

III-153

3次元応力下における粘土の非排水粘塑性挙動の解析(第2報)

名古屋工業大学大学院 学生員 ○都築 顕司

名古屋工業大学 正員 中井 照夫

現在までに、中間主応力の影響や、ひずみ増分方向の応力経路依存性を考慮した粘土の弾塑性構成式(弾塑性 t_{ij} -clay model¹⁾に開口による非定常流動曲面型の粘塑性理論²⁾を導入した粘土の弾・粘塑性構成モデル(VP t_{ij} -clay model³⁾)を提案している。そして、この提案式を用いて三軸圧縮・伸張条件下および平面ひずみ条件下の定ひずみ速度非排水せん断試験や非排水クリープ試験の解析を行っている。本報告では、前報に引き続き K_0 圧密試料の非排水クリープ試験や等ひずみせん断後の非排水応力緩和試験の解析も行い構成モデルの妥当性及適用性について検討する。

1. 非排水クリープ試験の解析

構成式の概要および解析で用いた藤の森粘土の土質パラメータは前報³⁾で述べている。図-1は $\frac{q}{\sigma_{10}} = \frac{q}{p_0} = 0.6$ を載荷した三軸圧縮条件下の非排水クリープ試験の解析結果を、図-2は $\frac{q}{\sigma_{10}} = 0.6$ を載荷した平面ひずみ条件下の非排水クリープ試験の解析結果をそれぞれ時間 t ~ 軸ひずみ ϵ_a 関係で示している。実線は等方圧密後のクリープ曲線を、破線は K_0 圧密後のクリープ曲線を表している。また図中の○印はひずみ速度が最小となる点を、×印は破壊時を示している。図-3, 4は、三軸圧縮、伸張および平面ひずみ試験の破壊時間 t_f とせん断応力 $\frac{q}{\sigma_{10}}$ (平面ひずみ試験は $\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_{10}}$) の関係を表したものである(図-3は等方圧密試料を、図-4は K_0 圧密試料を示している)。図-3, 4より三軸圧縮条件下と平面ひずみ条件下の t_f ~ せん断応力関係にあまり差異はないが、三軸伸張条件下では同じせん断応力の場合その破壊時間はかなり早くなる。また、図-1~4より、三軸圧縮および平面ひずみ条件下では、圧密時の応力状態は結果的にあまり破壊時間に影響していないようである。図-5は以上の応力条件の違いによるクリープ挙動の差を見るために応力経路($\frac{q}{\sigma_{10}} = 0.6$)を q ~ p 空間で示している。まず、等方および K_0 圧密試料の三軸圧縮条件下におけるクリープ試験の比較では、 K_0 圧密時にはクリープ破壊までの応力の変化量は小さいものの、クリープ時の初速度が等方圧密時に比べ小さいため結果的に両者の破壊時間がほぼ同じとなってくる。一方、三軸伸張条件下のクリープ試験では初速度も圧縮時に比べ大きく、また破壊までの応力の変化量も小さいためその破壊時間は三軸圧縮条件下に比べかなり早くなることが理解される。なお図中、破壊時の応力状態がC.S.L.より低い応力比(点線)となっているのは解析上この点線上で $\dot{\epsilon}_a = \infty$ となるためである(詳細は前報³⁾)。図-6は以上の解析結果を斎藤・上沢の実験式に基づき最小軸ひずみ速度 $\dot{\epsilon}_{a(\min)}$ ~ 破壊までの残留時間 t_{rf} 関係で整理したものである(図上には開口モデル²⁾による解析結果も○印で示す)。ここでも、三軸圧縮および平面ひずみ条件下の解析結果は $\dot{\epsilon}_{a(\min)}$ の非常に速い所(実用上問題とならない)を除き斎藤・上沢の95%信頼区間(斜線の部分)に入るようである。以上の結果に基づけば、例えば実際の地盤のように異方的な応力で圧密された状態にある粘土の平面ひずみ条件下の非排水クリープの破壊時間等を算定する場合、通常の等方圧密

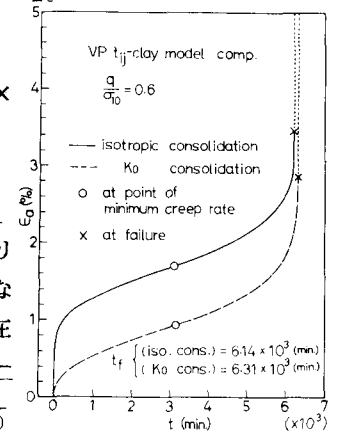


図-1 非排水クリープ曲線 (三軸圧縮)

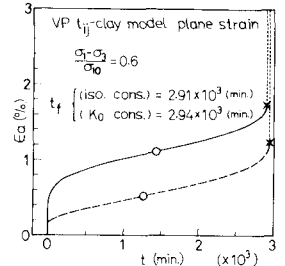


図-2 非排水クリープ曲線 (平面ひずみ)

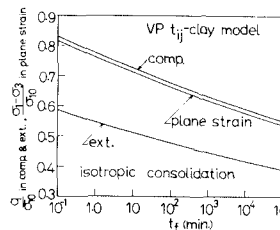
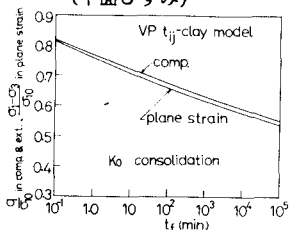


図-3 せん断応力 ~ 破壊時間関係(等方圧密)

図-4 せん断応力 ~ 破壊時間関係(K_0 圧密)

された三軸圧縮試験結果を用いてもそれほど大きな誤差は生じない。ただ、実際の地盤が三軸伸張条件に近い応力状態にある時は破壊時間等が早くなり図-6の関係も三軸圧縮時と変わってくるので注意を要すると思われる。

2. 非排水応力緩和試験の解析

図-7~9は軸ひずみ速度 $\dot{\epsilon}_a = 1.0 \times 10^{-2} (\%/min)$ で所定のひずみまで非排水せん断後の応力緩和試験の解析結果を $\frac{q}{p_0} \sim \log t$ 関係で示している。いずれも図-10の関口モデルによる解析結果同様周知の粘土の応力緩和特性をよく表現している。ただ本モデルによる三軸圧縮条件下の解析結果(図-7)は関口モデル同様 $\frac{q}{p_0} \sim \log t$ 関係がほぼ平行となっているのに対し、三軸伸張条件下(図-8)や平面ひずみ条件下(図-9)の解析結果はひずみレベルによりその勾配が多少変化するようにある。また、図-11~13はその時の応力状態の変化を示したものであるが、ここでも本モデルによる解析結果はクリープ試験の解析結果同様圧縮、伸張、平面ひずみ条件下の差異が表現可能となっている(図中○印は緩和開始時、△印はその後 $1.0 \times 10^5 \text{ min}$ 経過時を表す)。

謝辞 有益な御助言を頂いた本学 松岡 元助教授、京大防災研 関口秀雄助教授に感謝致します。

文献 1) 中井・松岡(1986): S&F (投稿中) 2) 関口(1977): Proc. 9th ICSMFE, Vol. 1, 289-292 3) 中井・都築(1986): 第21回土質工学会 4) 齊藤・上沢(1961): Proc. 5th ICSMFE, Vol. 1, 315-318

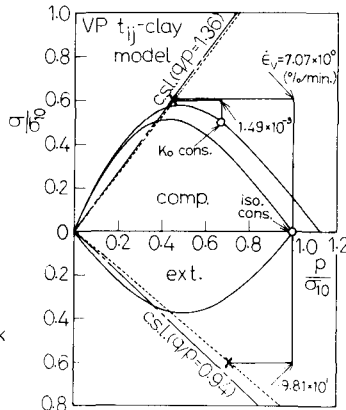


図-5 非排水クリープ試験の
応力状態の変化(三軸圧縮・伸張)

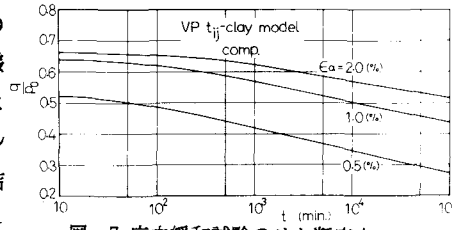


図-7 応力緩和試験のせん断応力の
経時変化(提案モデル, 三軸圧縮)

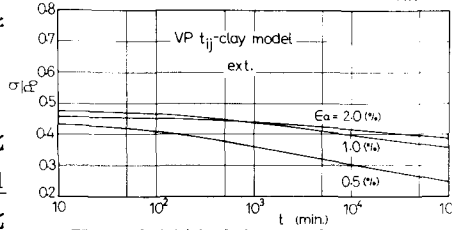


図-8 応力緩和試験のせん断応力の
経時変化(提案モデル, 三軸伸張)

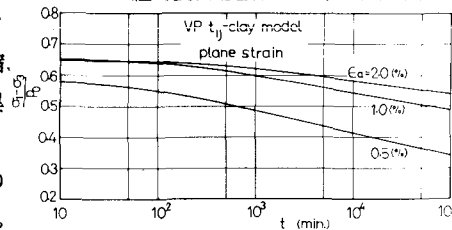


図-9 応力緩和試験のせん断応力の
経時変化(提案モデル, 平面ひずみ)

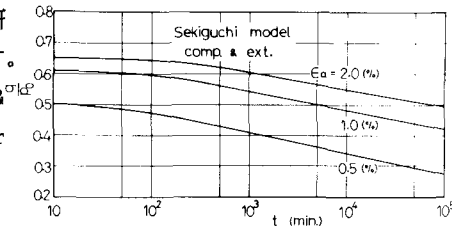


図-10 応力緩和試験のせん断応力の
経時変化(関口モデル, 三軸圧縮・伸張)

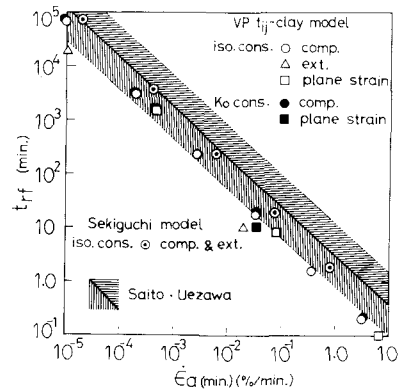


図-6 最小ひずみ速度～
破壊までの残留時間関係

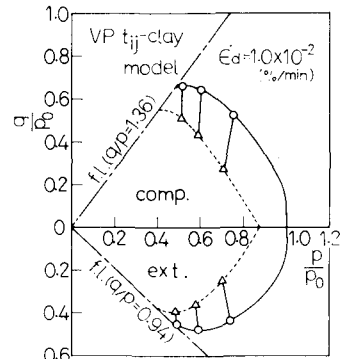


図-11 応力緩和試験の応力状態の
変化(提案モデル, 三軸圧縮・伸張)

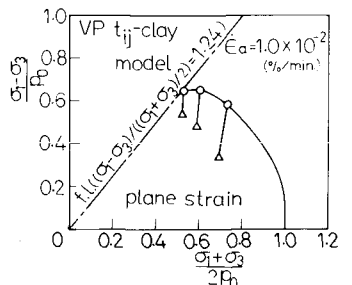


図-12 応力緩和試験の応力状態の
変化(提案モデル, 平面ひずみ)

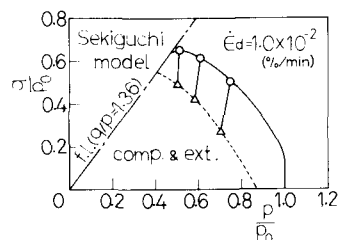


図-13 応力緩和試験の応力状態の
変化(関口モデル, 三軸圧縮・伸張)