

III-204

粘土の粘弾塑性構成式の開発とその適用性の検討

琉球大学 正会員 原久夫

1. まえがき

修正Cam-Clay モデルを基本とした塑性と粘弾性が共存したモデルを新しく開発した。このモデルは4要素一般化Voigtモデルの中のMaxwell要素に塑性を表わす成分を直列に入れた弾・塑・粘性モデルである。その概要およびモデルによる計算値と実験値との比較照合結果について述べる。

これまでに筆者は、正規圧密粘土に対し、静的な平均有効主応力一定での繰返し排水せん断時の弾性域内での挙動が4要素一般化Voigtモデルで十分表現できることを示した¹⁾。本文では、これに新たに塑性ひずみを取り込んで処女載荷過程におけるの応力-ひずみ関係も表現できるように拡張した。

2. 塑性の共存した弾粘性モデル

2-1 モデルの概要

図-1にここで述べるモデルの構造を示す。このモデルから (f, g) で表わされる塑性成分を除去すると4要素一般化Voigtモデルとなる。この一般化KVoigtモデルは先の報告¹⁾で述べた通り、弾性域内での粘弾性挙動を表わすのに有用である。

塑性変形は修正Cam-Clay モデルを基本に、軟化現象を取り入れ²⁾、さらに降伏曲線を一般化楕円で表わした形に拡張したモデルを使っている。

ここでは紙面の都合上構成式導入までの詳しい過程は省き、このモデルで使う定数の説明だけを述べる。

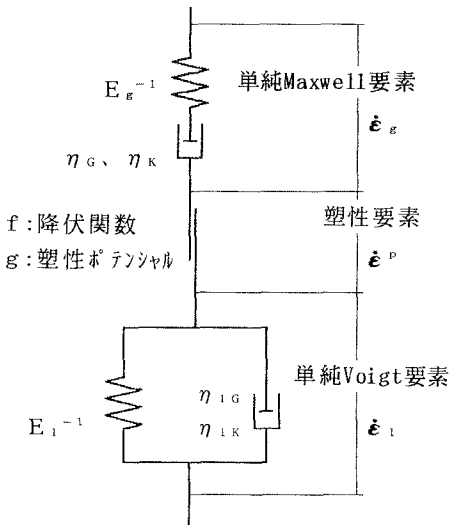


図-1 塑性の共存した一般化Voigt要素モデル

2-2 計算に必要な定数

このモデルの計算には、粘弾性成分について9個、塑性成分について4個、粘土の基準間隙比1個、合計次の14種類の定数が必要である。

- 1 κ : 膨張指数
- 2 ν_i : 初期ポアソン比
- 3 G_1 : せん断弾性係数 G のパラメータ
最終倍率 $= 1/(1+G_1)$
- 4 G_2 : 曲がりの程度
- 5 T_g : 緩和時間 (Maxwell要素のせん断変形)
- 6 T_k : 緩和時間 (Maxwell要素の体積変形)
- 7 T_{gi} : 遅延時間 (Voigt要素のせん断変形)
- 8 T_{ki} : 遅延時間 (Voigt要素の体積変形)
- 9 α : 弾性変形量の分担率
- 10 λ : 圧縮指数
- 11 M : CSL勾配
- 12 L : 降伏曲面形状係数
- 13 C : 軟化係数
- 14 e_N : 基準間隙比

2-3 弾性変形に関する定数

単純Maxwell要素、単純Voigt要素のそれぞれについて、体積弾性係数 K とせん断弾性係数 G 、粘性係数 η が必要である。定数1-8を使ってこれらの値を求めることになるがその方法は以下の通りである。

I 要素全体の体積弾性係数 K

$$K = \frac{(1+e)p}{\kappa} \quad (1)$$

II 要素全体のせん断弾性係数 G_i (初期状態)

$$G_i = \frac{3K(1-2\nu_i)}{2(1+\nu_i)} \quad (2)$$

III 各要素の弾性係数

粘性項が無視できるような変形速度を考える。

弾性変形量のうちMaxwell要素の受け持つ割合を α とすると各要素のコンプライアンスは、

$$\begin{aligned} C_{K\text{Maxwell}} &= \alpha C_K \\ C_{K\text{Voigt}} &= (1-\alpha) C_K \\ C_K &= 1/K \end{aligned} \quad (3)$$

より、Maxwell要素、Voigt要素の体積弾性係数は

$$\begin{aligned} K_{\text{Maxwell}} &= K/\alpha \\ K_{\text{Voigt}} &= K/(1-\alpha) \end{aligned} \quad (4)$$

となる。

同様にせん断弾性係数は

$$\begin{aligned} G_{\text{Maxwell}} &= G / \alpha \\ G_{\text{Voigt}} &= G / (1 - \alpha) \end{aligned} \quad (5)$$

となる。

ここで全体のせん断弾性係数 G は偏差応力に依存して次式のように変化すると仮定する。

$$G = \frac{1 + G_1 \exp(-G_2 q)}{1 + G_1} G_i \quad (6)$$

このモデルでは、 K が p 、 G が q の関数となって変化するためポアソン比は次式のように変化する。

$$\nu = \frac{3K - 2G}{6K + 2G} \quad (7)$$

2-4 粘性係数

定数5-8の緩和時間、遅延時間と(4)、(5)式よりMaxwell要素、Voigt要素それぞれの粘性係数は次のようになる。

$$\begin{aligned} \eta_{g\text{Maxwell}} &= T_g G_{\text{Maxwell}} \\ \eta_{g\text{Voigt}} &= T_{g1} G_{\text{Voigt}} \\ \eta_{K\text{Maxwell}} &= T_K K_{\text{Maxwell}} \\ \eta_{K\text{Voigt}} &= T_{K1} K_{\text{Voigt}} \end{aligned} \quad (8)$$

2-5 塑性変形に関する定数

定数10-14は塑性変形に関する定数と間隙比を規定するための基準間隙比である。塑性変形については、修正Cam-Clayモデルを基本にしているので、 M は従来と同じ物理量である。

定数12は(9)、(10)式の中の L である。これは降伏面の形状を変化させるパラメータで、 L の値によって $p-q$ 平面に投影した降伏面の形状が楕円からひし形にまで変化する(図-2参照)。

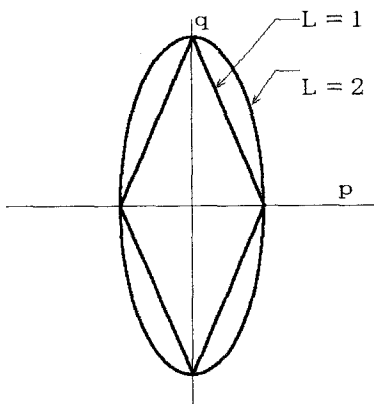


図-2 降伏曲線の形状変化

$$p = \frac{p_0}{2} \cos^2 \theta \quad (9)$$

$$q = \frac{p_0 M}{2} \sin^2 \theta \quad (10)$$

定数13は軟化現象を表わす定数で、塑性せん断ひずみの発達によって降伏面が縮小するように改良した、 $C=0$ の時修正Cam-Clayモデルに一致する。その導入の詳細は参考文献²⁾を参照されたい。

定数14は基準間隙比で、 $e - \log p$ 平面上の等方圧密線の $p = 1$ に対応する間隙比である。

3. 実験結果との照合

図-3に等方圧密した正規粘土の平均有効主応力一定排水せん断試験結果³⁾に対して、このモデルで計算してみた結果を示す。静的な繰返し载荷中の変形を含めてすべての载荷過程に対するひずみ応答がかなりよく再現されていることが分かる。

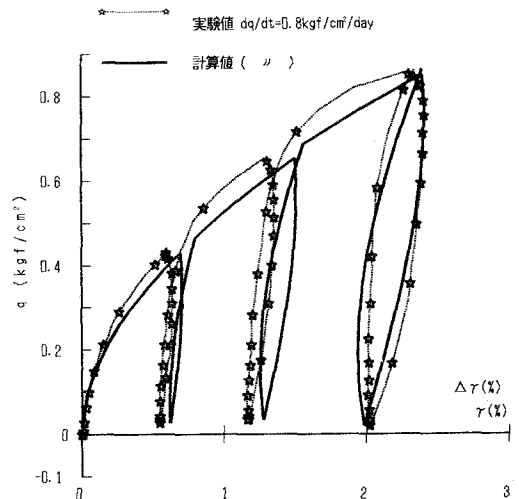


図-3 p一定排水せん断試験結果の比較

参考文献

- 1) 原久夫, 住岡宣博(1992): 粘土の平均有効応力一定繰返し..., 第27回土質工学研究発表会
- 2) 原久夫(1991): 軟化を考慮した正規圧密粘土の構成式, 地盤と建設, Vol. 9., No. 1, 63-72
- 3) 瑞慶覧長賢 他(1992): 正規粘土の平均有効応力一定繰返し排水せん断試験結果, 第27回土質工学研究発表会