

Ⅲ - A58

粘土の時間-負荷履歴依存性とそのモデル化

大阪大学工学部 正会員 阿部 信 晴

大阪大学工学部 学生会員 富 江 洋

1. まえがき

粘土はそれまでに受けた負荷の大きさや持続時間の影響を強く受けるが、提案されている流動曲面モデルではこの時間-負荷履歴の影響を正確に表現することができない。このため、流動曲面モデルに履歴変数を導入した流動曲面履歴変数モデルが提案されている。本報告では流動曲面履歴変数モデルによる粘土の時間-負荷履歴依存性の評価について検討している。

2. 流動曲面履歴変数モデルと時間-負荷履歴

粘土に初期負荷を与えた後、さらに新たな負荷（後続負荷）を加えると応力-ひずみ曲線は急な勾配で立ち上がる。しかし、流動曲面モデルではこのような後続負荷時の応力-ひずみ応答を正確に表現することができない。この急な応力の立ち上がりを流動曲面モデルで表現するためには時間変数の更新、すなわち後続負荷時に時間変数をゼロとすることが必要である。しかし、時間変数を更新すると流動曲面の大きさも同時にゼロとなり、それまでの時間-負荷履歴も失われてしまう。したがって、時間変数の更新時にそれまでの時間-負荷履歴を記憶することができるモデルが必要である。このため、流動曲面モデルに履歴変数を導入した流動曲面履歴変数モデルが提案されている。提案している流動曲面履歴変数モデルの主な構成仮定は次のとおりである。

1) 負荷の直前までに生じた粘性体積ひずみ v^v を履歴変数 h とし、履歴変数 h を導入した次式の移行式を仮定する。

$$\frac{v^v + h}{\mu} = -\ln\left(\frac{\dot{v}^v}{\dot{v}_r^v} + \delta\right) \quad (1)$$

この移行式は基準式を履歴変数 h によって粘性体積ひずみ軸に沿って移動させて、ひずみ速度に対する粘土の粘塑性応答特性を変化させることによって時間-負荷履歴効果を表現するものである。

2) (1)式の移行式を負荷の瞬間において粘塑性応答は存在しないという条件で時間積分することにより、次式の流動関数が求められる。

$$F = \mu \ln \left[\frac{1}{\delta} \left[\left\{ 1 - \exp\left(-\frac{\delta}{\mu} \dot{v}_r^v t\right) \right\} \exp\left(\frac{v^v - h}{\mu}\right) + \delta \exp\left(-\frac{\delta}{\mu} \dot{v}_r^v t\right) \right] \right] - v^v = 0 \quad (2)$$

また、履歴変数 h は、

$$h = h_0 + v^v = \mu \ln \left[\frac{1}{\delta} \left[1 - \left\{ 1 - \delta \exp\left(-\frac{v^v + h_0}{\mu}\right) \right\} \exp\left(-\frac{\delta}{\mu} \dot{v}_r^v t\right) \right] \right] \quad (3)$$

3) (2), (3)式中の塑性体積ひずみ v^p はオリジナルカムクレイモデルによって評価する。

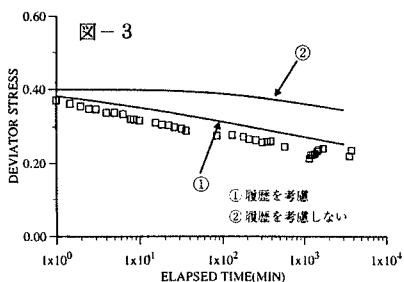
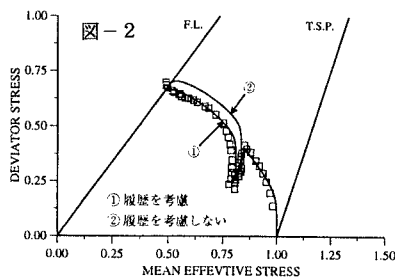
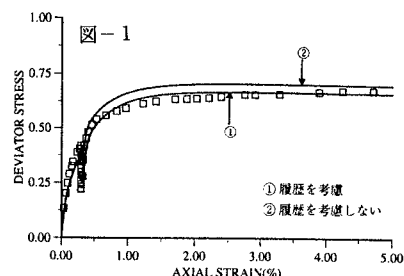
$$v^p = f = \frac{\lambda - \kappa}{1 + e_0} \left[\ln\left(\frac{p}{p_0}\right) + \frac{\eta - \eta_0}{M} \right] \quad (4)$$

4) 弾性ひずみと粘塑性ひずみは常に存在するものと仮定する。

したがって、負荷-除荷基準を必要としない。粘土の降伏は粘

キーワード：粘土，時間依存性，時間-負荷履歴依存性，流動曲面履歴変数モデル

連絡先：吹田市山田丘2-1，TEL 06-879-7624，FAX 06-879-7629



塑性応答の中での弾粘塑性遷移過程として表現される。

5) 粘土の粘塑性硬化が進んで履歴変数 h が大きくなり、次式が成立するとき、

$$h > -\mu \ln \delta \quad (5)$$

粘土は弾性核(elastic nucleus)に入ったものと仮定する。弾性核内部では粘土は弾性挙動する。

3. 流動曲面履歴変数モデルの更新手法

時間-負荷履歴効果を含む粘土の挙動解析を行うために、次の更新手法 (updating procedure)を適用する。

- 1) 後続負荷の瞬間に時間変数をゼロに更新する。
- 2) この時、負荷直前の応力を後続負荷時の初期値とする応力の初期化を行う。
- 3) また、後続負荷直前までに生じた粘性体積ひずみを後続負荷時の履歴変数 h として更新する。

4. 計算例

非排水三軸試験における粘土の時間-負荷履歴依存性について流動曲面履歴変数モデルの適用性を検討している。以下の計算例において計算結果①は上で述べた更新手法によるものであり、計算結果②は更新手法のうち履歴変数を考慮していないもの(履歴変数 $h = 0$ と仮定したことと相当)である。図-1~3は定ひずみ速度せん断→応力緩和→定ひずみ速度せん断を行う応力緩和試験(中井他, 1987)の応力-ひずみ関係、応力経路、応力緩和時の軸差応力の経時変化を示したものであり、図-4, 5は定応力速度せん断→クリープを繰り返す多段階クリープ試験(三宅他, 1988)の有効応力経路、軸ひずみの経時変化である。計算結果①では定ひずみ速度せん断、定応力速度せん断直後の履歴変数 h はほとんどのケースで負の値となる。したがって、計算結果②(履歴変数 $h = 0$)は履歴の硬化を過大に評価していることになり、実験結果と比べてクリープ時のひずみの発生量は小さく、また、応力緩和時の軸差応力の減少量も小さくなってしまう。

5. まとめ

流動曲面履歴変数モデルによって時間-負荷履歴を適切に評価することができ、後続負荷時の挙動を正確に予測することが可能である。

参考文献

- 1) 中井・都築・石川・三宅(1987):三軸圧縮・伸張条件下の粘土の時間効果特性, 第22回土質工学研究発表会発表講演集, pp411-414.
- 2) 三宅・中井・モ利己・西村(1988):三軸圧縮・伸張条件下の粘土の非排水クリープ挙動とその解析, 土木学会第43回年次学術講演会講演概要集Ⅲ-239, pp520-521.

