

京都大学防災研究所 正員 ○ 関口 秀雄
大林組 正員 鳥井原 誠

1. まえがき：一。前報¹⁾では、等方正規圧密を受けた飽和粘土に対するMuryama et al.²⁾および村山らのレオロジー特性式を拡張し、 K_0 -条件下で正規圧密された飽和粘土のせん断時のレオロジー挙動を説明することを試みた。本報告では、前報¹⁾述べた理論結果の妥当性を3軸伸張条件下のレオロジー試験結果に基づいて検証することを試みる。(以下では、圧縮応力、圧縮ヒズミを正とする。)

2. 理論：一。軸対称非排水条件下のレオロジー特性式として次式を提案してきた。¹⁾

$$\sigma_d(t) \equiv \sigma_a'(t) - \sigma_r'(t) = \sigma_d^{\infty}(t) + \sigma_d^R(t), \quad (1)$$

$$\sigma_m(t) \equiv \{\sigma_a'(t) + 2\sigma_r'(t)\}/3 = \sigma_m^{\infty}(t) + \sigma_m^R(t), \quad (2)$$

$$\sigma_d^R(t) \equiv \sigma_a^R(t) - \sigma_r^R(t) = (3/2) \int_{-\infty}^t \mathcal{U}(t-\tau; |\varepsilon_a(t, \tau)|) \varepsilon_a(t, \tau) d\tau, \quad (3)$$

$$\sigma_m^R(t) \equiv \{\sigma_a^R(t) + 2\sigma_r^R(t)\}/3 = |\sigma_d^R(t)|/N, \quad N \geq 3, \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\sigma_d^{\infty}}{\sigma_m^{\infty}} &= \frac{\lambda}{(H_0)D_a} \ln \left\{ \frac{(\sigma_m')_{K_0}}{\sigma_m'} \right\} + \eta_{K_0} \quad \text{for active loading,} \\ \frac{\sigma_d^{\infty}}{\sigma_m^{\infty}} &= \frac{\lambda}{(H_0)D_p} \ln \left\{ \frac{(\sigma_m')_{K_0}}{\sigma_m'} \right\} + \eta_{K_0} \quad \text{for passive loading,} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

ここに、 σ_a' = 軸方向有効主応力、 σ_r' = 軸方向緩和応力、 σ_r^R = 半径方向有効主応力、 σ_r^R = 半径方向緩和応力、 $\varepsilon_d = \varepsilon_a - \varepsilon_r$ (ε_a = 軸ヒズミ、 ε_r = 側方ヒズミ)、 $\varepsilon_a(t, \tau)$ = 相対軸ヒズミ、 $\mathcal{U}(t-\tau; |\varepsilon_a(t, \tau)|)$ = 相対ヒズミ依存応答関数、 N = 緩和応力比、 λ = 圧縮指数(前報では記号 λ を使用していた)、 $e_0 = K_0$ -圧密終了時の開げき比、 D_a = 主動状態のダイラタンシー係数、 D_p = 受動状態のダイラタンシー係数、 $(\sigma_m')_{K_0}$ = K_0 -圧密終了時の σ_m' の値、 η_{K_0} = K_0 -値に対応する σ_d/σ_m' の値である。

相対ヒズミ依存応答関数の具体的な形は、つぎのように求められている。¹⁾

$$\mathcal{U}(t-\tau; |\varepsilon_a(t, \tau)|) = \mathcal{U}(t-\tau)/|\varepsilon_{ac}| \quad \text{for } |\varepsilon_a(t, \tau)| \leq |\varepsilon_{ac}|, \quad (6)$$

$$\mathcal{U}(t-\tau; |\varepsilon_a(t, \tau)|) = \mathcal{U}(t-\tau)/|\varepsilon_a(t, \tau)| \quad \text{for } |\varepsilon_a(t, \tau)| \geq |\varepsilon_{ac}|, \quad (7)$$

$$\mathcal{U}(t-\tau) = \int_{\ln(\lambda_l)}^{\ln(\lambda_u)} \frac{H_0}{\lambda'} \exp\left(-\frac{t-\tau}{\lambda'}\right) d\ln(\lambda'), \quad (8)$$

ここに、 ε_{ac} = 限界軸ヒズミ、 λ_u = 最長緩和時間、 λ_l = 最短緩和時間、 H_0 = 箱型緩和スペクトルの高さ、 λ' = 積分変数 (= 緩和時間) である。

上述した(1),(2),(4),(5)式から、有限のヒズミ速度下の有効応力経路を表現する関係式を導くことができる。

次節で述べる試験結果に関連した σ_d^R の理論式をつぎに示す。(λ_l の寄与は無視している。)

(a) 定速変形: $\sigma_d^R = \frac{3H_0\varepsilon_a}{2|\varepsilon_{ac}|} \left[\left\{ 1 - \exp\left(-\frac{\varepsilon_a}{\varepsilon_a\lambda_u}\right) \right\} / \left(\frac{\varepsilon_a}{\varepsilon_a\lambda_u} \right) - E_i\left(-\frac{\varepsilon_a}{\varepsilon_a\lambda_u}\right) \right] \quad \text{for } |\varepsilon_a| \leq |\varepsilon_{ac}|, \quad (9)$

なお、(9)式において、 $\varepsilon_a \rightarrow \varepsilon_{ac}$ とすれば $|\varepsilon_a| \geq |\varepsilon_{ac}|$ の場合の関係式が得られる。

(b) 定速変形停止後の応力緩和: (10)

$$\sigma_d^R(t) = \frac{3H_0\varepsilon_a}{2|\varepsilon_{ac}|} \left[\frac{\lambda_u}{\xi} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{\xi}{\lambda_u}\right) \right\} \exp\left(-\frac{t}{\lambda_u}\right) + \frac{t}{\xi} E_i\left(-\frac{t}{\lambda_u}\right) - \left(\frac{t}{\xi} + 1\right) E_i\left(-\frac{t+\xi}{\lambda_u}\right) \right] \quad \text{for } |\varepsilon_a| \leq |\varepsilon_{ac}|,$$

ここに、 $\xi = \varepsilon_a/\varepsilon_a$ である。なお、(10)式において、 $\varepsilon_a \rightarrow \varepsilon_{ac}$ 、 $\xi \rightarrow t_c = \varepsilon_{ac}/\varepsilon_a$ とすれば、 $|\varepsilon_a| \geq |\varepsilon_{ac}|$ の場合の関係式が得られる。

3. K_0 -圧密後の3軸伸張による検討：一。行なった試験は、定速変形と応力緩和を組合わせた3軸伸張条件下の非排水試験である。試験は前報¹⁾と同じく練土大阪南港粘土である。 K_0 -圧密終了時の有効応力状態は、前報のTable 1に示した値と実質的に等しい。

図-1, 3, 5に着目すれば、つぎのことが明らかである：(1) ヒズミ速度の減少に応じて定速変形時の有効

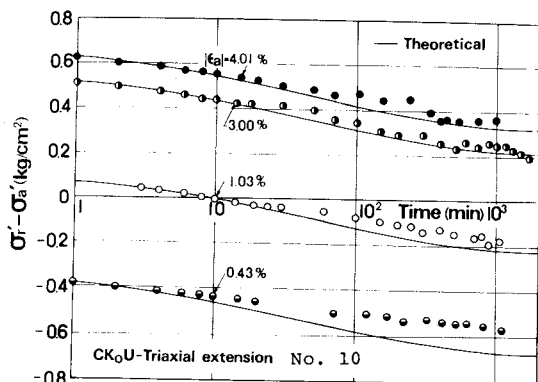
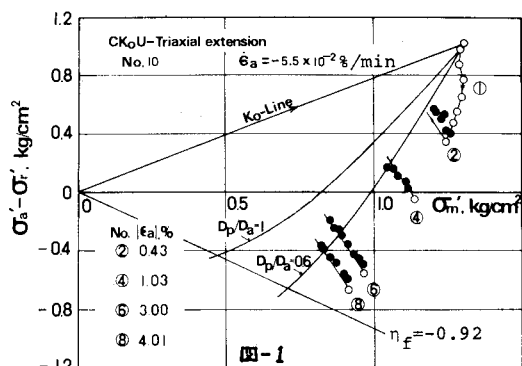


図-2 定速変形停止後の応力緩和曲線(図-1参照)

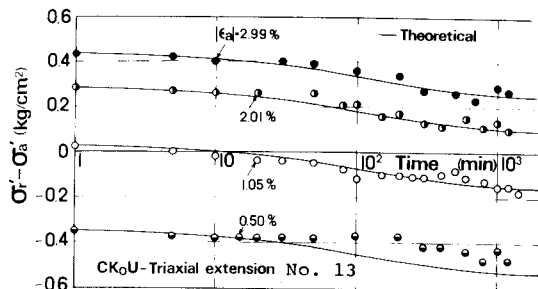
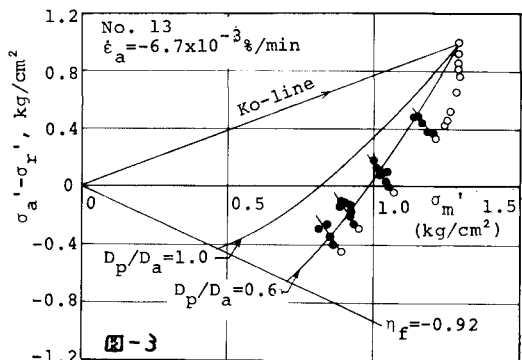


図-4 定速変形停止後の応力緩和曲線(図-3参照)

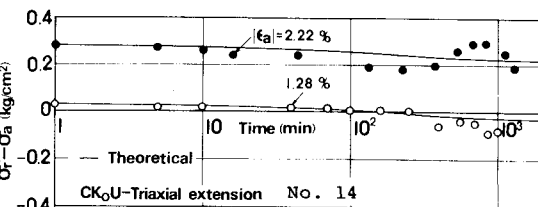
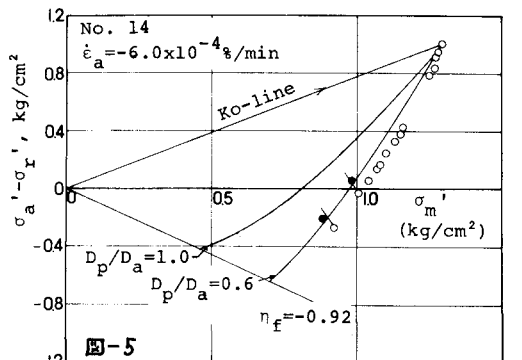


図-6 定速変形停止後の応力緩和曲線(図-5参照)

応力経路(○印)が内側に移行すること；(2) 応力緩和時の有効応力経路(●印)が図中の実験で示した勾配 -3:1 の直線に沿って移行していること、すなわち(4)式に従っていること；(3) $D_p/D_a = 0.6$ と仮定したときの平衡応力経路の近傍で有効応力の緩和が著しく傾向を示していること。

図-2, 4, 6 には、各応力緩和過程での $\sigma_r' - \sigma_a'$ の経時変化を示している。図中の実験は、この粘土のレオロジー定数値(すなわち $H_0 = 0.0652 \text{ kg/cm}^2$, $|\epsilon_{ac}| = 0.4\%$, $|\epsilon_{ac}|/\lambda_u = 5.5 \times 10^{-6} \text{ min}^{-1}$)を用いて計算した理論曲線である。図-2, 4, 6 のそれぞれにおいて実験値と理論曲線のよい対応が明らかである。なお、いま述べた結果が $\sigma_r' - \sigma_a'$ の符号によらず、換言すれば主応力方向の回転によらず成立していることは興味深い。

かくして、提案理論の妥当性を Ko-圧密後の 3 軸伸張非排水レオロジー試験結果から確かめることができた。謝辞 御指導を賜った村山朔郎京都大学名誉教授に対し深く感謝の意を表します。

参考文献 1) 関口秀雄(1974), 第29回土木学会年次学術講演会概要集, III-44, P. 85.

2) Murayama, S., Seiguchi, H. and Ueda, T. (1974), Soils and Foundations, Vol. 14, No. 2, P. 19.

3) 村山朔郎・関口秀雄・辻幾則(1974), 第9回土質工学研究発表会, P. 155.