

山口大学工学部 正員 村田秀一 正員 兵動正幸
正員 安福規之 学生員○伊東周作

1. まえがき

三次元的な応力状態にある土の変形挙動を実験的にによって把握するためには、三主応力を独立に制御できる試験機が必要となる。本研究では、新たに試作した中空ねじりせん断試験機を用いて、等方圧密後、三主応力を独立に制御したせん断試験を種々実施し、三主応力下での応力-ひずみ挙動をロードアングルに注目して検討したものである。

2. 供試体作製及び実験方法

i) 供試体作製方法---実験に用いた試料は、秋穂砂でその物性値は $G_s=2.65$, $e=1.05$, $e_{max}=1.05$, $e_{min}=0.60$ である。中空供試体の作製は、内モールドと外モールドで支持されたゴムスリーブ中に気乾燥試料を12回に分けて専用ロートで注入した後、タンパーで突き固める方法で行った。供試体の寸法は外径10cm, 内径6cm, 高さ20cm, また相対密度は75%である。試験機の概要については、参考文献1)を参考にされたい。

ii) 実験方法---実験は、 $p=1.0\text{kgf/cm}^2$ で等方圧密し、その後図-1に示す正八面体平面上でロードアングル θ 一定、 p 一定の排水せん断試験を θ が 0° から 180° の範囲で実施した。実験はすべて飽和中空供試体を用いて行った。なお θ の大きさにより最大、中間、最小主応力軸は変化するが、 θ が 0° から 60° では、 $\sigma_z \geq \sigma_r \geq \sigma_\theta$, θ が 60° から 120° では、 $\sigma_r \geq \sigma_z \geq \sigma_\theta$, θ が 120° から 180° では、 $\sigma_r \geq \sigma_\theta \geq \sigma_z$ の関係が存在する。添字 z, r, θ はそれぞれ垂直、半径、円周方向を意味する。今回の実験に用いた応力ひずみパラメータをまとめると以下ようになる。ここで、 p は平均有効主応力、 q は軸差応力、 ε_v は体積ひずみ、 γ_{oct} はせん断ひずみを示している。

$$\text{応力パラメータ} \quad p = (\sigma_z + \sigma_r + \sigma_\theta)/3 \quad (1)$$

$$q = \frac{1}{\sqrt{2}} \{ (\sigma_\theta - \sigma_r)^2 + (\sigma_r - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_\theta)^2 \}^{1/2} \quad (2)$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{\sqrt{3}(\sigma_r - \sigma_\theta)}{(2\sigma_z - \sigma_\theta - \sigma_r)} \quad (3)$$

$$b = \frac{\sigma_z - \sigma_\theta}{\sigma_1 - \sigma_3} \quad (4)$$

$$\text{ひずみパラメータ} \quad \varepsilon_v = \varepsilon_z + \varepsilon_r + \varepsilon_\theta \quad (5)$$

$$\gamma_{oct} = \frac{\sqrt{2}}{3} \{ (\varepsilon_\theta - \varepsilon_r)^2 + (\varepsilon_r - \varepsilon_z)^2 + (\varepsilon_z - \varepsilon_\theta)^2 \}^{1/2} \quad (6)$$

$$\omega = \tan^{-1} \frac{\sqrt{3}(\varepsilon_r - \varepsilon_\theta)}{(2\varepsilon_z - \varepsilon_\theta - \varepsilon_r)} \quad (7)$$

3. 実験結果

図-2は、 $b=0.0$ ($\theta=0^\circ$, $\theta=120^\circ$)での応力比-主ひずみ関係を示している。 $\theta=0^\circ$ での最大主応力は σ_z 、最小主応力は σ_r , σ_θ となる。一方、 $\theta=120^\circ$ での最大主応力は σ_r 、最小主応力は σ_z , σ_θ となる。 $\theta=0^\circ$ の最小主ひずみ ε_r , ε_θ は、ほぼ一致しているが、 $\theta=120^\circ$ の最小主ひずみは ε_z より ε_θ の方が大きなひずみを生じている。また、 $b=1.0$ ($\theta=60^\circ$, $\theta=180^\circ$)での同様な関係を図-3に示す。ここで、 $\theta=60^\circ$ の最大主応力は、 σ_z , σ_r 、最小主応力は σ_θ となり、 $\theta=180^\circ$ の最大主応力は σ_r , σ_θ 、最小主応力は σ_z となる。 $\theta=60^\circ$ の最大主ひずみ ε_z , ε_r は、ほぼ一致しているが、 $\theta=180^\circ$ の最大主ひずみは、 ε_θ より ε_r の方が大きなひずみを生じている。以上のことから同じ b 値でも θ によって各主ひずみに違いが生じていることがわかる。 $b=0.0$ ($\theta=0$)の結果を除くと、円周方向 θ に対して、圧縮ひずみは生じにくく、伸張ひずみは生じ易い傾向がある。このことは、少なからず砂供試体に構造的な異方性が存在することを示唆するものである。次に図-4は、 b 値がそれぞれ0.0, 0.268, 0.5, 0.732, 1.0における η - ε_v 関係を θ をパラメータにして示したものである。これらの図より、 ε_v にも θ 値の依存性がみられ、 θ 値が大きなもの程、圧縮性が大きくなっていることがわかる²⁾。次に、図-5は最大体積収縮時と破壊時の内部摩擦角 ϕ_s と b 値の関係を θ 値に注目して調べたものである。図中には、松岡・中井, Lade・Duncanの破壊基準から得られる b - ϕ_s 関係も一緒に示している。ここで、 $\phi_s = \sin^{-1}(\sigma_1 - \sigma_2)/(\sigma_1 + \sigma_2)$ 。図-6は、様々な破壊規準(Tresca, von Mises, Mohr-Coulomb, 松岡・中井, Lade-Duncan)と実験結果の破壊点を正八面体平面上に示したものである。実験結果は、 θ が $120^\circ \sim 180^\circ$ の範囲で最も大きな強度を示し、 θ がこの領域ではLade・Duncanの破壊基準に近いものとなっている。また、 θ が $60^\circ \sim 120^\circ$ の範囲では松岡・中井の破壊基準に近似した結果となっている。

4. まとめ

本報告では、中空せん断試験機を用いて、突き固め方によって作成した砂供試体を対象に三主応力制御試験を行い、三主応力下での砂の応力、ひずみ挙動について考察した。今後、三次元応力下での砂の変形挙動について体系的に検討を行うために、実験精度の向上とデータの蓄積をはかりたい。最後に本研究に精力にご協力頂いた卒論生古川俊也君(現 日本上下水道設計)に感謝の意を表します

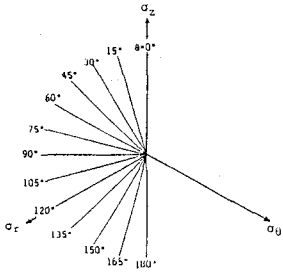


図-1 応力経路

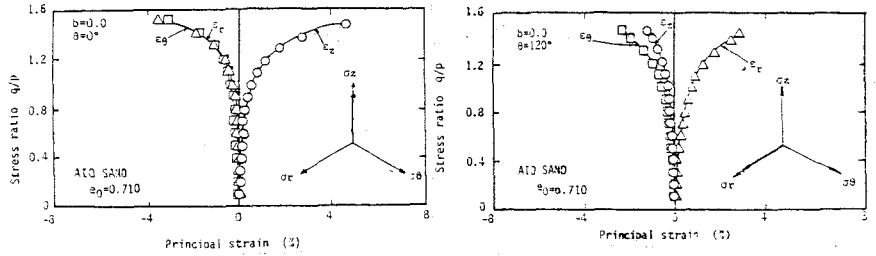


図-2 応力比-主ひずみ関係 (b=0.0)

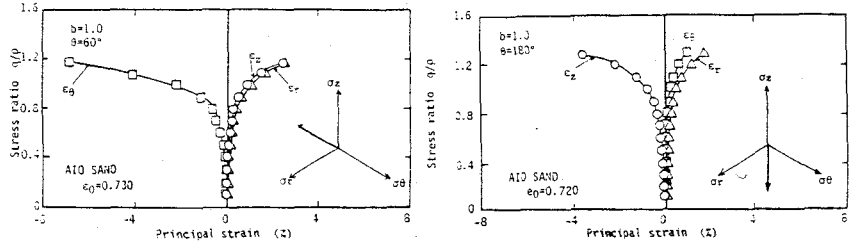


図-3 応力比-主ひずみ関係 (b=1.0)

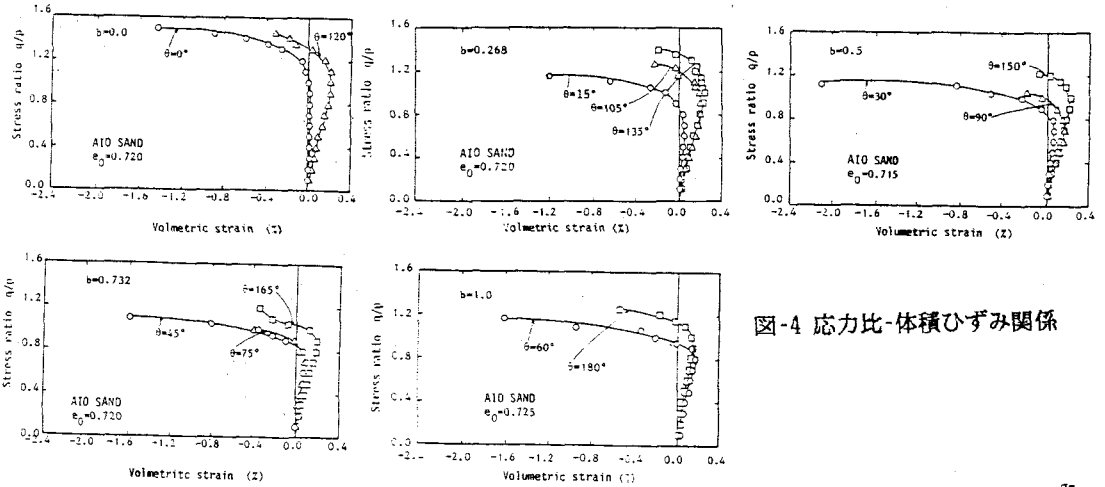


図-4 応力比-体積ひずみ関係

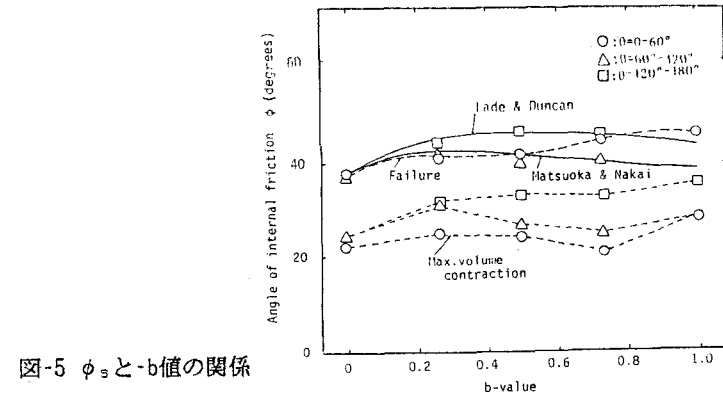


図-5 ϕ と b 値の関係

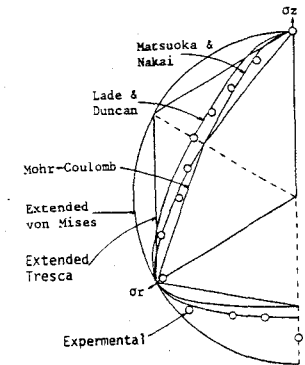


図-6 正八面体平面上的破壊規準

参考文献 1) 安福・村田・兵動・山本・伊東: 中空ねじりせん断試験機の試作とその適用について, 第41回土木学会中国四国支部研究発表会, 1989. 2) Y. Yamada & K. Ishihara: Soil & Foundation, Vol. 19 No. 2, 1979