

超過応力型の弾・粘塑性構成式による粘土の時間依存性挙動の解析

名古屋工業大学 ○中井 照夫
新日本製鉄㈱ 三宅 正人

粘土の弾・粘塑性モデルは大別すると、関口モデル¹⁾に代表される非定常流動曲面(non-stationary flow surface)型と足立・岡モデル²⁾に代表される超過応力(over stress)型になる。しかしこれらのモデルは Cam-clay model³⁾をベースに開発されているため、Cam-clay model自身が持つ問題点(①中間主応力の影響や、②ひずみ速度方向の応力経路依存性等)はそのまま有している。さて、中井・都築⁴⁾はすでに提案している力学量 t_{ij} を用いた弾塑性モデル t_{ij} -clay model⁵⁾に関口による粘塑性理論¹⁾を導入することにより、上述の問題点を解消した非定常流動曲面型の弾・粘塑性モデル(VP t_{ij} -clay model)を開発している。ここでは三村ら⁶⁾が行った方法と同様の方法で非定常流動曲面型のVP t_{ij} -clay modelを超過応力型のモデルに変換し、その解析結果を従来の非定常流動曲面型のモデルによる解析結果や粘土の非排水試験(クリープ試験、定ひずみ速度試験、応力緩和試験)結果と比較する。

1. 力学量 t_{ij} を用いた粘土の弾・粘塑性モデル

非定常流動曲面型のモデルについては文献⁴⁾に述べているので、ここでは超過応力型のモデルについてその概要を述べる。超過応力型のVP t_{ij} -clay modelは、三村ら⁶⁾が関口モデルを超過応力型のモデルに変換したのと同様、非定常流動曲面型VP t_{ij} -clay model⁴⁾の応力速度項を無視することにより誘導できる。つまり、粘土の粘塑性体積ひずみ ϵ_v^{vp} が塑性成分 ϵ_v^p と粘性成分 ϵ_v^v の和として表せるとすると、

$$\dot{\epsilon}_v^{vp} = \dot{\epsilon}_v^p + \dot{\epsilon}_v^v = \dot{\epsilon}_v^p + C \epsilon_v \ln \frac{\dot{\epsilon}_v^{vo}}{\dot{\epsilon}_v^{vp}} = f + C \epsilon_v \ln \frac{\dot{\epsilon}_v^{vo}}{\dot{\epsilon}_v^{vp}} \quad (1)$$

となる。ここに、 $C \epsilon_v$ は2次圧密係数を表し、 $\dot{\epsilon}_v^{vp}$ は弾塑性 t_{ij} -clay model⁵⁾で評価し次式で与える。

$$f = \dot{\epsilon}_v^p = \frac{\lambda - \kappa}{1 + e_0} \left\{ \ln \frac{t_N}{t_{No}} + \frac{-\alpha}{1 - \alpha} \ln \left| 1 - (1 - \alpha) \frac{X}{M^*} \right| \right\} \quad (2)$$

そして、(1)式より $\dot{\epsilon}_v^{vp}$ は

$$\dot{\epsilon}_v^{vp} = \dot{\epsilon}_v^{vo} \exp \left(\frac{f - \dot{\epsilon}_v^{vp}}{C \epsilon_v} \right) \quad (3)$$

と表せるので、粘塑性ひずみ速度テンソル $\dot{\epsilon}_{ij}^{vp}$ は次式で与えられる。

$$\dot{\epsilon}_{ij}^{vp} = \left\{ \dot{\epsilon}_v^{vo} \exp \left(\frac{f - \dot{\epsilon}_v^{vp}}{C \epsilon_v} \right) / \left(\frac{\partial f}{\partial t_{kl}} \delta_{kl} \right) \right\} \frac{\partial f}{\partial t_{ij}} \quad (4)$$

ここに、(4)式中の $\dot{\epsilon}_v^{vp}$ は $\dot{\epsilon}_v^{vp} = \int \dot{\epsilon}_v^{vp} \cdot dt$ であたえる。なお、他の計算のプロセスは非定常流動曲面型のモデル⁵⁾と同じである。

2. 解析結果と実測値の比較

藤の森粘土($W_L=41\%$, $W_p=23\%$, $G_s=2.67$)の非排水三軸圧縮および三軸伸張試験結果(定ひずみ速度試験、応力緩和試験、クリープ試験)を超過応力型および非定常流動曲面型のVP t_{ij} -clay modelによる解析結果と比較する。表-1に解析に用いた粘土の土質パラメータを示す。図-1, 2は定ひずみ速度試験の応力経路図とせん断応力-軸ひずみ関係を示している。両モデルとも圧縮・伸張の差異を含め実測値の傾向を説明している。図-3は $\dot{\epsilon}_s=5.5 \times 10^{-2} (\%/min.)$ の速度で $q/p_0=0.4$ までせん断後、応力緩和試験をしたときのせん断応力 q -時間($\log t$)関係を表す。両モデルとも q は $\log t$ に比例して減少するものの、非定常流動曲面型のモデルでは実測値に比べ q が過大になっている。図-4は $q/p_0=0.4$ まで同じ速度でせん断しその後 q を一定としたときの最大主ひずみ ϵ_1 -時間($\log t$)関係を示している。両モデルの差異の一つは非定常流動曲面型モデルでは $q=0$ となった時にひずみ速度が不連続に変化するのに対し、超過応力型のモデルではなめらかに変化することである。

表-1

$\lambda/(1+e_0)$	508×10^{-2}
$\kappa/(1+e_0)$	1.12×10^{-2}
$\phi(comp)$	33.7°
α	0.74
V_e	0.0
$C \epsilon$	0.001
$\dot{\epsilon}_v^{vo} (\%/min.)$	7.0×10^{-5}

文献

- 1) 関口(1977): 9th ICSMFE, Vol.1, 289-292.
- 2) 足立・岡(1982): S & F, Vol.22, No.4, 57-70.
- 3) Schofield・Wroth(1968): Critical State Soil Mech.,
- 4) 中井・都築(1988): 6th NUMOG, Vol.1, 521-527
- 5) 中井・松岡(1986): S & F, Vol.26, No.3, 81-98.
- 6) 三村・関口(1985): 第22回土質工学研究発表会, Vol.1, 403-406.

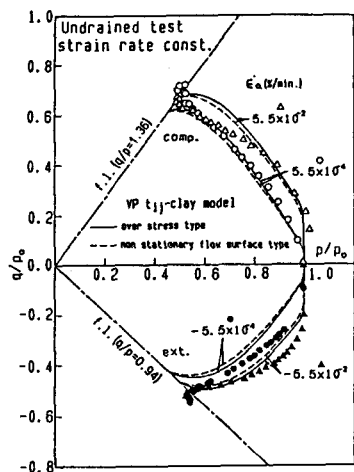


図-1

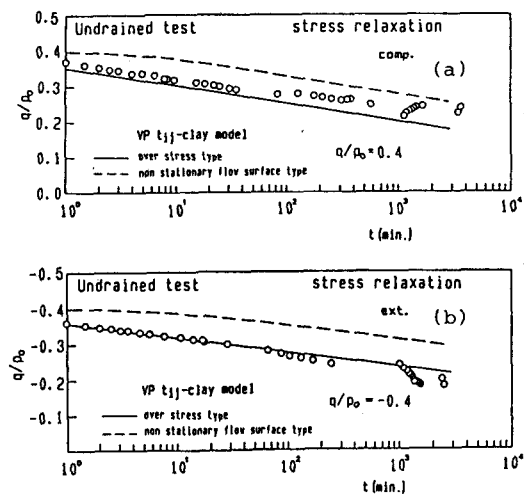


図-3

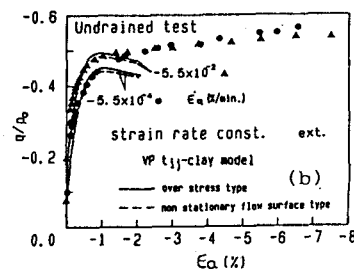
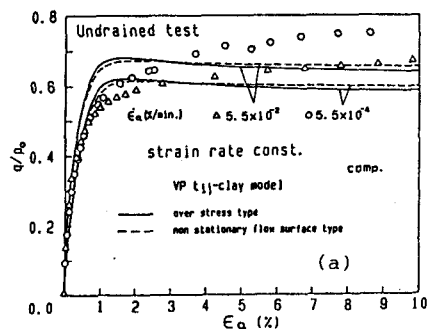


図-2

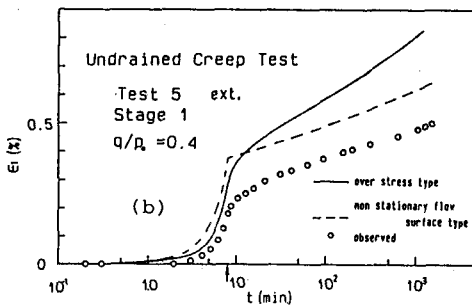
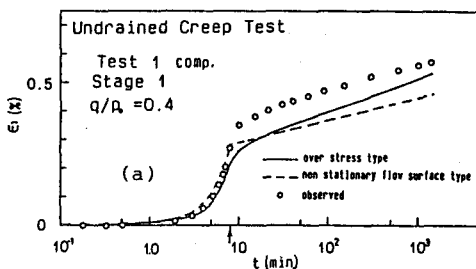


図-4