

雨水の地盤への浸透シミュレーション

鹿児島大学大学院 学生員 福原清作
 鹿児島大学工学部 正員 北村良介
 (株)協和エクシオ 村中忠明

1. はじめに

1993年夏の集中豪雨時には鹿児島県下で多数の斜面崩壊が発生した。降雨による斜面崩壊は、地盤内の含水率が増しサクシオンに起因する粘着力が低下することによって起こると考えられる。このことから、不飽和地盤に供給された水がどのように浸透するかを調べることは重要である。北村らは間隙のモデル化を行い、物理的に意味のある数値を用いて不飽和・飽和地盤の浸透特性を求めている¹⁾。本報告では北村らが提案している間隙モデルを用いて、雨水の地盤への浸透シミュレーションを試みている。

2. モデル化

シミュレーションを行う際、地盤を正方形の要素に分割して考える。個々の要素に北村らが提案している間隙モデルを導入して、経過時間における各要素の体積含水率 W_v を計算することで雨水の地盤内への浸透現象を表現する。一例として、図-1に分割した地盤を示す。

間隙モデルは、土粒子数個程度を含む直方体要素を図-2に示す管径 D 、傾き θ の円管(透水部分)とそれ以外の不透水部分に分けた要素(素体積と呼ぶ)に置き換えたものである。若干の確率論的考察を行うことで、各要素について体積含水率に対応した水頭、透水係数を数値的に求めることができる。(1)式～(4)式に間隙モデルより導かれる間隙比 e 、体積含水率 W_v 、水頭 h 、透水係数 k を示す。

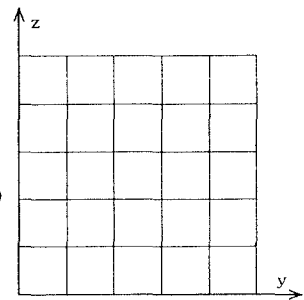


図-1 地盤のモデル化

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

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

$$h = \frac{4 \cdot T_s \cdot \cos \alpha}{\gamma_w \cdot d} \quad \dots (3)$$

$$k = \int_0^d \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{\gamma_w \cdot D^3 \cdot \pi \cdot \sin \theta}{128 \cdot \mu \cdot \frac{D}{\sin(\theta)} + \frac{DH}{\tan(\theta)}} P_d(D) P_c(\theta) dD d\theta \quad \dots (4)$$

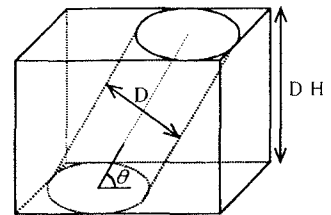


図-2 素体積

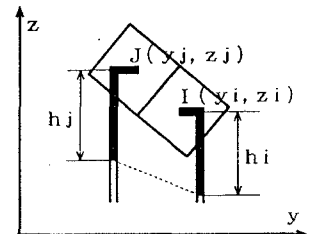


図-3 2要素間の水の流れ

ここで、 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。

要素間の間隙水の移動については隣接した2つの要素間で考え、間隙水の流れはダルシーの法則にしたがうものとする。図-3に2要素間を移動する間隙水量を考える際の模式図を示す。図において動水勾配 i は(5)式となり、 Δt 時間に要素 J から要素 I に移動する水量 ΔQ は(6)式で示される。本報告では地盤を図-1のようにモデ

ル化しているの、各要素は複数の要素と接している。これを考慮して Δt 時間後の要素Iの水量Qは(7)式で表される。

以上の式を用いて、コンピュータによる浸透シミュレーションプログラムを作成した。プログラムのフローチャートを図-4に示す。

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

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

$$Q(I,t+\Delta t) = Q(I,t) + \sum_{j=1}^n \Delta Q(I,J) \cdots (7)$$

ここで、 $i(I,J)$:要素I、J間の動水勾配、 (y_i, z_i) :要素Iの座標、 (y_j, z_j) :要素Jの座標、 h_i, h_j :要素I、要素Jにおけるサクシンの換算水頭(<0) (cm)、 $\Delta Q(I,J)$: Δt 時間に要素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ステップの計算時間(sec)、 $Q(I,t)$:要素Iの時刻tにおける含水量(cm^3)、 n :要素Iに接触している要素の数。

3. 数値実験およびその結果

本報告では地盤を5層5列(25個)の要素に分割し、最上層中央部の要素が常に飽和するように水を供給した場合を想定して数値実験を行った。初期状態における体積含水率Wvは一様であるとし、側面および底面の境界では位置水頭差にしたがって排水されとした。数値実験の入力値を表-1に、各要素に与えた間隙モデルの入力値を表-2に示す。数値実験により得られた1日後、2日後、4日後におけるWvの分布を図-5に示す。この結果から、間隙モデルを用いた浸透シミュレーションにより地盤内に水が浸透する様子を表現できることが分かる。

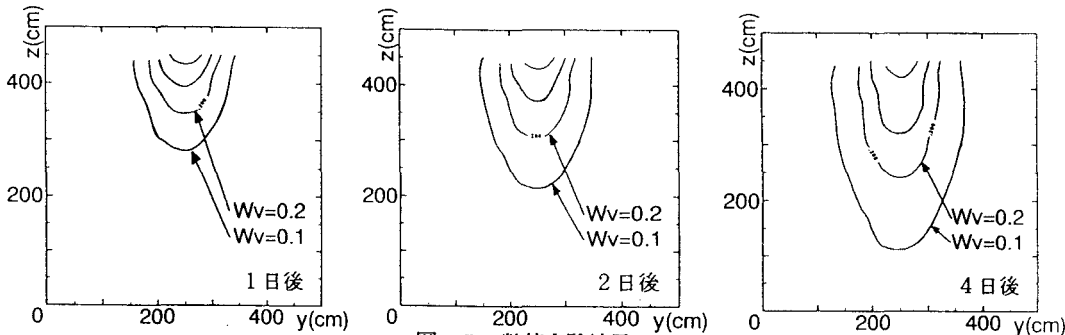


図-5 数値実験結果

4. まとめ

本報告では、地盤内の非定常浸透問題を間隙モデルを導入することで表現できることを示した。今後は現地実験、室内実験を行い、シミュレーション結果と比較することにより、本モデルの妥当性を検討していきたい。

最後に、本研究に対し(財)河川情報センターより研究助成を受けた事を付記し、謝意を表します。

参考文献

- 1) 北村、福原：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．

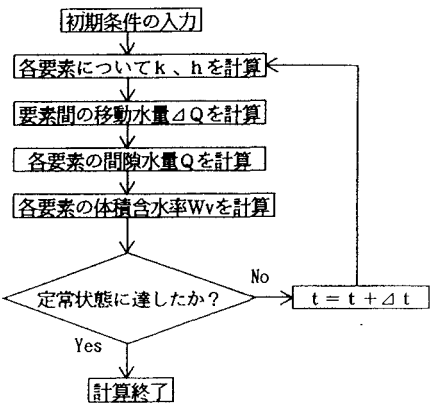


図-4 フローチャート

表-1 地盤に関する入力値

要素数 (個)	25
要素サイズ (cm)	100
時間増分 Δt (sec)	60
初期体積含水率	0.01

表-2 間隙モデルの入力値

素体積高さDH (cm)	1.000×10^{-2}
管径の平均 (cm)	5.540×10^{-3}
管径の標準偏差 (cm)	2.740×10^{-3}
管傾 θ pdfの最低高さ	1.590×10^{-1}
水の粘性係数 μ (gf·s/cm)	1.161×10^{-5}
水の表面張力Ts (gf/cm)	7.500×10^{-2}
土粒子と水の接触角 α (°)	0.00