

III-129 砂のねじりせん断変形特性の拘束圧・密度依存性

東北大学大学院 学生員 ○土倉 泰
岡田 直之
東北大学工学部 正会員 柳沢 栄司

1. まえがき：本研究は、大型中空ねじりせん断装置を用いた最大主応力軸固定の排水せん断試験¹⁾の一環として行なわれたものである。その内容は供試体に対する拘束圧を変えた場合と、供試体の密度を変えた場合に、せん断変形特性、特にひずみ増分の方向に及ぶ影響を、ねじり単純せん断試験から調べたものである。

2. 実験装置と応力径路：実験に用いた装置の中空円筒供試体寸法は内径20cm、外径25cm、高さ25cmであり、供試体半径方向の応力の不均一性は小さくされている²⁾。この装置は元来、軸力、トルク、内・外セル圧によって3主応力制御が可能で、種々の応力径路をとることができる。本研究では最大主応力軸固定の排水せん断において、拘束圧や密度がひずみ増分方向にどう影響するかを調べることを主な目的としているため、最大主応力方向が固定される応力径路として、ねじり単純せん断試験（最大主応力方向は鉛直軸から $\beta = 45^\circ$ 傾いており一定である）を行なった。ねじり単純せん断では拘束圧一定の条件と有効平均主応力 $P' = (\sigma_1' + \sigma_2' + \sigma_3')/3$ の一定条件が同時に満足される。なお、この場合の応力関係を図-1～図-3に示す。

3. 実験方法：1)拘束圧を変えた実験：試料には豊浦標準砂（Gs=2.65, $e_{max}=0.989, e_{min}=0.614$ ）を用い、供試体の作成は多重ふり落法³⁾によった。この作成法によれば、重力的作用によって異方的な堆積構造が得られる。供試体密度はせん断前の間隙比 e を0.694～0.711（ $D_{rc}=73\sim78$ ）とほぼ統一した。供試体にはCO₂脱気水を通し、背圧2.0kgf/cm²を加えて間隙を水で飽和させた。次に $\sigma_c'=0.5\text{kgf/cm}^2, 1.0\text{kgf/cm}^2, 2.0\text{kgf/cm}^2$ の3通りで等方圧密した後、せん断を応力制御、排水状態にて行なった。ひずみは载荷段階毎に軸変位、回転角、体積変化を測定して、表-1のように求めた。式中、半径方向と円周方向の直応力は σ_h に等しいので、両方向のひずみは等しいと仮定している。

2)密度を変えた実験：拘束圧を変えた実験に準ずるがせん断前の間隙比 e を4通り（ $D_{rc}=54, 77, 83, 99$ ）に変えている。これは、多重ふりいホッパー底部の穴の大きさにより、砂の堆積する速さを変えて調整した。また、拘束圧は $\sigma_c'=1.0\text{kgf/cm}^2$ とした。

4. 実験結果：1)拘束圧を変えた実験：図-5はせん断応力 τ_{vh} を最大せん断ひずみ $\epsilon_1-\epsilon_3$ に対してプロットしたものである。拘束圧の低い方に大きいひずみが出ている。図-6にひずみ径路図を示す。このひずみ座標系に応力径路を対応させると、図中、原点から鉛直方向に延びる直線となる。ひずみ径路は拘束圧によらず、ほぼ同様に応力径路からずれている。今、最大主ひずみ増分

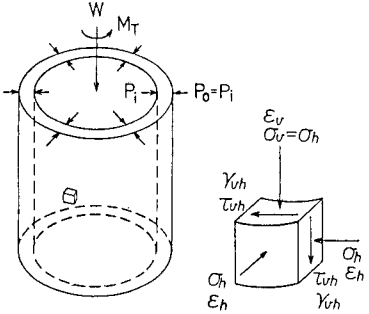


図-1 要素の応力とひずみ

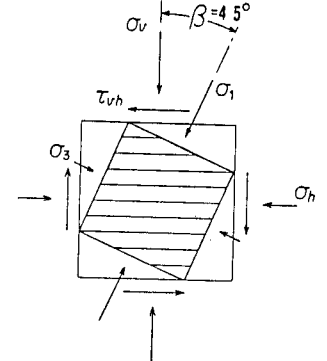


図-2 主応力軸と堆積面

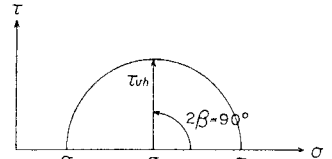


図-3 モールの応力円

表-1 ひずみ算定式

鉛直ひずみ ϵ_v	$= -\Delta h / h_c$
水平方向直ひずみ ϵ_h	$= (v - \epsilon_v) / 2$
体積ひずみ v	$= \Delta V / V_c$
せん断ひずみ γ_{vh}	$= \hat{\alpha} (r_o + r_i) / 2 h$

ここに、
 h_c ：圧密終了時の供試体高さ
 V_c ：圧密終了時の供試体体積
 Δh ：圧密終了時以降の高さの増加
 ΔV ：圧密終了時以降の排水量
 h ：供試体の変形後の高さ
 z ：供試体の変形後の下端からの距離
 $\hat{\alpha}$ ：キャップの回転角
 r_o, r_i ：供試体の外半径、内半径

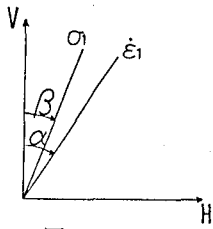


図-4 αとβ

方向の鉛直軸となす角をα(図-4)とし、この角αのβ(=45°)からのず

れ角α-βを最大せん断 図-5 最大せん断ひずみ(拘束圧)

ひずみ $\epsilon_1 - \epsilon_3$

に対して示し

たのが図-8で

ある。ひずみ

増分方向は初

め最大主応力

方向から鉛直

方向にずれる

がその後水平

方向にずれる。

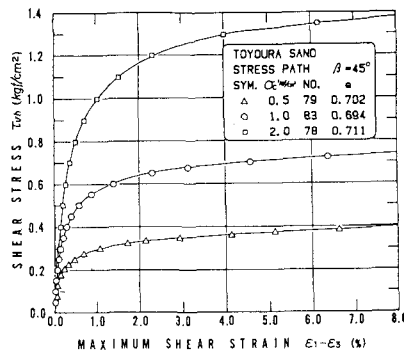


図-5 最大せん断ひずみ(拘束圧)

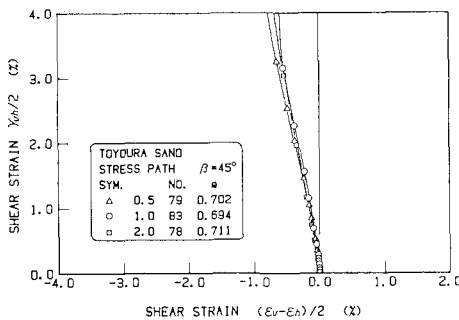


図-6 ひずみ径路(拘束圧)

そして、このずれ方は拘束圧に殆ど影響されていないことがわかる。

2)密度を変えた実験: 図-7は最大せん断ひずみ $\epsilon_1 - \epsilon_3$ を示すもので密度の低いもの程同一の τ_{vh} に対し大きなひずみが出ています。ひずみ径路図を示した図-8では、変形がある程度進むと密度が高い程ひずみ径路の応力径路からのずれが大きいくことがわかる。また、ずれ角 $\alpha - \beta$ を示した図-10からは全般的なずれ角の傾向は拘束圧を変えた時と同じであるが、水平方向へのずれ角は初め密度の低いもので大きく、変形が大きくなると密度の高いもの程大きくなる様子がみられる。

5. あとがき: 本研究の結果より、最大主応力軸固定の砂の排水せん断変形における最大主ひずみ増分方向の最大主応力方向からのずれは、(1) 拘束圧には依存しない、(2) 密度に依存する、ということがいえよう。

6. 謝辞: 試験機の製作には、八戸工業大学 飛田善雄講師があたり、また同講師より実験上の助言をいただきました。ここに、感謝の意を表します。

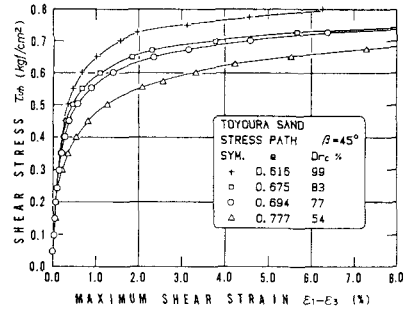


図-7 最大せん断ひずみ(密度)

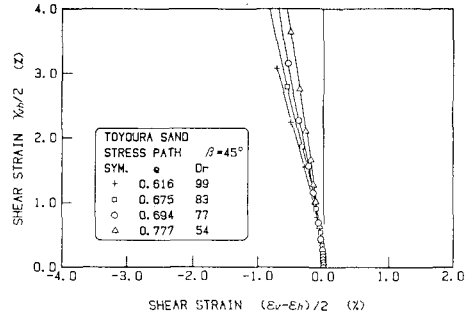


図-8 ひずみ径路(密度)

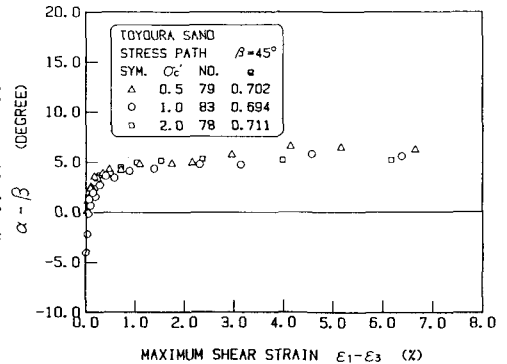


図-9 α-β(拘束圧)

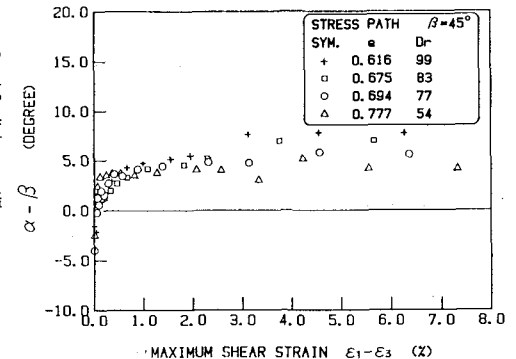


図-10 α-β(密度)

- 文献) 1)岡田ら(1986); 主応力方向が異方性砂の排水せん断変形特性に及ぼす影響, 第21回土質工学会研究発表会
2)Hight et al(1983); The development of a new hollow cylinder apparatus for investigating the effect of principal stress rotation in soils. Geotechnique 33, No.4, pp.61-77
3)Miura et al(1982); A sample preparation method and its effect on static and cyclic deformation-strength properties of sand. Soils and Foundations, Vol.22, No.1, pp.61-77