

まえがき

従来まで飽和粘土のクリープ破壊、二次圧縮、応力緩和などの時間依存特性と摩擦的セン断抵抗、ダイラタンシー、等方圧縮などの塑性的な特性とは、それぞれ相異なった理論体系の中で考察されることが多かった。前報¹⁾では、正規圧密粘土のこれらの基本的な特性を統一的に表現するために、一つの構成式を提案した。そして、この構成式によってクリープ強度やクリープ破壊における最小ヒズミ速度と破壊までの時間関係を予測できることを示したが、このことは実的な意義を持つものと考えている。というのは、地盤の変形速度の原位置計測に基づく施工管理が、今後一層、重要になると考えられるからである。変形速度に着目した動態観測法としては、斎藤・上沢の経験式²⁾に基づく方法が有名であり、斜面崩壊時期の予測に供せられている³⁾。しかし、この方法は土の構成式から孤立しており、地盤内の応力や変形の分布を定量的に予測し得ない難点を持っている。それゆえに、地盤の変形速度に着目した施工管理法を今後さらに広範に発展せしめるには、二次圧縮からクリープ破壊を含む、多岐にわたる土のレオロジー挙動を予測しうる構成式に基づいて地盤の応力・変形解析を行ない、原位置計測とのフィードバックを図る必要があろう。本報告は前報に引続き、このことを目指した基礎的研究の報告である。

軸対称、非排水条件下のレオロジー特性（ヒズミ速度効果）

前報では正規圧密粘土の軸対称、非排水条件下のクリープと応力緩和特性に関して、提案している構成式の妥当性を確かめた。この節では非排水セン断におけるヒズミ速度効果について考察を加えよう。

図-1は応力-ヒズミ曲線に対するヒズミ速度効果を計算した例である。計算に用いた物質定数の値は、前報の表-1に示したものと同じである。図中の破線は、ヒズミ速度効果の消失した平衡時の応力-ヒズミ曲線⁴⁾であり、次式の形をしている。

$$\varepsilon = \frac{D \cdot \kappa}{\lambda} \cdot \ln \left(\frac{M}{M - q/p} \right) + \frac{q/p_0}{3G/p_0} \quad \left(\text{ただし, } M = \frac{\lambda - \kappa}{D \cdot (1 + e_0)} \right) \quad (1)$$

上式の右辺の第2項は弾性的なセン断ヒズミの項であるが、この項を無視すると太田の提案式⁴⁾に帰着する。

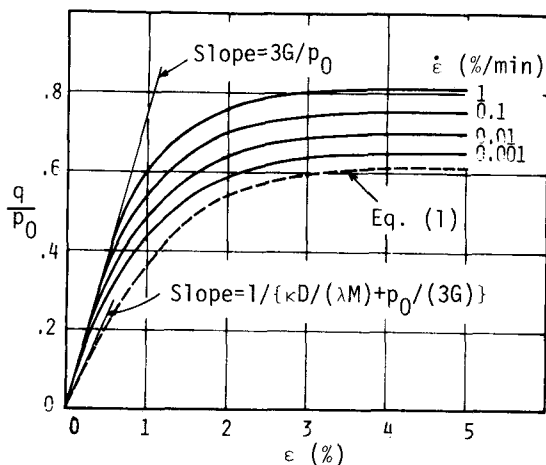


図-1 応力-ヒズミ曲線(計算結果)

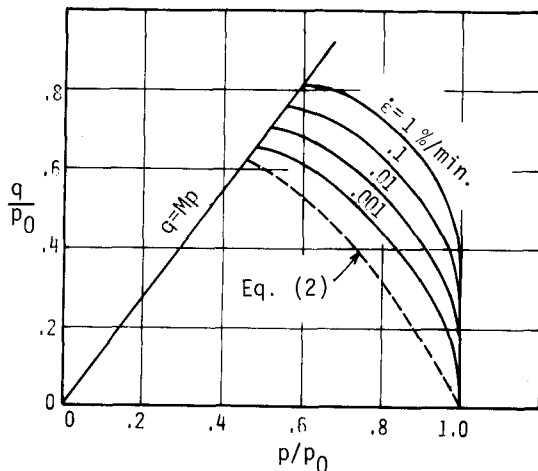


図-2 有効応力経路(計算結果)

従来まで、ヒズミを固定して考えたときのせん断応力はヒズミ速度 $\dot{\epsilon}$ の増加とともに、ほぼ $\log \dot{\epsilon}$ に比例して増加することが知られているが、図-1の結果はよくこのことを説明しているようである。

対応する非排水せん断時の有効応力径路を図-2に示した。図中の破線は、ヒズミ速度効果の消失した平衡時の有効応力径路であり、次式⁵⁾の形をしている。

$$q/p = [\lambda / \{ D \cdot (1 + e_0) \}] \cdot \ln(p_0/p) \quad (2)$$

従来まで実験的に、ヒズミ速度の増加とともに有効応力径路がふくらむ(同一の p に対して q の値が大きくなる)傾向を示すこと、また破壊線の傾きは実質的にヒズミ速度には依存しないことが知られている⁶⁾。

図-2の計算結果は、これらの特性をよく表現しているといえよう。

平面ヒズミ条件下の構成関係

盛土基礎地盤の挙動など、平面ヒズミ問題が工学的に重要になることがしばしばある。この節では、提案している構成式から誘導した平面ヒズミ条件下の構成関係を紹介する。

いま、 x, y -平面内で変形が生ずるものとし、中間有効主応力を σ'_z と表示しよう。そして、次式：

$$f = (\lambda - \kappa) \cdot \ln(p/p_0) / (1 + e_0) + D \cdot (q/p - \eta_0) \quad (3)$$

で定義される関数 f の $\sigma'_x, \sigma'_y, \sigma'_z, \tau_{xy}, p$ に関する偏微分をそれぞれ $f_x, f_y, f_z, f_\tau, f_p$ と表示することにしよう。このとき、次式の関係が得られる。

$$\{ \Delta \epsilon_x^c \Delta \epsilon_y^c \Delta \tau_{xy}^c \}^T = [J_{ij}] \{ \Delta \sigma'_x \Delta \sigma'_y \Delta \tau_{xy} \}^T + \{ \Delta \epsilon_x^c \Delta \epsilon_y^c \Delta \tau_{xy}^c \}^T \quad (T \text{ は転置の意}) \quad (4)$$

ここに、係数行列 $[J_{ij}]$ は対称行列であり、その独立な成分はつぎのようである。

$$J_{11} = C_0 \cdot (f_x)^2 / f_p + 1/E' - (C_1)^2 / C_4, \quad J_{12} = C_0 \cdot f_x \cdot f_y / f_p - \nu' / E' - C_1 \cdot C_2 / C_4$$

$$J_{13} = 2C_0 \cdot f_x \cdot f_\tau / f_p + C_1 \cdot C_3 / C_4, \quad J_{22} = C_0 \cdot (f_y)^2 / f_p + 1/E' - (C_2)^2 / C_4$$

$$J_{23} = 2C_0 \cdot f_y \cdot f_\tau / f_p + C_2 \cdot C_3 / C_4, \quad J_{33} = 4C_0 \cdot (f_\tau)^2 / f_p + 1/G - (C_3)^2 / C_4$$

ここに、 $C_0 = 1 - \exp(-\epsilon_v^p / C_\epsilon)$ 、 $C_1 = \nu' / E' - C_0 \cdot f_x \cdot f_z / f_p$ 、 $C_2 = \nu' / E' - C_0 \cdot f_y \cdot f_z / f_p$ 、 $C_3 = 2C_0 \cdot f_\tau \cdot f_z / f_p$ 、 $C_4 = C_0 \cdot (f_z)^2 / f_p + 1/E'$ である。ここで、等方弾性体の場合とは異なり、 $J_{11} \neq J_{22}$ 、 $J_{13} \neq 0$ 、 $J_{23} \neq 0$ であることが注目される。

クリープヒズミ増分、 $\Delta \epsilon_x^c, \Delta \epsilon_y^c, \Delta \tau_{xy}^c$ に対する表現はつぎのようである。

$$\Delta \epsilon_x^c = C_5 \cdot (f_x / f_z + C_1 / C_4) \cdot \Delta t, \quad \Delta \epsilon_y^c = C_5 \cdot (f_y / f_z + C_2 / C_4) \cdot \Delta t$$

$$\Delta \tau_{xy}^c = C_5 \cdot (2f_\tau / f_z - C_3 / C_4) \cdot \Delta t$$

ここに、 $C_5 = \dot{\epsilon}_{v0} \cdot \exp \{ (f - \epsilon_v^p) / C_\epsilon \} \cdot f_z / f_p$ 、 Δt = 時間増分である。

(4)式を逆変換し、対称な係数行列を $[C_{ij}]$ と表示すれば次式となる。

$$\{ \Delta \sigma'_x \Delta \sigma'_y \Delta \tau_{xy} \}^T = [C_{ij}] \{ \Delta \epsilon_x^c \Delta \epsilon_y^c \Delta \tau_{xy}^c \}^T - [C_{ij}] \{ \Delta \epsilon_x^c \Delta \epsilon_y^c \Delta \tau_{xy}^c \}^T \quad (5)$$

なお、中間有効主応力の増分に対しては次式が成立する。

$$\Delta \sigma'_z = (C_1 \cdot \Delta \sigma'_x + C_2 \cdot \Delta \sigma'_y - C_3 \cdot \Delta \tau_{xy} - C_5 \cdot \Delta t) / C_4 \quad (6)$$

(5)、(6)式のように増分形式の構成関係が求まったので、仮想変位の原理を適用すれば最終的に解くべき有限要素方程式が求まる。

帯状荷重を受けた粘質地盤の挙動を対象として解析を行なっている(その結果の一例を前報の図-8に示した)が、現地における動態観測とどのように関連づけるかを今後の課題としたい。最後に、御指導を頂いている村山朔郎、柴田徹両先生に対し感謝の意を表します。

参考文献 1) 関口(1976)、第11回土質工学研究発表会。2) 斎藤・上沢(1961)、5th ICSMFE。3) 斎藤(1972)、土と基礎。4) 太田(1971)、京大工博申請論文。5) 畠・太田(1968)、土木学会論文報告集。6) Richardson・Whitman(1963)、Geotech.