

Ⅲ－44

砂の三主応力下における中間主応力の影響について

八戸工業大学大学院 学 栗生 満貴
同 土木工学科 フェロー 諸戸 靖史
同 土木工学科 フェロー 熊谷 浩二

1、はじめに

砂のような粒子間に粘着力のない粒状体のような摩擦性材料の強度特性には、中間主応力を考慮しない (Mohr-Coulomb) の破壊規準がある。しかし Mohr-Coulomb の破壊規準は、相異なる三主応力状態においてせん断強さを低目に見積もってしまう欠点がある。松岡・中井¹⁾は粒状体の変形・強度特性を空間滑動面 (Spatially Mobilized Plane; SMP) という概念で説明している。今回は三次元表示の状態量 S_s を用いて、砂のせん断強度特性と密度特性の関係およびせん断強度に与える中間主応力の影響について報告する。

2、三次元表示の状態量 S_s ²⁾ と松岡・中井規準について

諸戸の提案した状態量 S_s は以下のように表すことができる³⁾。

$$S_s = \int \frac{\text{外力のなす塑性仕事増分}}{\text{平均主応力}} \quad S_s = \int \frac{dW_s^p}{p} \dots (1)$$

(1) 式を三次元表示で表すと次のようになる。

$$dS_s = dv + \frac{3}{2} \alpha \frac{\tau_{oct}}{p} dy_{oct} \dots (2) \quad \text{ここで } \alpha = \frac{3 + \mu\nu}{\sqrt{(3 + \mu^2)(3 + \nu^2)}} \text{ である。}$$

松岡・中井の空間滑動面 (SMP) は図-1 のように各 2 主応力間で作用する各応力円の頂点を粒状材料の破壊が粒子間の摩擦すべりに基づくという考えから、最大せん断・垂直 (τ/σ)_{max} に着目し

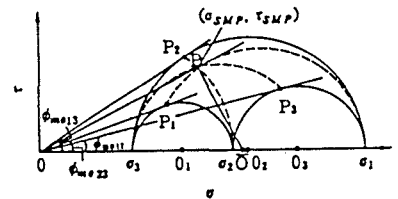


図-1 空間滑動面上の垂直応力とせん断応力

$$\text{ている。} \quad \frac{\tau_{SMP}}{\sigma_{SMP}} = \frac{2}{3} \sqrt{\left(\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2\sqrt{\sigma_1\sigma_2}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_2 - \sigma_3}{2\sqrt{\sigma_2\sigma_3}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_3 - \sigma_1}{2\sqrt{\sigma_3\sigma_1}}\right)^2} \dots (3)$$

(3) 式は、モール・クーロン規準に中間主応力 σ_2 を考慮した 3 次元的な摩擦則でありモール・クーロン規準を 3 主応力の下で平均化した意味を持っていると考えられる。

3、密度特性と中間主応力 σ_2 の変形挙動⁴⁾について

応力比－主ひずみ関係を豊浦砂を用いた平均主応力一定 (1kPa) 三軸圧縮 CD 試験の諸戸のデータをもとに解析した結果の一例を図-2～4 に示す。この図は、供試体の間隙を DENSE、MEDIUM、LOOSE の 3 種類に変化させて、 $\mu = -1, 0, 1$ とそれぞれの Lode のパラメーターを用いている。 $\mu = -1$ は三軸圧縮状態、 $\mu = 1$ は三軸伸張状態をそれぞれ表し、 $\mu = 0$ はその中間であることを意味している。図-2 では主応力比が小さく、図-3、4 ではそれよりも大きく、ほぼ同程度の主応力比であることがわかる。これらの図から、主応力比の大きさは μ に関係なく、DENSE、MEDIUM、LOOSE の順になっている。また応力－ひずみ関係は供試体の間隙に関係なく明らかに中間主応力 σ_2 の影響を受け、膨張側から圧縮側に移動していることがわかる。

4、 π 面上の相関性について

三主応力が異なる場合の中間主応力 σ_2 の変形挙動に及ぼす影響を調べるために、(2) と (3) 式を用いて π 面上の破壊曲線を比較した一例を図-5～7 に示す。この図では、松岡・中井規準の $\tau_{SMP}/\sigma_{SMP} = 0.471$ と各状態量 S_s を用いている。これらの図から、DENSE 状態では松岡・中井規準は状態量 S_s ($S_s = 1\%$) とばらつきが見られるが、MEDIUM ではそのばらつきが小さくなり、LOOSE では中間主応力 σ_2 の変形挙動が一致していることがわかる。また三軸圧縮状態 ($\mu = -1$) と三軸伸張状態 ($\mu = 1$) の時、松岡・中井規準と状態量 S_s はモール・クーロンと一致していることを確認することができる。

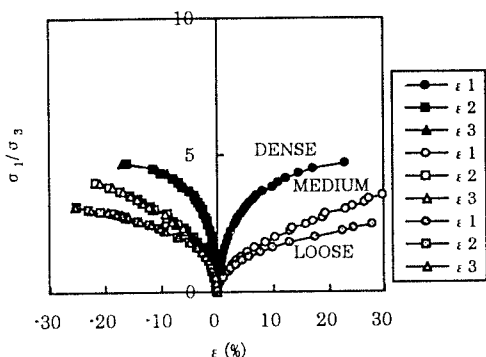


図-2 応力比-主ひずみの関係 ($\mu = -1$)

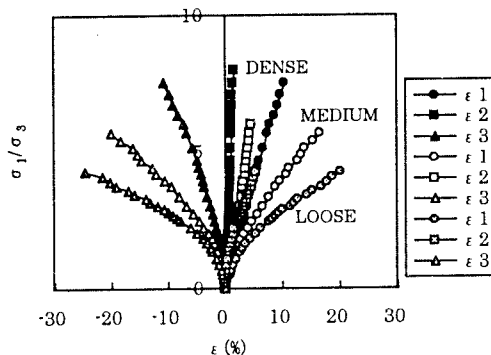


図-3 応力比-主ひずみの関係 ($\mu = 0$)

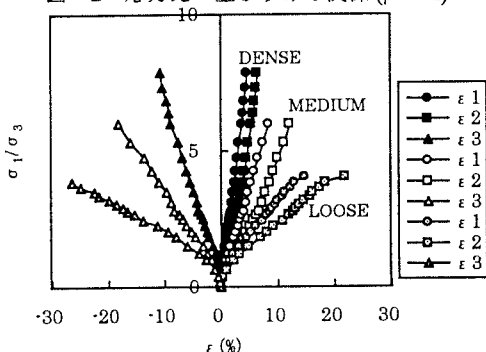


図-4 応力比-主ひずみの関係 ($\mu = 1$)

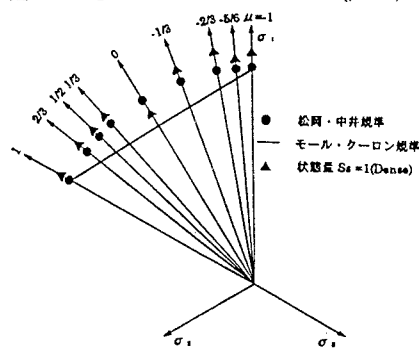


図-5 π 面上の降伏曲線 (DENSE)

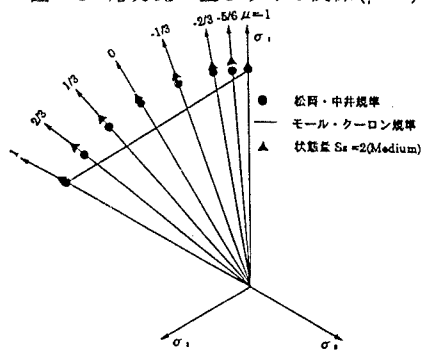


図-6 π 面上の降伏曲線 (MEDIUM)

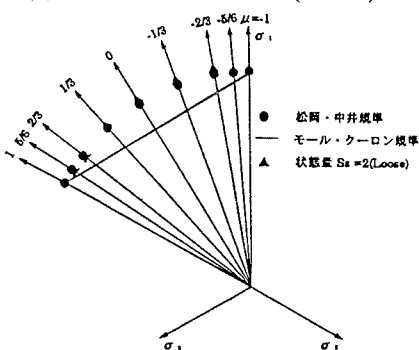


図-7 π 面上の降伏曲線 (LOOSE)

5. 結論

密度に関係なく中間主応力 σ_2 は膨張側から圧縮側に挙動を示していることが確認できた。LOOSE より DENSE のほうが破壊時の主応力比が大きくなることがわかった。砂のせん断に関する降伏曲線は、中間主応力が内部摩擦角 ϕ に影響しているからモーラー・クーロンの形であるといわれているが LOOSE では一致し、松岡・中井の降伏曲線とほぼ同じ挙動を示している。これは、モーラー・クーロンの降伏曲線は中間主応力 σ_2 が考慮されていないのに対して、松岡・中井規準、状態量 S_s の降伏曲線は σ_2 が考慮された形になっているからと考えられる。

参考文献 1) 松岡元・孫安德(1993): 粘着成分を有する摩擦性材料の変形・強度特性の統一的解釈: 土木学会論文集, No.463/Ⅲ-22, pp.163~pp.172、2) 諸戸靖史(1976): 粒状体の変形と強度に関する基礎的研究、3) 諸戸靖史(1993): 粒状体の状態関数の特性と用い方: 第 28 回土質工学研究発表会, pp.535~pp.538、4) 土質工学会(1993): 粒状体の力学, pp.166~pp.171、5) 足立紀尚・龍岡文夫(1979): 新体系土木工学 18 土の力学(Ⅲ), pp.61~pp.125