

九州大学工学部 正 ○ 巻内 勝彦
同 正 山内 豊聡
同 学 赤星 哲也

1 はしごき 土の単純せん断試験は、実際の問題への即応性すなわち現場の応力条件の再現性が良いこと、ならびに土の変形メカニズムの基本問題を解明する試験方法としていくつかの利点をもつ、などの長所がある。近年、種々の型式の単純せん断試験機が考案、製作されている。それらの各装置がもつ長短については、まだ十分に検討されていない実情にあるが、本文では、三次元応力の測定および繰返し載荷が可能という特長をもつ試験装置を用いて、前報につづいて繰返し回数が粘土の変形挙動と応力状態に及ぼす影響について報告する。

2 実験概要 2-1 繰返し単純せん断試験機 実験装置は他に詳述してあるが、主な仕様を表-1に示す。当実験では供試体は平面ひずみ状態(初期状態はK条件)にあり、静的

表-1 試験機の仕様

装置名称	繰返し単純せん断試験機	比 重	2.71
供試体寸法	76×76×76 mm (高さは可変)	液性限界	38%
載荷方式	空気圧シリンダ(応力制御)	塑性指数	12.0
最大せん断応力	±0.45 kg/cm ² (両振り)	含水比	35%
最大垂直応力	±0.45 kg/cm ² (片振り)	乾燥密度	1.35 g/cm ³
最大水平変位	±25 mm (LVDT)	飽和度	70%
最大垂直変位	±25 mm (LVDT)		
周波数	0.05 ~ 0.5 Hz		
側面応力計測	小型土圧計		

垂直応力 σ_z の下で、両振り繰返しせん断応力 τ_{zx} と、回数 $N=500$ まで載荷した。供試体に加わる応力とひずみ状態は、図-1 図-2に示す(全応力表示)。2-2 試料および実験条件 供試体は、市販力オリソ粘土を用いて、表-2に示す条件で静的締固め法(フローティングモールド法)によって作製した。せん断箱へのセットは、供試体の異方性を考慮して、今回は締固め方向と xy 軸(図-1)を一致させた。応力条件は表-3に示す。周波数は0.5 Hz、波形は空気圧方式のため擬矩形波となっている。

3 結果と考察 3-1 せん断ひずみ ϵ_{zx} の変化 図-3に示す通り ϵ_{zx} の値は、一般的傾向として、 τ_{zx} の大きさに比例して大きくなる。また回数 N の増大に伴って、初め増加を示すがあるピーク値を過ぎてからは減少する。このことは、次に述べる供試体の体積(密度)変化とも関係し、かつ供試体の回数依存の異方性発達を示唆している。ただし、 $\sigma_z \geq 2.0$ kg/cm²では、 ϵ_{zx} は τ_{zx} が低い場合あるいは σ_z が大きくなるほど回数 N の影響を受けずに、ほぼ一定の小さな値を保つ。3-2 垂直ひずみ ϵ_z 図-4は回数 N による ϵ_z (体積ひずみに等しい)の変化を表わす。 τ_{zx} に比例して、体積減少すなわち密度が増加することが明瞭である。同じレベルの τ_{zx} の場合を比較してみると、 σ_z が低い方が密度増加傾向が著しい。したがって、垂直拘束応力 σ_z が小さいほど、繰返しせん断応力 τ_{zx} (kneading)による土構造の変化を起こしやすい

表-3 応力条件と記号

σ_z (kg/cm ²)	τ_{zx} (kg/cm ²)	記号
1.00	0.24	○
"	0.31	□
2.00	0.18	○
"	0.28	○
"	0.39	○
"	0.46	●
2.50	0.21	□
"	0.35	□
"	0.40	□
"	0.47	■
3.00	0.20	△
"	0.30	△
"	0.38	△
"	0.48	▲

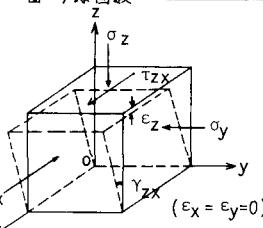


図-1 供試体の応力とひずみ状態

造の変化を起こしやすいといえる。

3-3 主ひずみ軸の回転 当装置では、中間主ひずみ $\epsilon_x = 0$ は xy 軸に一致し

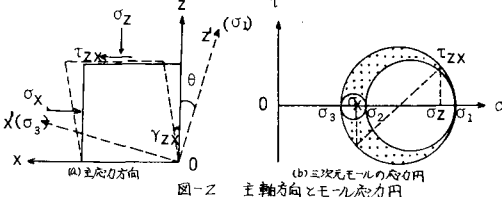


図-2 (a) 三次元主ひずみ軸の応力円 (b) 主軸方向とモル応力円

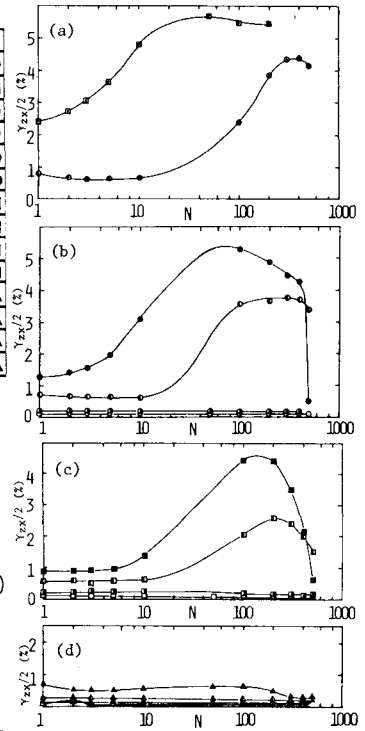


図-3 $\epsilon_{zx}/2 \sim N$ の関係

ている。 ε_1 と ε_3 のまわすみ軸方向: $\theta = \frac{1}{2} \tan^{-1}(\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_3})$ は、繰返しせん断中に連続的に変化している。ここで、ピーク時($\tau_{\max}$ が最大)の値と側圧 σ_x との関係を示したのが図5である。応力レベル($\sigma_x, \tau_{\max}$)および回数 N によって複雑な変化を示している。土のせん断変形は、いわゆるダイレイタシーに基づき、体積変化と形状変化が互に独立でなく、前述の $\varepsilon_{\max}$ と ε_x の両者がまわすみ方向 θ' に関与するため、図-5のような右下がりの変化形状を示すが、いずれも N の増加に伴って、 $\theta \rightarrow 0$ に近づく傾向がある。すなわち、 N の増加につれて ε_3 土構造がもつ変形抵抗は変化し、 $\varepsilon_x \rightarrow \varepsilon_1$ となる。

3-4 応力円の変移 変位拘束状態($\varepsilon_x = \varepsilon_3 = 0$)であるため、側方応力 σ_x と σ_3 は N によって増大し、モール応力円は変移する。その変化傾向をみるために、一面せん断試験(改良型)で求めた強度定数(c, ϕ)に基づき、図-6に示す $\frac{c}{\sigma_3}$ を計算したのが図-7である。多少のばらつきはあるが、 $N=100 \sim 300$ 回付近までは $\frac{c}{\sigma_3}$ は減少する。すなわち、土構造の変化と強度増加に関連して、応力円は小さくなるが、 N がさらに増加するにつれて供試体の強度劣化とみなせる現象が生じ若干増大する。

3-5 主応力軸の回転 主応力の一つは σ_1 軸上にあるが、図-2(a)に示した主軸の回転角 θ を求めたのが図-8である。ここに $\theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \{ \tau_{\max} / (\sigma_x - \sigma_3) \}$ 。平面かすみ条件のため図-5のまわすみ軸角 θ' とは傾向が全く異なっている。 θ は σ_x に比例関係を持ち、 N に伴って大きく変化する。 σ_x が高い場合にはいったん $N=100$ を超えると再び同一直線上を減少する傾向がみられ σ_x の依存性が強いことがわかる。

4 まとめ 以上、得られた結果を要約すると、1)単純せん断変形に及ぼす繰返し回数の影響が顕著である。今回の応力条件では、かすみは回数がほぼ100~300回で変曲点をもつ。2)せん断かすみと体積かすみとともに、応力レベル($\sigma_x, \tau_{\max}$)およびせん断過程での側方拘束応力 σ_x の変化の影響を大きく受ける。3)主軸回転角(θ と θ')は、繰返し回数に依存した土構造の変化に関連して、大きな変化を示す。4)応力円の状態 $\frac{c}{\sigma_3}$ は、繰返し回数に伴い増減変化を示す。 謝辞: 今回の研究に当って、美濃彰君の協力、ならびに長崎大学助教授の貴重な助言を賜わりましたことに深く感謝致します。 参考文献 1)山内・巻内・美濃: 第35回土木学会年次学術講演概要集, III, PP.47-48, 1980. 2)山内・巻内・美濃・赤星: 第16回土質工学会研究発表会講演集, 1981. 3) Shackel, B: Jour. Road Res. Board, Vol. 4, No. 5, PP.12-13, 1970

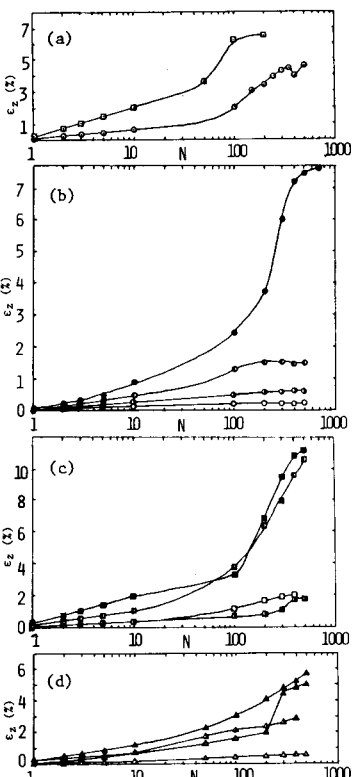


図-4 $\frac{c}{\sigma_3} \sim N$ の関係

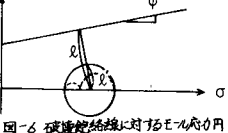


図-6 破壊応力円に対する応力円の割合 $\frac{c}{\sigma_3}$

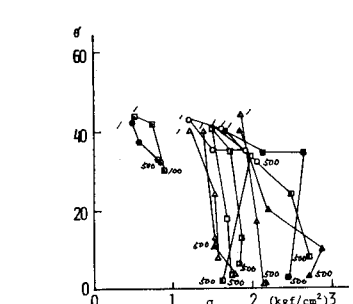


図-5 $\theta \sim \sigma_x$ の関係

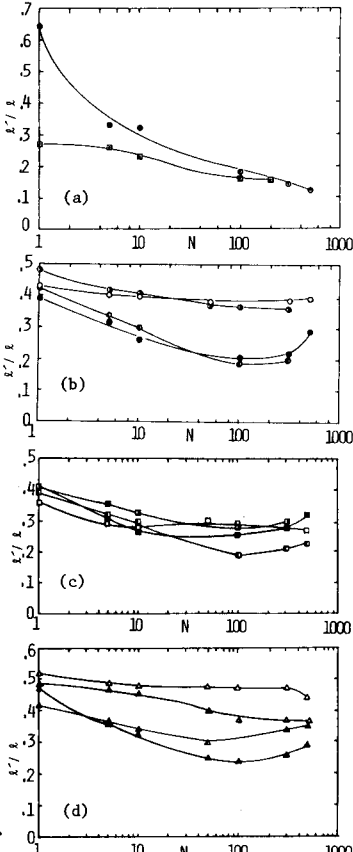


図-7 $\frac{c}{\sigma_3} \sim N$ の関係

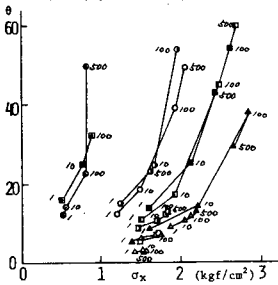


図-8 $\theta \sim \sigma_x$ の関係