

粘土の繰返し載荷弾粘塑性モデル

大阪大学工学部 正会員 阿部 信晴

大阪大学工学部 正会員 松井 保

大阪大学大学院 学生会員 ○平 尾 謙一

1. まえがき

粘土の時間依存性挙動を表現するために、現在様々な弾粘塑性モデルが提案されている。本報告はクリープポテンシャル理論に基づいた繰返し負荷に対する弾粘塑性モデルを提案するものである。

2. クリープポテンシャル理論

本モデルの基礎となるクリープポテンシャル理論は、負荷あるいは除荷といった応力状態に関係なく、弾性ひずみとクリープひずみが存在するという基本仮定に基づいている。クリープポテンシャル理論においては、クリープひずみ速度は次式で与えられる。

$$\dot{\epsilon}_{ij} = \Lambda(\sigma_{ij}, S_n) \frac{\partial g(\sigma_{ij}, S_n)}{\partial \sigma_{ij}} \quad (1), \quad \dot{S}_n = S_n(\sigma_{ij}, S_n) \quad (2)$$

ここに、 g はクリープポテンシャル、 Λ は正のスカラーパラメータであり、 σ_{ij} 、 $\dot{\epsilon}_{ij}$ 、 S_n はそれぞれ応力テンソル、クリープひずみ速度テンソル、内部状態変数である。

3. 繰返し負荷モデル

繰返し負荷モデルのクリープポテンシャル g は、松井・阿部によって提案されている次式で表される。

$$g = \begin{cases} p \left\{ \frac{M_{na} + (\alpha_a - 1) \eta}{M_{na} + (\alpha_a - 1) \bar{\eta}} \right\}^{\left(\frac{\alpha_a}{\alpha_a - 1} \right)} & \eta \geq \bar{\eta} \quad (d\eta > 0) \\ p \left\{ \frac{M_{np} + (1 - \alpha_p) \bar{\eta}}{M_{np} + (1 - \alpha_p) \eta} \right\}^{\left(\frac{\alpha_p}{1 - \alpha_p} \right)} & \eta < \bar{\eta} \quad (d\eta < 0) \end{cases} \quad (3)$$

ここに、 $\bar{\eta}$ は負荷反転時の応力比である。

硬化変数にクリープせん断ひずみを採用し、次式の移行式（対数クリープ則）を用いる。

$$\dot{\gamma}^c = \dot{\gamma}^0 \exp \left(\frac{f - \gamma^0}{\nu} \right) \quad (4)$$

ここに、 f は基準状態におけるせん断ひずみであり、次式で示される。

$$f = -K M_r \left(\ln \left| 1 - \frac{\eta}{M_r} \right| + \frac{\eta}{M_r} \right) \quad (5)$$

ただし、繰返し負荷に対しては、Masing 則を適用する。

また、(1)式および(4)式から(6)式のように Λ が得られ、クリープひずみ速度が(7)式で与えられる。

$$\Lambda = \frac{\dot{\gamma}^c}{\frac{\partial g}{\partial q}} = \frac{\dot{\gamma}^0 \exp \left(\frac{f - \gamma^0}{\nu} \right)}{\frac{\partial g}{\partial q}} \quad (6)$$

$$\dot{\epsilon}_{ij} = \Lambda \frac{\partial g}{\partial \sigma_{ij}} = \left[\frac{\dot{\gamma}^0 \exp \left(\frac{f - \gamma^0}{\nu} \right)}{\frac{\partial g}{\partial q}} \right] \frac{\partial g}{\partial \sigma_{ij}} \quad (7)$$

4. 解析結果

提案したモデルを用いて、非排水三軸繰返しせん断試験の解析を行った。載荷は一定の載荷速度で行い、繰返し荷重は Sin Curve で与えている。ここでは載荷速度の影響を調べるために、載荷速度を様々に変えて計算を行った。例として載荷速度が 5 min/cycle のケースおよび 40 min/cycle のケースの結果を図-1 および図-2 に示す。

図-1 は応力-ひずみ関係を示している。載荷速度 40 min/cycle のケースでは繰返し回数が増すごとにひずみの発生量が大きくなり、ヒステリシスループが S 字型を呈するようになっているのに対し、載荷速度 5 min / cycle のケースでは繰返し回数が増加してもひずみの発生量はさほど大きくならない。図-2 は有効応力経路を示している。図から載荷速度が 5 min/cycle のケースより 40 min / cycle のケースのほうが繰返しに伴う間隙水圧の発生量が大きくなっており、載荷速度のダイレイタンシー量に与える影響がよく表現されている。今回、載荷速度を様々に変えて解析を行った結果、載荷速度の遅いものほど間隙水圧およびせん断ひずみの発生量が大きくなる結果が得られている。

5. まとめ

本報告で提案した繰返し載荷モデルによって、非排水繰返しせん断挙動の載荷速度依存性が定性的に表現できることが明らかになった。

参考文献

- (1) Matsui, T. and Abe, N. (1985): Elastic / viscoplastic constitutive equation of normally consolidated clays based on flow surface theory, Proc. 5th Int. Conf. Numer. Methods Geomech., Vol. 1, pp. 407-413, Nagoya.
- (2) Matsui, T. and Abe, N. (1981): Multi-dimensional elasto-plastic consolidation analysis by finite element method, Soils and Foundations, Vol. 21, No. 1, pp. 79-95

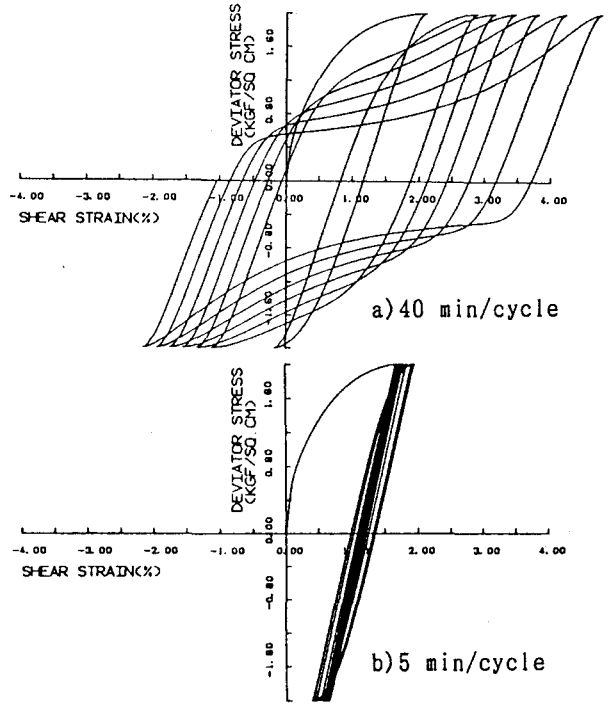


図-1 応力-ひずみ関係

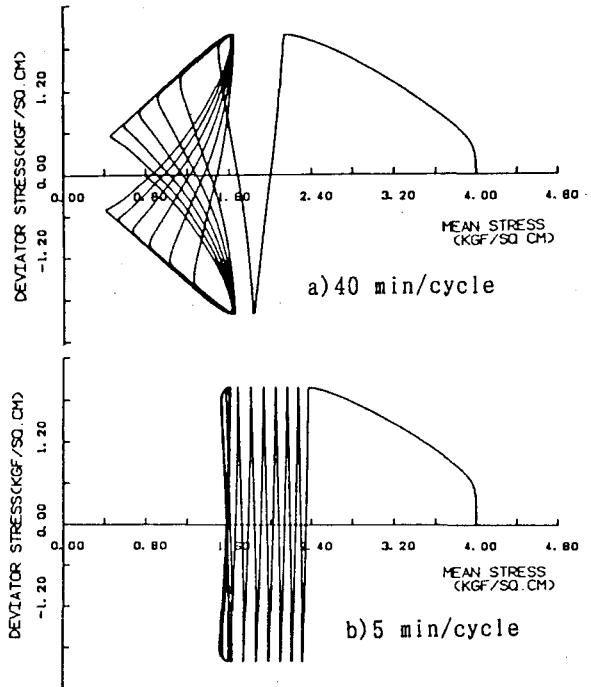


図-2 有効応力経路