

堆積面方向の異なる粒状体の単純せん断特性

九州大学 工 学○廣重圭一 正 落合英俊
正 林 重徳 学 大津敏郎

1. まえがき

砂質堆積地盤は砂粒子の定方向配列に起因する構造異方性を有しており、砂の変形・強度特性や砂地盤の支持力特性を考える場合、この構造異方性を考慮する必要性が多くの研究者によつて指摘されている。本文は、供試体の堆積方向とせん断方向とのなす角度を変化させた単純せん断試験を行い、せん断にともない発現される摩擦角に着目することにより、堆積面方向とせん断方向の差異が粒状体の強度特性に及ぼす影響を実験的に検討したものである。

2. 試料・供試体および試験法

用いた試料は次の通りである。

- a) アルミ円板；直径2.3mm，厚さ0.5～0.8mm
- b) 海砂（志賀島）；粒径0.84～2.00mm，幾分長めで偏平な粒子形状

密度一定で任意の堆積面方向 δ （水平面より反時計回りに測った角度）をもつ立方供試体（一辺76mm）を次のようにして作製した。（1）所定の δ が得られるように、2枚の側板を取り外したモールドをセットする。ここでは $\delta=0, 10, 25, 45, 65, 80, 90, 115, 135, 155^\circ$ に変化させた。（2）試料を多重ふるいを用いて、モールド内に空中落下させる。（3）取り外していた2枚の側板を徐々に取り付けていく。以上のようにして作製した供試体は一時的に凍結させた。試験には供試体の鉛直および水平方向の直応力が直接測定可能な単純せん断試験装置を用い、図-1に示すように供試体をセットし、 $\sigma_x=3.0\text{kgf/cm}^2$ まで K_0 圧縮試験を行い、引き続き z 方向に 1mm/min のせん断速度で単純せん断を行った。

3. 実験結果と考察

図-2は、密度一定($D_r=88\%$)で δ の角度を変えた供試体の応力ひずみ曲線である。垂直応力 σ_N 一定でせん断応力 τ を負荷する単純せん断試験では、せん断にともない拘束圧が漸増するため、その結果としてせん断応力も漸増する。このような拘束圧の影響を考慮するために、ここでは、水平面上のせん断応力 τ を側方応力 ω （ x, y, z 方向の応力の平均値）で除した応力比 τ/ω を用いている。この図より、同じ密度であつても堆積面方向とせん断方向の関係によって応力ひずみ関係は異なる。また、すべての応力ひずみ曲線において明確なピークは認められないが、 $\tau=10\%$ 付近でほぼ応力比は一定となる。

単純せん断試験では、せん断にともない主応力軸が逐次回転する特徴をもっている。小田、小西⁽¹⁾は単純せん断試験において最大主応力軸が鉛直軸となす角 Ψ と水平面上の応力比 τ/σ_N との間に次のような半理論式を提案している。

$$\tau/\sigma_N = \kappa \tan \Psi \quad \cdots (1)$$

ここで κ は実験条件によらない定数であるとされている。この定数 κ には、限界状態における摩擦角 ϕ_{cv} あるいは静止土圧係数 K_0 を用いて落合⁽²⁾は、次式で

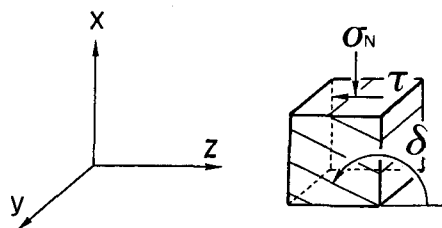


図-1 供試体の堆積面方向とせん断方向の関係

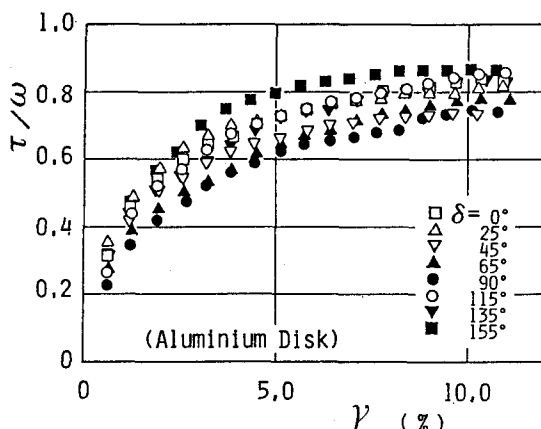


図-2 応力ひずみ曲線

表わせるとしている。

$$\kappa = \sin \phi_{cv} = 1 - K_0 \dots\dots(2)$$

単純せん断試験ではせん断中の主応力を直接測定することは不可能だが、式(1)を用いるとモールの応力円が容易に作図でき、従って主応力 σ_1 、 σ_3 が水平面上の応力比 τ/σ_N と K_0 値によって、次式のように表わされる⁽²⁾。

$$\begin{cases} \sigma_1 = \{ (1-K_0)\sigma_N^2 + \tau^2 \} / \{ (1-K_0)\sigma_N \} \\ \sigma_3 = K_0 \sigma_1 \end{cases} \dots\dots(3)$$

なおここでの K_0 値は従来通り、せん断方向の K_0 値を採用している⁽³⁾。式(3)を用いて、せん断にともない発現される摩擦角 $\phi_m = \arcsin \{ (\sigma_1 - \sigma_3) / (\sigma_1 + \sigma_3) \}$ に着目し、強度特性について検討する。図-3は、図-2の応力ひずみ曲線の応力比がほぼ一定となる $\gamma=10\%$ における摩擦角 ϕ_m を積面方向のなす角 δ に対して整理した結果である($\delta=0^\circ$ と $\delta=180^\circ$ は同一データ)。 ϕ_m は $\delta=65^\circ$ 付近で極小値、 $\delta=155^\circ$ 付近で極大値をとる。海砂の場合も傾向は同じである(図省略)。

このような $\phi_m \sim \delta$ 関係について、単純せん断における潜在すべり面と堆積面のなす角度との関係で検討する。前述のように、単純せん断試験ではせん断にともない主応力軸が逐次回転するため、各実験ケースごとに式(1)、(2)を用いて $\gamma=10\%$ のときの Ψ を算出して、図-4に示すように潜在すべり面を求める。

理論的には2つの潜在すべり面SP1とSP2が考えられるが、ここではより現実的だと考えられるSP1に着目する。図-5は各実験ケースごとの堆積面と潜在すべり面のなす角 α_1 を摩擦角 ϕ_m に対して整理した結果である。ところで、 α_1 が同じであっても、堆積面とせん断方向との関係によって図-5中に示すように2つのケースがある。すなわち、堆積面が潜在すべり面に対して反時計回りに角 α をなす場合(A)と、時計回りに角 α をなす場合(B)であり、どちらの場合かで ϕ_m の値は異なる。(A)の状態では $\alpha_1 \approx 45^\circ$ で最小値をとり、(B)の状態では $\alpha_1 \approx 45^\circ$ で最大値をとり、これらは図-3の $\delta=65^\circ$ と 155° に対応している。

4. まとめ

相対密度一定の供試体でも堆積面方向とせん断方向の関係によって応力ひずみ関係は異なる。また、粒状体の強度特性は潜在すべり面と堆積面方向との関係でとらえれば、図-5に示すような強度異方性を示す。

参考文献

- (1) 小田, 小西: Soils and Foundation, Vol.14, No.4 (1974)
- (2) 落合: 土質工学会論文報告書, 第15巻第4号 (1975)
- (3) 落合ら: 第21回土質工学研究発表会講演集, pp.321~pp.324 (1986)

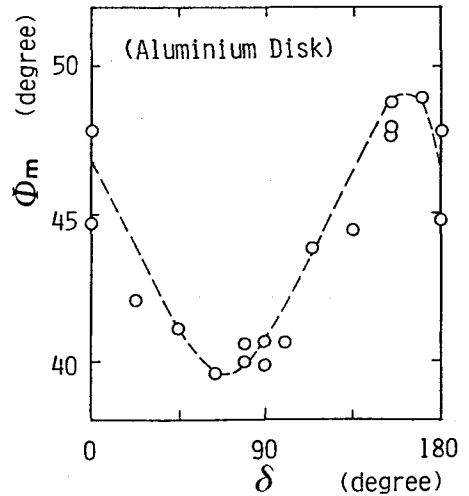


図-3 摩擦角と堆積面方向の関係

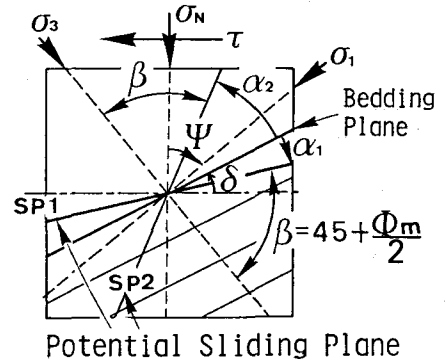


図-4 潜在すべり面と堆積面方向の関係

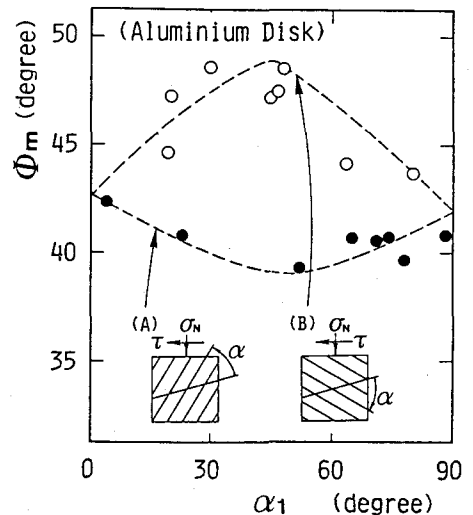


図-5 摩擦角と α_1 の関係