

はじめに 正規圧密粘性土に、同じ応力点より相異なる応力増分方向を与えたときの塑性ひずみ増分ベクトルの方向は異なる。また、異方圧密試料のせん断特性は圧密時の応力比の影響をうける。著者はすでにこれらの諸特性について報告してきた^{1), 2)}が、ここではこれらの結果をふまえて、理論的考察を行なう。ここでは、軸対称下での変形特性について考え、体積ひずみ増分 dv 、軸方向の偏差ひずみ増分 $d\epsilon_a$ をそれぞれ式(1), (2)のように表わす。式中の記号は文献²⁾と同じ

$$dv = dv_\eta^e + dv_p^p + dv_\eta^p \dots\dots\dots (1)$$

である。

$$d\epsilon_a = (d\epsilon_a)^p = (d\epsilon_a)_p + (d\epsilon_a)_\eta \dots\dots\dots (2)$$

応力増分方向と塑性ひずみ増分方向の関係 はじめに、等方圧密試料について考える。三軸圧縮下で破壊するときの塑性ひずみ増分比の各成分は式(3), (4)のように表わせる²⁾。ここに、 A_p, A_η は式(5)で表わされるが、 $e \cong e_i$ と考え、定数と考える。また、塑性体積ひずみ増分の各成分は式(6), (7)のように表わす²⁾。ここで、塑性ひずみ増分の p 一定成分、 η 一定成分に対する塑性ポテンシャルをそれぞれ g_p, g_η 硬化関数を Π_p, Π_η とする。式(1), (2)より式(8), (9)を得る。式(3), (4)より直交条件を用いることにより、 g_p, g_η は式(10), (11)のようになる。また、式(6), (7)より、 Π_p, Π_η は A_p, A_η に関係なく式(12), (13)のようになる。いま、簡単な場合として、 $A_p = 1, A_\eta = D$ を考える。このとき、 $g_p = 0$ は Roscoe et al.³⁾ の *yield locus* の式に一致する。このとき、全塑性ひずみ増分比は式(14)のようになる。この式は塑性ひずみ増分ベクトル方向が、応力状態 (p, η) とともに応力増分ベクトルの勾配 dq/dp の変化によっても影響をうけることを示している。図-1 は、 $p = 2 \text{ kg/cm}^2$ まで等方圧密された試料が各応力比 η まで p 一定でせん断された後、

$$\left(\frac{dv}{d\epsilon_a}\right)_p^p = A_p (M_c - \eta_a) \dots\dots\dots (3)$$

$$\left(\frac{dv}{d\epsilon_a}\right)_\eta^p = A_\eta \frac{M_c^2 - \eta_a^2}{\eta_a} \dots\dots\dots (4)$$

$$A_p = \frac{A D e_f}{M_c(1+e)}, A_\eta = A_p D \dots\dots (5)$$

$$dv_p^p = dv_p = \frac{A e_f}{(1+e) M_c} d\eta \dots\dots (6)$$

$$dv_\eta^p = \frac{\lambda - \kappa}{1+e} \frac{dp}{p} \dots\dots\dots (7)$$

$$dv^p = \Pi_p \frac{\partial g_p}{\partial p} + \Pi_\eta \frac{\partial g_\eta}{\partial p} \dots\dots (8)$$

$$d\epsilon_a = \Pi_p \frac{\partial g_p}{\partial q} + \Pi_\eta \frac{\partial g_\eta}{\partial q} \dots\dots (9)$$

$$\left. \begin{aligned} A_p &= 1; g_p = \eta - M \log \frac{p}{p_p} = 0 \\ A_p &\neq 1; g_p = \eta - \frac{A_p M}{A_p - 1} \left\{ 1 - \left(\frac{p_p}{p} \right)^{(1-A_p)} \right\} = 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (10)$$

$$\left. \begin{aligned} A_\eta &= 1; g_\eta = \eta^2 - 2 M^2 \log \frac{p_\eta}{p} = 0 \\ A_\eta &\neq 1; g_\eta = \eta^2 - \frac{A_\eta M^2}{A_\eta - 1} \left\{ 1 - \left(\frac{p_\eta}{p} \right)^{2(1-A_\eta)} \right\} = 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (11)$$

種々の勾配をもつ応力増分をうけたときの塑性ひずみ増分方向の解析例を示している。図中には、式(10)の第1式および式(11)の第2式で

$$\Pi_p = \frac{A e_f}{(1+e) M A_p} \frac{p}{M - \eta} d\eta \dots\dots (12)$$

$$\Pi_\eta = \frac{\lambda - \kappa}{(1+e) 2 A_\eta} \frac{dp}{M^2 - \eta^2} \dots\dots (13)$$

$$\left(\frac{d\epsilon_a}{dv}\right)^p = \frac{\frac{1}{M} \frac{d\eta}{dp} + \frac{dp}{D(M+\eta)p}}{(M-\eta) \left(\frac{1}{M} \frac{d\eta}{dp} + \frac{1}{p} \right)} \dots\dots (14)$$

される $g_p = 0, g_\eta = 0$ の計算曲線も同時に示している。式(14)および図-1 で示される塑性ひずみ増分方向が応力増分方向とともに変化する特性は、式(8), (9)に示したように、2つ以上の塑性ポテンシャルを用いることにより表わされ、Roscoe et al.³⁾ その他による1つの塑性ポテンシャルによっては表わし得ない。なお、式(12), (13)より各成分に対する降伏関数 f_p, f_η は式(15), (16)のようになり式中の硬化パラメータ η_0, p_0 は塑性ひずみの関数となる。式(8), (9)は、*nonassociated flow rule* を表わしており、 $dp > 0$,

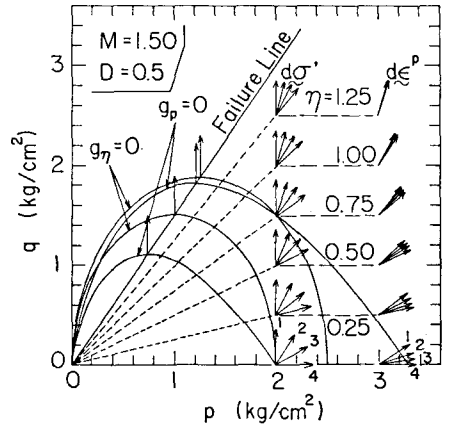


図-1 塑性ポテンシャル

$d\eta > 0$ の応力経路に限れば、加工硬化材料の応力～塑性ひずみ増分関係を $f_p = \eta - \eta_0 = 0 \dots\dots\dots (15)$ を示している。

異方圧密試料の変形特性 文献²⁾によれば、塑性ひずみ増分比の p $f_\eta = p - p_0 = 0 \dots\dots\dots (16)$

一定成分 $(dv/d\varepsilon_a)_p^p$ は、等方材料の場合と同じで、三軸圧縮下で破壊する場合は式(3)で表わされる。したがって、塑性ポテンシャル、硬化関数、降伏関数はそれぞれ式(10), (12), (15)のように表わされる。他方、塑性ひずみ増分の η 一定成分 $(dv/d\varepsilon_a)_\eta^p$ は三軸圧縮下で異方圧密された場合は文献²⁾中の式(12), (13)で表わされる。一方、塑性体積ひずみ増分の p 一定成分、 η 一定成分は、等方圧密試料の場合と同じでそれぞれ式(6), (7)で表わされる。したがって、これらの式を用いて、等方試料の場合と同様に各塑性ひずみ増分を式(8), (9)のようにおくとき、異方圧密試料に対する塑性ポテンシャル、硬化関数などを求めることができる。このとき、 g_p, Π_p は等方試料の場合と同じで異方圧密時の応力比 η_{ai} の影響はうけないが、 g_η, Π_η は η_{ai} を含む関数形で表わされる。ここでは具体的な式示は省略するが、図-2に計算例の1例を示す。図-2は、 $\eta_{ai}=1.0$ で $p=2\text{ kg/cm}^2$ まで異方圧密された試料を p 一定で各応力比までせん断した後、種々の勾配の応力増分を受けたときの塑性ひずみ増分ベクトルの方向を示している。また、同時に $p=2\text{ kg/cm}^2$ で $\eta=1.5, 1.0, 0, -0.5$ の各点を通る塑性ポテンシャル曲線 $g_p=0, g_\eta=0$ を示している。 $g_p=0$ は $\eta_a=\eta_{ai}$ の上下でそれぞれ上下方向に凸の形をしており、 $g_\eta=0$ 曲線は、 $\eta_a=r\cdot\eta_{ai}$ の上下でそれぞれ方向に凸の形をしている。

異方圧密時の塑性ポテンシャル、および他の塑性ポテンシャルとの関係 異方圧密時の塑性ひずみ増分比は式(17)のように表わされる²⁾。これより、 $(\frac{d\varepsilon_a}{dv})^p = \frac{M \eta_a}{D_a(M^2 - \eta_a^2)} \dots\dots\dots (17)$ 前と同様にして塑性ポテンシャル、硬化関数を求めることができる。ここでは式示は省略する。図-3は、異方圧密時の塑性ポテンシャル曲線 $g_a=0$ の解析結果の1例を示している。 M_C と M_E が異なるため、 p 軸に関して対称になっていない。同図中には、図-2で示した点 D ($\eta_a=\eta_{ai}=1.0, p=2\text{ kg/cm}^2$) を通る $g_p=0, g_\eta=0$ の曲線も同時に示している。点 D まで異方圧密した試料がさらに同じ応力比で異方圧密されるときの塑性ひずみ増分は、異方圧密時の塑性ひずみ増分であり、同時に η 一定成分と考えられるので、 $g_\eta=0, g_a=0$ は点 D で共通の法線をもっている ($g_\eta=0$ 曲線が $g_a=0$ 曲線に内接している)。

参考文献 1) 大槓 (1976), 第11回土質工学研究発表会概要, pp. 243～246, 2) 大槓 (1978), 第13回土質工学研究発表会概要 (投稿中), 3) Roscoe et al. (1963), *Geotech. Vol. 13*, pp. 211～240.

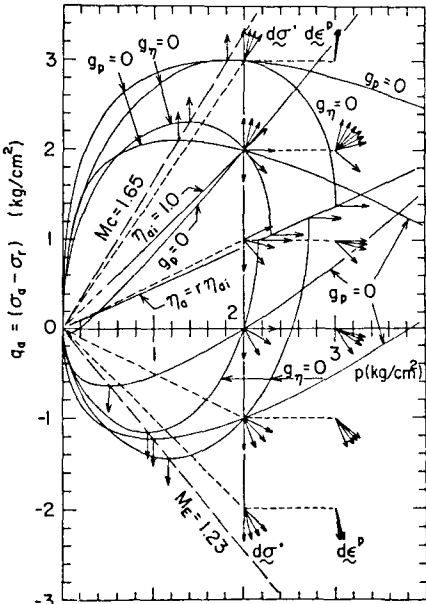


図-2 異方圧密試料の変形特性

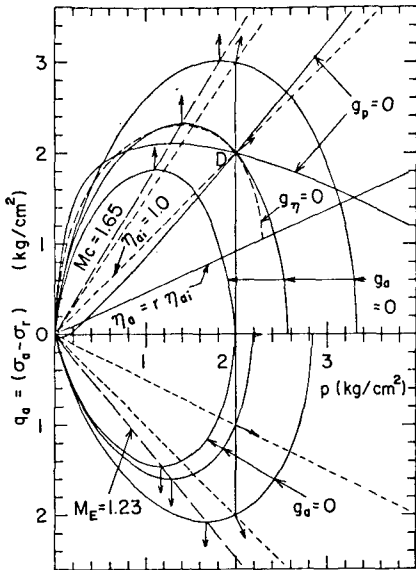


図-3 塑性ポテンシャルの比較