

## 繰返しせん断に起因した粘土層の沈下に及ぼす周期の影響

EFFECTS OF LOADING PERIOD OF CYCLIC SHEAR ON  
THE SETTLEMENT OF SATURATED CLAYEY LAYER

松田 博\*・大原 資生\*\*

By Hiroshi MATSUDA and Sukeo OHARA

Two-way strain controlled cyclic simple shear tests with different loading periods (0.2-10 s) are performed for normally and overconsolidated kaolinite clay specimens ( $OCR=1.6$ ). The specimens are subjected to cyclic shear under undrained condition and subsequently the cumulated excess pore water pressure are dissipated. In conclusion, it is clarified that for normally consolidated clay, the larger the period of cyclic shear, the larger the excess pore water pressure becomes and that with the increase of OCR, effects of the period on the cumulated excess pore water pressure disappear. As for the settlement, however, the effects of period can not be seen.

*Keywords* : period, dynamic, settlement, clay, pore pressure

## 1. ま え が き

軟弱な粘土層が地震、波浪などに起因した繰返しせん断を受けることは数多くみられ、そのために地盤が沈下したといった被害がみられる<sup>1)~3)</sup>。また、近年は構造物をこうした軟弱地盤上に築造することが多くなってきており、構造物が精密化している現在、粘土層に繰返しせん断が作用した場合の挙動について明確にする必要がある。

すでに報告しているように<sup>4)</sup>、軟弱な粘土層が繰返しせん断を受けると、粘土層内では過剰間隙水圧が累積し、特に地震時のように繰返しせん断の継続時間が短い場合、地震中においては、ほぼ非排水状態が保たれるために、過剰間隙水圧は残留する。しかし、時間経過とともにそれは消散し粘土層は沈下する。

粘土地盤が地震によって沈下したという例は、実際日本、メキシコにおいて確認されており、特に、1957年のメキシコ地震においては、地震直後に大きい沈下を生じ、地震後の沈下速度が地震前に比べると著しく増加したという報告がなされている<sup>1)</sup>。また、1985年のメキシコ地震でも地震直後に構造物が3.8 cm沈下したという報告がある<sup>2)</sup>。

このような繰返しせん断に起因した沈下は、室内試験によっても確認されている<sup>4)</sup>。すなわち、カオリン粘土の動的単純せん断試験により、そのような沈下は正規圧密粘土だけでなく過圧密粘土でも生じ、その大きさは繰返しせん断中に累積した過剰間隙水圧の大きさ、粘土の過圧密比等に依存することが示された。

一方、地震、波浪においては、地盤に作用する繰返しせん断の周期は異なり、通常地震においては卓越周期が0.5~2.0秒程度であるのに対して、波浪では5~10秒と長い。従来行われた粘性土の動的強度に関する結果<sup>5)~8)</sup>によると、周期を0.1~100秒の範囲で変化させると、明らかに周期の影響がみられる。また繰返し载荷の周期は過剰間隙水圧にも影響するという報告がある<sup>9)~11)</sup>。しかし、繰返しせん断の周期が過剰間隙水圧の累積過程およびその消散に伴う沈下に及ぼす影響については明確にされていない点が多い。

そこで、ここでは動的単純せん断試験機を用いて、過圧密比の異なる( $OCR=1\sim6$ )飽和粘土供試体に種々の周期の繰返しせん断ひずみを非排水状態で与えた後、累積した過剰間隙水圧を消散させるという実験を行い、繰返しせん断の周期が、累積する過剰間隙水圧の大きさおよびその消散によって生じる粘土層の沈下に及ぼす影響について調べた。

\* 正会員 工博 山口大学助教授 工学部土木工学科  
(〒755 宇部市常盤台)

\*\* 正会員 工博 宇部工業高等専門学校校長(同上)

## 2. 繰返しせん断によって累積する過剰間隙水圧およびその消散に伴う沈下について

すでに飽和粘土に繰返しせん断ひずみが作用した場合、累積する過剰間隙水圧の大きさは、せん断ひずみ振幅と繰返し回数の関数として次式で与えられることを示した<sup>4)</sup>。

$$u_{dyn}/\sigma'_{vo} = n / (\alpha + \beta \cdot n) - \Psi \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 $\alpha$ ,  $\beta$  は次式で与えられる。

$$\alpha = A \cdot (\gamma_{dyn})^m \dots \dots \dots (2)$$

$$\beta = \gamma_{dyn} / (B + C \cdot \gamma_{dyn})$$

ただし、 $\gamma_{dyn} > -B/C$   $\dots \dots \dots (3)$

また、 $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $m$  は定数である。式(1)において、 $\Psi$  は過圧密粘土の場合、繰返しせん断の初期において生じる負圧に対する補正值であって、ひずみ振幅との関係で次式で表わされる。

$$\Psi = D + E \cdot \log \gamma_{dyn} \dots \dots \dots (4)$$

ここに  $D$ ,  $E$  は定数である。

したがって式(1), (2), (3), (4)により、累積する過剰間隙水圧はひずみ振幅と繰返し回数の関係として表わされる。

繰返しせん断によって累積した過剰間隙水圧が消散すると間隙比が減少する。過剰間隙水圧消散によって生じる間隙比の変化は、 $e \sim \log p$  関係において過剰間隙水圧消散時の勾配を  $C_{dyn}$  とすると次式で与えられることが示されている<sup>4)</sup>。

$$\Delta e = C_{dyn} \times \log \{1 / (1 - u_{dyn}/\sigma'_{vo})\} \dots \dots \dots (5)$$

これより、繰返しせん断によって生じる沈下ひずみ  $\varepsilon_v$  は

$$\varepsilon_v = C_{dyn} / (1 + e_o) \times \log \{1 / (1 - u_{dyn}/\sigma'_{vo})\} \dots \dots \dots (6)$$

となる。ここに、 $e_o$  は供試体が繰返しせん断を受ける前の間隙比である。また、式(5), (6)中の  $u_{dyn}/\sigma'_{vo}$  は式(1)で与えられることから、繰返しせん断後に生じる沈下ひずみも繰返し回数とひずみ振幅の関係として表わされる。

ここでは以上の関係を使って、過圧密比の異なる供試体について、繰返しせん断の周期が過剰間隙水圧の累積、およびその消散によって生じる沈下に及ぼす影響を調べた。

## 3. 試料および供試体

本実験で使用した試料は、粉末状のカオリン粘土で、その粒径過積曲線を Fig. 1 に、物理諸定数を Table 1 に示す。供試体の作製方法は次のとおりである。この粉末状の粘土に含水比が約 80% になるように脱気水を加えてよく攪拌した後、約 24 時間放置する。そして、真空室において約 30 分間脱気した後、せん断箱のゴムスリーブの中に詰める。このようにして詰められた試料を、所定の圧密圧力 ( $\sigma'_{vo} = 49 \text{ kPa}$ ) で 22 時間圧密する。圧密後の供試体は、直径 75 mm、高さ約 20 mm の円盤状であり、そのときの間隙比は、1.29~1.33 であった。

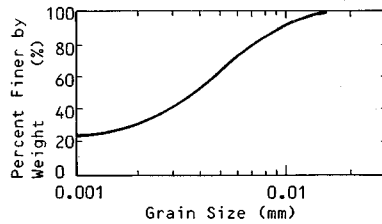


Fig. 1 Grain size distribution curve.

Table 1 Physical properties of sample.

Specific Gravity	$G_s$	2.718
Liquid Limit	$w_L$	53.5%
Plastic Limit	$w_P$	28.5%
Plasticity Index	$I_P$	25.0
Average Grain Size	$D_{50}$	3.8 $\mu\text{m}$

## 4. 実験装置および実験方法

本実験で用いた実験装置は、電気油圧サーボ式動的単純せん断試験機<sup>4)</sup>である。

せん断箱は Kjellman 型と同型で、応力制御方式またはひずみ制御方式により、動的および静的せん断応力を負荷することができるもので、本実験ではひずみ制御方式を用いた。なお、実験装置の詳細については、すでに報告している<sup>4)</sup>のでここでは省略する。

実験は、所定の圧密圧力  $\sigma'_{vo}$  で予圧密して正規正密状態および過圧密状態 ( $\text{OCR} = 1, 6$ ) にある供試体に、非排水状態でひずみ振幅  $\gamma_{dyn}$  が一定の繰返しせん断を与えた。 $\gamma_{dyn}$  は 0.05%~3.00% 間で変化させ、繰返し回数  $n$  は 200 回とした。そして、それぞれのひずみ振幅について繰返しせん断の周期を 0.2, 0.5, 2.0, 10.0 秒と変化させた。

なお今回行った実験条件、供試体の個数の一覧を Table 2 に示す。

繰返しせん断中は、せん断応力、せん断変位、鉛直変

Table 2 Testing conditions for cyclic simple shear test on saturated kaolinite clay.

$\sigma'_{vo}$ (kPa)	OCR	n	T (s)	Number of Data
49	1	200	0.2	8
49	1	50	0.5	1
49	1	200	0.5	13
49	6	50	0.5	1
49	6	200	0.5	11
49	1	50	2.0	1
49	1	200	2.0	23
49	6	50	2.0	1
49	6	200	2.0	13
49	1	50	10.0	1
49	1	200	10.0	12
49	6	50	10.0	1
49	6	200	10.0	8

位、供試体下面での過剰間隙水圧の測定を行った。繰返しせん断終了後は、非排水状態のまま過剰間隙水圧が一定値になるまで放置し、その後供試体上面より排水を行い、圧密沈下量、供試体下面の過剰間隙水圧の時間的変化を測定した。

### 5. 繰返しせん断の周期が過剰間隙水圧の上昇過程に及ぼす影響

Fig. 2(a), (b), (c)は正規圧密粘土について、周期  $T$  を 10.0, 0.5, 0.2 秒とし、ひずみ振幅を種々変化させて得られた過剰間隙水圧の上昇過程を示したものである。また同様に Fig. 3(a), (b)は OCR=6 について周期  $T=10.0, 0.5$  秒として得た結果である。ひずみ振幅との対応から明確ではないが、いずれの過圧密比についても、繰返しせん断開始直後においては、周期が短いほど累積する過剰間隙水圧は小さくなっている。また、 $T=0.2$  秒 (Fig. 2(c)) の場合においては、 $n=200$  回で繰返しせん断を終了後もわずかに過剰間隙水圧の上昇がみられる。このような繰返しせん断停止後に過剰間隙水圧が上昇するという傾向は動的三軸試験によっても得られており<sup>9)</sup>、今回用いた供試体の厚さは 2 cm と動的三軸試験の供試体に比べて非常に小さいにもかかわらず、三軸試験と同様な傾向が得られた。

なお、間隙水圧測定値のタイムラグによる誤差を Bishop<sup>10)</sup>によって示された方法に従って求めたところ、最大でも約 1% であること、また供試体は厚さが 2 cm と薄く、供試体内の間隙水圧の不均一性に基づく誤差も小さいことから、先述の現象は間隙水圧計測上の問題に起因したものではないと思われる。

なお、図中の記号はいずれも実測値であり、実線は実測値に対して式(1)により双曲線近似したものである。また、式(1)は、 $n/(u_{dyn}/\sigma'_{vo})$  と  $n$  の関係が線形関係になることを示しており、この直線の切片の値が  $\alpha$ 、勾配が  $\beta$  であって、 $n \rightarrow \infty$  のとき  $u_{dyn}/\sigma'_{vo}$  は  $1/\beta$  となる。

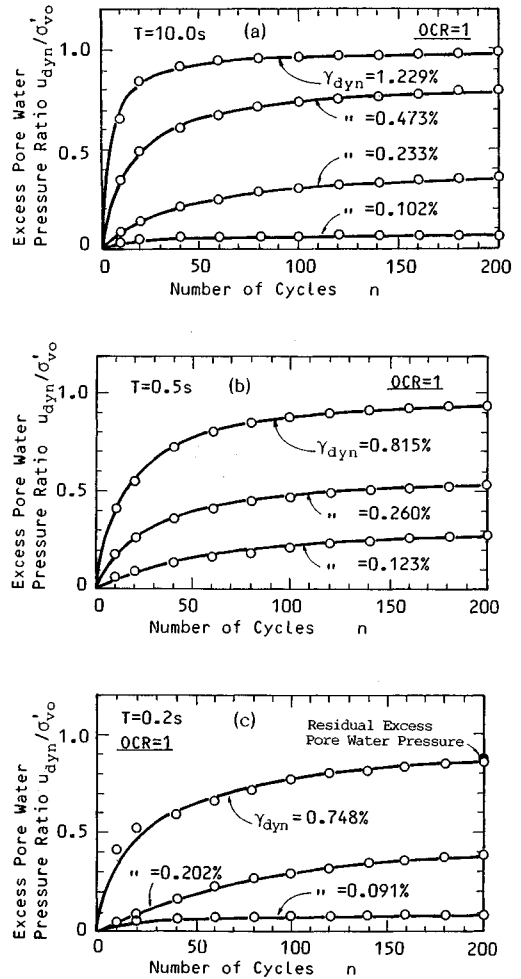


Fig. 2 Excess pore water pressure induced by cyclic shear (OCR=1).

そこで、個々の実験について  $\alpha, \beta$  を求めた後、各 OCR に対する  $\alpha \sim \gamma_{dyn}$  関係および  $\gamma_{dyn}/\beta \sim \gamma_{dyn}$  関係のグラフを Fig. 4(a), (b), Fig. 5(a), (b)のように描くと、それぞれの直線の勾配と切片から、式(2), (3)中の係数  $A, m, B, C$  が求まる。

一方、式(4)の  $D, E$  は OCR=6 の結果において、各周期についての  $\Psi \sim \log \gamma_{dyn}$  の関係から求まる。

これらの係数をもとに、式(1)によって  $u_{dyn}/\sigma'_{vo} \sim n$  の関係を示したものが Fig. 6, 7 であって、それぞれ OCR=1, 6 の結果である。図中にはひずみ振幅を 0.1% ~ 1.5% の間で変化させ、周期を 0.2 秒, 0.5 秒, 2.0 秒, 10.0 秒として得た結果を示している。

Fig. 6, Fig. 7 には、Fig. 4(a), (b), Fig. 5(a), (b)で示したように、 $\alpha, \beta$  についてのデータのばらつき

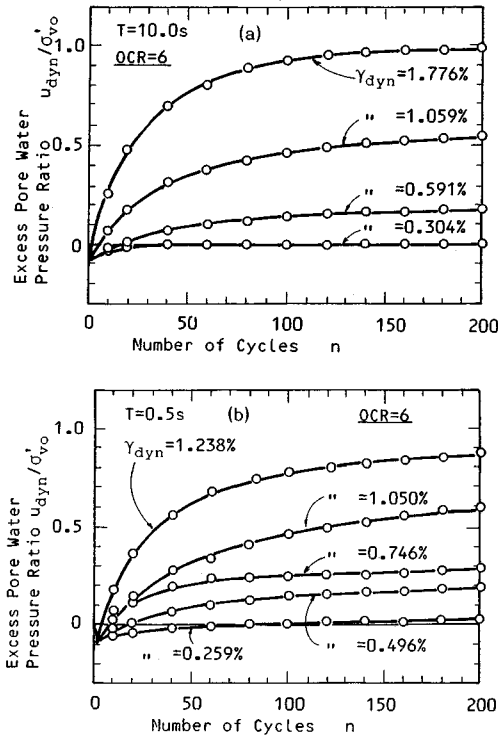


Fig. 3 Excess pore water pressure induced by cyclic shear (OCR=6).

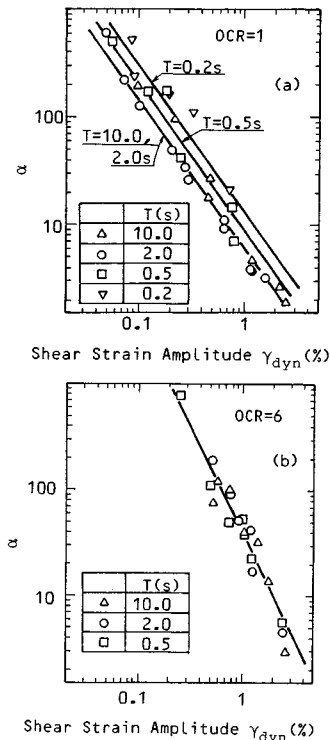


Fig. 4  $\alpha$  versus cyclic shear strain amplitude.

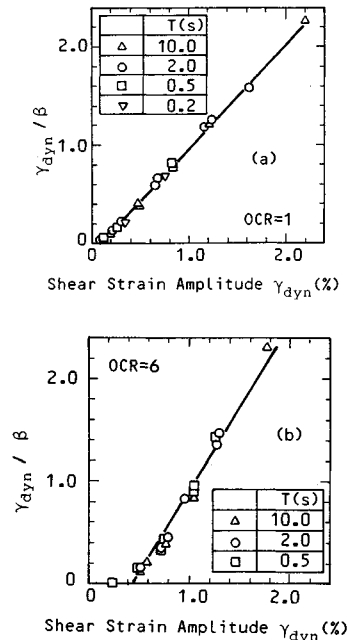


Fig. 5  $\beta$  versus cyclic shear strain amplitude.

が含まれているが、Fig. 6よりOCR=1の場合、 $\gamma_{dyn}=0.1\%$ のときは周期の影響はみられない。しかし、ひずみ振幅が大きくなると、周期  $T$  が長いほど過剰間隙水圧の初期の立ち上がりの勾配が急になり、 $n=200$  回での過剰間隙水圧の値にも相違がみられる。すでに、赤木<sup>10)</sup>も動的三軸試験によって周期を0.1秒と1.0秒とした実験を行い同様の結果を得ている。これに対して、OCR=6の場合にはFig. 7からわかるように、周期の影響はみられない。

Fig. 8, 9は、それぞれOCR=1, 6の供試体についてひずみ振幅をそれぞれ約2.2%, 1.8%とし、 $n=50$ 回の繰返しせん断後、非排水状態を保った場合の過剰間隙水圧の変化を示したものである。Fig. 8において、 $n=50$ 回までの過剰間隙水圧の上昇過程をみると、周期が短い方が過剰間隙水圧の上昇は遅くなっており、Fig. 6と同様である。これに対して、Fig. 9では、 $n=50$ 回までの過剰間隙水圧の上昇過程に及ぼす周期の影響はみられない。

実験では、 $n=50$ 回の繰返しせん断を与えた後非排水状態を保って、過剰間隙水圧の変化を調べたが、Fig. 8において周期が10.2秒の場合には、過剰間隙水圧の値に変化はみられない。しかし、周期0.5秒の場合には、過剰間隙水圧は繰返しせん断停止後さらに上昇し約1.0分後に周期  $T$  が10.2秒の曲線に一致している。同様なことは、 $n=200$ 回とした場合にも確認されている。先述したよう

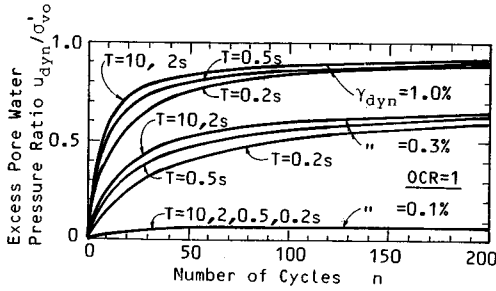


Fig. 6 Excess pore water pressure calculated by Eq.(1) (OCR=1).

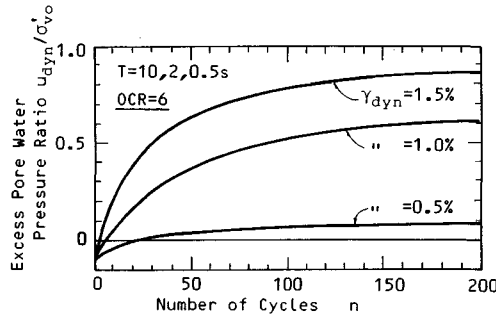


Fig. 7 Excess pore water pressure calculated by Eq.(1) (OCR=6).

に、このような繰返しせん断停止後の過剰間隙水圧上昇は、Matsui<sup>9)</sup>による繰返し三軸試験結果においても確認されている。すなわち、単純せん断試験のように薄い供試体であっても繰返しせん断停止後に過剰間隙水圧の変化を生じるということである。ただ、繰返しせん断停止後非排水状態のまま放置すると、いずれの周期においても過剰間隙水圧は一定値に収束する。

これに対して、OCR=6の場合には、繰返しせん断中および繰返しせん断停止後いずれのひずみ振幅においても過剰間隙水圧に及ぼす周期の影響はほとんどみられない。

また、Fig. 9においては、繰返しせん断停止後間隙水圧の減少傾向がみられ、Fig. 8とは顕著な相違を示している。これはFig. 9では過圧密化が6と大きいため、供試体は本来時間遅れを伴って膨張する傾向をもっており、それが繰返しせん断停止後も引き続いて現われるために生じたと考えられる。

以上のように、OCR=1とOCR=6という過圧密比が極端に離れた現象の対比ではあるが、OCRが大きくなると過剰間隙水圧の上昇過程に及ぼす周期の影響はなくなり、また繰返しせん断停止後の過剰間隙水圧の挙動も異なる。つまり、OCRが異なると繰返しせん断によって累積する過剰間隙水圧も著しく影響されるということであ

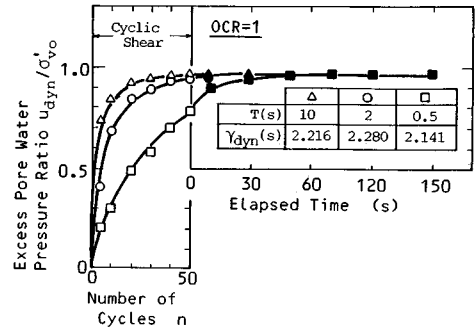


Fig. 8 Relationships between  $u_{dyn}/\sigma'_{vo}$  and elapsed time (OCR=1).

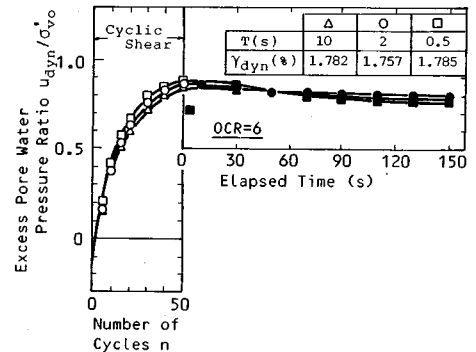


Fig. 9 Relationships between  $u_{dyn}/\sigma'_{vo}$  and elapsed time (OCR=6).

る。

次に、式(1)より、次式が得られる。

$$\Delta u_{dyn}/\sigma'_{vo} = \partial(u_{dyn}/\sigma'_{vo})/\partial n = a/(a + \beta \cdot n)^2 \dots\dots (7)$$

式(7)中の  $\Delta u_{dyn}/\sigma'_{vo}$  は、1サイクルの繰返しせん断によって累積する過剰間隙水圧増分を示しており、この値は繰返し回数の増加に伴うひずみ履歴効果をみるうえで重要である。そこで、先述の係数を用いて、 $\Delta u_{dyn}/\sigma'_{vo} \sim n$ の関係を求めた結果がFig. 10(a), (b), およびFig. 11で、Fig. 10(a), (b)は、OCR=1について、ひずみ振幅  $\gamma_{dyn}$  をそれぞれ0.3, 1.0%, そしてFig. 11はOCR=6で  $\gamma_{dyn}$  を0.5, 1.0, 1.5%として得たものである。

Fig. 10(a)においては、ひずみ振幅が小さい ( $\gamma_{dyn} = 0.3\%$ ) 場合は  $n \leq 30$  のとき、周期  $T$  が長い方が  $\Delta u_{dyn}/\sigma'_{vo}$  は大きく、 $n$  がそれ以上になると逆に周期の短い方が大きくなっている。同様の傾向はひずみ振幅が1.0% (Fig. 10(b)) の場合にもみられ、この場合には、 $n \geq 15$  において周期の短い方が  $\Delta u_{dyn}/\sigma'_{vo}$  は大きくなっている。

一方OCR=6の場合は、Fig. 11より  $\Delta u_{dyn}/\sigma'_{vo} \sim n$  の

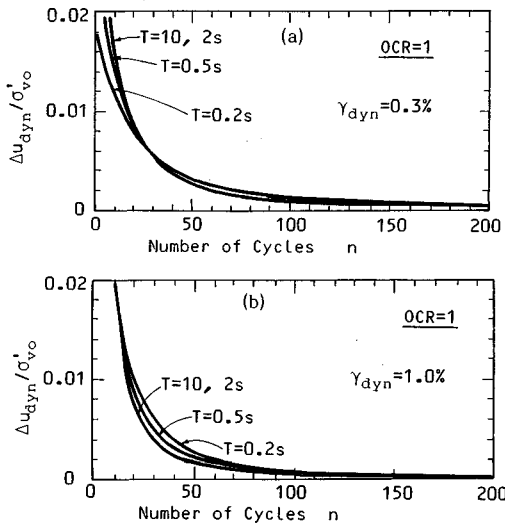


Fig. 10 Relationships between  $\Delta u_{dyn}/\sigma'_{vo}$  and  $n$  (OCR=1).

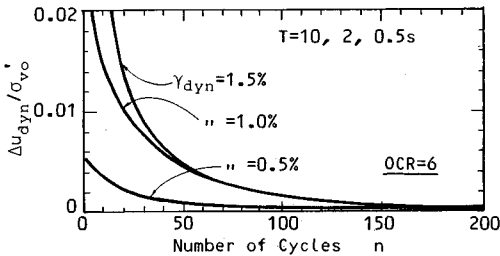


Fig. 11 Relationships between  $\Delta u_{dyn}/\sigma'_{vo}$  and  $n$  (OCR=6).

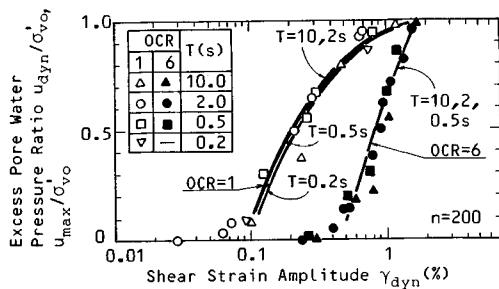


Fig. 12 Relationships between  $u_{dyn}/\sigma'_{vo}$ ,  $U_{max}/\sigma'_{vo}$  and  $\gamma_{dyn}$ .

関係に及ぼす周期の影響はみられない。

Fig. 12 は、 $n=200$  回の繰返しせん断後過剰間隙水圧が十分安定した後の間隙水圧比を  $u_{max}/\sigma'_{vo}$  とし、ひずみ振幅との関係で示したものである。図中の記号は実測値であり、実線は式(1)によって得たものである。同図では OCR=1 の場合、わずかながら計算値は周期  $T$  が長いほど大きくなることを示している。これは実測値が、 $n=200$  回の繰返しせん断後過剰間隙水圧が十分安定

してからの値であるのに対して、計算値は  $n=200$  回の繰返しせん断直後の値であることに起因している。

### 6. 過剰間隙水圧の消散に伴う沈下について

繰返しせん断によって累積した過剰間隙水圧は、排水によって消散し、そのとき沈下を生じる。

Fig. 13 は、繰返しせん断によって累積した過剰間隙水圧の消散に伴う間隙比の変化量  $\Delta e$  と  $\log\{1/(1-u_{dyn}/\sigma'_{vo})\}$  の関係で、それぞれ OCR=1, 6 の結果である。ここに、 $\log\{1/(1-u_{dyn}/\sigma'_{vo})\}$  は、対数スケール上での過剰間隙水圧の変化量、つまり有効応力の減少量を示している。

Fig. 13 より、多少ばらつきはあるものの、各周期について得られた結果はほぼ一直線上にある。また、この直線の勾配は、 $e \sim \log p$  関係における直線の勾配に対応することから、「繰返しせん断を受けた粘土の圧縮指数」 $C_{dyn}$  とよんでいる。同図には、種々のひずみ振幅の結果も含まれているが、すでに示されているように、 $C_{dyn}$  はひずみ振幅によって影響されないだけでなく、繰返しせん断の周期によっても影響されないことがわかる。このことは、繰返しせん断後の排水過程で生じる沈下は繰返しせん断中に生じる過剰間隙水圧の大きさのみによって決定されることを示している。

繰返しせん断を受けた粘土の圧縮指数  $C_{dyn}$  を用いることにより、繰返しせん断後の排水によって生じる間隙比の変化  $\Delta e$  および沈下ひずみ  $\epsilon_v$  は、式(5)、(6)によって得られる。

Fig. 14 は、繰返しせん断中に累積した過剰間隙水圧の消散によって生じる沈下ひずみとひずみ振幅の関係を示したものである。図中の記号は実測値であり、曲線は式(6)より得られた計算値である。同図より、記号で示した実測の沈下ひずみはいずれの OCR に対しても、周期  $T$  によらずほぼ一定になっている。しかし、OCR=1 の場合においては、計算値において周期  $T$  が短いほど沈下ひずみは小さくなる傾向が現われている。これは先述し

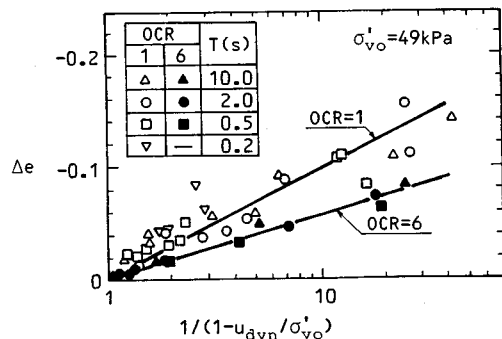


Fig. 13 Change of the void ratio due to the dissipation of excess pore water pressure.

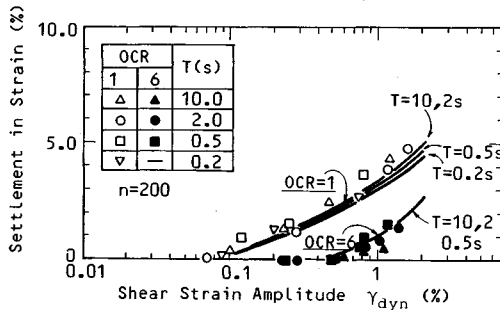


Fig. 14 Settlement induced by cyclic shear.

たように、周期  $T$  が短いときは繰返しせん断が終了した後も過剰間隙水圧は上昇するが、計算値では繰返しせん断中の過剰間隙水圧の上昇に対してカーブフィッティングしているためである。ただ、ひずみ振幅が0.5%程度以下では計算値においても周期の影響はほとんどないことがわかる。

すなわち、繰返しせん断中に累積した過剰間隙水圧を消散させることによって生じる沈下ひずみに及ぼす周期の影響はないということであり、このことは地震等に起因した粘土層の沈下量を推定する場合、周期の影響は考慮しなくてもよいということである。この結果は解析上有用である。

### 7. ま と め

本研究では、動的単純せん断試験機を用いて、過圧密比の異なる飽和粘土が、種々の周期の繰返しせん断を受けた場合に累積する過剰間隙水圧、およびその消散に伴う沈下について調べた。その結果以下のことが明らかになった。

(1) 正規圧密粘土において、ひずみ振幅を一定とした繰返しせん断では、周期が長いほど累積する過剰間隙水圧は大きい。しかし、過圧密比が大きい ( $OCR=6$ ) とし過剰間隙水圧に及ぼす周期の影響はみられない。

(2) 正規圧密粘土においては、繰返しせん断の周期が短いとき、繰返しせん断停止後もわずかな過剰間隙水圧の上昇がみられる。しかし、非排水状態を継続すると、周期に関係なく過剰間隙水圧の値は一定となる。一方、過圧密粘土 ( $OCR=6$ ) では、繰返しせん断停止後もわずかに過剰間隙水圧が減少する傾向がみられ、正規圧密粘土の場合と異なる。

(3) 正規圧密粘土においては周期が短いとき、繰返しせん断中に累積する過剰間隙水圧は周期の影響を受け

る。しかし、いずれの実験条件の場合でも、過剰間隙水圧値は繰返しせん断停止後短い期間内においてある値に収束し、かつその大きさは周期の影響を受けない。そのため、繰返しせん断に起因して生じる間隙比の変化および沈下ひずみも周期の影響を受けない。

終わりに、本研究にあたって山口大学の椋木 隆技官、および当時の同大学学生 佐野修司、生垣聡志君の助力を得た。ここに謝意を表します。

### 参 考 文 献

- 1) Zeevaert, L.: Foundation engineering for difficult subsoil conditions, Van Nostrand Reinhold Company, pp.522~523, 1972.
- 2) Jaime Alberto P., Miguel P. Romo and Mario Jasso R.: Seismic induced settlement in a building, 8th Panamerican Congress on Soil Mechanics and Foundation Engineering, pp.257~275, 1987.
- 3) 鈴木猛康: 動的応力履歴を受けた飽和粘性土の沈下挙動, 応用地質, Vol.25, No. 3, pp.21~31, 1984.
- 4) Ohara, S. and Matsuda, H.: Study on the settlement of saturated clay layer induced by cyclic shear, Soils and Foundations, Vol. 28, No. 3, pp.103~113, 1988.
- 5) 梅原靖文・大根田秀明・樋口嘉章: 粘性土の動的強度特性に関する周期の影響, 第17回土質工学研究発表会, pp.1713~1716, 1982.
- 6) Fischer, J.A., Koutsoftas, D.C. and Lu, T.D.: The behavior of marine soils under cyclic loading, Proceedings of the Conference on Behavior of Offshore Structures, Vol. 2, pp.407~417, 1976.
- 7) Procter, D.C. and Khaffaf, J.H.: Cyclic triaxial tests on remolded clays, Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 110, No. 10, 1984.
- 8) Brown, S.F., Lashine, A.K.F. and Hyde, A.F.L.: Repeated load triaxial testing of a silty clay, Geotechnique, Vol. 25, No. 1, pp.95~114, 1975.
- 9) Matsui, T., Ohara, H. and Ito, T.: Cyclic stress-strain history and shear characteristics of clay, Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 106, No. GT10, pp.1101~1120, 1978.
- 10) Bishop, A.W. and Henkel, D.J.: The measurement of soil properties in the triaxial test, Edward Arnold Ltd., pp.192~204, 1964.
- 11) 赤木寛一・大塚敬三: 非排水繰返し載荷が飽和粘性土の力学特性に及ぼす影響—特に繰返し載荷周波数と土の乱れの大きさの関係について—, 第21回土質工学研究発表会, pp.667~668, 1986.

(1989.8.3・受付)