

主応力方向が砂の非排水せん断挙動に及ぼす影響

山口大学工学部 正員 安福規之 兵動正幸 村田秀一
山口大学大学院 学生員○吉村正芳 中田幸男 永島剛圭

1 まえがき

著者ら¹⁾は、これまで排水条件下での主応力方向固定、或いは主応力方向回転による異方性砂の変形・強度特性を実験的に明らかにしてきた。しかしながら実地盤の排水状態を考えた場合、非排水条件下での異方性砂のせん断特性も把握すべきである。また非排水条件下におけるこの種の実験的検討はさほど多くなく、今後の研究成果の蓄積が望まれている。そこで本報告は、空中落下法で作成された砂供試体を用いて非排水条件下で主応力方向固定試験を行い、最大主応力方向または最大応力傾角と堆積面との関係に着目したせん断変形の生じ方について考察を行うものである。

2 試料及び実験方法

実験は、自動制御・計測可能な中空ねじりせん断試験機²⁾を用いて行われた。試料は、秋穂砂($G_s=2.63$, $e_{max}=0.96$, $e_{min}=0.58$)が用いられた。供試体は、高さ20cm、内径6cm、外径10cmの中空円筒形であり、相対密度 $D_r=60\%$ を目標に空中落下法により作成された。飽和は、炭酸ガスの通気、脱気水の通水後、200kPaの背圧を負荷することで行われた。図1は、供試体要素と作用する主応力を示したものである。上述の方法で作成された供試体は、水平方向に堆積面を有している。試験に用いた主な応力・ひずみパラメータは、平均有効主応力 $p'=(\sigma_1+\sigma_2+\sigma_3)/3$ 、せん断応力 $q=1/\sqrt{2}\{(\sigma_1-\sigma_2)^2+(\sigma_2-\sigma_3)^2+(\sigma_3-\sigma_1)^2\}^{0.5}$ 、応力比 $\eta=q/p'$ 、せん断ひずみ $\gamma=\sqrt{2}/3\{(\epsilon_1-\epsilon_2)^2+(\epsilon_2-\epsilon_3)^2+(\epsilon_3-\epsilon_1)^2\}^{0.5}$ である。平均的な応力・ひずみの計算は、安福ら¹⁾に詳しく示されている。

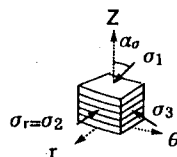


図1 供試体要素と主応力

圧密は、等方的に100kPaまで平均有効主応力を増加させた。せん断は、一定速度のねじり変形($d\theta=0.1 \text{ deg./min}$)を連続的に与えながら、軸力、内圧、外圧を制御するひずみ制御方式で、全応力の平均主応力 $p=100\text{kPa}$ 一定、中間主応力係数 $b=0.5$ 一定にして、最大主応力方向と鉛直軸(z 軸)とのなす角度 α_0 を $15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ の方向にそれぞれ固定して行った。

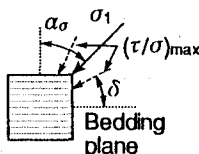


図5 最大応力傾角と堆積面

3 実験結果と考察

図2(a), (b)は、平均有効主応力 p' - せん断応力 q 関係と、 q - せん断ひずみ γ 関係を示したものである。最大主応力方向と鉛直軸とのなす角度が異なるだけで、有効応力経路やせん断ひずみの生じ方に違いが生じている。変相状態の p' の値は、 $\alpha_0=15^\circ$ で75kPa, $\alpha_0=60^\circ$ で68kPaを示し、そのときの q の値は、 $\alpha_0=15^\circ$ で78kPa, $\alpha_0=60^\circ$ で59kPaを示した。また等しいせん断応力でのせん断ひずみは、 $\gamma=0.2\%$ 以上になると $\alpha_0=60^\circ$ で最も生じ易くなっていることがわかる。図3は、内部摩擦角が $10^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ$ に達した時のせん断ひずみ γ と α_0 の関係を示したものである。 $\phi=10^\circ, 20^\circ$ でのせん断ひずみは、 $\alpha_0=45^\circ$ 付近で最大値を示すものの、 $\phi=25^\circ, 30^\circ$ では $\alpha_0=60^\circ$ 付近で最大値を示し、せん断ひずみが最大値を示す最大主応力方向は、内部摩擦角の増加とともに $\alpha_0=45^\circ$ から $\alpha_0=60^\circ$ 付近に変化することがわかる。

図4は、応力ひずみ関係の接線勾配 $d\tau/d\gamma=0.2, 0.3, 0.5, 1.0, 3.0, 10.0\%$ 及びピーク時の内部摩擦角 ϕ_m と α_0 の関係を示したものである。 ϕ_m は $d\tau/d\gamma=0.2\%$ に着目すると、 $\alpha_0=45^\circ$ 付近で最小値を示し、 $d\tau/d\gamma=0.3, 0.5, 1.0, 3.0, 10.0\%$ ピーク時では、 $\alpha_0=60^\circ$ 付近で最小値を示す傾向がある。図中の点線は、2つの最大応力傾角の1つが堆積面に一致する状態($\delta=0^\circ$)を示したものである。ここで δ は、最大応力傾角の作用方向と堆積面とのなす角度であり、 $\delta=45^\circ+\phi/2-\alpha_0$ で表される。(図5参照) いずれの $d\tau/d\gamma$ においても、内部摩擦角の最小値は、この $\delta=0^\circ$ ラインに一致する傾向にある。

そこで図6は、最大応力傾角と堆積面とのなす角 δ に着目して、図4の再整理を行いそれぞれの $d\tau/d\gamma$ に

おける内部摩擦角 ϕ_m と δ の関係を示したものである。等 $d\tau/d\eta$ ラインの ϕ_m は、 δ が減少する(最大応力傾角が堆積面に近づく)とともに減少し、その傾向は、 $d\tau/d\eta = 0.5, 1.0, 3.0, 10.0\%$ 及びピーク時でより顕著となっている。また、等しい ϕ_m であっても $d\tau/d\eta$ の値は δ の減少とともに増加しており、最大応力傾角が堆積面に近づくほど、せん断変形が生じ易くなることがわかる。

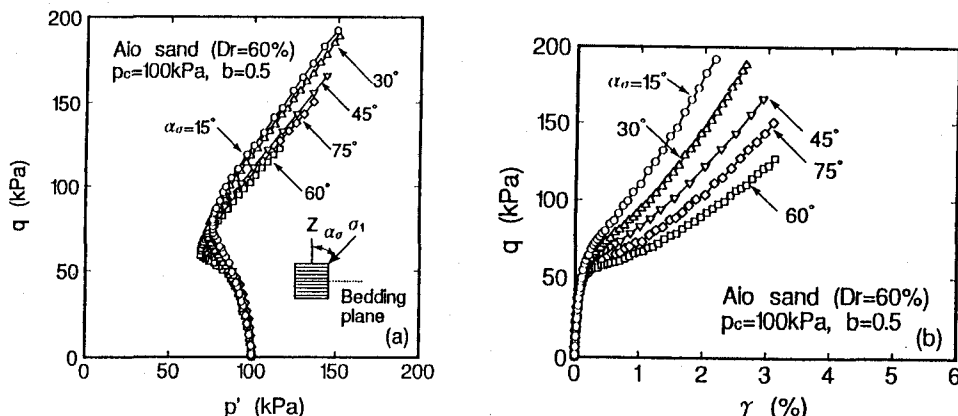


図2 非排水せん断試験の結果 (a) $p'-q$ 関係 (b) $q-\gamma$ 関係

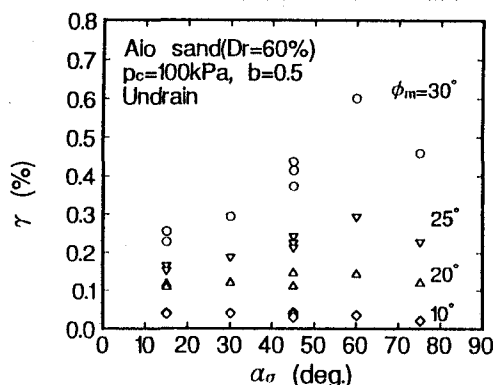


図3 等 ϕ における $\gamma-\alpha_\sigma$ 関係

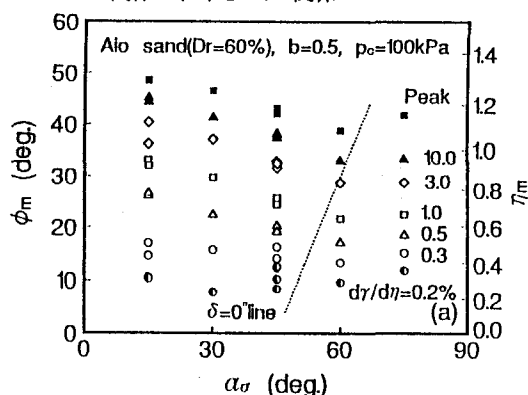


図4 $\phi_m-\alpha_\sigma$ 関係 (等 $d\tau/d\eta$ ライン)

4 まとめ

本研究では、異方性砂を対象に中空ねじりせん断試験機を用い主応力方向固定非排水せん断試験を行った。初期拘束圧100kPa、中間主応力係数 $b=0.5$ で限られた実験条件下ではあるが、異方性砂の変形・強度特性は、最大応力傾角と堆積面との関係に密接に依存していることを明確にした。

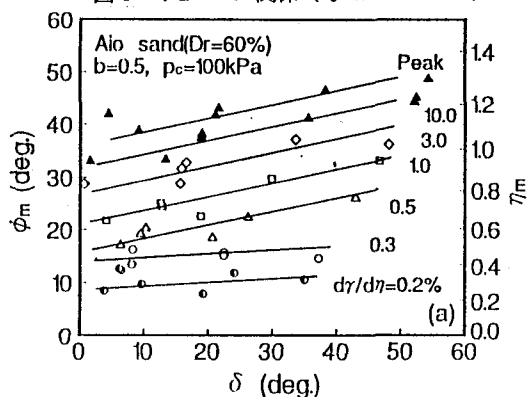


図6 $\phi_m-\delta$ 関係 (等 $d\tau/d\eta$ ライン)

<参考文献>

- 1) 安福・村田・兵動・山本・浜田(1992):地盤と建設, Vol. 10, No. 1, pp. 83-92.;
- 2) 中田・山本・安福・村田(1994):第46回土木学会中国四国支部研究発表会投稿中;