

圧密挙動の数値シミュレーション

鹿児島大学工学部 学生員 志方宏敏

鹿児島大学工学部 正会員 北村良介

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¹⁾。その一環として本報告では、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、我々が測定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²⁾。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³⁾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-2(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、若干の確率的考察を加えると間隙比 e 、透水係数 k が次のように導かれる。

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

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

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 の間の排水量 ΔV_m はダルシー則に従うと仮定でき、次のように表すことができる。

$$V_m = k_{m-1} \cdot i_{m-1} \cdot S \cdot \Delta t \quad (3) \quad \Delta V_m = V_m - V_{m-1} \quad (4)$$

V_m : 第 $(m-1)$ 層から第 m 層に流れる間隙水の体積, k_{m-1} : 第 $(m-1)$ 層

の透水係数, i_{m-1} : 第 $(m-1)$ 層の間の、動水勾配, S : 土柱の断面積,

Δt : 時間増分, ΔV_m : Δt 時間における第 m 層における間隙水の

体積変化, ΔV_{m+1} : 第 m 層から第 $(m+1)$ 層に流れる間隙水の体積

また、土粒子構造骨格の変化はマルコフ・モデルを用いて計算している⁴⁾。

前述の仮定に従い、供試体の変形量は間隙水の排水量と

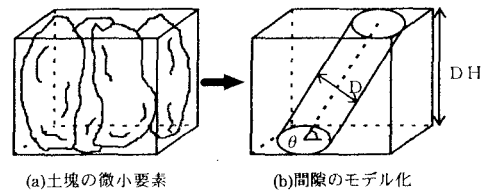


図-1: 間隙モデル

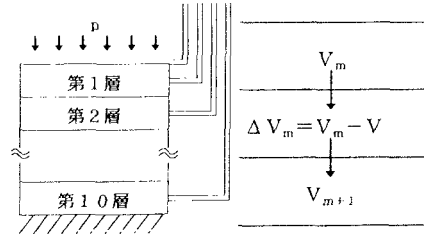


図-2: 供試体のモデル化

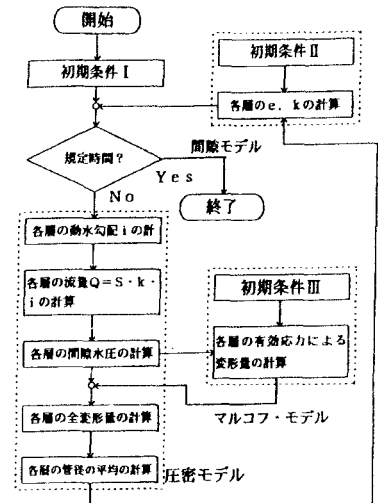


図-3: フローチャート

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。

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

$(\Delta h_m)_j$: 全変化量,

$(h_{m,w})_j$: 間隙水の排水による変形量,

$(\Delta h_{m,e})_j$: 有効応力の変化による変形量

図-2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-3のフローチャートである。

3. シミュレーション

提案している数値力学モデルの妥当性を藤ノ森粘土の標準圧密試験によって検討した。初期の間隙比がだいたい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、それぞれでの載荷段階でシミュレーションを開始している。表-1~3が載荷段階ごとの入力値であり、図-4がシミュレーション結果である。初期の間隙比の減少が著しいが、圧密現象を定性的に表現できていることが分かる。また、二次圧密の挙動らしきものが見られる。

4. あとがき

北村らが提案してきた間隙モデルとマルコフ・モデルを有機的に結びつけ、さらにミクロポア、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、実際図-4のような実験を行い、特に間隙水圧の変化等に注目し、この実験結果をプログラムにいかしたい。そして、新しい土質力学の確立を目指したい。

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) 土壌物理研究会：土の物理学—土質工学の基礎—，p84~p86
- 3) 北村，福原：間隙モデルに関する一考察，土質学会49回年次学術講演会，pp206-207,1994
- 4) 北村：マルコフ過程を用いた粒状体の力学モデル(1)，京大防災研究所年報，第21号B-2 pp37-55,1978

表-1：圧密モデルに用いるパラメータ (初期条件Ⅰ)

	case1	case2
全層圧 (cm)	1	1
圧密応力 (kgf/cm ²)	1600	3200
断面積 (cm ²)	28.27	28.27
層数	10	10
計算時間 (sec.)	86400	86400
時間ステップ (sec.)	1	1

表-2：間隙モデルに用いるパラメータ (初期条件Ⅱ)

θ の p.d.f の最低高さ	0.159	0.159
水の粘性係数 (gf·sec/cm ²)	1.161×10^{-5}	1.161×10^{-5}
素体積高さ DH (cm)	0.0017	0.0017
マクロポアの平均 (cm)	9.0×10^{-3}	7.8×10^{-3}
マクロポアの変動係数	0.034	0.030
ミクロポアの平均 (cm)	4.5×10^{-6}	3.9×10^{-6}
ミクロポアの変動係数	0.34	0.30

表-3：マルコフ・モデルに用いるパラメータ (初期条件Ⅲ)

落下み，割こみパラメータ λ_1	380
落下み，割こみパラメータ λ_2	2
落下み，割こみパラメータ λ_3	450
落下み，割こみパラメータ λ_4	-12
粒子間の摩擦係数	0.25
粒度分布の平均 (cm)	0.0085
標準偏差 (cm)	0.00029
膨潤係数	0.03474
静止土圧係数	0.6
仕事量のパラメータ a	0.07787
仕事量のパラメータ d	0.4269

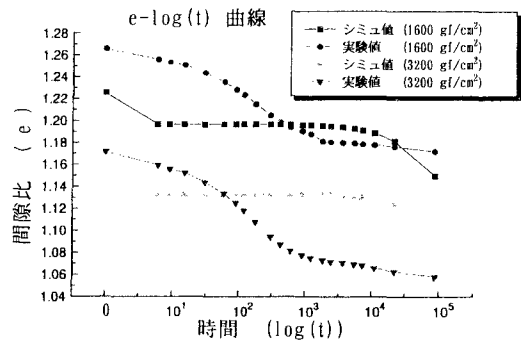


図-4：e-log(t)曲線