

主応力方向に着目した砂のせん断抵抗角の発現特性

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 ○永島剛吉 中田幸男 吉村正芳

まえがき

著者らは、これまで空中落下法により作成した砂供試体を用いて、排水条件下で主応力方向を固定したせん断試験を行い、主応力方向が異なるだけで変形の生じ方や強度の発現の仕方が異なることを実験的に示してきた¹⁾⁻³⁾。またOdaら⁴⁾は、室内で作成した供試体がある方向に堆積面を有する構造であることを微視的に示している。そこで本報告では、そのような砂供試体のせん断抵抗角の発現特性について実験的な立場から考察を行う。

実験方法

実験は、中空ねじりせん断試験機を用いて行った。供試体は、内径6cm、外径10cm、高さ20cmの中空円筒形であり、秋穂砂($G_s=2.63$, $e_{max}=0.96$, $e_{min}=0.58$)及び豊浦砂($G_s=2.64$, $e_{max}=0.97$, $e_{min}=0.64$)を用いて、相対密度60%を目標に空中落下法により作成された。供試体作成後、飽和度を高める目的で供試体に炭酸ガスを通気したのち脱気水を通水して背圧を200kPa負荷する。なお本研究で用いた応力とひずみのパラメーターは、平均有効主応力 $p=(\sigma_1+\sigma_2+\sigma_3)/3$ 、せん断応力 $q=1/\sqrt{2}[(\sigma_1-\sigma_2)^2+(\sigma_2-\sigma_3)^2+(\sigma_1-\sigma_3)^2]^{0.5}$ 、応力比 $\eta=q/p$ 、せん断抵抗角 $\phi=\sin^{-1}[(\sigma_1-\sigma_3)/(\sigma_1+\sigma_3)]$ 、及び体積ひずみ $\varepsilon_v=\varepsilon_1+\varepsilon_2+\varepsilon_3$ 、せん断ひずみ $\gamma=\sqrt{2/3}[(\varepsilon_1-\varepsilon_2)^2+(\varepsilon_2-\varepsilon_3)^2+(\varepsilon_1-\varepsilon_3)^2]^{0.5}$ である。

応力径路は、平均有効主応力が100kPaに達するまで等方圧密を行った後、 $p=100\text{kPa}$ 一定、中間主応力係数 $b=0.5$ 一定に保ったまま、秋穂砂は、鉛直軸と最大主応力方向とのなす角 α_σ を15°, 30°, 45°, 60°, 75°に、豊浦砂は、 α_σ を15°, 30°, 45°, 55°, 60°, 65°, 75°に固定して排水せん断を行う(図-1参照)。

実験結果

図-2は、 $\eta-\gamma-\varepsilon_v$ 関係を示している。図(a)は秋穂砂の結果、図(b)は豊浦砂の結果をそれぞれ示している。いずれの試料においても、構造的な異方性を有する砂供試体にどの方向から最大主応力及び最小主応力を作用させるかで、せん断ひずみと体積ひずみの生じ方に大きな違いが生じていることがわかる。また、 α_σ の増加とともに、ピーク時の応力比は減少していることがわかる。

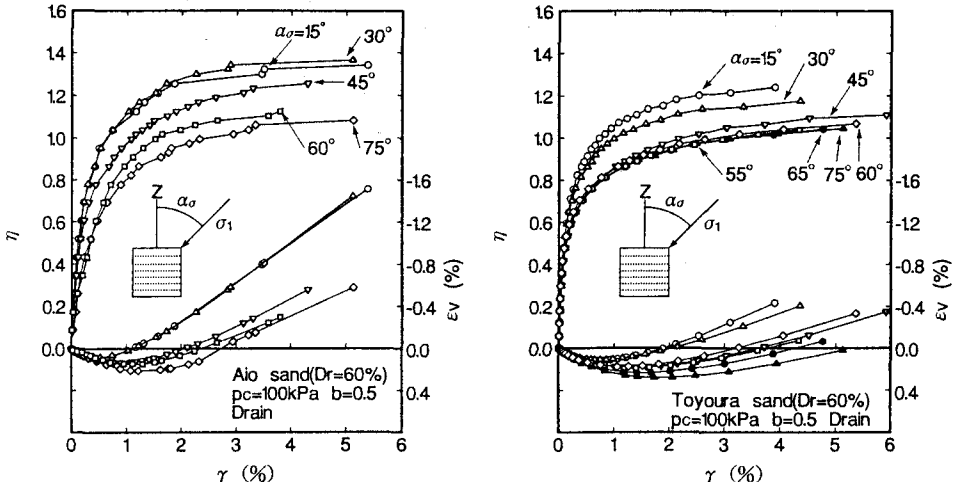


図-2 応力比 η - せん断ひずみ γ - 体積ひずみ ε_v 関係 (a) 秋穂砂の結果 (b) 豊浦砂の結果

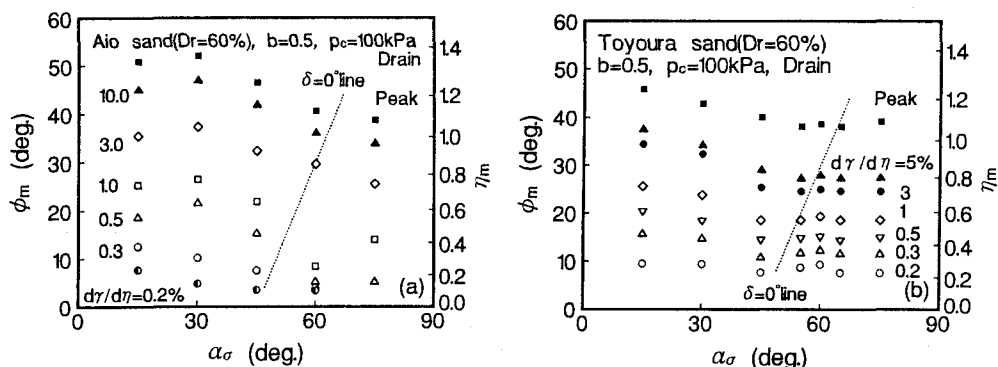


図-3 等 $d\gamma/d\eta$ ラインのせん断抵抗角 $\phi-\alpha_\sigma$ 関係(a)秋穂砂の結果(b)豊浦砂の結果

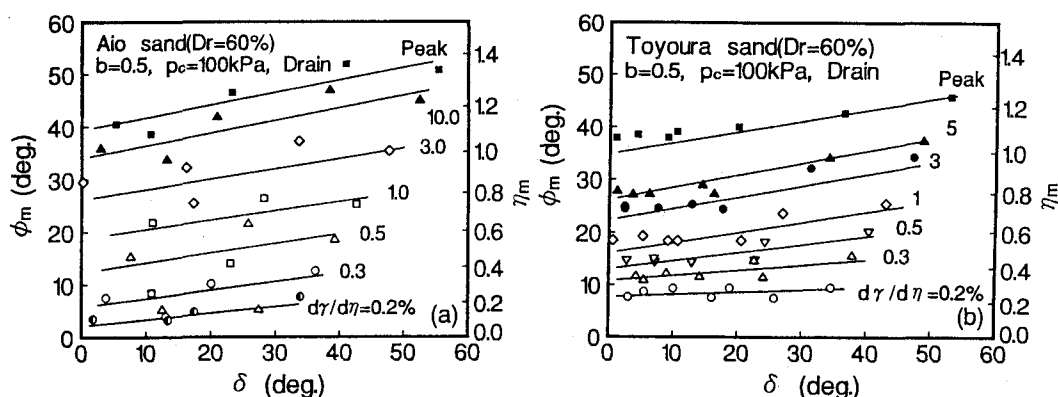


図-4 等 $d\gamma/d\eta$ ラインのせん断抵抗角 $\phi-\delta$ 関係(a)秋穂砂の結果(b)豊浦砂の結果

図-3(a)、(b)は、秋穂砂と豊浦砂において、応力ひずみ関係の接線勾配 $d\gamma/d\eta$ に達したときのせん断抵抗角 ϕ と α_σ との関係及びピーク時のせん断抵抗角と α_σ の関係である。図中の $\delta=0^\circ$ ライン(点線)は、二つの最大応力傾角のうちの一つと堆積面とのなす角が一致するような応力状態を表している。ここで、 δ は $45^\circ + \phi/2 - \alpha_\sigma$ で表される。豊浦砂に着目(図(b)参照)すると、 $d\gamma/d\eta=0.2, 0.3, 0.5, 1.0, 3.0, 5.0\%$ におけるせん断抵抗角の最小値は、 $\delta=0^\circ$ ライン近傍に存在しうようである。またピークにおけるせん断抵抗角の最小値は α_σ が 60° 付近に存在しうようである。これらのことから、いずれの $d\gamma/d\eta$ においても二つの最大応力傾角のうちの一つが堆積面の近傍にあるような応力状態のとき、せん断抵抗角は最小値を示すと判断される。また、秋穂砂についても同様のことが言えうようである。

図-4は、最大応力傾角と堆積面とのなす角 δ に着目して図-3を再整理したものである。図(a)は秋穂砂の結果、図(b)は豊浦砂の結果である。試料によらず、いずれの $d\gamma/d\eta$ 及びピークにおいても δ が小さくなるにつれて最小のせん断抵抗角を示していることがわかる。結果として二つの最大応力傾角のうちの一つが堆積面に近づくほど、同じせん断抵抗角を有していてもせん断変形が生じやすくなることを示している。

あとがき

本報告は、構造的な異方性を有する砂供試体を用いて、平均有効主応力 $p=100\text{kPa}$ 一定、中間主応力係数 $b=0.5$ 一定の条件下で、主応力方向を固定して排水せん断を行った。せん断抵抗角の発現特性は、堆積面と最大主応力方向との関係よりも、堆積面と最大応力傾角との関係に強く依存していることがわかった。

〈参考文献〉1)安福・村田・兵動・浜田・永富(1992):第27回土質工学研究発表会概要集pp. 471-474. ;2)安福・兵動・村田・永島・浜田(1993):第28回土質工学研究発表会概要集pp. 571-574. ;3)安福・中田・村田・兵動・浜田(1993):地盤と建設, Vol. 11, No. 1, pp. 42-55. ;4)Oda, M. (1972):Soils and Foundations, Vol. 12, No. 1, pp. 17-36.