

間隙モデルを用いた圧密シミュレーション

鹿児島大学工学部 学生員 原口 和行
 鹿児島大学工学部 正 員 北村 良介
 鹿児島大学大学院 学生員 木佐貫 浄治

1. まえがき

北村は、土粒子レベルでの土の力学挙動の考察をもとに、新しい土質力学の体系化を試みている。その一貫として本報告では、土の圧密挙動について数値力学モデルを提案し、数値シミュレーションを行い、標準圧密試験結果との比較検討を行っている。ここで提案している力学モデルの特徴は、次のようである。①間隙水の排水と有効応力の変化に伴う土粒子骨格の変形は互いに独立であり、我々が観測している変位はそれらの和であると仮定している。②間隙はその大きさによりマクロポアとミクロポアに分け、排水はミクロポアのみで生じていると仮定している。③間隙比と透水係数の算定には北村らが提案している間隙モデル²⁾を適用している。

2. モデルの概要

図-1(a)は土粒子が数個含まれる土塊の微小要素を示している。このような要素を間隙と土粒子部分に分けることによりモデル化したものが図-1(b)である。図-1(b)中のパイプの管径 D 、および、その傾き θ を確率変数とし、若干の確率論的考察を加えると間隙比 e 、透水係数 k が次式のように導かれる。

$$e = \int_0^\infty \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \frac{V_p}{V_e - V_p} P_d(D) P_c(\theta) d\theta dD \quad (1)$$

$$k = \int_0^\infty \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \frac{\pi \cdot \gamma_w \cdot D^3 \cdot \sin\theta}{128\mu \left(\frac{D}{\sin\theta} + \frac{DH}{\tan\theta} \right)} P_d(D) P_c(\theta) d\theta dD \quad (2)$$

V_e : 素体積の体積、 V_p : 間隙部分の体積、
 DH : 素体積の高さ、
 $P_d(D)$: 管径 D の確率密度関数、
 $P_c(\theta)$: 傾き θ の確率密度関数、
 γ_w : 間隙水の単位体積重量、
 μ : 間隙水の粘性係数。

図-2、図-3は、傾き θ と管径 D の確率密度関数、すなわち、 $P_c(\theta)$ 、 $P_d(D)$ の形状を示している。図-3に示す確率密度関数における2つのピークは、ミクロポア、マクロポアを表している。

図-4に示すように、供試体を n 層に分割し、第 m 層におけるある時刻 $(j-1)$ から時刻 j の間の時間増分 Δt の間の間隙水圧の変化を $(\Delta P_m)_j$ 、間隙水の出入りを $(\Delta V_m)_j$ 、断面積を S 、間隙比を e とすれば、次式のような関係が仮定される。

$$(\Delta P_m)_j = \frac{(\Delta V_m)_j}{\frac{e}{1+e} \cdot S} \cdot \gamma_w \quad (3)$$

$(\Delta V_m)_j$ の計算にはダルシー則が用いられている。

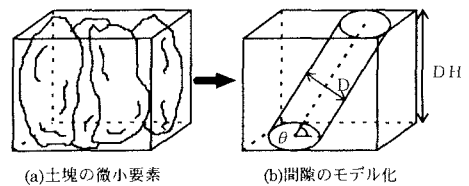


図-1: 間隙モデル

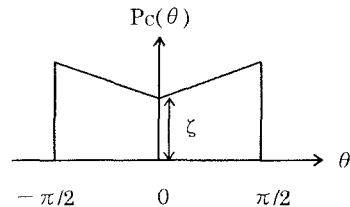


図-2: 傾き θ の確率密度関数

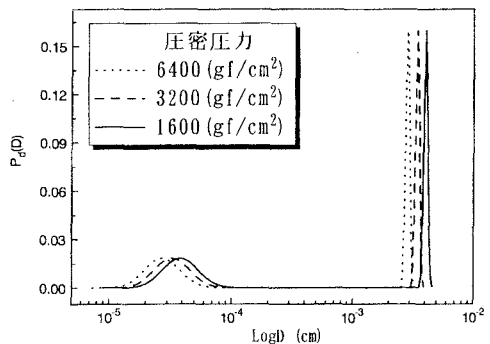


図-3: 各段階における初期の管径 D の確率密度関数

$$V_m = k_{m-1} \cdot i_{m-1} \cdot S \cdot \Delta t \quad (4)$$

ここに、 k_{m-1} ：第(m-1)層の透水係数、
 i_{m-1} ：第(m-1)層と第 m 層の間の動水勾配、
 S ：土柱の断面積。

前述の仮定に従い、供試体の変形量は間隙水の排水量と有効応力の変化に伴う土粒子骨格の変形量の和であることより、次式のように表される。

$$(\Delta h_m)_j = (\Delta h_{m,w})_j + (\Delta h_{m,e})_j \quad (5)$$

ここに、 $(\Delta h_m)_j$ ：全変形量、 $(\Delta h_{m,w})_j$ ：間隙水の排水による変形量、
 $(\Delta h_{m,e})_j = Sc(-\Delta P_w)$ ：有効応力の変化による変形量。

図-4における供試体の各層の変形量は動水勾配により生じた排水量と有効応力の変化による土粒子骨格の変形量の和により求まる。求められた変形量に対して管径の平均を変化させ間隙比 e 、透水係数 k を求める。以上の手順を示したものが図-5のフローチャートである。

3. シミュレーション結果

初期の間隙比が藤ノ森粘土の標準圧密試験結果と等しくなるように管径の平均を間隙モデルから逆算し、それぞれでの载荷段階でシミュレーションを開始している。表-1が载荷段階ごとの入力値であり、図-6がシミュレーション結果である。この結果から圧密現象を定性的に表現できていることがわかる。150分以降に二次圧密の挙動らしきものがみられる。

4. あとがき

北村らが提案してきた間隙モデルと圧密モデルを有機的に結びつけ、さらにマイクロポア、マクロポアの考え方を導入し、数値力学モデルによる圧密挙動の解明を試みた。定性的には表現できるが、定量的な考察には課題を残している。

今後は、入力値に用いるパラメータの具体的決定方法や土粒子骨格の変形にマルコフモデル³⁾を導入し圧密モデルを完成させ、新しい土質力学の確立を目指したい。

謝辞：本研究に対して財団法人河川情報センターから研究助成をいただいた。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 北村：土質力学の新しい体系化について、第27回土質工学研究発表会、pp.53-56,1992.
- 2) 北村、福岡：間隙モデルに関する一考察、土木学会第49回年次学術講演会、pp.206-207,1994.
- 3) 北村：マルコフ過程を用いた粒状体の力学モデル、科研費(一般(C),60550355),1987.

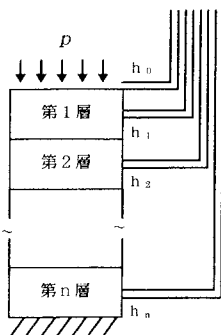


図-4：圧密モデル

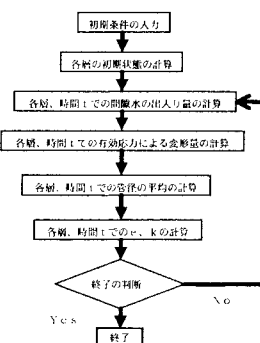


図-5：フローチャート

表-1：シミュレーション入力値

層数	10	10	10
断面積(cm ²)	28.27	28.27	28.27
全層厚(cm)	1	1	1
圧密圧力(gf/cm ²)	1600	3200	6400
マクロポアの管径の平均(cm)	4.1*10 ⁻³	3.5*10 ⁻³	2.9*10 ⁻³
マクロポアの管径の変動係数	0.034	0.034	0.034
マイクロポアの管径の平均(cm)	4.1*10 ⁻⁵	3.5*10 ⁻⁵	2.9*10 ⁻⁵
マイクロポアの管径の変動係数	0.34	0.34	0.34
骨格の圧縮係数(cm ³ /gf)	2.0*10 ⁻⁹	2.0*10 ⁻⁹	2.0*10 ⁻⁹
計算時間(sec.)	80000	80000	80000
時間ステップ(sec.)	1	1	1

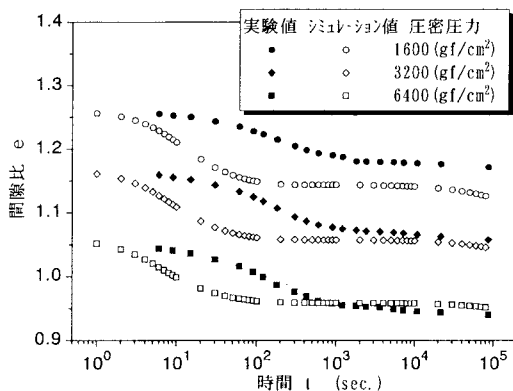


図-6：シミュレーション結果