

III-162 砂の σ_m 一定・平面ひずみせん断試験

大阪市立大学 望月 秋利 D1 蔡 敏
大成建設 寺下 雅裕
大林組 高橋 真一

1. まえがき

著者らは平面ひずみ試験の実用的な側面に注目し、平面ひずみ試験およびそれに基づく構成式の組立てを進めてきた。本報告はその研究の一環として豊浦砂を対象とした σ_m 一定・平面ひずみ(CD)試験を実施したので、 σ_3 一定・平面ひずみ試験結果と比較、検討した結果をまとめたものである。

2. 試験方法と意義

σ_m 一定の平面ひずみ試験は、ある所定の等方応力で圧縮した後、平均主応力 $[\sigma_m=(\sigma_1+\sigma_2+\sigma_3)/3]$ を一定のまま、破壊するまで平面ひずみ条件を保ちながら軸ひずみ(ε_1)を増加させる、という方法で行う。 σ_3 一定・平面ひずみ試験の場合は、 σ_1 および σ_2 の増減により σ_m が変化する(破壊までは増加し、それ以降は減少; σ_3 は一定)のに対して、 σ_m 一定・平面ひずみ試験では、平均主応力の変化に伴う土の圧縮項を含まない、すなわち偏差成分に対するせん断特性だけを観察することができる。その結果、構成式への適用が容易になる。

3. 試験機と試験条件

用いた試験機の詳細はすでに報告している^{1),2)}ので、ここでは試験機の主な特徴について示す。その第一は、 σ_2 载荷のための側方载荷装置にある。この装置は、軸方向(ε_1)変位の1/2だけ側方载荷板を上下するようにしたもので、これにより、側方载荷板の上下中央を常に供試体の中央に一致させ、さらに供試体と側方载荷板の間に働く摩擦力を大幅に減少させることができる。その第二は、非接触変位計を用いてせん断中に供試体の変形および体積変化を計測する点である。この方法によって、 σ_3 が変化するような状況下においてもゴムスリーブの貫入やエアートラップ法で問題となる空気圧縮による誤差もなく計測することができる。さらにコンピューターを用いて、約1.5秒に1回のフィードバック方式による試験制御を行い、試験精度を向上させている。特に平面ひずみ条件については徳江らが、 $\varepsilon_2 \leq 0.063\%$ の条件を示している³⁾ので、この条件を満足させるためにゴムスリーブの圧縮量についても検討を行った。図-1はゴムスリーブの圧縮量と圧縮圧力の関係を示したものである。低応力範囲では曲線的な圧縮量の増加を示すが、これはポーラスストーンとゴム膜とのなじみによるもので、実験では圧密終了時まで既に終わると考えて、 σ_2 に対するゴム圧縮量の補正には $4\text{kgf/cm}^2 < \sigma$ の直線部分の関係をを用いた。仮に側圧の変化域として $2 \rightarrow 5\text{kgf/cm}^2$ を仮定すると ε_2 は約0.094%で、平面ひずみ条件を満足させるためにはこの圧縮量の補正が必要であることがわかる。今回は制御プログラムでゴムの圧縮量の補正を考慮し、その結果ほぼ $\varepsilon_2 \leq 0.01\%$ の精度で実験を行うことができた。試験条件は表-1に示す。

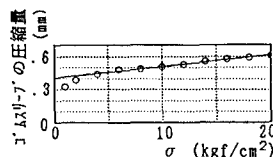


図-1 ゴムスリーブの圧縮試験

表-1 平面ひずみ試験条件

試料	豊浦標準砂
応力経路	σ_3 一定、 σ_m 一定
排水条件	圧密・排水(CD)
供試体寸法	8.0×6.4×4.1 cm
初期含水比	気乾
初期密度	1.51 g/cm ³ ; ($e=0.75$, $D_r=59\%$)
圧密圧力	0.5, 1, 2, 4 kgf/cm ²
せん断速度	0.058 %/min

4. 実験結果と考察

図-2、3はそれぞれ σ_3 一定、 σ_m 一定の平面ひずみ試験結果を示したものである。 σ_3 一定試験の場合は、 $(\sigma_1-\sigma_3) \sim \varepsilon_1$ 関係はピークを示した後明確な強度低下を示すのに対して、 σ_m 一定試験の場合、ピークは認められるものの余りはつきりせず、またその後の応力低下も大きくない。体積変化における膨張量は、 σ_m 一定試験の方が大きい。これは、平均主応力が小さい σ_m 一定試験の方が膨張量が大きくなる、と解釈される。中間主応力係数 $[b_r \text{ 値}=(\sigma_2-\sigma_3)/(\sigma_1-\sigma_3)]$ は圧密圧力の大きい方が小さくなる傾向は両試験とも同じであるが、

その絶対値は σ_m 一定試験の方が大きく、ダイレイタンスの傾向と一致する。

図-4は破壊軸ひずみ(ε_{1f})と圧密圧力の関係を示したものである。圧密圧力の大きい試料の方が ε_{1f} が大きくなる傾向は、両試験結果とも同じであるが、その絶対値は σ_3 一定試験の方が大きい。図-5は破壊時の b_r 値(b_{rf})と圧密圧力の関係を示したものである。圧密圧力が大きくなると b_r 値はやや小さくなる傾向があるが、両試験結果に大きな差はない。図-6はモール円で、表-2は強度定数を最小二乗法で求めたものを示す。 c 、 ϕ はそれぞれにわずかな差が認められるが、実際上は両者を同じ結果として整理できるほど差は小さく、図では一本の強度線で表している。

図-7は、両試験の $\varepsilon_1=0.25\%$ で定義した初期接線勾配($E_{0.25}$ 、 $E'_{0.25}$)を圧密圧力に対してプロットしたものである。両対数紙上で、初期接線勾配と圧密圧力は直線関係にある。また $E_{0.25}$ と $E'_{0.25}$ は、ヤング率を E 、ポアソン比を ν とすると、

$$\begin{aligned}\sigma_3\text{一定試験: } E_{0.25} &= E/(1-\nu^2) \\ \sigma_m\text{一定試験: } E'_{0.25} &= 2 \cdot E/(1+\nu)\end{aligned}$$

で、理論上 $E'_{0.25} \geq E_{0.25}$ で、 $\nu=0.5$ であるなら両者は一致する。結果は、わずかに σ_m 一定試験の方が大きい傾向が認められるものの、大きな差ではない。この結果によると $\nu=0.5$ ということになるが必ずしも妥当な値とは考えられず、初期補正等今後の検討が必要と考えている。

5. まとめ

σ_m 一定・平面ひずみ試験は、著者らが知る限り前例は無い。本試験は構成式を検討する課程で、 σ_m の増加による圧縮量を取り除こうと考えたものである。この意味においては大変特殊な試験と映るかもしれないが、実際に試験を行うと通常の σ_3 一定・平面ひずみ試験に比べて制御が容易で、結果として試験結果の精度が良い。さらに強度定数、弾性定数においても実際上差の無い結果が得られており、また構成式の組立においては必要な試験であることから、むしろ σ_3 一定・平面ひずみ試験よりも応用性の高い試験法と考えている。

謝辞：本研究の実験に協力してくれた現大阪市大 M1吉田勝君に、ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Mochizuki, A. 他, "A New Independent Principle Stress Control Apparatus.", ASTM STP 977, pp. 844-85, 1988
- 2) 望月ら, "砂の平面ひずみ試験方法と結果の整理", 三軸試験方法に関するシンポジウム, pp. 193-200, 1991
- 3) 徳江ら, "平面ひずみ条件下の主応力関係およびストレス～ダイレイタンス関係", 第17回土質工学研究発表会, pp. 281-284, 1982

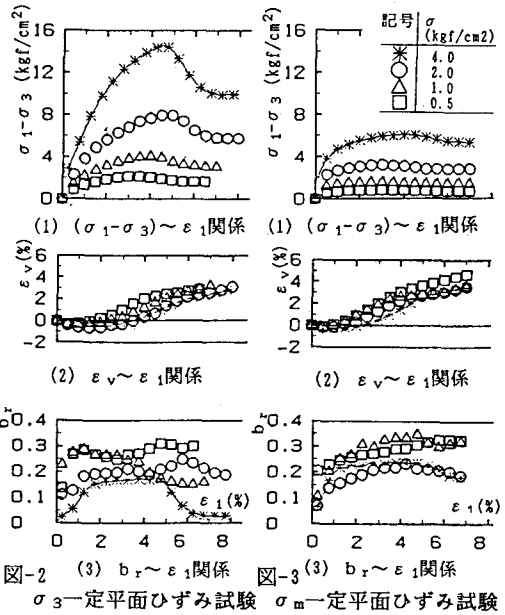


図-2 (1) $(\sigma_1 - \sigma_3) \sim \varepsilon_1$ 関係 (2) $\varepsilon_v \sim \varepsilon_1$ 関係 (3) $b_r \sim \varepsilon_1$ 関係
 σ_3 一定平面ひずみ試験 σ_m 一定平面ひずみ試験

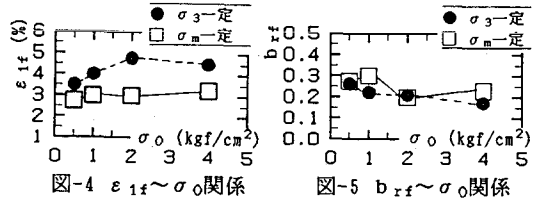


図-4 $\varepsilon_{1f} \sim \sigma_0$ 関係

図-5 $b_{rf} \sim \sigma_0$ 関係

応力経路	表-2 強度定数	
	c kgf/cm ²	ϕ deg
σ_3 一定	0.12	39.9
σ_m 一定	0.06	41.1

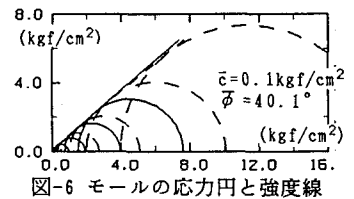


図-6 モールの応力円と強度線

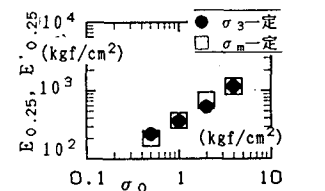


図-7 $E_{0.25}$ 、 $E'_{0.25} \sim \sigma_0$ 関係