

III-203

三主応力下における等方圧縮砂の降伏挙動について

山口大学工学部 正員 ○安福規之 村田秀一 兵動正幸
正員 山本修三 学生員 伊東周作

1. まえがき

三軸空間における砂の降伏挙動を取り扱った研究は比較的多いが、それを三主応力空間にまで拡張して実験的に研究した例は少ないようである¹⁾。本報告は、三主応力下における砂の降伏挙動を調べることは、実際の構成式を検討する上で大切なことであるとの立場から、正八面体面上での砂の降伏挙動を実験的に検討したものである。ここでは、等方的に先行圧縮を加えた砂に対して平均主応力 p とロードアングル θ 一定のせん断試験を中空せん断試験機を用いて実施し、正八面体面上での降伏挙動について検討している。

2. 三主応力制御の載荷試験

i) 中空せん断試験機 --- 実験に用いた中空セル及び載荷系統を図1に示している。中空供試体の寸法は、外径10cm、内径6cm、高さ20cmであり、メンブレンの厚さは、外側、内側共に0.2mmである。供試体への載荷は、軸荷重、外圧、内圧、背圧の4系統により行われ、ここではトルクを负荷した実験は行っていない。軸荷重は、ベロフラムシリンダーを介して載荷され、圧縮・引張載荷が可能である。外圧はセル上部から直接空気圧を负荷することによって制御され、内圧は内セルにつないだ二重ピュレット中に空気圧を负荷することにより制御される。また、垂直 (σ_z)、半径 (σ_r) 及び円周 (σ_θ) 方向のひずみ量を評価するために、内容積の測定を行っている。本試験機の特徴については、参考文献2)に詳しく示している。

ii) 供試体の作成方法 --- 今回用いた試料は秋穂砂であり、その物性値は、比重2.85, 最大間隙比1.05, 最小間隙比0.60である。以下に中空供試体の作成方法を簡単に示す。1)内メンブレン、外メンブレンを内モールド、外モールドに固定した後、メンブレン中に気乾燥した試料を所定の密度 ($e_0=0.71-0.73$) になるように専用ロートを使って慎重に流し込み、充填する。2)中空供試体 0.3kgf/cm^2 の負圧で自立させ、供試体の内径、外径及び高さを測定する。3)負圧をセル圧に置き換え、供試体内の空気を炭酸ガスに置換した後、供試体に脱気水を注水し所定の背圧を负荷し飽和させる。

iii) 実験手順と計画 --- 実験は、内圧、外圧及び軸荷重を各荷重ステップで制御することにより行っており、その手順は図2にまとめている。なお、制御のために必要な数式は割愛した。本研究では、図3に示すようにA点 ($p=2\text{kgf/cm}^2$) まで等方圧縮し、B点 ($p=1\text{kgf/cm}^2$) まで除荷した後、 p -一定、 θ -一定 ($0, 15, 30, 45, 60^\circ$) のせん断試験を行い、A点に対応する降伏点を正八面体面上で評価することを試みた。B-A間での間隙比の変化は0.01程度であった。

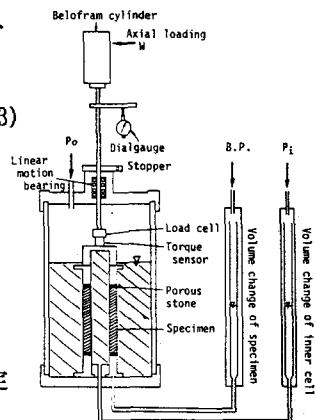


図-1 実験装置

3. 実験結果と考察

i) 応力ひずみ関係 --- 図4(a)(b)は、 $\theta=0, 30, 60^\circ$ の場合の $\eta (=q/p) - \gamma_{oct}$ 、 $\eta - W$ (仕事量) 関係を原点をずらしてそれぞれ示したものである。また、細い実線は、先行圧縮を加えない場合の実験結果を示している。これらの図より、先行圧縮履歴の影響がある応力比 η までは、どの θ 値の場合にも見られることがわかる。また、その η の値は、 θ 値の小さいもの (三軸圧縮試験に近いもの) ほど大きい値を示している。

ii) 正八面体面上での降伏曲線の形状 --- 図5は、図4の $\eta - \gamma_{oct}$ 、 $\eta - W$ 関係から求めた降伏点及び降伏曲線の形状を正八面体面上に示したものである。図中には、破壊点及び松岡・中井³⁾とラディ・ダンカン⁴⁾の破壊基準も一緒に示しているが、この図から、等方的な先行圧縮を受けた砂の一つの降伏曲線の特性は、ドラッカー・プラガータイプの基準よりも松岡・中井やラディ・ダンカンの破壊基準の特性と良い対応があるように思われる。図6(a), (b)は、それぞれ等 γ_{oct} 曲線と降伏曲線、等 W 曲線と降伏曲線の比較を行ったものである。 γ_{oct} や W は、構成式の中で硬化パラメータとしてよく用いられ

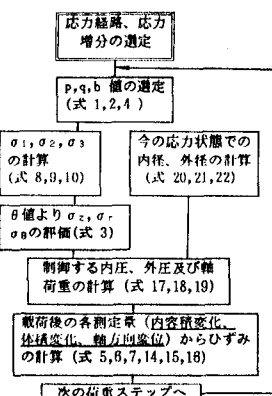


図-2 実験手順

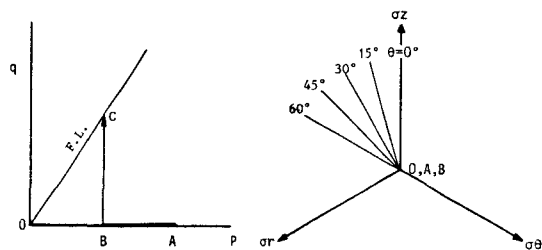


図-3 応力経路

応力・ひずみパラメータ

$$p = (\sigma_z + \sigma_r + \sigma_\theta) / 3$$

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

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

$$\epsilon_v = \epsilon_z + \epsilon_r + \epsilon_\theta$$

$$\gamma_{oct} = \frac{\sqrt{2}}{3} \{ (\epsilon_\theta - \epsilon_r)^2 + (\epsilon_r - \epsilon_z)^2 + (\epsilon_z - \epsilon_\theta)^2 \}^{1/2}$$

$$\omega = \tan^{-1} \frac{\sqrt{3}(\epsilon_r - \epsilon_\theta)}{(2\epsilon_z - \epsilon_\theta - \epsilon_r)}$$

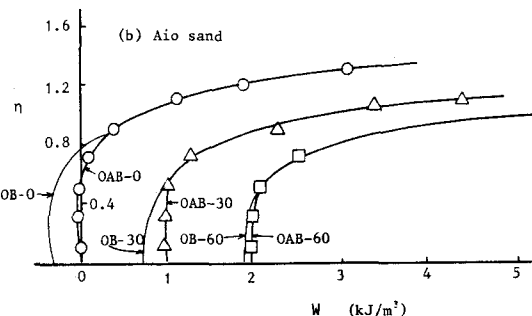
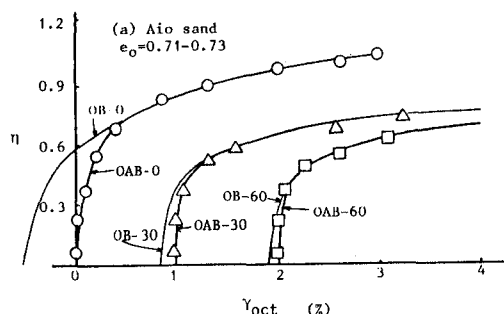


図-4 応力比とせん断ひずみ及び応力比と仕事量Wの関係

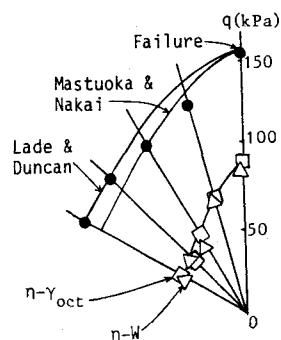


図-5 正八面体面上での降伏曲線の形状

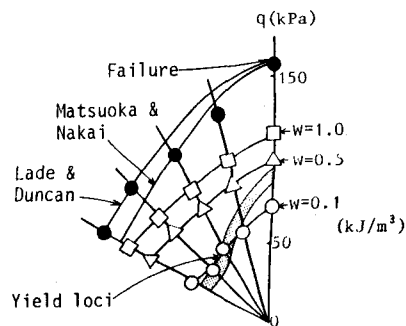
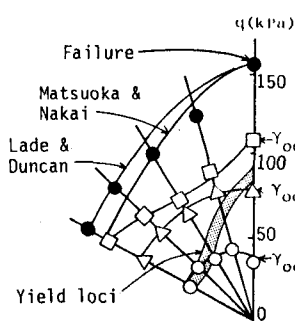


図-6 正八面体面上での等 γ_{oct} 曲線、等W曲線の形状

る状態量であるがこれらの図を見る限り、この程度のひずみ量や仕事量で比較した場合には降伏曲線との対応はいずれもよいとはいえない。

4. まとめ

限られたせん断応力経路下ではあるが、等方的に先行圧縮を受けた砂の降伏挙動を三主応力下において検討した。その結果、降伏状態時の応力比の値は、ロードアングルに依存することが示された。最後に、実験に精力的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。

参考文献 1) Y. Yamada & K. Ishihara: Yielding of Loose Sand in Three-Dimensional Stress Condition, Solis & Foundations, Vol.22, No.3, 1982. 2) 安福ら：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回土木学会中四国支部研究発表会，1989. 3) H. Matuoka & T. Nakai: Stress-Deformation and Strength Characteristics of Soil under Three Different Principal Stresses, JSCE, No.232, 1974. 4) P.V. Lade & J.M. Duncan: Elastoplastic Stress-strain Theory for Cohesionless Soil, Proc., ASCE, Vol.101, No.GT10, 1975.