

名古屋工業大学 正会員 ○中井 照夫
 名古屋港管理組合 正会員 星川 拓也
 ライト工業 土屋 朋之
 鉄建建設 鶴飼 薫

Cam-clay modelに代表されるように、実際の地盤の応力・変形解析に適用される粘土の構成モデルとして等方硬化型弾塑性モデルが使われることが多い。しかし、過去に種々の応力履歴を受けた地盤や繰返し荷重等の複雑な外力下での地盤の挙動の解析は、等方硬化型モデルでは困難である。著者らはこのような条件下の地盤の挙動を解析に適用するため、移動硬化型の粘土の弾塑性モデル¹⁾を開発しているが、ここでは、自動計測・制御化したセル型3主応力制御試験機を用いて、任意3次元応力経路下の藤の森粘土の排水試験を行い、その実測値とモデルによる解析結果を比較する。そして、3次元応力経路下の粘土の応力～ひずみ挙動について考察するとともに、モデルの適用性について検討する。

1. 実験の概要

試験機のセル部分の概要を図-1に示す。この試験機では直方体供試体(10cm×10cm×7cm)を用い、鉛直方向(y方向)、水平一方向(z方向)は剛板で他の水平一方向(x方向;図-1では紙面に垂直な方向)は液圧で、任意の3主応力を載荷できる。今回は計測、制御の自動化をはかり、設定した応力経路に沿って定応力速度で排水せん断しているが、排水条件を満足させるため、各主ひずみ速度は $1.0 \times 10^{-3} \%$ /min.以下になるように制御している。実験の試料としては繰返し再圧密した藤の森粘土($w_L=41\%$, $w_p=23\%$)を用い、次の2つの応力経路下で実験および解析を行っている。

Test 1: 平均主応力一定($p=1.0 \text{ kgf/cm}^2$)のもとで、図-2の正八面体面上でOABODEOGと動く応力経路

Test 2: 平均主応力pで正規化した正八面体面上ではTest 1と同様OABC DEOと動くが、平均主応力pは図-3に示すように増減する応力経路
 なお、以上の応力経路は三軸圧縮条件下の載荷、モール・クーロン規準に沿う経路、三軸伸張条件下の除荷を組み合わせたものとなっている。

2. モデル¹⁾の概要と土質パラメーター

既往の等方硬化型モデル³⁾同様、塑性ひずみ増分 $d\epsilon_{ij}^p$ は t_{ij} 空間で関連流動則を満足する成分 $d\epsilon_{ij}^p(AF)$ と等方的な圧縮成分 $d\epsilon_{ij}^p(IC)$ の和で与える。

$$d\epsilon_{ij}^p = d\epsilon_{ij}^p(AF) + d\epsilon_{ij}^p(IC) = \Lambda \frac{\partial f}{\partial t_{ij}} + K \langle dt_N \rangle \frac{\delta_{ij}}{3} \quad (1)$$

ここに、移動硬化型モデルでは降伏関数fおよび係数 Λ は次式で与えられる。

$$f = \frac{\lambda - K}{1 + e_0} \left[\ln \frac{t_N}{t_{N0}} + \frac{-\alpha}{1 - \alpha} \ln \left| 1 - (1 - \alpha) \frac{X^* + n}{M^*} \right| \right] - c = 0 \quad (2)$$

$$\Lambda = \frac{dH - K \langle dt_N \rangle}{\frac{\partial f}{\partial t_{kk}}} \quad (3)$$

$$\left(dH = d\epsilon_{ij}^p \frac{\lambda - K}{1 + e_0} \left[\frac{1}{t_N} dt_N + \frac{\alpha}{M^* - (1 - \alpha) X^*} dX \right] \right)$$

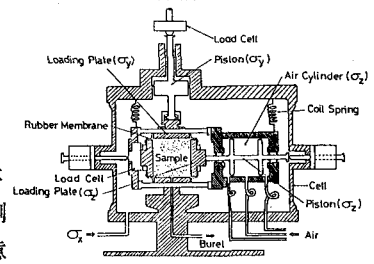


図-1 試験機のセル部分の概要

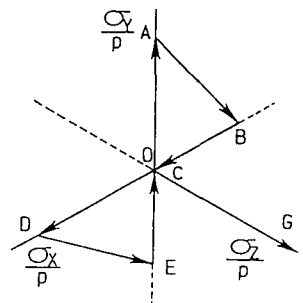


図-2 正八面体面上の応力履歴

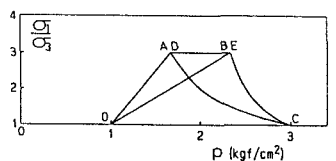


図-3 p～q関係で表したTest 2の応力経路

表-1 藤の森粘土の土質パラメーター

$\lambda/(1+e_0)$	5.08×10^{-2}
$K/(1+e_0)$	1.12×10^{-2}
ϕ (comp.)	33.7°
α	0.7
v_e	0.0
ξ	0.2

また、(2)式中の応力比パラメーター X^* は t_{ij} の概念に基づく応力比テンソル $X_{ij}=t_{ij}/t_{N-a_{ij}}$ と応力比 (x_{ij}) 空間における降伏関数の中心を表すテンソル n_{ij} を使って次式で表される⁴⁾。

$$X^* = \sqrt{(x_{ij} - n_{ij})(x_{ij} - n_{ij})} \quad (4)$$

なお、降伏関数はせん断(応力比テンソル x_{ij} の変化)に対しては $X^* = \xi = \text{const.}$ を保ちながら x_{ij} 空間で移動硬化し、平均応力 (t_N) の変化に対しては等方あるいは異方硬化する性質をもっている。

図-4 Test 1の各主ひずみの変化

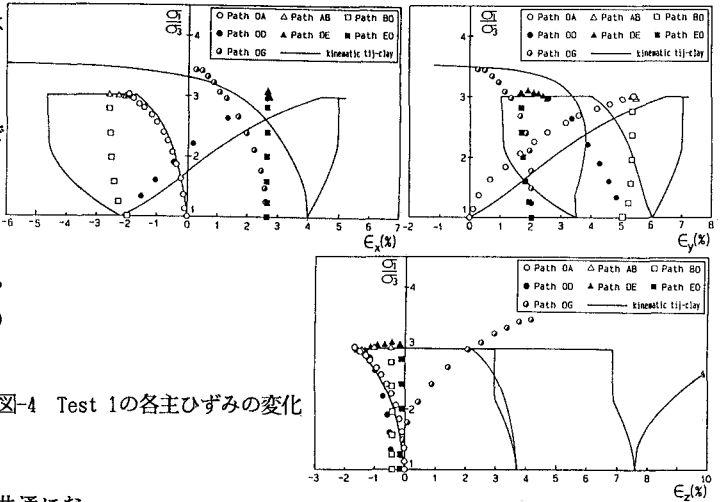
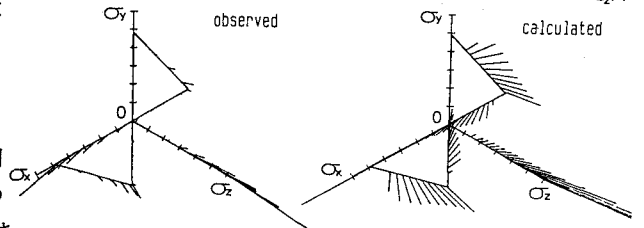


表-1に以下の解析で用いた藤の森粘土の土質パラメーターを示すか、これは既報の等方硬化型モデルで用いた値^{1), 2), 3)}とも共通になっている。

3. 実験および解析結果

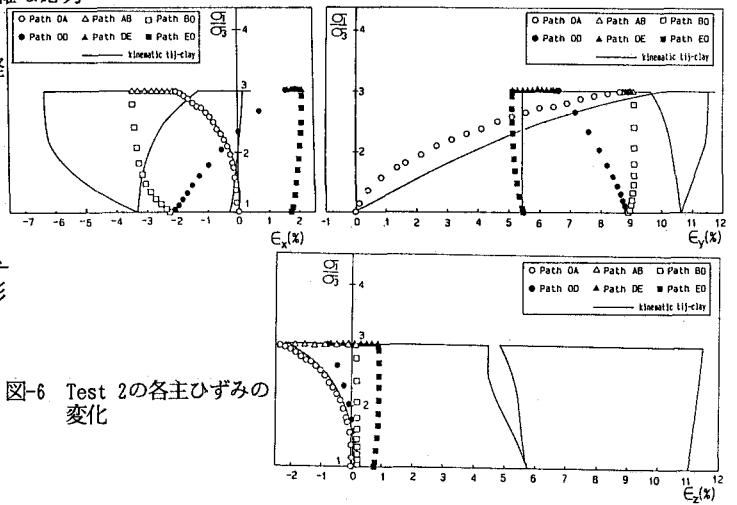
図-4はTest 1の各主ひずみの実測値(プロット)と解析曲線を、図-5は正八面体面上のひずみ増分方向を表している。また図-6, 7はTest 2に対する同様のグラフである。図-4, 6より、 ϵ_z を除き絶対値の大きさに差はあるもののモデルはこのような複雑な応力

図-5 Test 1の正八面体面上のひずみ増分方向



経路下の粘土の変形挙動を説明しているといえる。なお、 ϵ_z について経路ABおよび経路DEにおいて、モデルは圧縮側にひずみを過大評価しているが、これらの経路では剛板で載荷するy方向とz方向のひずみが共に圧縮側となるためコーナー部で剛板同志が相互緩衝した可能性もある。また、図-5, 7よりひずみ増分方向が過去の応力履歴の影響を受けていることがわかるが、モデルはこのような履歴の影響を表現している。なお、Cam-clay等の等方硬化モデルではOA間は塑性ひずみが発生するが、その後の応力経路では弾性ひずみしか発生しないことになり、このような応力経路下の粘土の変形挙動を説明できない。

図-6 Test 2の各主ひずみの変化



参考文献

- 1) 中井・星川(1991): Proc. IACMAG 91, Carins.
- 2) 中井他(1986): S & F, 26(4), 67-78.
- 3) 中井・松岡(1986): S & F, 26(3), 81-98.
- 4) 中井・藤井・瀧(1989): Proc. NUMOG III, 36-45.

図-7 Test 2の正八面体面上のひずみ増分方向

