

三主応力試験機を用いた砂の応力ひずみ挙動

山口大学工学部 正員 村田秀一 兵動正幸 中田幸男
山口大学大学院 学生員 ○小田浩司

1. まえがき

一般応力状態にある地盤材料の応力ひずみ挙動を明らかにする上で三主応力試験装置を用いた実験的研究がなされている。本研究では、各三主応力を独立して制御できる三主応力試験機を試作し、その性能を把握すると共に、三主応力下における砂の応力ひずみ挙動をロードアングル θ に注目して検討した。本報は、試作した三主応力試験機を用いて得られた結果を示すとともに試験機の有用性を議論するものである。

2. 供試体作成および実験方法

(1) 供試体作成方法

実験に用いた試料は秋穂砂であり、その物性値は $G_s=2.623$, $e_{\max}=0.975$, $e_{\min}=0.624$ である。供試体の寸法は縦約6(cm), 横約4(cm), 高さ約6(cm)の直方体であり、相対密度は $75 \pm 5(\%)$ を目標に水中落下振動法により作成した。

(2) 実験方法 --- 三主応力試験機を使用し、以下のような実験を行った。

① 試験機の性能を把握するための実験 --- この試験機では、鉛直応力は電動メカニカルジャッキによるセルの上下動により、側方応力は側液の水圧変化により、中間主応力はプレッシャーバック内の空気圧変化により載荷される。ここでは、中間主応力プレッシャーバックの有無が実験結果に及ぼす影響を明らかにするために拘束圧 $\sigma_r=50, 100, 200\text{kPa}$ で等方圧密し、排水せん断試験を行った。

② 三主応力試験 --- 拘束圧 $\sigma_r=200\text{kPa}$ で等方圧密し、平均有効主応力 p 一定の排水条件でロードアングル $\theta=0, 30, 60, 90, 120, 150, 180^\circ$ それぞれ一定に保った三主応力試験を実施した。鉛直応力, 側方応力, 中間主応力をそれぞれ $\sigma_y, \sigma_z, \sigma_x$ とすると、ロードアングル θ の大きさにより最大, 中間, 最小主応力は変化し、ロードアングル θ が 0° から 60° の範囲では $\sigma_y \geq \sigma_z \geq \sigma_x$, ロードアングル θ が 60° から 120° の範囲では $\sigma_z \geq \sigma_y \geq \sigma_x$, ロードアングル θ が 120° から 180° の範囲では $\sigma_z \geq \sigma_x \geq \sigma_y$ の関係が成り立つ。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。

応力パラメータ

$$\text{平均有効主応力 } p = \frac{(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)}{3}, \quad \text{軸差応力 } q = \frac{1}{\sqrt{2}} \left\{ (\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 \right\}^{\frac{1}{2}},$$

$$\text{ロードアングル } \theta = \tan^{-1} \frac{\sqrt{3}(\sigma_z - \sigma_x)}{(\sigma_y - \sigma_x) + (\sigma_y - \sigma_z)}, \quad \text{中間主応力係数 } b = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3}$$

ひずみパラメータ

$$\text{せん断ひずみ } \varepsilon = \frac{\sqrt{2}}{3} \left\{ (\varepsilon_x - \varepsilon_y)^2 + (\varepsilon_y - \varepsilon_z)^2 + (\varepsilon_z - \varepsilon_x)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}, \quad \text{体積ひずみ } \varepsilon_v = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z$$

3. 実験結果

① 試験機の性能を把握するための実験 --- 中間主応力プレッシャーバックの有無による実験をそれぞれ行い、拘束圧 $\sigma_r=50\text{kPa}$ での応力比-せん断ひずみ-体積ひずみ関係、主応力比-最大, 中間, 最小ひずみ関係を図-1, 図-2に示している。この2つの図よりプレッシャーバックの有無に関わらず応力比がピークに達するまでの応力ひずみ挙動はほぼ一致している。また、拘束圧 $\sigma_r=100, 200\text{kPa}$ の場合においても同様のことが言える。また、図-3には、セカントアングル ϕ -拘束圧 σ_r の関係を示している。この図より拘束圧の増加に伴いセカントアングルは低下しているものの、プレッシャーバックの有無によるセカントアングルの明確な差は認められないことがわかる。よって、プレッシャーバック内空気圧変化により載荷される中間主応力が作用する場合と側液の水圧変化により載荷される中間主応力が作用する場合に違いが見られないということがわかる。

② 三主応力試験 --- この試験で得られた応力ひずみ関係を図-4に示す。応力比とせん断ひずみの関係より、 $b=0$ の場合の $\theta=0^\circ$ と $\theta=120^\circ$ を比較すると、 $\theta=0^\circ$ より $\theta=120^\circ$ の方が初期剛性やピーク時の応力比が小

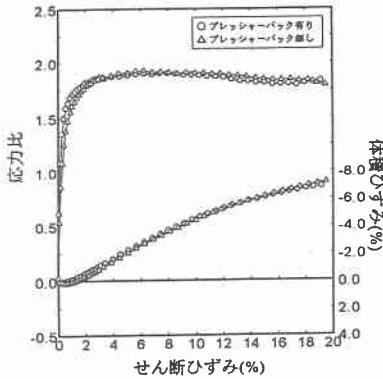


図-1 $\eta - \epsilon - \epsilon_v$ 関係

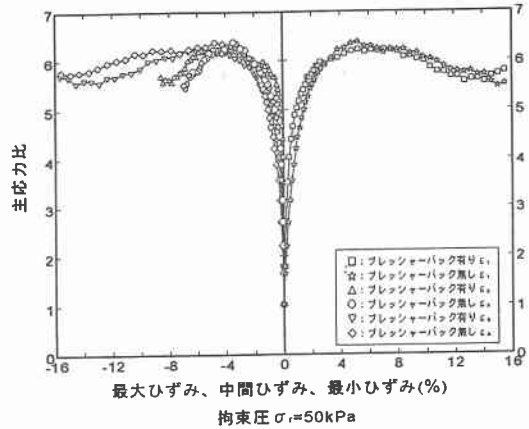


図-2 $\sigma_1/\sigma_3 - \epsilon_1 - \epsilon_2 - \epsilon_3$ 関係

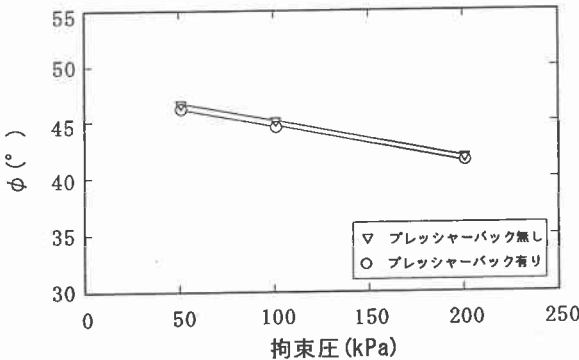


図-3 セカントアングル ϕ - 拘束圧 σ_r 関係

さいことがわかる。また、 $b=1$ である $\theta=60^\circ$ と $\theta=180^\circ$ の場合においては、 $\theta=60^\circ$ より $\theta=180^\circ$ の方が初期剛性やピーク時の応力比が小さいことがわかる。また、せん断ひずみと体積ひずみの関係より、 $b=0$ の場合つまり $\theta=0^\circ$ と $\theta=120^\circ$ を比較すると、 $\theta=0^\circ$ より $\theta=120^\circ$ の方がより収縮傾向を示している。 $b=1$ である $\theta=60^\circ$ と $\theta=180^\circ$ の場合においては、 $\theta=180^\circ$ の方がより収縮傾向を示している。このような結果は、初期の異方性の影響を受け、異方的な応力ひずみ変形挙動を示したものと考えられる。図-5にロードアングル θ -内部摩擦角 ϕ 関係を示す。 $b=0$ の場合 $\theta=0^\circ$ と $\theta=120^\circ$ を比較すると $\theta=120^\circ$ の方が強度が低下していることが分かる。 $b=1$ の場合 $\theta=60^\circ$ と $\theta=180^\circ$ を比較すると $\theta=180^\circ$ の方が強度が低下していることが分かる。この結果からも初期の異方性の影響を受けていることがわかる。

4. まとめ

本研究では、三主応力試験機を開発しその性能を把握した上で、水中落下振動法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った。この結果が従来の研究成果¹⁾²⁾と類似の傾向を示すことから今回試作した試験装置の有用性がうかがえる。

- [参考文献] 1) 1979 Yasuo Yamada and Kenji Ishihara ANISOTROPIC DEFORMATION CHARACTERIS OF SAND UNDER THREE DIMENSIONAL STRESS CONDITIONS SOIL AND FOUNDATIONS Vol.19 No.2 P79~P94
2) 1890 龍岡 文夫 土の強さと地盤の破壊入門 2.5次元応力状態の破壊条件 地盤工学会

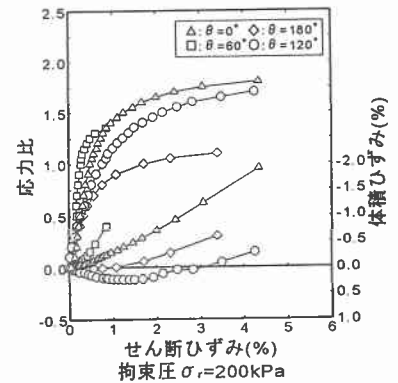


図-4 $\mu - \epsilon - \epsilon_v$ 関係

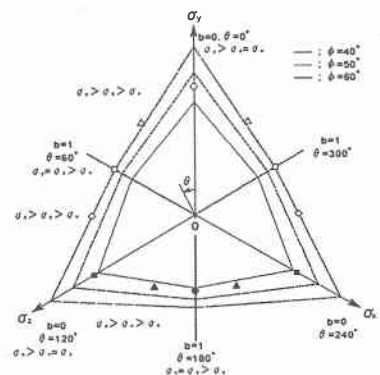


図-5 $\theta - \phi$ 関係