

III-91

部分排水条件下における粘土の粘塑性挙動とその解析

清水建設(株) 正員 ○都築 顕司 名古屋工業大学 正員 中井 照夫
名古屋工業大学 学生員 三宅 正人 五洋建設(株) 正員 石川 和彦

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・粘塑性構成モデル(VP t_{ij} -clay model^{1,2)})を提案し、モデルの妥当性を非排水条件下における種々の実験により検証をしている。本報告では標準圧密試験と部分排水せん断試験を行い、その実験結果と本モデルを用いたFEM解析結果とを比較することにより部分排水条件下における本モデルの適用性について検討する。

1 標準圧密試験の実験結果と解析結果

表-1は本解析に用いた藤の森粘土の土質パラメータを示す。これらのパラメータは標準圧密試験と非排水せん断強度より全て決定されたものである。²⁾

図-1はFEM解析に用いた $h_0/2=1\text{cm}$ (h_0 :初期高さ)の供試体の要素分割図である。側方及び底面では変位及び間げき水圧の消散はないとし、排水は上面のみで許している。³⁾ 間げき水圧の消散に関してはBiotの圧密方程式の数値解析法である赤井・田村の方法を用い、間げき比の減少に伴う透水係数の減少は次式で評価している。

$$\Delta e = C_k \cdot \log \frac{k}{k_0} \quad (1)$$

図-2はその $\Delta e \sim \log k$ 関係の実測値(○:1週間載荷、□:1日載荷)を表しているが同図より式(1)の係数 $C_k=0.275$ (図中の直線)とした。図-3、4は $h_0=2\text{cm}$ 及び 1cm の実測値(プロット)と解析値(曲線)の体積ひずみ(ϵ_v) $\sim \log t$ 関係を表す。図-3は P_0 (初期上載応力) $=0.8(\text{kgf/cm}^2)$ 、図-4は $P_0=1.6(\text{kgf/cm}^2)$ を示している。 $P_0=0.8(\text{kgf/cm}^2)$ の場合、 $h_0=1\text{cm}$ および 2cm の二次圧密中の実測値は平行にずれているが、 $P_0=1.6(\text{kgf/cm}^2)$ ではほぼ一本にまとまっている。一方、本モデルでは関口による非定常流動曲面型の粘塑性理論(応力状態と時間が決まれば体積ひずみは一義的に決定される)を用いているため間げき水圧が消散した後の挙動は層厚の影響が無くなる。図-5は $h_0=2\text{cm}$ 、 $P_0=0.8(\text{kgf/cm}^2)$ の試験の実測値(プロット)、VP t_{ij} -clay modelを用いたFEM解析結果(実線)、粘性を考慮しない弾塑性 t_{ij} -clay model⁵⁾計算に必要なパラメータは全て同じ)を用いたFEM解析結果(破線)を示している。図-6は解析で求めた全応力比 σ_h/σ_v (σ_h :側方応力、 σ_v :垂直応力)及び図-1における最下部要素の有効応力比(σ'_h/σ'_v)と $\log t$ の関係を表している。図-5、6より、粘性を考慮しない弾塑性解析結果(破線)は2次圧密中の体積ひずみや K_0 ($=\sigma'_h/\sigma'_v$)値の変化を説

表-1 土質パラメータ

$\lambda/(1+e_0)$	5.08×10^{-2}
$\kappa/(1+e_0)$	1.12×10^{-2}
$\phi_{(comp)}$	33.7°
α	0.74
V_e	0.0
C_e	0.001
$E_v(\%/min)$	7.0×10^{-5}

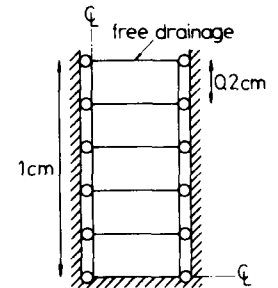


図-1 要素分割

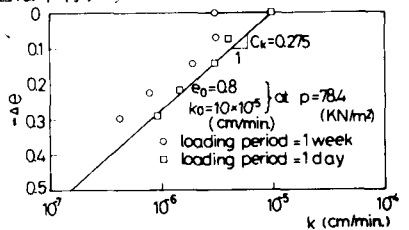


図-2 $\Delta e \sim \log k$ 関係

図-3 $\epsilon_v \sim \log t$ 関係($P_0=0.8\text{kgf/cm}^2$)

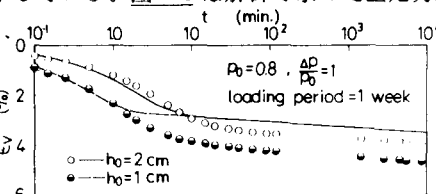


図-4 $\epsilon_v \sim \log t$ 関係($P_0=1.6\text{kgf/cm}^2$)

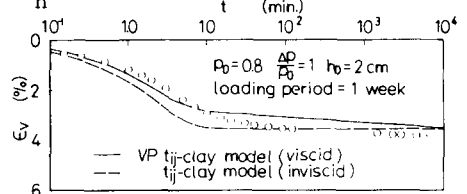
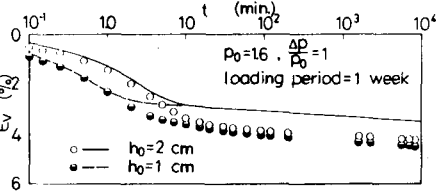


図-5 $\epsilon_v \sim \log t$ 関係

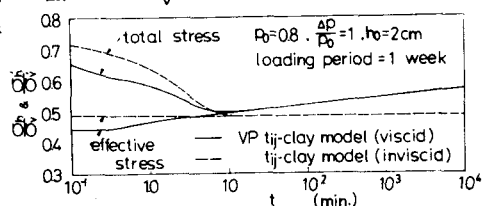


図-6 $\sigma_h/\sigma_v, \sigma'_h/\sigma'_v \sim \log t$ 関係

明できないが、実線の弾・粘塑性解析結果は2次圧密挙動や、赤井・佐野⁶⁾の実験結果同様2次圧密中に K_0 値が漸増する傾向を表す。

2 部分排水せん断試験の実験結果と解析結果

実験は、通常の三軸試験機を用い、等方圧密($\sigma_a = \sigma_r = 196 \text{ kN/m}^2$)された試料を軸応力速度 $\dot{\sigma}_a = 0.032 \text{ kgf/cm}^2 \cdot \text{min.}$ ($= 3.14 \text{ kN/m}^2 \cdot \text{min.}$)で $q = \sigma_a - \sigma_r = 0.8 \text{ kgf/cm}^2$ ($= 78.4 \text{ kN/m}^2$)までせん断をした後、約2日間放置した(第1ステップ)。

図-7は解析に用いた供試体の要素分割図である。排水は供試体上面で許し、供試体下面で間げき水压を測定した(解析では一番下の要素の間げき水压を用いている)。図-8はこの試験の供試体最下面の有効応力経路(プロット:実測値、実線:解析結果)と全応力経路(破線)を示している。図-9(a)~(c)は ε_a ((a)図)、 ε_v ((b)図)、 ΔU ((c)図)と $\log t$ の関係をそれぞれ示しており、また各図の上部に荷重過程を示す。図-7 要素分割

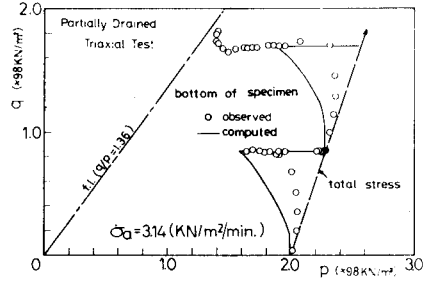
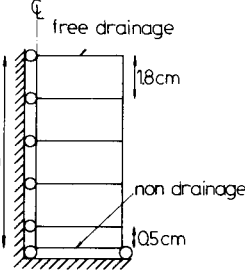


図-8 応力経路

本モデルの解析値は体積ひずみ(ε_v)及び過剰間げき水压(ΔU)を大きめに予測するもののその傾向は良く表現されている。特に(c)図において、間げき水压の実測値は荷重終了後、放置期間に入っても粘性効果のため上昇しているが、解析値も同様の傾向を示している。実験では第1ステップ終了後、再び同じ軸応力速度で $q = 1.6 \text{ kgf/cm}^2$ ($= 156.8 \text{ kN/m}^2$)までせん断を行い放置した(第2ステップ)。その実験結果および解析結果の ΔU と $\log t$ の関係を図-10に示すが、この図と図-8の応力経路図より分かる様に実験では供試体はクリープ破壊をしている。これは排水に伴う間げき水压の消散に比べ、放置期間中の間げき水压の上昇の方が大きいため、非排水クリープ破壊に近い挙動を起こしたと考えられる。解析値は部分排水中のクリープ破壊強度までは定量的に予測していないものの、それまでの部分排水条件下の粘塑性挙動を良く説明している。

謝辞

日頃御援助頂いている山内 利彦教授、御指導御助言を頂いている松岡 元助教授に感謝致します。

参考文献

- 1) 中井・都築(1986):第21回土質工学研究発表会, Vol. 1, 467~470.
- 2) 中井・都築・石川・三宅(1987):第22回土質工学研究発表会(投稿中).
- 3) 赤井・田村(1978):土木学会論文報告集, No. 269, 95~104.
- 4) 関口(1977):Proc. 9th ICSMFE, Vol. 1, 289~292.
- 5) 中井・松岡(1986):S & F, Vol. 26, No. 3, 81~98.
- 6) 赤井・佐野(1985):土木学会論文報告集, No. 364, 123~131.

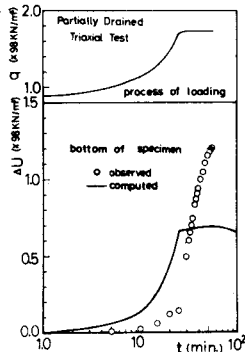


図-10 $\Delta U \sim \log t$ 関係 (第2ステップ)

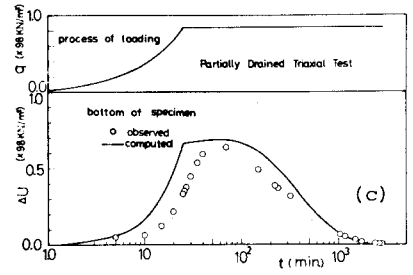
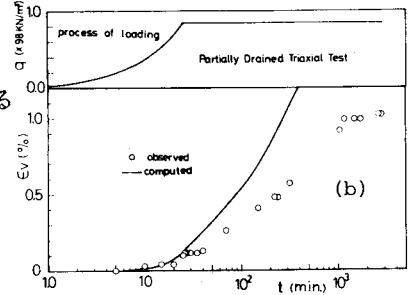
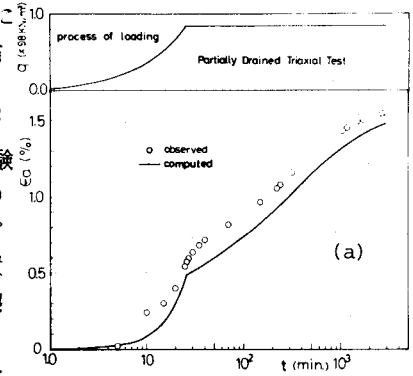


図-9 $\varepsilon_a, \varepsilon_v, \Delta U \sim \log t$ 関係 (第1ステップ)