

III-39

圧密粘土の繰返し単純せん断特性

九州大学工学部 正 山内 豊穂 正 落合 英俊 正 林 重徳
同 学 O大坪 正和 学 藤崎 裕司

1. まえがき

繰返しせん断を受ける土の応力・変形およびせん断強度特性は、土の状態量のみならず、要素試験での供試体のひずみ拘束条件や外的条件としての応力条件ならびに繰返し回数に大きく影響を受けることが従来の実験データにより明らかにされている。本論文においては、繰返し単純せん断試験装置を用いて、平面ひずみ状態におかれた圧密粘土の立方供試体に対して、ひずみ制御で繰返し単純せん断試験を行い、せん断中の供試体の変形量と各面上の応力を直接測定し、単純せん断過程における供試体の応力・ひずみ状態の変化について調べた。

2. 実験概要

用いた試料は白色粘土(市販カオリン, $G_s=2.69$)である。供試体作成にあたっては、試料をほぼ液性限界に近い含水比で十分に練り返し、三次元等方排水ができるように成形した圧密装置の試料室にセットし、空気圧で段階的に圧密を行った。最終圧密圧力は 392 kN/m^2 であり、圧密時間は6時間、除荷後の膨張吸水時間と2時間とした。供試体は、初期含水比: $w_0=31\%$ 、初期間けき比: $e_0=0.803$ である。供試体を切り出し、整形した後、せん断箱にセットし、所定の鉛直応力(σ_z)を載荷して K_0 圧密を行った。鉛直応力は圧密およびせん断過程において 196 kN/m^2 で一定に保った。供試体作成時の圧密圧力と試験時の鉛直応力の比は2で、供試体は過圧密領域にある。試験は、せん断ひずみ速度 1 mm/min でひずみ振幅一定の両振り単純せん断試験である。繰返し回数は5回とし、上下排水条件で試験を行った。繰返しせん断ひずみは、 $\pm 0.5\%$, $\pm 1.0\%$, $\pm 1.5\%$, $\pm 2.0\%$, $\pm 3.0\%$ の5種類である。

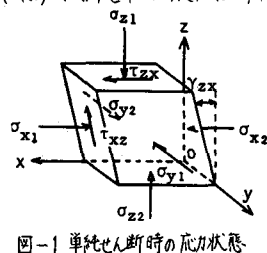


図-1 単純せん断時の応力状態

3. 実験結果と考察

3.1 応力～ひずみ関係

図-1に単純せん断時の応力状態を示す。試験装置においては、 x 方向、 y 方向の変位は拘束されているので、鉛直ひずみ(ϵ_z)は体積ひずみ(ϵ_v)に等しくなる。図-2は繰返しせん断ひずみ($\gamma/2$)が3%の試験におけるヒステリシスループと体積ひずみ(ϵ_v)を示したものである。繰返し回数の増加とともに、せん断応力($\pm \tau_{zx}$)の絶対値も増加しており、供試体は硬化する。これは、せん断過程で体積ひずみ(ϵ_v)が増加し、 γ が増えるためである。この傾向は他のせん断ひずみ振幅の試験においても同様である。

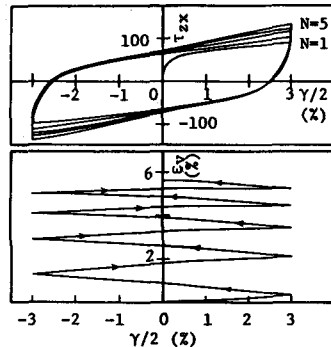


図-2 ヒステリシスループと体積ひずみ

各試験において、繰返し回数をパラメータとして、各繰返しせん断ひずみ時のせん断応力($\pm \tau_{zx}$)の絶対値の平均とせん断ひずみとの関係を示したものが図-3である。図中には、一方の静的試験結果も併記している。繰返し回数ごとの応力～ひずみ曲線と一方の静的試験結果と比較すると、 $N=1$ の結果は静的なものとほぼ一致しているが、繰返し回数が増加すると静的試験結果よりもよりせん断応力(τ_{zx})が大きくなる。実験したせん断ひずみの範囲では、繰返し回数の増加とともに硬化現象を示すことがわかる。

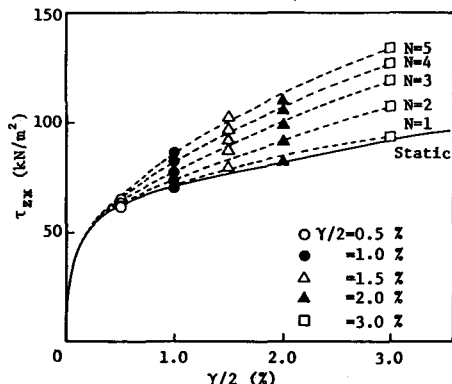


図-3 応力～ひずみ関係

3.2 体積変化特性

図-4は体積ひずみ(E_v)と繰返し回数(N)との関係を示したものである。体積ひずみ(E_v)は繰返し回数の増加につれて単調に増加し、繰返しせん断ひずみ($Y/2$)の影響を受け、繰返しせん断ひずみが大きいほど大きな体積ひずみを生じる。このように、一定の鉛直応力のもとで繰返しせん断を受けると、過圧密の試料でも圧縮を受けやすい。

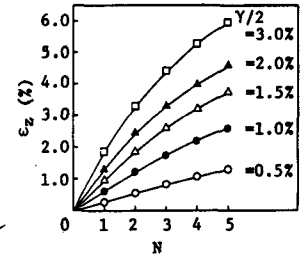


図-4 E_v と N の関係

体積ひずみ(E_v)は、図-4に示すように繰返し回数とともに増加するので、せん断ひずみ($Y/2$)についても各繰返し回数ごとの値の和で表わした累積せん断ひずみ($\Sigma Y/2$)を考え、それらの関係を図-5に示す。図中には、せん断ひずみ波形を図-6に示したRandomな繰返しせん断ひずみ試験結果と併記している。Random波形の試験結果を含む種々の繰返しせん断ひずみ試験結果はすべて一本の曲線で表わすことができる。このことは、一定のひずみ速度で繰返し単軸せん断を受ける圧密粘土の体積ひずみと累積せん断ひずみの関係が繰返しひずみ振幅の影響を受けないことを示している。

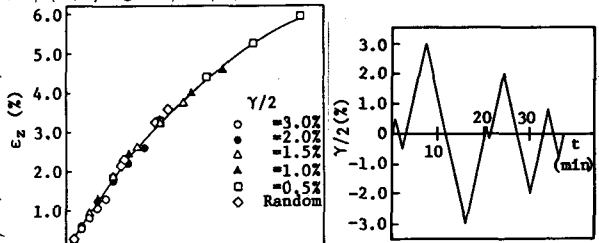


図-6 Random 波形

3.3 側方応力の変化

図-7は繰返しせん断ひずみ($Y/2$)が3%の試験における側方応力(σ_x, σ_y)の変化傾向を示したものである。せん断過程で σ_x は σ_y よりも大きく、繰返し回数2回め以降、 σ_x はほぼ定常状態にあるのに対し、 σ_y は繰返し回数の増加に伴って減少する。せん断ひずみ速度は一定であるが、側方応力の増分は一定ではなく、特に σ_x はピークが見られ下後、急激に減少する。また、 σ_x のピークはせん断ひずみ波形のピークと一致しているが、 σ_y のピークはせん断ひずみ波形のピークよりも若干遅れている。

図-5 E_v と $\Sigma(Y/2)$ の関係

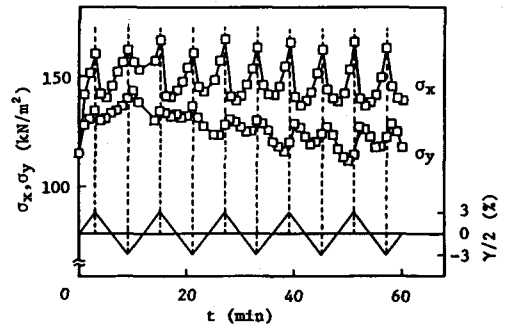


図-7 側方応力の変化

図-8、図-9は各繰返し回数において、せん断ひずみが最大となる時の側方応力(σ_x, σ_y)と累積せん断ひずみ($\Sigma Y/2$)の関係である。図中には、一方の静的試験結果も併記している。 σ_x 、 σ_y はいずれも繰返しの影響を受け、累積せん断ひずみの増加に伴い、静的試験結果よりも値が小さくなる。 σ_x は繰返しせん断ひずみが大きいほど値が大きく、累積せん断ひずみが増加するにつれて、各繰返しせん断ひずみ試験ごとに一定値に落ち着く傾向にあり、繰返しせん断ひずみによる影響が顕著である。一方、 σ_y は累積せん断ひずみの増加に伴い減少し、繰返しせん断ひずみによる影響もあまり見られない。

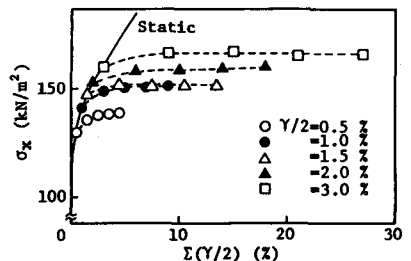


図-8 σ_x と $\Sigma(Y/2)$ の関係

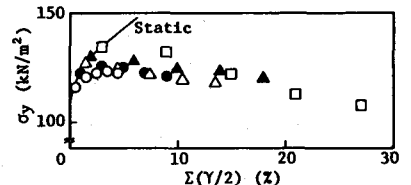


図-9 σ_y と $\Sigma(Y/2)$ の関係

4. あとがき

体積ひずみと累積せん断ひずみの関係は繰返しひずみ振幅の影響を受けず、一本の曲線で近似できることから、今後、体積ひずみと累積せん断ひずみの関係形で表現することを考える。側方応力については、 σ_x は繰返しひずみ振幅の影響が顕著であるが、 σ_y はその影響があまり見られず、特徴的な変化傾向を示しており、さらに考察を進めたい。

(参考文献) Finn, W.D.L. and Bhatia, S.,

Endochronic theory of sand liquefaction, Proc. 7th World Conf. on Earthquake Eng., Istanbul, pp. 149-153, 1980.