

III-A 18

初期構造異方性を有する砂の一面せん断試験における力学特性

横浜国立大学大学院 学生会員 ○中丸宗一郎
 横浜国立大学工学部 正会員 プラダン テージ
 横浜国立大学大学院 学生会員 藤谷雅義

1.はじめに：砂質土地盤内には、堆積過程で生じる土粒子の特定方向への卓越配列による構造異方性がある。この影響により、地盤の堆積面方向に対する主応力やせん断面の方向の違いで強度・変形特性に異方性が生じることが知られている¹⁾²⁾³⁾。近年、室内試験における砂の異方性に関する研究は、おもに平面ひずみや三軸試験によって行われてきた。しかし、原位置地盤では主応力の回転を伴いながら堆積面とせん断面の方向が異なる状態で地盤のすべり破壊などが生じる。そこで本研究では、この様な状態における強度・変形の異方性を調べるために、堆積面を種々変化させた砂の供試体に対して一面せん断試験を行なった。さらに、主応力の回転を伴わない平面ひずみ圧縮試験における異方性と比較・検討した。

2. 試料および供試体作成方法：試料は、豊浦標準砂($e_{max}=0.977$, $e_{min}=0.605$, $D_{50}=0.160\text{mm}$)である。供試体に水平面とは異なる堆積面を設けるため、作成には図-1に示すような装置を用いた。まず、所定の角度に設定したボックス内に供試体作成用モールドを設置(1)し、空中落下法により砂を堆積(2)させる。次に、水槽から水を浸透(3)させ、整形(4~6)し、余分な水を約 3kPa の負圧を 1 時間かけて排水させた後、冷凍する。

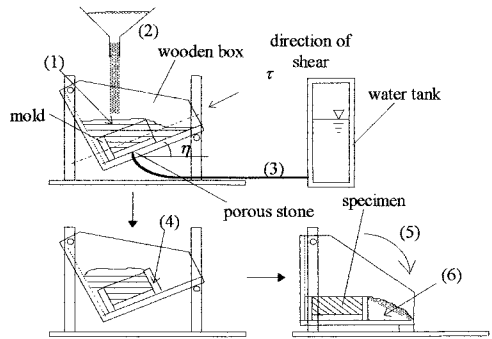


図-1：供試体作成方法

3. 実験装置および方法：作成した供試体をせん断箱内に設置し、約 24 時間かけて完全解凍する。次に下部から所定の鉛直応力に達するまで段階载荷により圧密し、せん断速度 $dh/dt=0.25\text{mm/min}$ (h : 水平変位) 一定で定圧一面せん断試験を行なった。なお、上下せん断箱間隔は 3mm に固定した。装置に関しては文献-4 を参照されたい。

4. 実験結果：本研究では、構造異方性の程度を表わすパラメータとして堆積面とせん断方向とのなす角を η で定義した(図-2-a 参照)。 η はせん断方向に対して反時計回りを正とし、土工論と照らし合わせて、主働せん断($0<\eta<90^\circ$)と受働せん断($90<\eta<180^\circ$)に分類した⁵⁾。

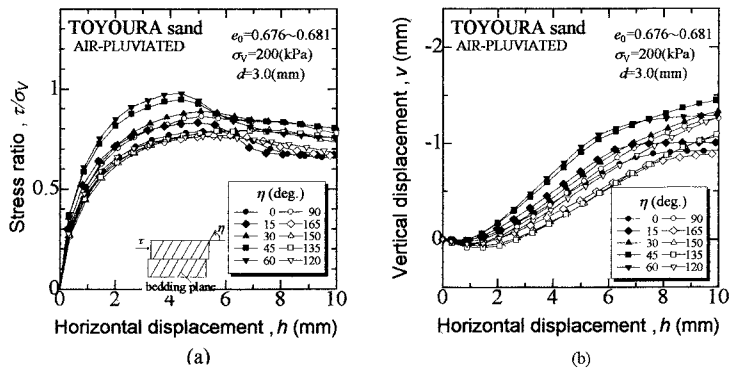


図-2：応力比・鉛直変位-水平変位関係

4.1 強度・変形特性の概要：

図-2 に鉛直応力 $\sigma_v=200\text{kPa}$ における応力比・鉛直変位-水平変位関係を示す。(a)から、同一密度にもかかわらず、 η によってピーク時の応力比 $(\tau/\sigma_v)_{max}$ が大きく異なることがわかる。また主働せん断の方が $(\tau/\sigma_v)_{max}$ は大きく、ピークの発現が明瞭であり、発現時期も早いことがわかる。さらに(b)においても、 η によって $v-h$ 関係が大きく異なっており、主働せん断の方がピーク近傍でより膨張していることがわかる。この傾向は、圧力レベルによらずほぼ同様である。以上から、一面せん断試験においても砂の強度・変形特性に及ぼす構造異方性の影響が明らかになった。

4.2 強度特性に及ぼす異方性の影響：

異方性の影響をより明確に調べるため、図-2-a から得られた内部摩擦角 ϕ_{sk} (白点) と η の関係を図-3 に示す。これから圧力レベルによらず、強度は $\eta=60^\circ$ で最大値、 $\eta=120, 165^\circ$ で極小値になる。また、明瞭な圧力レベル依存性が見られるが、これは供試体作成時に水を浸透させるため、砂粒子および間隙内に水が混入することにより供試体が不飽和化し、水分子が負の間隙水圧をもつことでみかけ上の粘着力 c が生じたことがおもな原因として考えられる。図-4 に $\eta=0\sim 60^\circ$ におけるピーク時のせん断応力 τ と鉛直応力 σ_v の関係を

示す。これから各 σ_v に対する η において、その近似直線はドットの中心を通ることがわかった。すなわち、各 η におけるデータはそれぞれ固有の c ($\approx 6.9 \sim 14.2$ kPa) と傾き (c を考慮した応力比) をもち、圧力レベル依存性はないといえる。この傾向は $\eta=90 \sim 165^\circ$ においても同様である。また、空気乾燥砂では、顕著な圧力レベル依存性はないことが実験的にわかっている⁶⁾。したがって、 c を考慮することは妥当であると考えられる。図-3 に c を考慮した内部摩擦角 ϕ_{as} (黒点) を示す。これから、 $c=0$ の場合とほぼ同様な傾向を示し、すべてのデータは一本の曲線上に載ることがわかる。図-5 に c を考慮した内部摩擦角の極座標分布を示す。これから、強度は常に主働せん断の方が大きく、異方性は非対称的である。図-6 に平面ひずみ圧縮試験 (PSC)⁷⁾ およびねじり単純せん断試験 (TSS)⁸⁾ と強度の比較を行なうために、 c を考慮した内部摩擦角をピーク時の最大主応力軸方向と堆積面とのなす角 δ_f で整理したグラフを示す。これから、せん断面上の ϕ_{as} および主応力で定義した ϕ_{ps} とともに PSC の結果と同じ傾向を示すことがわかる。また、 ϕ_{as}

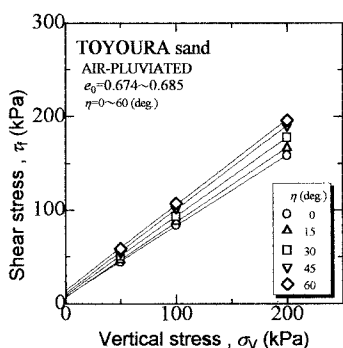


図-4：ピーク時のせん断応力-鉛直応力関係

は TSS から得られたせん断面上の ϕ とよく一致する。さらに、主応力で定義した ϕ_{ps} は PSC 強度 ϕ とよく一致することから、一面せん断試験では、構造異方性による影響と比べ、主応力回転の影響は小さいと考えられる。なお、 δ_f 、 ϕ_{ps} の算出過程でピーク時のダイレイタンシー角 ν_f を用いるため、 ϕ_{as} 、 ϕ_{ps} はそれぞれ 30 ケースのデータをプロットしてある。

5. 結論：
 ① 一面せん断試験においても強度・変形特性に異方性が見られ、強度は主働せん断の方が常に大きい。
 ② 主応力の回転を伴わない平面ひずみ圧縮試験と同じ傾向を示したことから、一面せん断試験における主応力の回転の影響は少ないと考えられる。

5. 結論：

- ① 一面せん断試験においても強度・変形特性に異方性が見られ、強度は主働せん断の方が常に大きい。
- ② 主応力の回転を伴わない平面ひずみ圧縮試験と同じ傾向を示したことから、一面せん断試験における主応力の回転の影響は少ないと考えられる。

参考文献：

1) Oda, M.(1972) : Initial fabric and their relations to mechanical properties of granular material, Soils and Foundations, Vol.12, No.1, pp.17-36. 2) Tatsuoka, F., Sakamoto, M., Kawamura, T. and Fukushima, S.(1986) : Strength and deformation characteristics of sand in plane strain compression at extremely low pressures, Soils and Foundations, Vol.26, No.1, pp.65-84. 3) 落合英俊・林 重徳・大津敏郎(1968) : 単純せん断における異方性砂の応力・変形特性, 第23回土質工学研究発表会, pp.461-464. 4) 藤谷雅義・ブラダン テージ・岡本正広・今井五郎(1993) : 一面せん断試験における強度・変形特性, 土木学会第48回年次学術講演会, pp.882-883. 5) 三笠正人・高田直俊・大島昭彦(1984) : 一次元圧密粘土と自然堆積粘土の非排水強度の異方性, 土と基礎, 32-11, pp.25-30. 6) 中丸宗一郎・ブラダン テージ・藤谷雅義(1996) : 供試体作成方法が一面せん断強度に及ぼす影響, 第31回土質工学研究発表会(投稿中) 7) 朴 春植・坂田仁徳・龍岡文夫(1992) : 平面ひずみ圧縮状態における密詰め砂の変形・強度異方性, 第27回土質工学研究発表会, pp.539-542. 8) Pradhan, T. B.S., Tatsuoka, F. and Horii, N.(1988) : Strength and deformation characteristics of sand in torsional simple shear, Soils and Foundations, Vol.28, No.3, pp.131-148. 9) Davis, E.H.(1968) : Theories of Plasticity and Failure of soil Masses, Soil Mechanics, selected Topics (ed.I.K. Lee), Butterworth, pp.341-380.

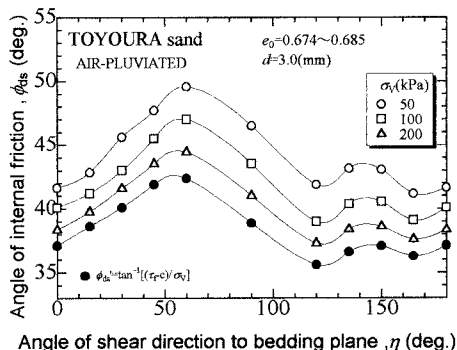


図-3：内部摩擦角-η 関係

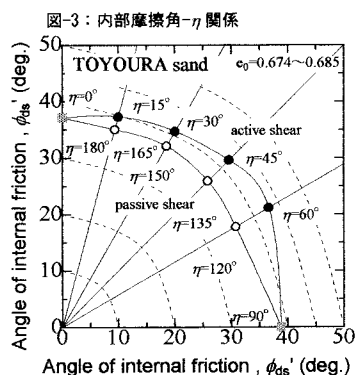


図-5：一面せん断強度の極座標分布

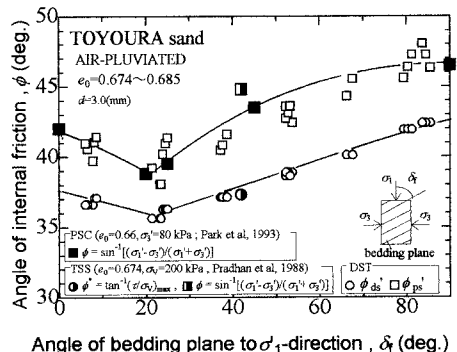


図-6：内部摩擦角- δ_f 関係