

九州大学 工学部 正 山内 豊 聡・巻 内 勝 彦

学 〇 美 濃 彰・赤 星 哲 也

1. まえがき 繰返し荷重下の土の力学的性質の変化過程を明らかにすることは、実際的な問題、例えば走行荷重下の路床路盤、機械基礎、風荷重を受ける鉄塔基礎などの設計に直接関係があるとともに、土の種類や土構造に関連して、土粒子の変形メカニズムを解明する上での基本的な問題としても重要である。本文では、平面ひずみ状態におかれた締固め粘土供試体について繰返し回数に応じた三次元的内部応力状態の変化過程と変形の進行を測定し、主に拘束応力、繰返しせん断応力および繰返し回数の影響について報告する。

2. 実験の概要 2-1 実験装置 繰返し単純せん断試験装置のせん断箱部分を図-1に示す。図-2は $\varepsilon_x = \varepsilon_y = 0, \sigma_x = \sigma_y = 0$ の単純せん断応力状態を示す。一定鉛直応力値と繰返しせん断応力 τ_{xy} の応力制御空気圧載荷方式によって加圧される。供試体側面の垂直応力成分 $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ およ

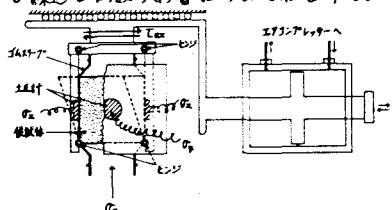


図-1 繰返し単純せん断試験装置の概要

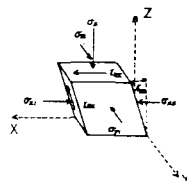


図-2 供試体の応力状態

びひずみ成分 $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ は記録計、マイクロコンピュータに直結してデータ解析する。2-2 供試体 実験試料として白色粘土(カオリン, G-20)を用いた均質供試体を得るため上下アランジャーの貫入量を等しくす



る静的締固めで立方供試体(70立方)を作製した。供試体初期状態は標準締固めの湿潤側を並び含水比35%, 乾燥密度 1.35 g/cm^3 とした。供試体の締固め方向の違いにより、静的力学的特性に異方向性が現れる。図-3に締固め方向と繰返しせん断応力方向の組合せについて報告する。2-3 実験方法 締固めた供試体をゴムスリーブでシールし、セット後 $\sigma_z = 1.0, 2.5 \text{ kg/cm}^2$ と5分圧密させる(過圧密状態)。次に $\tau_{xy} = \pm 0.31, 0.40, 0.47 \text{ kg/cm}^2$ と載荷させた(排水非排水条件)。周波数は 0.5 Hz (擬定形波載荷回数 $N \leq 1000$) とした。

表-1 応力条件 (単位: kg/cm^2)

	σ_z	τ_{xy}
(a)	2.50	± 0.31
(b)	2.50	± 0.40
(c)	2.50	± 0.47
(d)	1.00	± 0.31

3. 実験結果および考察 供試体は図-2のように τ_{xy} と繰返して受ける。ある N (本文では $N = 1/100$) において供試体内に発生する応力ひずみ状態(ピーク値)を完全な形で表示するため、

(1) 三次元モール円(実線円は主応力 σ_1, σ_3 の円, 破線円は σ_2 の円, ε_x の円, 圧縮側は正), (2) 中間主応力 σ_2 のひずみパラメーター: $\xi = (2\sigma_2 - \sigma_1 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)$, $\eta = (2\varepsilon_2 - \varepsilon_1 - \varepsilon_3) / (\varepsilon_1 - \varepsilon_3)$, (3) せん断応力ひずみ曲線(直線はせん断方向の反転を示す)を用い、それぞれ以下に考察する。なお以下の図中の(a)~(d)の応力条件は表-1の通りである。3-1 応力状態の変化 図-4の(a)~(d)と比較すると、 N が増えた場合($N=100$)、応力円は右へ移行し(平均主応力増大)、かつやや小円となる。その傾向は τ_{xy} が高いほど顕著である。これは後述のように繰返しにより供試体の密度の増加と土構造の変化が生じ、それと同時に側面応力 σ_x, σ_y が次第に増加していくためである。図-4(d)についても同様の傾向がみられる。 $N=1$ つまり繰返し初期においては(a)~(d)の応力円に顕著な差はみられない。したがって τ_{xy} の大きさは N とともに内部応力状態に影響を及ぼす因子であることがわかる。このような応力論だけでは、 τ_{xy} は一見供試体の強度安定に寄与するようだが、ひずみの急激な増大(後述)とせん断抵抗力の減少(円の縮小)を考えると、逆に強度低下の傾向にあることがわかる。3-2 ひずみ状態の変化 (1) τ_{xy} の影響 図-5の(a)~(d)のひずみ円から、 τ_{xy} が大きい程せん断変形が大きくなる(ひずみ円が大きくなり、負のひずみ $-\varepsilon_3$ も増大する。また N による影響も大きいことがわかる。 $N=1$ においては、ひずみ円の中心はほぼ原点(体積変化ゼロ)に近いが、一般に N が増大すると供試体は体積収縮(密度増加、ひずみ円は右方へ移行)となる。(2) σ_z の影響 図-5の(a)と(d)と比較すると、 σ_z が高い(a)が体積圧縮効果が大きいのでひずみ円は N とともに圧縮側へ動く。ここで図-4(a,b)の応力円はほぼ相似形であるが、図-5(a,b)のひずみ円は相似形とならず、図-2のような供試体の場合、応力(σ_z)依存に

る異方性(土構造の変化)の差違がみえる。なお図-5(d)のひずみ円は、(c)図に類似の変形状態であるの
 例えは応力比(E_0)の影響が大きいことを示唆している。
 3-3 γ, η の変化 図-4の(b)~(d)の応力円では、
 τ と N の増加にもなっている。一方(a)は N
 とともに小さくなる。これは(a)では $\sigma_x = \sigma_y$ のため、
 (b)~(d)の $\sigma_x = \sigma_y \rightarrow \sigma_z$ とは応力状態が異なることと、また
 τ_{xy} が比較的低いため、 N の増大にも拘らず、 $\sigma_x \approx \sigma_y (\sigma_x \approx \sigma_y)$
 で K_0 状態に近く、供試体の初期土構造の応力によるねじ
 りは少ないと考えられる。その結果が3-2のひずみ円の
 差異となり、現れるといえる。特に図-5(a)では N と
 ともに負のひずみ(ε_z)は正側に变化する η が特徴的であ
 る。図-5の $N=1$ でのひずみ円はいずれも $\eta \approx 0 (\varepsilon_z = 0,$
 $\varepsilon_z \approx -\varepsilon_y)$ であるが、 $N=100$ では、 ε_z の増加速度が($-\varepsilon_z$)より

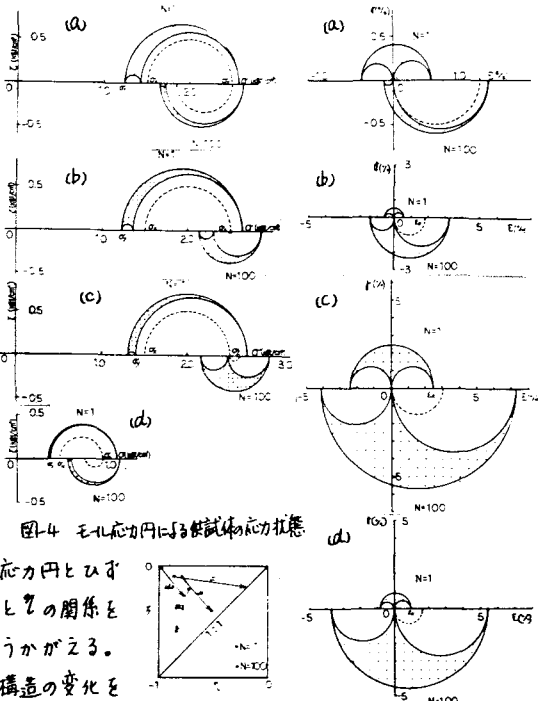


図-4 モール応力円による供試体の応力状態

大きく、円は右へ移行し、 η は減少する。図-4と図-5より、応力円とひず
 み円には幾何学的相似性がみえない。そこで図-6に γ と η の関係を
 示すと $N=1 \rightarrow 100$ にかけて、対応1:1線の上に近づく傾向がうかがえる。
 すなわち供試体は N の増加につれて、応力依存による土構造の変化を
 もたらし、応力状態に対応するひずみ状態になると考えられる。
 3-4 せん断応力-ひずみ関係の変化 図-7に τ_{xy} と ε_x の関係を示し
 ている。図-7(a)~(c)より τ_{xy} が増大するとヒステリシスループの勾配
 は横ばいになる。すなわち割線せん断剛性率($G = \tau_{xy} / \varepsilon_x$)は減少する。
 τ_{xy} が小さい場合(図-7(a)), N によるループの変化は僅少で、図-5(a)のひ
 ずみ円にみるようにひずみは極めて小さく、内部に発生する伸張ひず
 み($-\varepsilon_z$)は減少するので密度は高くなり、供試体の土構造は安定する
 といえる。一方図-7(b),(c)のように τ_{xy} が大きくなるにつれて、 N による
 影響が顕著に現れ、 $-\varepsilon_z$ も増長し、土粒子間の結合は弛緩するため
 せん断変形が大きくなり、ループは横になる。 τ_{xy} が同じ(a),(d)では、 σ_z がせん断
 変形に与える影響が顕著であることがわかる。

図-5 モールひずみ円による供試体のひずみ状態

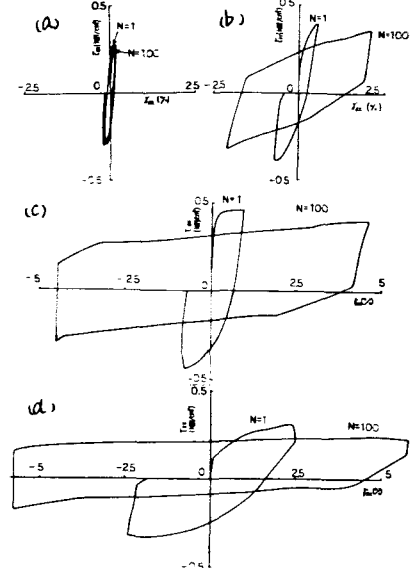


図-7 応力-ひずみ関係

4. あとがき 以上締め固めカオリン粘土の繰返し単純せん断試験を
 行い、結果を要約すると、(1)三次元モール円に表示した応力状態と
 ひずみ状態はそれぞれ繰返し応力下で応力によつてその変化の傾向
 を異にすることがわかった。土の力学的性質の変化を考慮する場合には、
 両者を併用することが必要である。(2)拘束応力 σ_z 、繰返しせん断
 応力 τ_{xy} は、ともに応力状態ひずみ状態の変化に影響する。また σ_z の
 大きさはヒステリシスループに著しい影響を及ぼす。(3)繰返しせん断によ
 り、一般に供試体の密度は高くなる傾向がある。しかし一定以上のせん断
 応力の増大はせん断変形を大きくし、せん断剛性率を低下させることがわ
 かった。

参考文献

1) 山内・荒内・美濃(1980): 単純せん断試験機による異方性粘性土の変形特性, 第35回土力学学会年次学術講演要
 集, Ⅲ pp.47-48.