

密詰め砂の三次元摩擦角に基づく応力・変形特性(体積変化を中心として)

九州大学工学部 正 山内豊聡 正 林 重徳
同 学 小川清志 吉田弘明
北九州市 生方敏博 隈本秀樹

1. まえがき

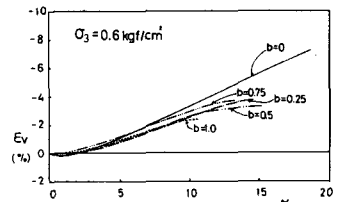
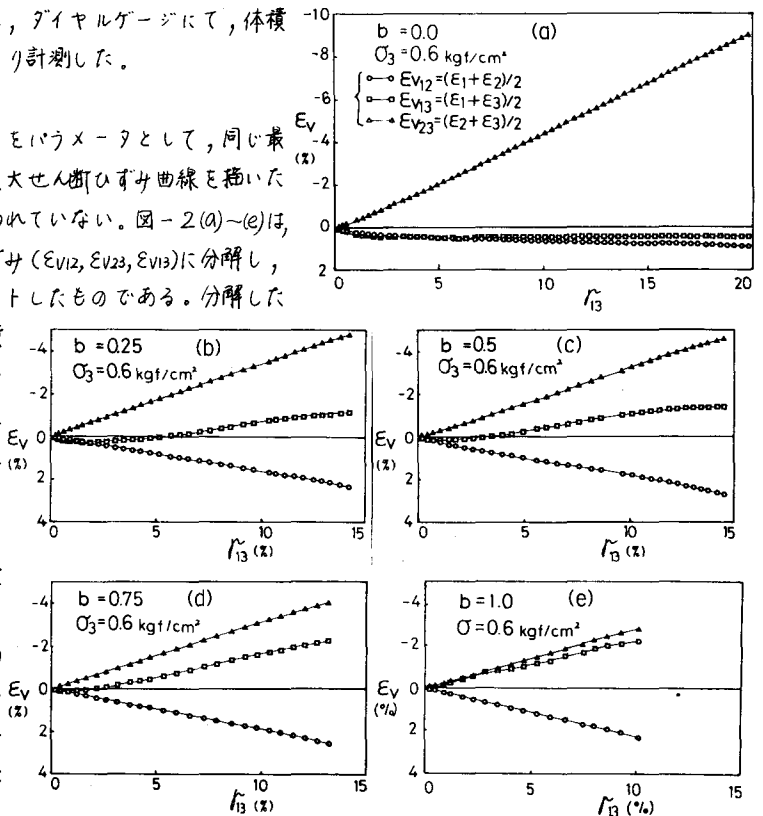
筆者らは、これまでに実施してきた種々の三主応力制御試験の結果より、三次元包絡線に基づく降伏条件式と誘導・提示してきた。土の三次元的な応力・ひずみ関係式を普遍的な形で表現するためには、降伏条件式(降伏関数)を定めるとともに、降伏が生じた際の、各種のひずみ増分の比と応力状態との関係を明らかにする必要がある。本文では、密詰め砂を用いた三主応力制御試験結果について、体積変化を中心に考察し、三次元包絡線に基づく応力比・ひずみ増分比関係式の誘導を試みるものである。

2. 試料及び試験方法

用いた試料は、豊満標準砂($G_s = 2.64$, $U_c = 1.5$, $e_{max} = 0.982$, $e_{min} = 0.582$)である。供試体は、気乾燥状態の試料をマイターボックス内で所定の空隙比($e = 0.65$)になるようにタンパーで突き固め、炭酸ガスを逃気した後、通水飽和させた。試験は、所定の圧力で等方圧縮後、Bishopの中間主応力係数(b 値)をパラメータとして、 $b = 0, 0.25, 0.50, 0.75, 1.0$ に変化させ、排水状態で実施した。なお、 ε_1 及び ε_3 の変位量は、ダイヤルゲージにて、体積変化量は、直接ピエゾレットにより計測した。

3. 体積ひずみについて

図-1は、中間主応力係数(b)をパラメータとして、同じ最小主応力の場合の体積ひずみ-最大せん断ひずみ曲線を描いたものであるが、明瞭な傾向は現われていない。図-2(a)~(e)は、体積ひずみ ε_v を3つの平均主ひずみ(ε_{v12} , ε_{v23} , ε_{v13})に分解し、最大せん断ひずみと横軸にプロットしたものである。分解した3つの曲線の和が、図-1の体積ひずみ曲線となる。このように分解することにより、 b 値による差違が明らかとなり、また同じ b 値においては、 σ_3 によらず同じ傾向を示すことがわかる。すなわち、 $b = 0$ では、 ε_{v23} が初期の変形段階から直線的に膨張を続けているのに対し、 ε_{v12} , ε_{v13} は初期に収縮した後には一定となっている。 $b = 1.0$ では、 ε_{v12} は初期段階からは直線的に収縮し、 ε_{v23} , ε_{v13} は逆に直線的に膨張している。さらに、その中間の b 値では、 $b = 0$ の傾向

図-1 $\varepsilon_v \sim I_{13}$ 関係図-2 (a)~(e) $\varepsilon_{vij} \sim I_{13}$ 関係

から $b=1.0$ の傾向へと移行する特性を示している。特に ε_{V13} では、 b 値によって収縮から膨張へと変移する曲線形状が明瞭である。これは、体積ひずみを1つの量として捉えるより、三次元摩擦の発現する3つの主ひずみ軸間のそれぞれの面に分解すると、 b 値によるその方向性を明らかにできることを意味する。図-3(a)~(c)は、3つに分解した体積ひずみ(平均主ひずみ)と平均主応力を、各せん断ひずみに対してプロットしたものである。方向及び b 値による体積変化特性の差違とそれに対応する応力の変化傾向がわかる。

4. 主応力下のエネルギー増分

応力比・ひずみ増分比関係と考察するに際し、せん断変形とともに体積変化と生じる微小要素に作用するエネルギー増分を考える。まず、全エネルギー増分を3つの主軸間のそれぞれの面内のエネルギー増分に分解する。図-4は、体積ひずみ増分とせん断ひずみ増分の概念とモールの三次元ひずみ円を用いて示したものであり、同時に応力円も併記している。前述のように3つに分解した体積ひずみのそれぞれは、三次元ひずみ円の中の中心の座標を表し、せん断ひずみはその直径となる。さらに、全エネルギー増分と非回復な消散エネルギー増分と回復エネルギー増分とに分ける。以上のエネルギー増分についての考察により、次式を得る。

$$\begin{aligned} dE_{ij} &= \frac{2}{3} (P_{ij} dV_{ij} + \frac{1}{2} \delta_{ij} d\epsilon_{ij}) \\ dE_{ij} &= dW_{ij} + dU_{ij} \quad (i, j = 1, 2, 3) \end{aligned} \quad (1)$$

ここに、 dW : 消散エネルギー増分、 dU : 回復エネルギー増分

5. 三次元摩擦角に基づく応力比・ひずみ増分比式の誘導

消散エネルギーは、せん断ひずみの塑性増分に比例し、回復エネルギーは、体積ひずみの弾性増分に比例するものと仮定すると、

$$dW_{ij} = \frac{2}{3} \delta_{ij} d\epsilon_{ij}^p, \quad dU_{ij} = \frac{2}{3} P_{ij} dV_{ij}^e \quad (i, j = 1, 2, 3) \quad (2)$$

となり、三次元包絡線特性より得られる $\delta_{ij} = 2(\alpha + P_{ij}) \sin \phi_{ij}$ を代入すると、次式のような応力比・ひずみ増分比関係式を得る。

$$(\delta p)_{ij} = M_{ij} (1 + \frac{P_{ij}}{\alpha}) - 3(\frac{dP}{d\epsilon})_{ij} \quad (i, j = 1, 2, 3) \quad (3)$$

ここに、 $M_{ij} = 2 \sin \phi_{ij}$

6. あとがき

式(3)は、Roscoeらから提案した式: $\delta p = M - \frac{dU}{d\epsilon}$ と形式的に同型なものとなるが、係数 M_{ij} は、三次元摩擦角の係数であり、 b 値の関数となる。なお、実験値との比較検討の結果は、当日行なう予定である。

参考文献

- 1) 林山内:「三次元包絡線に基づく土の降伏条件式」等圧土粘土への適用, 第17回土質工学研究発表会講演集, 1982
- 2) 林:「土の三次元摩擦角とその応用に関する研究」, 学位請求論文, 1982

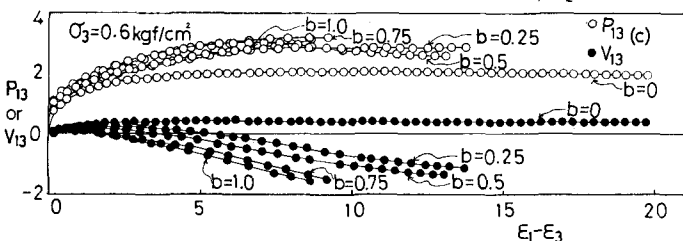
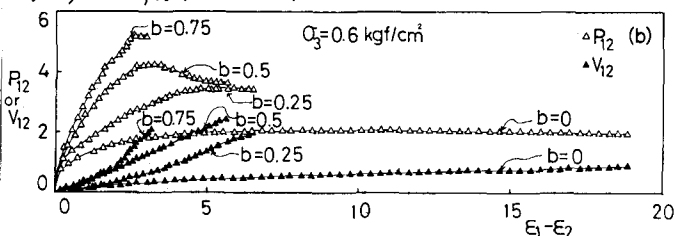
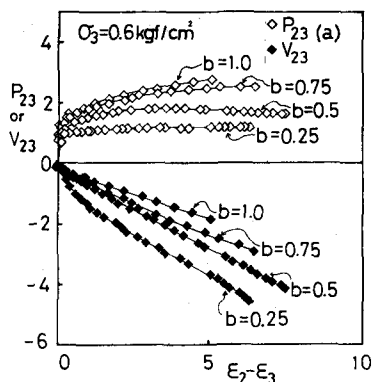


図-3 (a)~(c) $P_{ij}, V_{ij} \sim \epsilon_{ij}$ 関係

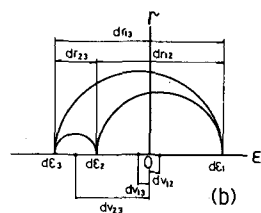
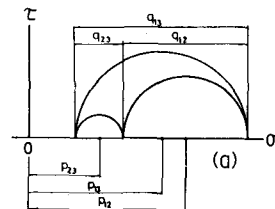


図-4 (a)~(b)

モールの三次元応力・ひずみ円