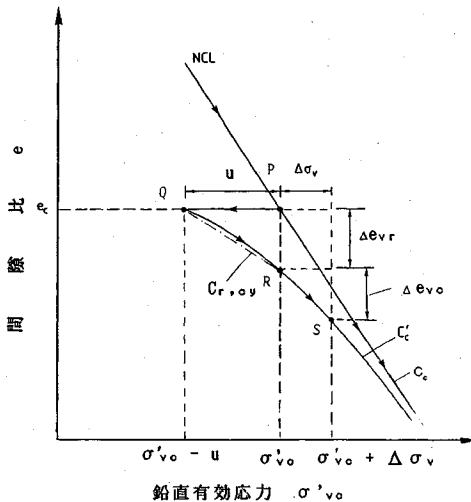


Fig.12 Schematic illustration of void ratio versus effective vertical stress relation of soils subjected to undrained cyclic loading with drainage.

による結果と単純せん断試験結果との間に大きな差異はない。このことは、再圧縮ひずみに対する繰返し時の主応力回転の影響は少なく、繰返し载荷による過剰間隙水圧が、たとえ主応力の回転による影響をうけたとしても、繰返し载荷時に生じた過剰間隙水圧によって一義的に決まると言うことがいえる。

2) 過圧密粘土の再圧縮ひずみは生じた間隙水圧比が同じであれば正規圧密土のそれとほとんど変わらず、間

隙水圧比によって一義的に決まる。

3) 再圧縮ひずみは間隙水圧比に支配される。先の繰返し単純せん断試験における再圧縮沈下の予測には圧密試験によって得られる再圧縮指数 C_r を利用するのが便利であることがわかっている^{2), 13)}。Fig.10, Fig.11にも同じ方法で標準圧密試験および三軸異方圧密試験から決められた再圧縮指数 C_r を用いた計算曲線を示したが、ここでは圧密試験によって求められた C_r を用いた計算結果と実験結果との対応が良好であることがわかる。

(2) 繰返し荷重履歴後の圧縮特性

繰返し荷重履歴によって蓄積された過剰間隙水圧が消散することによって、有効応力は初期状態 σ'_{vc} に戻る。仮に、海洋構造物による増加応力 $\Delta\sigma_r$ が Fig.12 に示すように、この初期有効応力 σ'_{vc} を越えるとき、波浪荷重を受ける構造物の基礎地盤の沈下評価のためには、この領域(すなわち、RS プロセス)における圧縮特性を知る必要がある。このような挙動を単純せん断試験によって行ったときと同様の手順^{2), 15)} で調べてみた。

Fig.13 と Fig.14 は、 $\tau_{cv}/s_u^c = 0.25$ のもとの、繰返し荷重 $\Delta\sigma_{cv}$ ($= 2\tau_{cv}$) を加えた後、引き続き主応力比 $\sigma'_i/\sigma'_e = 0.5$ を保ち得るよう異方圧密を行ったときの体積ひずみ ϵ_{vol} と鉛直応力 σ'_v との関係を示したものである。Fig.13 はタイプ-A の、Fig.14 はタイプ-B の繰返し荷重を負荷した結果である。これらの図には、繰返し荷重履歴を受けない異方圧密試験(試験番号 C-2)の結果を併せて記している。これから、正規圧密部分の圧

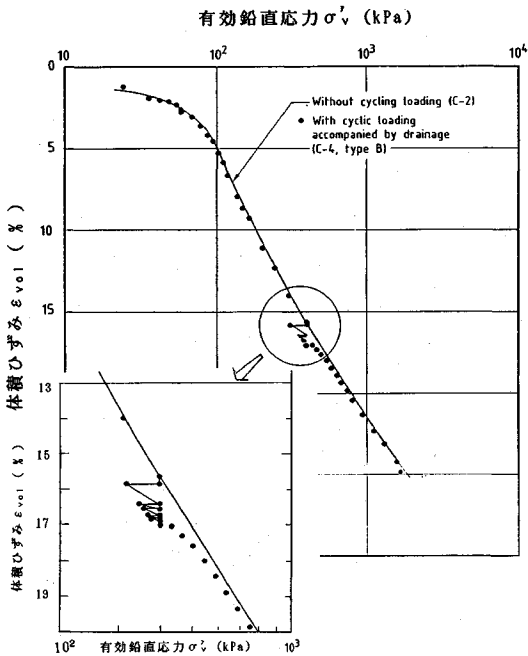


Fig.14 Void ratio versus effective vertical stress relation of Drammen clay subjected to consecutive cyclic loading with drainage (Type B).

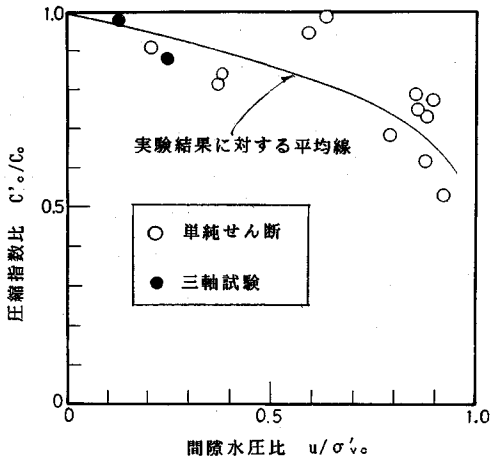


Fig.15 Effects of cyclic loading followed by drainage on compression index in normal consolidation.

縮指数 C_0 は 0.360 と求められる。これからわかるように、繰返し履歴後の圧縮曲線は、ここで用いられた鉛直応力のレベルでは処女圧縮曲線に決して復帰しない。沈下予測上は、この両曲線間の鉛直距離の大きさが重要である。すなわち、この距離が大きいかほど再圧縮による軸ひずみ ϵ_{vc} を与える次式

$$\epsilon_{vc} = \frac{C'_c}{1 + e_0 - \Delta e_{vr}} \cdot \log \left(\frac{\sigma'_{vc} + \Delta \sigma_v}{\sigma'_{vc}} \right) \dots \dots \dots (4)$$

$$\Delta e_{vc} = C_{r,cv} \log R, \quad (R = 1/(1 - u/\sigma'_{vc})) \dots \dots \dots (5)$$

による沈下量が大きくなることを意味している。式(4)、(5)において、 C'_c ：繰返し履歴を受けた供試体の正規圧密部分の圧縮指数、 e_c ：初期間隙比、 e_{vc} ：繰返し荷重によって生じた過剰間隙水圧の消散に伴う再圧縮による間隙比変化量、 $C_{r,cv}$ ：再圧縮部分の圧縮指数である。

上式においては、繰返し荷重履歴後の圧縮指数 C'_c を決めることが重要である。そこで、この値を実験結果から求め、これと履歴のない供試体の異方圧密時の圧縮指数 C_c との比、 C'_c/C_c を異方圧密時の初期鉛直圧力 σ_{vc} で繰返し荷重によって生じた過剰間隙水圧を正規化した値、 u/σ'_{vc} を関連付けた結果が Fig.15 に示されている。図中には C-1 と C-3 の実験結果をプロットしているが、実験データがわずかに2つのみなので、比較のために単純せん断試験結果もプロットした。三軸試験の結果がわずかなので、一概に結論できないが、圧縮指数比が間隙水圧比とともに減少する傾向は三試験結果においても同様にみられ、その程度は少なくとも単純せん断試験結果と著しい差異があるとは言えない。すなわち、繰返し荷重履歴を受けた粘土のその後の圧縮性は、少なくとも間隙水圧比の小さい領域(ここでは u/σ'_{vc} が 0.3 以内)では、繰返し載荷時の主応力の回転の影響をうけないとすることができる。

8. 結 言

非排水繰返し荷重の負荷途中に排水過程を含むような条件下での粘土の挙動を繰返し三軸試験によって調べた。得られた結論は以下の通りである。

- (1) 非排水繰返し荷重によって生じた過剰間隙水圧の消散に伴う体積変化によって、正規圧密土は抵抗力を増大する。
- (2) 一方過圧密土においては、繰返しせん断応力レベルが大きくなると、例え間隙比は減少しても、繰返し荷重に対し抵抗力を失い、ついには完全に破壊に至ることがある。
- (3) 繰返し荷重による間隙水圧の消散に伴う再沈下による体積ひずみ ϵ_{vr} は、間隙水圧比 $\Delta u/\sigma'_{vc}$ によって一義的に決まる。そしてこの $\epsilon_{vr} - \Delta u/\sigma'_{vc}$ 関係は主応力軸の反転や連続的な回転の影響を余り受けないようである。
- (4) 前記の再沈下ひずみの予測のためには、圧密試験によって得られる再圧縮指数を適当なパラメータとして利用することができる。
- (5) 排水を伴う繰返し応力履歴後の圧縮特性は、主応力回転の影響を受けないようである。このことは結論(3)と良く符合している。

引用文献

1) Yasuhara, K. and Andersen, K.H. : Clay behaviour of

- long-term cyclic loading, Proc. 22nd Japan Conf. SMFE Vol.2, pp.535~538, 1987.
- 2) Yasuhara, K. and Andersen, K.H. : Post-cyclic recompression in clay, Proc. 5th Int. Conf. Soil Dynamics and Earthquake Eng, pp.159~167, 1989, a.
 - 3) Yasuhara, K. and Andersen, K.H. : Effect of cyclic loading on recompression of overconsolidated clay, Proc. 12th Int. Conf. SMFE, Vol.1, pp.485~488, 1989, b.
 - 4) 松井他：飽和粘土の力学的特性に及ぼす動的応力履歴の影響，土木学会論文報告集，第257号，pp.41~51, 1978.
 - 5) Andersen, K.H. et.al. : The effect of cyclic loading on clay behaviour, Proc. Conf. Design and Construction of Offshore Structure, Institution of Civil Engineers, London, Vol.1, pp.1~6, 1976.
 - 6) Andersen, K.H. et.al. : Cyclic soil data for design of gravity structures, Journal of Gotechnical Division, ASCE, Vol.114, No.GT5, pp.517~539, 1988
 - 7) Andersen, K.H. et.al. : Properties of soft clay under static and cyclic loading, Proc. Int. Cof. Eng. Problems of Regional Soils, Beijing, China, 1988.
 - 8) Brooker, E.W. and Ireland, H.O. : Earth pressure at rest related to stress history, Canadian Geotechnical Journal, Vol. III, No.1, pp.1~15, 1965.
 - 9) 兵動他：長期繰返し荷重を受ける粘土の変形と間隙水圧の予測，土木学会論文報告集，第400号／Ⅲ—10，pp.151~160, 1988.
 - 10) Yasuhara, K. : Undrained and drained cyclic triaxial tests on marine clay, Proc. 11th ICSMFE, Vol.1, San Francisco, pp.1095~1098, 1985.
 - 11) Yasuhara, K. and S.Ue (1983) : Increase in undrained shear strength due to secondary compression, Soil and Foundations, Vol.23, No.3, pp.50~64, 1983.
 - 12) Prater, E.G. : Cyclic shear resistance of noncohesive soils, Journal of ASCE, Proc. Geotechnical Eng. Division, GT1, pp.111~116, 1980.
 - 13) 安原・K. H. Andersen : 長期繰返し荷重を受ける不攪乱粘土の挙動，土木学会論文集（投稿中）.
 - 14) 大原・松田・近藤：排水を伴った飽和粘土の繰返し単純せん断試験，土木学会論文集，第352号／Ⅲ—2，pp.149~157, 1984.
 - 15) Ohara, S. and H. Matsuda : Study on the settlement of Saturated Clay layer induced by cyclic shear, Soils and Foundations, Vol.28, No.3, pp.103~113, 1988.
- (1990.4.9 受付)

BEHAVIOUR OF ANISOTROPICALLY CONSOLIDATED UNDISTURBED CLAY IN CYCLIC TRIAXIAL TESTS WITH DRAINAGE

Kazuya YASUHARA · Knut H.ANDERSEN · Toralv BERRE

Undrained cyclic triaxial tests including drainage between consecutive cyclic loading were carried out on normally consolidated and overconsolidated undisturbed Drammen clay. Results were considered through comparison with those from cyclic direct-simple shear (DSS) tests. The following conclusions were derived from the present study : (1) On normally consolidated clays, cyclic loading followed by drainage may be beneficial with respect to stability and cyclic displacements. However, if overconsolidated clays are involved, the drainage effect may be unfavourable. (2) Recompression index from oedometer tests can be used for evaluating the post-cyclic recompression settlements. (3) The comparison of results from both cyclic triaxial and DSS tests suggests that post-cyclic compressibilities are not influenced by principal stress reversal and rotation.