

III-40 正規圧密粘土の非排水三軸圧縮試験について

神戸大学工学部 正員 乾部大蔵

まえがき 研究の目的は、土構造物の変位計算を弾性式を用いて行なう際に使用し得るヤング率 E およびポアソン比 ν を求める手法を確立することであるが、現在はまだ応用し得る条件がきわめて限られている。すなわち、軸対称応力状態のもとで、応力の変化によって常に新しい降伏が生ずる場合を対象としている。弾性式は、

$$d\nu = \frac{\partial(Kp)}{\partial p} dp + \frac{\partial(Kp)}{\partial \eta} d\eta \quad (1)$$

$$d\varepsilon = \frac{\partial(\nu' \eta \cdot Kp)}{\partial p} dp + \frac{\partial(\nu' \eta \cdot Kp)}{\partial \eta} d\eta \quad (2)$$

ここに、 $d\nu$:体積圧縮ヒズミ増分、 $d\varepsilon$:主ヒズミ差増分、 $K=3(1-2\nu)/E$
 $\nu'=(1+\nu)/3(1-2\nu)$ 、 $3p=(\sigma_1'+\sigma_2'+\sigma_3')$ 、 $\eta=(\sigma_1-\sigma_3)/p$ 。
 上式を、実験事実 (i) 異方圧密中の $e \sim \log p$ 関係は勾配 C_c の平行直線群となる、(ii) セン断試験中の $\nu \sim (\sigma_1-\sigma_3)/p_e$ 関係および $\varepsilon \sim (\sigma_1-\sigma_3)/p_e$ 関係は p_e によらない(ただし、 p_e は圧密圧力)と、仮定: ν はそのみの関数である、を用いて修正すると

$$d\nu = \frac{C_c'}{p} dp + \frac{d(Kp)_{p=p_0}}{d\eta} d\eta \quad (1')$$

$$d\varepsilon = \left(\frac{d\varepsilon}{d\nu}\right)_{d\nu=0} \frac{C_c'}{p} dp + \frac{d\left[\left(\frac{d\varepsilon}{d\nu}\right)_{d\nu=0} (Kp)_{p=p_0}\right]}{d\eta} d\eta \quad (2')$$

ここに p_0 はヒズミ増分を測定する際の基準の p 、

$$\left(\frac{d\varepsilon}{d\nu}\right)_{d\nu=0} = \nu' \eta \cdots \text{異方圧密中のヒズミ増分比, } C_c' = \frac{0.434 C_c}{1+(e)_{p=p_0, \eta=\eta_0}}$$

異方圧密中のヒズミ増分比 図-1は繰り返しスリ近粘土を小さい η のもとで異方圧密したときのヒズミ増分比をあらわしている。(文献1) また、それぞれ独立に行なわれた5シリーズの異方圧密試験の結果(一部は文献2に示してある)によれば、軸対称圧縮状態では、

$$\left(\frac{d\varepsilon}{d\nu}\right)_{d\nu=0} = -\frac{1.25}{M^2} \ln(1-\eta/M) \quad (3)$$

なる実験式が成立つ。図-1および式(3)を総合すれば、図-2に示すように、 $(\frac{d\varepsilon}{d\nu})_{d\nu=0}$ はある $\eta=\eta_0$ まではそのみの関数であり、 $\eta>\eta_0$ となると圧縮とExtensionで別々の関数となるものである。この η_0 が上限降伏値に相当するであろうことは別の機会に述べるが、ともかく η_0 までは土塊の力学挙動は τ_{act}/σ_{act} に支配されるようである。もしそうだとすれば、上掲の式(3)は図-2の圧縮の場合の近似式となり、さらに式(3)の一般式は、たとえばつぎのようになるであろう:

$$\left(\frac{d\varepsilon}{d\nu}\right)_{d\nu=0} = -\frac{1.25 M^*}{M^3} \ln\left(1-\frac{\eta}{M^*}\right) \quad (3)'$$

ここに $M^*=M$ あるいは M' (M' はExtension側の塑性平衡状態における η)

応力-ヒズミ式 新しいエネルギー消費項を用いたエネルギー式は、つぎのようである(文献2):

$$(\partial\nu/\partial\eta) = (2/3)(M-\eta)(\partial\varepsilon/\partial\eta) \quad (4)$$

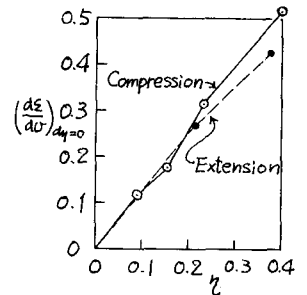


図-1 小さい異方応力度におけるヒズミ増分比

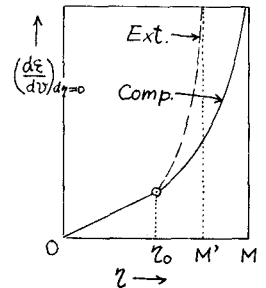


図-2 異方圧密中のヒズミ増分比(概念図)

ただし、 M は塑性平衡状態における η

ここに (1)' (2)' (3)' を代入し、 $(Kp)_{p=p_i}$ を求めると

$$(Kp)_{p=p_i} / (Kp)_{x=0}^{p=p_i} = \exp \{ F(x) \} \quad (5)$$

ただし、 $x = \epsilon/M$ 、 $(Kp)_{x=0}^{p=p_i}$ は、 $x=0$ のときの $(Kp)_{p=p_i}$ の値、

$$F(x) = \int_0^x \frac{dx}{1.2M + (1-x)\ln(1-x)}$$

非排水試験中の応力-ヒズミ式 非排水試験中のいわゆる State Boundary Surface と排水試験のそれは事実上同一である (文献3) から、(1)' 式が利用できる。(1)' 式において、 $du \equiv 0$ とすれば、

$$(Kp)_{p=p_i} = -C' \ln p + C$$

$$x=0 \text{ のとき } p=p_i \text{ ならば、上式は } \frac{(Kp)_{p=p_i}}{(Kp)_{x=0}^{p=p_i}} = 1 - \frac{C'}{(Kp)_{x=0}^{p=p_i}} \ln \left(\frac{p}{p_i} \right)$$

(5) 式に代入すれば

$$\ln \left(\frac{p}{p_i} \right) = \frac{(Kp)_{x=0}^{p=p_i}}{C'} \left[1 - \exp \{ F(x) \} \right] \quad (6)$$

(6) 式中の $(Kp)_{x=0}^{p=p_i}$ は、(2)' 式において $x = \epsilon/M = 0$ を考えることにより $(Kp)_{x=0}^{p=p_i} = 0.8M^2 \left(\frac{d\epsilon}{dx} \right)_{x=0}$ となる。ただし $\left(\frac{d\epsilon}{dx} \right)_{x=0}$ は応力-ヒズミ曲線、 $\epsilon \sim x$ 関係の立上り勾配である。したがって、(6) 式は

$$\ln \left(\frac{p}{p_i} \right) = \frac{0.8 \{ 1 + (e)_{x=0}^{p=p_i} \} M^2}{0.434 C_c} \left(\frac{d\epsilon}{dx} \right)_{x=0} \left[1 - \exp \{ F(x) \} \right] \quad (6)'$$

同様にして ϵ を計算すると

$$\epsilon = \left(\frac{d\epsilon}{dx} \right)_{x=0} \int_0^x \frac{1}{1-x} \cdot \exp \{ F(x) \} dx \quad (7)$$

図-3(a) は、Anulanandan ら (文献4) の非排水クリープ試験の結果に (7) 式を適合させた例である。彼らの実験は、等方圧密終了後、非排水条件下で単一のクリープ荷重を作用させるものであり、したがって結果はばらつくのはやむを得ない。図-3(a) により、(7) 式の $\left(\frac{d\epsilon}{dx} \right)_{x=0} = 0.0295$ とすれば最も適合がよいとわかったので、この値を (6)' 式に代入してストレスパスを求めると図-3(b) の実線のようになる。図中の破線は Roscoe らのストレスパス (文献5) である。Anulanandan らは、実験値が Roscoe らの理論値と大きくずれているのは、等方圧密期間が短かったこと、および水もれのためだとしている。

$(d\epsilon/dx)_{x=0}$ について Janbu (文献6) は多くの一次元圧縮 (圧密) 試験結果を整理して、つぎの実験式を導いた: $M = m \cdot \sigma_a' \left(\frac{\sigma_1'}{\sigma_a'} \right)^{1-a}$ ここに、 $M = \frac{d\sigma_1'}{d\epsilon}$ 、 σ_a' は 1 Kg/cm^2 、 m および a は係数

粘土においては $a \approx 0$ 、 m は間げき率 n の関数で、 n の増加とともに減少する。

一方、 $\left(\frac{d\epsilon}{dx} \right)_{x=0}$ は、時間や温度の関数でもあるだろう。しかし、Janbu の実験式から類推してクリープ (あるいはセンサ試験) 開始時の間げき比に最も強く支配されると思われる。図-4は、文献2で導かれた排水試験の応力-ヒズミ式を用いて、文献2の参考文献にあげた諸研究の $\left(\frac{d\epsilon}{dx} \right)_{x=0}$ を試験開始時の間げき比 e_i に対してプロットしたものである。また $\times$ は図-3(a) の結果をあらわしている。

[参考文献] (1) 軽部ほか、オ9国土工学研究発表会、No.65 (2) 軽部、前記発表会 No.66、(3) Roscoe ら *Geotechnique* vol 13, pp12-38, 1963 (4) Anulanandan ほか、*Geotech.*, vol 21, 1971, pp359-375 (5) Roscoe ら、*Geotech.*, vol 13, 1963, pp211-240 (6) Janbu, *Proc. of European Conf. SMFE*, 1963, pp19-25

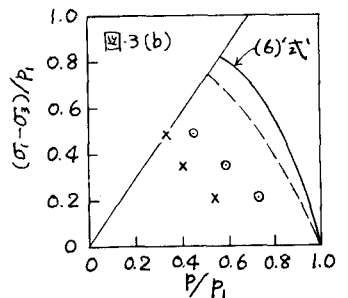
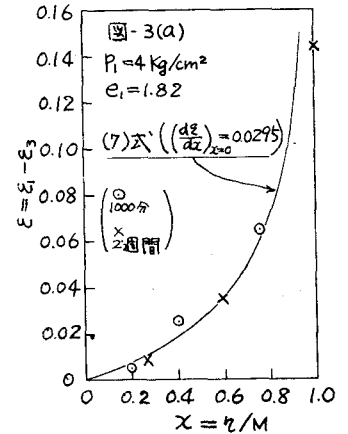


図-3 理論値と実験値の比較

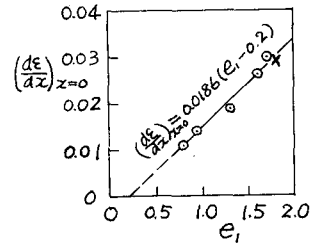


図-4 初期間げき比と応力-ヒズミ曲線の立上り勾配