

名古屋工業大学 正員 中井照夫
正員 松岡 元

土質力学の分野では一般に平均主応力一定のもとで応力比が変化する場合の挙動をせん断現象と呼び、応力比一定のもとで平均主応力が変化する場合の挙動を圧縮現象と呼んでいる。3主応力下の土のせん断挙動については、すでに空間滑動面(SMP)¹⁾に基づいた新たなひずみ増分量($d\epsilon_{smp}^{*s}$, $d\gamma_{smp}^{*s}$)とSMP上のせん断・垂直応力比 $\frac{\tau}{\sigma_n}$ ^{2,3)}の間にユニークな関係が成立することを見出し、せん断時の応力・ひずみ関係式を規定している。ここでは、土の圧縮挙動について、異方圧縮時の土のダイレイタンシー特性がせん断時のそれと類似していることに着目し、圧縮時の応力・ひずみ関係式を誘導する。さらに、任意応力経路下の土のひずみがせん断によるひずみと圧縮によるひずみの重ね合わせで表現できるとして、3主応力下の一般的な応力・ひずみ関係式を提案する。

1. 圧縮時の応力・ひずみ関係式

圧縮時の主ひずみ増分量 $d\epsilon_i^c$ を次式で示すように等方圧縮による成分 $d\epsilon_i^c(c)$ と異方圧縮時に生じるダイレイタンシーによる成分 $d\epsilon_i^c(cil)$ の和で表わされると考える。

$$d\epsilon_i^c = d\epsilon_i^c(c) + d\epsilon_i^c(cil) \quad (i=1, 2, 3) \quad (1)$$

ここで、等方圧縮による成分は、よく知られている岡がさ比 $e \sim$ 平均主応力 σ_m 関係の勾配 C_c ($d\sigma_m < 0$ の時は C_s)を用いて次式で表わされる。

$$d\epsilon_i^c(c) = \frac{0.434}{3} \cdot \frac{C_c}{1+e_0} \cdot \frac{d\sigma_m}{\sigma_m} \quad (i=1, 2, 3) \quad (2)$$

(e_0 : 初期岡がさ比, C_c : 圧縮指数, C_s : 膨張指数)

次に、ダイレイタンシーによる成分については、せん断時と異方圧縮時の土のダイレイタンシー特性が類似しているという点に着目し、せん断時同様SMPに基づくひずみ増分量($d\epsilon_{smp}^{*c}$, $d\gamma_{smp}^{*c}$)によってユニークに規定できると考え、式示を試みる。さて、せん断時の応力比 X ・ひずみ γ_{smp}^{*} 関係および応力比・ひずみ増分比関係は次式で与えられる。

$$\gamma_{smp}^{*} = \gamma_0^{*} \cdot \left\{ \exp\left(\frac{X - \mu^{*}}{\mu^{*} - \mu^{*0}}\right) - \exp\left(\frac{-\mu^{*}}{\mu^{*} - \mu^{*0}}\right) \right\} \quad (3)$$

$$d\epsilon_{smp}^{*} / d\gamma_{smp}^{*} = (\mu^{*} - X) / \lambda^{*} \quad (X \equiv \tau_{smp} / \sigma_{smp}) \quad (4)$$

ここに、 λ^{*} , μ^{*} , μ^{*0} は該料が決まればほぼ一定となる係数であるが、 γ_0^{*} は平均主応力の関数として次式のように表わされる。

$$\gamma_0^{*} = \gamma_{0c}^{*} + C_d^{*} \cdot \log_{10}(\sigma_m / \sigma_{mi}) \quad (5)$$

(σ_{mi} : 初期平均主応力, γ_{0c}^{*} : $\sigma_m = \sigma_{mi}$ 時の γ_0^{*})

いま、式(4)を考慮して式(3)の全微分をとれば次式を得る。

$$d\gamma_{smp}^{*} = \frac{\gamma_0^{*}}{\mu^{*} - \mu^{*0}} \cdot \exp\left(\frac{X - \mu^{*}}{\mu^{*} - \mu^{*0}}\right) dX + 0.434 \cdot C_d^{*} \cdot \left\{ \exp\left(\frac{X - \mu^{*}}{\mu^{*} - \mu^{*0}}\right) - \exp\left(\frac{-\mu^{*}}{\mu^{*} - \mu^{*0}}\right) \right\} \frac{d\sigma_m}{\sigma_m} \quad (6)$$

式(6)において右辺第1項はせん断時の $d\gamma_{smp}^{*s}$ を表わしているの、第2項を圧縮によるひずみ増分量 $d\gamma_{smp}^{*c}$ とみることできる。しかし式(6)は完全微分形であり γ_{smp}^{*} が応力経路に依存しないことを表わしている。実験値によれば γ_{smp}^{*} の応力経路依存性を認められるよであるので、1つの方法とし

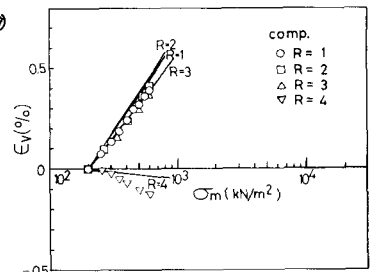


図-1. 異方圧縮試験の体積ひずみ・平均主応力関係(三軸圧縮条件)

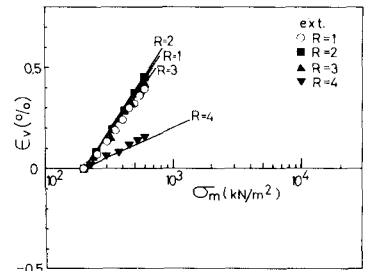


図-2. 異方圧縮試験の体積ひずみ・平均主応力関係(三軸伸張条件)

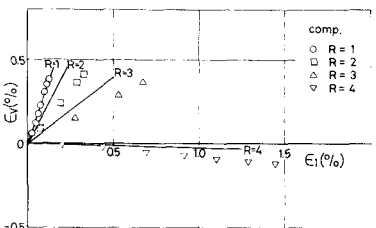


図-3. 異方圧縮試験の体積ひずみ・最大せん断ひずみ関係(三軸圧縮条件)

て C_c^* を別の係数 K_c に置き換え次式で圧縮時のみずみ増分量 $d\epsilon_{smp}^{*c}$ を与える。(K_c の決定法は後述する。)

$$d\epsilon_{smp}^{*c} = 0.434 \cdot K_c \cdot \left\{ \exp\left(\frac{X - \mu^*}{\mu^* - \mu^*}\right) - \exp\left(\frac{-\mu^*}{\mu^* - \mu^*}\right) \right\} \cdot \frac{d\sigma_m}{\sigma_m} \quad (7)$$

また $d\epsilon_{smp}^{*c}$ はせん断同時様式(8) の関係式を満足すると考え次式で与える。

$$d\epsilon_{smp}^{*c} = \left\{ (\mu^* - X) / \lambda^* \right\} \cdot d\epsilon_{smp}^{*c} \quad (8)$$

したがって、SMP 上の σ_{smp} , τ_{smp} の方向余弦をそれぞれ a_i , b_i ($i=1, 2, 3$) とすれば $d\epsilon_{smp}^{*c}$ は次式で表わされる。

$$d\epsilon_{smp}^{*c} = a_i \cdot d\epsilon_{smp}^{*c} + b_i \cdot d\epsilon_{smp}^{*c} \quad (i=1, 2, 3) \quad (9)$$

さて係数 K_c は、 K_0 圧縮状態では式(1), (2), (9) で与えられる $d\epsilon_{smp}^{*c}$ が 0 となることより、 K_0 値と土質係数の関数として決定することができる。

また、任意応力経路下の土の主みずみ増分はせん断時のみずみ増分 $d\epsilon_{smp}^{*c}$ と上述の圧縮時のみずみ増分 $d\epsilon_{smp}^{*c}$ の和として次式で表わされる。

$$d\epsilon_i = d\epsilon_{smp}^{*c} + d\epsilon_{smp}^{*c} \quad (i=1, 2, 3) \quad (10)$$

2. 提案式の実験データによる検証

実験に用いた試料はやや密づめ ($e_0 \approx 0.68$) の飽和した重質砂である。提案式の土質係数は、2種の平均主応力一定三軸圧縮試験と等方圧縮試験より、以下のように決定した。 $\lambda^* = 0.9$, $\mu^* = 0.27$, $\mu^{**} = 0.41$, $\nu_0^* = 0.10$ ($\sigma_m = 98 \text{ kN/m}^2$) $C_c^* = 0.066\%$, $C_s/(1+e_0) = 0.928\%$, $C_s/(1+e_0) = 0.578\%$ また K_0 値はJakyの式 ($K_0 = 1 - \sin \phi$; $\phi = 40^\circ$) より決定した。なお以下の図でプロットは実験値を、実線は提案式による計算曲線を表わす。図-1~4は三軸圧縮・伸張条件下の異方圧縮試験 ($\sigma_3 \neq R \cdot \sigma_1$) 結果を示したものである。図-1, 2に見られるように、体積みずみ ϵ_v は $R=2$ でわずかながら圧縮側に寄り、その後応力比が大きくなるに使い膨張側に移るというダイレイタンスー特性を提案式はよく説明している。また両図より $\epsilon_v=0$ なる異方圧縮の主応力比 R は三軸圧縮条件では $R=3 \sim 4$ 、三軸伸張条件では $R=4$ 以上ということになる。図-5~7は三軸圧縮・伸張条件下の非排水せん断試験の有効応力経路と主応力比・主みずみ関係を示したものである。図中には排水試験から得られる破壊強度を一点鎖線で示しているが、非排水せん断試験の応力経路は、実験値も計算曲線も破壊線に至らず、上述の $\epsilon_v=0$ なる異方圧縮経路に近づく応力経路となる。したがって、正のダイレイタンスー特性を示す土では排水強度 $\phi >$ 非排水強度 ϕ' となり両者は一致しないことになる。このような事実は古田・輕部⁽⁴⁾ によっても指摘されている。また $p_c(\text{comp.}) = p_c(\text{ext.})$ であっても $\phi'(\text{comp.}) < \phi'(\text{ext.})$ となる実験値の傾向を、提案式はよく説明している。多軸応力下の異方圧縮試験および他の応力経路下の試験については、数面の都合で当面発表する予定である。

謝辞 卒業研究として本研究を共に付な。たて名工大学部生 金谷賢生 (京大大学院), 鈴木誠 (清水建設) 両君に感謝致します。

参考文献

- 1) Matsuoka, Nakai (1977): Proc. Specialty Session 9, 9th ICSMFE, pp. 153~162
- 2) 中村 松岡 中島 山内 (1978): 第3回土質工学研究発表会, pp. 373~376
- 3) 中井 飯田 南 横井 (1979): 第4回土質工学研究発表会,
- 4) 古田・輕部 (1976): 第3回土質工学研究発表会, pp. 54~59

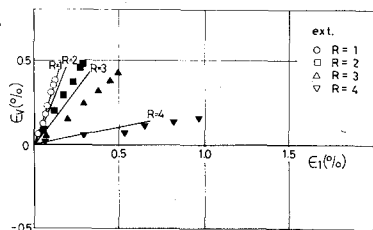


図-4. 異方圧縮試験の体積みずみ・最大主みずみ関係(三軸伸張条件)

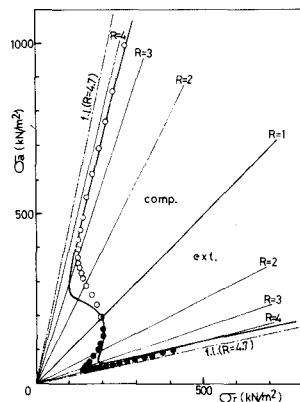


図-5. 非排水試験の有効応力経路

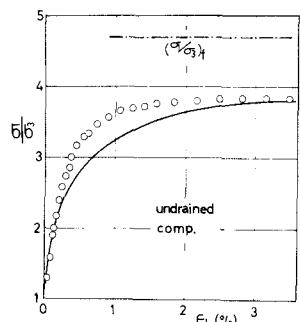


図-6. 非排水試験の主応力比・最大主みずみ関係(三軸圧縮条件)

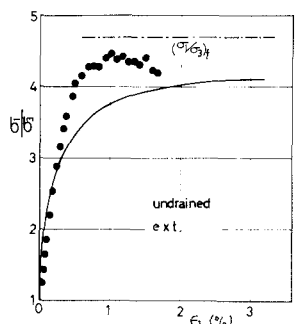


図-7. 非排水試験の主応力比・最大主みずみ関係(三軸伸張条件)