

間隙モデルを用いた浸透能試験のシミュレーション

鹿児島大学工学部 学生員 佐藤 公洋
 鹿児島大学工学部 正 員 北村 良介
 鹿児島県土木部 正 員 福原 清作
 鹿児島大学大学院 学生員 木佐 貴浄治

1. はじめに

降雨による斜面崩壊においては、その原因の一つとして地盤内の含水率が増加しサクシオンに起因する粘着力の低下が挙げられる。北村らは、不飽和浸透挙動に着目しそれを解明することにより斜面崩壊への適用を試みている¹⁾。

本報告では、従来から北村らが提案している間隙モデル²⁾を用いて雨水による斜面の不飽和浸透挙動の数値シミュレーションを行っている。

2. モデル化

一般に土塊は不規則な形状・大きさを持つ土粒子と間隙の集合体である。この構造を定量的に評価するために図-1 (a)のように、土粒子数個を含む程度の微小要素を、図-1 (b)のように土粒子実質部分(不透水部分)と間隙部分を一つの円管(透水部分)に置き換えた間隙のモデルを用いる。この円管の管径を D 、傾きを θ とおいて確率変数 D および θ の確率密度関数を導入することにより間隙比 e 、体積含水率 W_v 、透水係数 k 、 pF 値が式(1)~(4)式のように求まる。

$$k = \int_0^d \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \frac{\gamma_w \cdot D^3 \cdot \pi \cdot \sin \theta}{128 \mu \left(\frac{D}{\sin(\theta)} + \frac{DH}{\tan(\theta)} \right)} P_d(D) P_c(\theta) d\theta dD \quad (1)$$

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

$$W_v = \frac{\int_0^d \int_{-\pi/2}^{\pi/2} V_p P_d(D) P_c(\theta) d\theta dD}{\int_0^\infty \int_{-\pi/2}^{\pi/2} V_e P_d(D) P_c(\theta) d\theta dD} \quad \dots \dots (3)$$

$$pF = \log_{10}(hc) = \log_{10} \left(\frac{4 \cdot T_s \cdot \cos \alpha}{\gamma_w \cdot d} \right) \quad \dots \dots (4)$$

ここに、 V_p :円管の体積、 V_e :素体積の体積、 $P_d(D)$: D の確率密度関数、 $P_c(\theta)$: θ の確率密度関数 DH :素体積高さ、 d :間隙水を保持する最大管径、 T_s :水の表面張力、 α :管と水の接触角、 γ_w :水の単位体積重量、 μ :水の粘性係数。

(式(1)において d が有限の時は不飽和透水係数となり、 $d \rightarrow \infty$ の時は飽和透水係数となる。)

図-2 は本報告で用いた地盤のモデルであり、地盤を正方形要素で分割し傾きを持たせたものである。要素間の間隙水の移動量は隣接した要素間で考え、ダルシー則に従うものとする。図-3は隣接した2つの要素間で移動する間隙水量を考えるための模式図である。1つの要素が複数の要素と接していることを考慮すると(5)~(7)式が成り立つ。

これらの式を用いて、図-4 に示すフローチャートに従いシミュレーションを行った。

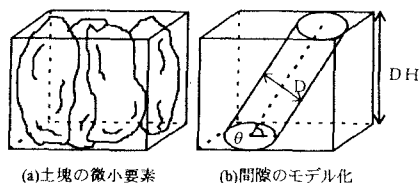


図-1：間隙モデル

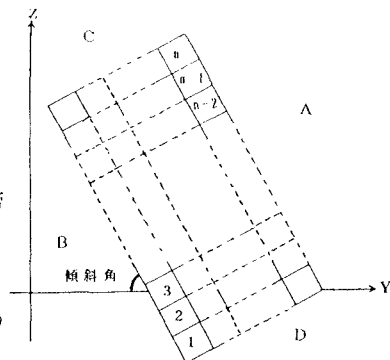


図-2：地盤のモデル化

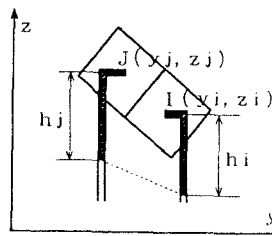


図-3：2要素間の間隙水の移動の、模式図

$$i(I, J) = \frac{(z_j + h_j) - (z_i + h_i)}{\sqrt{(y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2}} \quad \cdot \cdot (5)$$

$$\Delta Q(I, J) = k \cdot i(I, J) \cdot A \cdot \Delta t \quad \cdot \cdot (6)$$

$$\Delta Q(I) = \sum_{J=1}^n \Delta Q(I, J) \quad \cdot \cdot (7)$$

ここで、 $i(I, J)$:要素I, J間の動水勾配, h_i, h_j :要素Iにおける水頭(cm), (y_i, z_i) :要素Iの座標(≤ 0), (y_j, z_j) :要素Jの座標, $\Delta Q(I, J)$:1ステップで要素Jから要素Iへ流入する水の量(cm^3), k :透水係数(cm/sec), A :要素I, J間の接触面積(cm^2), Δt :1ステップあたりの計算時間(sec), $\Delta Q(I)$:1ステップでの要素Iの水量の変化量(cm^3), n :要素Iに接触している要素の数, $Q(I, t)$:要素Iの時刻 t における含水量(cm^3)。

3. 数値シミュレーションおよび結果

今回は、5 cmの正方形要素を縦に10個、横に20個並べて60°傾けてシミュレーションを行った。境界条件は図-2の境界面A, B, C, Dにおいて、地表面Aから雨水が浸透していることを想定している。また、 $z=0$ に地下水面があり、水は地下水面下より排水される。なお、それ以外の境界面は非排水条件としている。

図-5は表-1の入力値によって行ったシミュレーション結果である。(6分、12分後) 雨水の浸透に伴う斜面内の飽和度の変化を示しており、時間の経過によって下の方から飽和度が上がっている過程がわかる。

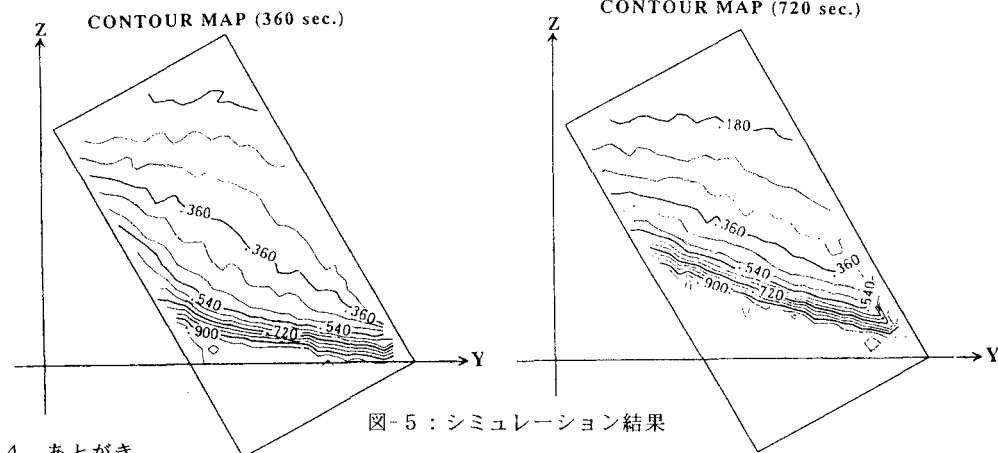


図-5：シミュレーション結果

4. あとがき

数値実験の結果から雨水が斜面に浸透していく現象を、間隙モデルを用いることにより定性的に表現できた。今後は、現地計測の結果を用いてモデルの妥当性を検討し北村らが提案している斜面崩壊シミュレーション³⁾⁻⁴⁾と結び付けていきたい。

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, 福原, 村中: 浸透に関する数値力学モデルの提案, 第30回土質工学研究発表会, pp. 1927-1930, 1995.
- 2) 福原, 北村: 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, 福原, 木佐貫: 粒状体の崩壊・流動・堆積に関する数値力学モデルの提案, 第30回土質工学研究発表会, pp. 1803-1804, 1995.
- 4) 山田, 北村: 浸透流を考慮したしらす斜面の安定解析手法, 平成7年度土木学会西部支部研究発表会, (投稿中), 1996.

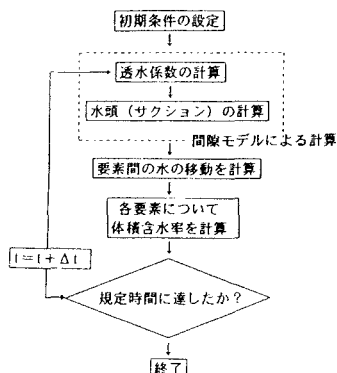


図-4：シミュレーションのフローチャート

表-1：シミュレーションの入力値

素体積高さ (cm)	0.002
水の粘性係数 ($\text{gf} \cdot \text{s} / \text{cm}^2$)	1.161×10^{-6}
管径の平均 (cm)	0.0012
管径の標準偏差 (cm)	0.0008
管傾角pdfの最低高さ	0.159
水の表面張力 ($\text{gf} \cdot \text{s} / \text{cm}$)	0.075
要素の数 (縦×横)	200 (10×20)
要素一辺の大きさ (cm)	5.0
傾斜角 (DEG)	60
初期体積含水率	0.1
時間増分 Δt (sec)	1.0
時間雨量 (mm/hr)	10.0