

岐阜大学工学部 正員 岡ニ三生 応用地質(保) 正員 村田芳信

1. まえがき

筆者の一人は、すでに弾-粘塑性体理論に基づいた飽和粘土の構成式を導びいており、これを用いた多次元圧密変形解析を目指している。本報告においては、その前段階として行なった一次元圧密解析の結果について述べる。解析においては、二相混合体の運動方程式と粘土の構成式を用い、Darcy 則を用いた場合は異なる圧密の基礎方程式を導びき、関口らの研究に従って差分法によって解を求めた。一次元圧密については三次元圧密にくらべて、数多くの実験的研究がなされている。ここでは、関口らの行なった実験結果との比較を行ない、基礎式の適用性について検討を行なった。

2. 圧密に関する基礎式の誘導

基礎式の誘導に際しては次の仮定を設けた。

- (1) 一次元圧密過程においては、有効応力比 $k_0 = \sigma'_{xx}/\sigma'_{zz}$ が一定であるとする。
- (2) 一次元圧密過程での $e \sim \ln \sigma'_{zz}/\sigma'_{zz0}$ 曲線の傾きは、圧密・膨潤時ともに等方圧密時の $e \sim \ln \sigma'_{zz}/\sigma'_{zz0}$ 線に平行である。(e : 間げき比, σ'_{zz} : 平均有効応力; σ'_{zz} : 有効応力テンソル)

(1), (2) の仮定とすでに誘導している粘土の構成式より、

$$\dot{\epsilon}_{xx} = \dot{\epsilon}_{xx}^e + \dot{\epsilon}_{xx}^{vp} \quad (1) \quad \dot{\epsilon}_{xx}^e = \frac{\kappa}{(1+e)\sigma'_{zz}} \dot{\sigma}'_{zz} \quad (2)$$

$$\dot{\epsilon}_{xx}^{vp} = C_1 (M^* - K_0^*) \cdot \exp(-m' \ln \sigma'_{zz}/\sigma'_{zz0}) \cdot \exp\left[m' \left(\ln \sigma'_{zz}/\sigma'_{zz0} - \frac{1+e}{\lambda - \kappa} v^p\right)\right] \quad (3)$$

$$= C_2 (M^* - K_0^*) \cdot \exp\left[m' \left(\ln \sigma'_{zz}/\sigma'_{zz0} - \frac{1+e}{\lambda - \kappa} v^p\right)\right] \quad (4)$$

ただし、 κ : 膨潤時の $e \sim \ln \sigma'_{zz}$ 線の傾き、 λ : 圧密時 $e \sim \ln \sigma'_{zz}$ 線の傾き、 v^p : 塑性体積ひずみ、 M^* : Critical State における $\sqrt{s}/\sigma'_{zz}$ の値 (J_2 : 偏差応力テンソルの 2 次不変量)、 K_0^* : 一次元圧密時の $\sigma'_{xx}/\sigma'_{zz}$ の値、 σ'_{zz0} : 初期の σ'_{zz} の値、 σ'_{zz0} : 静的 $v \sim \ln \sigma'_{zz}$ 線上での σ'_{zz} の初期値 (この時、対応する動的経路上の点と v^p の値が等しい。)

二相混合体の運動方程式より、間げき水相に対して、加速度の項を無視すると、

$$\partial(nu)/\partial x_i = \frac{e+g}{k} n^2 (v_i^{(s)} - v_i^{(w)}) \quad (5)$$

ここに、 n : 間げき率、 k : 透水係数、 $v_i^{(s)}$: 間げき水相の速度、 $v_i^{(w)}$: 固体相の速度、 g : 水の単位体積重量。間げき水、土粒子ともに非圧縮性の時、質量保存則より、

$$[n(v_i^{(s)} - v_i^{(w)})]_{,i} = -v_{i,i}^{(w)} \quad (6)$$

これを仮定して、(1), (2), (5) と (6) 式より、一次元圧密として次の圧密の基礎式が求まる。

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial T} = \frac{(1+e)\sigma'_{zz}}{(1+e_0)k_0 \sigma'_{zz0} k} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z^2} + \frac{(1+e)\sigma'_{zz}}{\Delta \sigma'_{zz} \kappa} \frac{d \epsilon_{xx}^{vp}}{dT} + \frac{(1+e)\sigma'_{zz}}{(1+e_0)k_0 \sigma'_{zz0} k} \left[\bar{u} \frac{\partial^2 n}{\partial z^2} - \bar{u} \left(\frac{\partial n}{\partial z} \right)^2 \left\{ \frac{1}{n} - \frac{1}{k} \left(\frac{\partial k}{\partial n} \right) \right\} + \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \frac{\partial n}{\partial z} \left\{ 1 + \frac{n}{k} \left(\frac{\partial k}{\partial n} \right) \right\} \right] \quad (7)$$

ただし、 $\bar{z} = z/H$ (H : 粘土層の厚さ) $\bar{u} = u/\Delta \sigma'_{zz}$

($\Delta \sigma'_{zz}$: 載荷荷重増分), $\Delta e = \lambda \ln(1 + \Delta \sigma'_{zz}/\sigma'_{zz0})$

$T = \frac{(1+e_0)k_0}{e_0 g} \frac{\Delta \sigma'_{zz}}{\Delta e} \cdot t/H^2$, $k = k_0 \exp(-(e_0 - e)/C_k^*)$ とし (1)。

図 1 はここで用いた構成式による応力経路図である。間げき水の出入がなければ、abcd という経路を通過して平衡状態に達する。

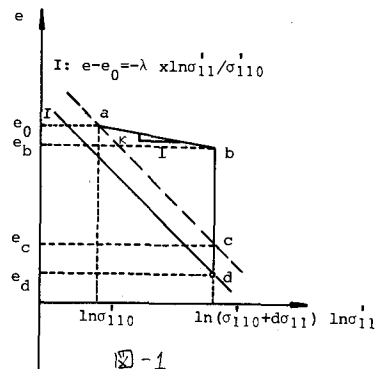


図-1

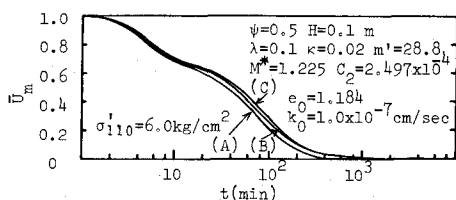


図-2

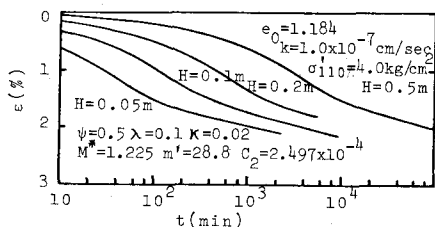


図-3

3. 数値計算結果 図-2では圧密の基礎式としてDarcy則を用いている場合に、 u の変化を考慮したのが(A)、 u を一定としたのが(B)、(7)式によるのが(C)である。(u_m は $u=0$ での u の値、すなわち $\Delta\sigma_v/\sigma'_{110}$ 、 $C^*_k=0.1$ 、 $k_0=0.5$ である) (7)式による場合、Darcy則による場合にくらべ、間げき水圧の消散、沈下ともに遅くなる傾向にある。図-3は層厚の差異が、沈下-時間曲線、間げき水圧-時間曲線に与える影響を示している。層厚の増加にともない、沈下、間げき水圧の消散は遅くなる傾向にある。 $\varepsilon(\%)$ 沈下量 $\sim u$ の関係は細野⁽⁴⁾やLadd⁽⁵⁾の実験結果に似ている⁽⁶⁾。

次に、図-4は C_2 の値が u_m との関係に与える影響を示している。ここで、 $C_2 = C_1 \exp(-m' \ln \sigma'_{110}/\sigma'_{110})$ から、載荷前に二次圧密が進行していれば、 $\sigma'_{110}/\sigma'_{110}$ が1に近づき、 C_2 の値は減少する。したがって、図より、二次圧密が進行しておれば、間げき水圧の消散の速度は速くなる⁽⁶⁾ことがわかる。これはBarden⁽⁶⁾の実験結果と一致するようである。図-6と7は表-1に示す、関口らの実験結果より求めたパラメータを用いて計算した結果である。応力比が小さいと間げき水圧の消散速度が速くなることや、沈下量 $\sim$ 時間曲線の傾向が理論によってうまく説明できることが明らかとなった。

4. あとがき 今後本解析を三次元解析に進める予定である。最後に、全作にわたり討議いただいた岐阜大学宇野尚雄先生、実験結果等について助言くださった金沢大学関口孝雄先生に感謝いたします。

表-1

Test No.	e_0	m'	$\sigma'_{110}(\text{kg/cm}^2)$	$\Delta\sigma_{11}(\text{kg/cm}^2)$	$k_0(\text{m/sec})$	$C_2(1/\text{sec})$	$H(\text{m})$
4-3	1.725	24.5	1.1×10^4	0.11×10^4	4.66×10^{-10}	1.503×10^{-3}	0.018
12-2	1.693	24.6	1.0×10^4	0.5×10^4	4.28×10^{-10}	1.005×10^{-3}	0.019
11-2	1.752	24.6	1.0×10^4	1.0×10^4	5.20×10^{-10}	2.379×10^{-3}	0.020

参考文献 1) 関・足立(1979), 土木学会年報, Ⅱ-76, pp.138-139

2) 関(1978), Proc. JSCE, No. 272, Apr., pp.117-130. 3) Sekiguchi, H. & M. Toriihara(1976), Soils Found., Vol. 16, No. 1, Mar., pp. 27-44.

4) Aboshi, H(1973), Proc. 8th ICSMFE, Vol. 4, No. 3, pp. 88

5) Ladd, (1977), State of the Art Report at Main Session No. 19th ICSMFE, Vol. 1

6) Barden, L. (1969), Proc. ASCE, Vol. 95, No. SM5, pp. 1-31.

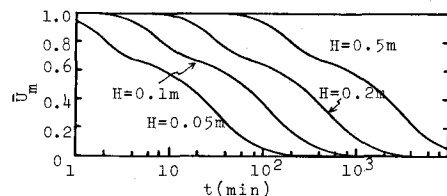


図-4

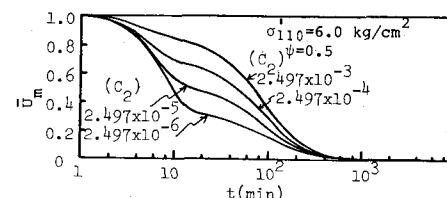


図-5

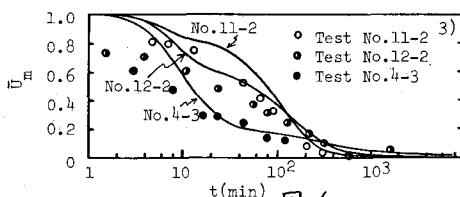


図-6

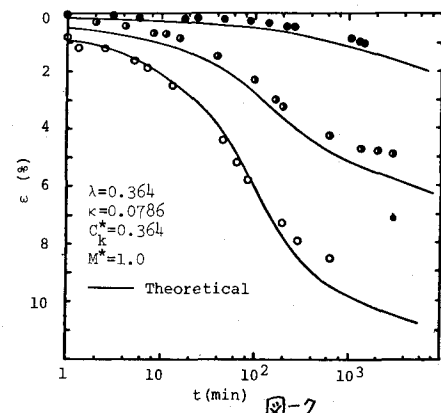


図-7