

浸透能試験とその数値実験に関する一考察

鹿児島大学大学院 学生員 佐藤 公洋
鹿児島大学工学部 正員 北村 良介

1. まえがき

しらす地盤への雨水の浸透挙動を把握することは、斜面崩壊や土石流の発生機構を解明するためには不可欠な事項である。一方、北村らは土粒子レベルでの確率論的考察をもとにした間隙モデル¹⁾を提案し、土の浸透挙動に関する物理量が求められることを明らかにしている²⁾。本報告では、鹿児島県日置郡伊集院町の一次しらす地盤(地山しらす)で行われた浸透能試験結果をシミュレートするための数値実験を試みている。

2. モデル化

数値シミュレーションを行う際に、土塊と地盤のモデル化を行う必要があったので、次にこれらについて説明する。

・土塊のモデル化

今回の数値シミュレーションでは、北村らが提案している間隙モデルを用いる。間隙モデルとは、図-1(a)のような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)に置き換えたもので、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土の物理量である間隙比 e 、体積含水率 W_v 、透水係数 k 、 pF が(1)～(4)式のように求まる。

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

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

$$pF = \log_{10}(h_c) = \log_{10} \left(\frac{4 \cdot T_s \cdot \cos \alpha}{\gamma_w \cdot d} \right) \quad (3)$$

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

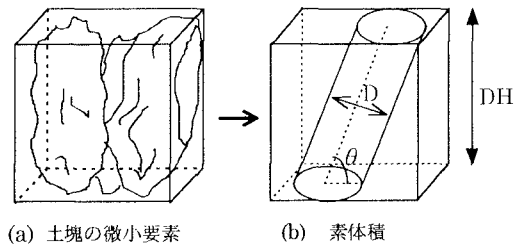


図-1 間隙モデル

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、 DH : 素体積高さ、 $P_c(\theta)$: θ の確率密度関数、 d : 間隙水を保持する円管の最大管径、 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 : 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。)

・浸透能試験のモデル化

図-2は、地盤を $n \times n$ のメッシュに区分したものを示している。

また、地表面の中央部に水を与えることにより、隣り合う要素同士で水の移動が生じ、任意の時間における地盤内の浸透挙動を数値シミュレーションによって知ることができる。

モデル化した地盤の初期・境界条件は、最上列の中央の要素を常に水で飽和させ、地表面下の3辺の境界では排水条件にした。

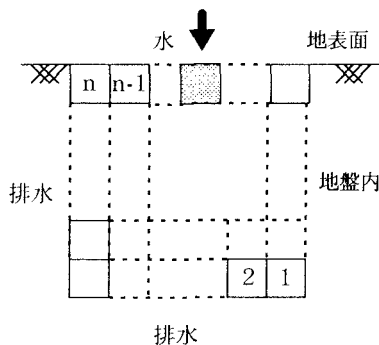


図-2 地盤のモデル化

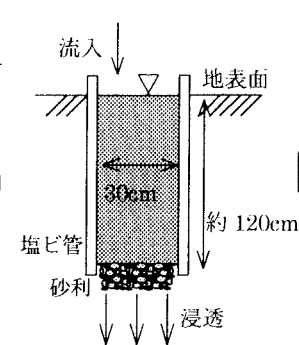


図-3 浸透能試験装置

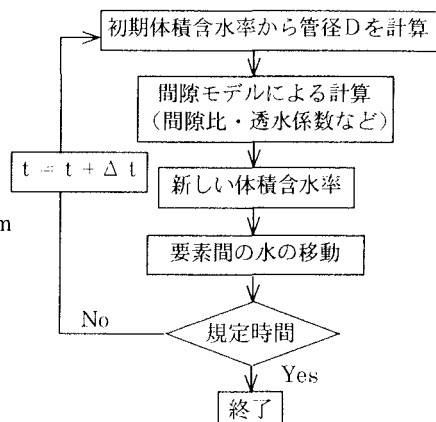


図-4 フローチャート

3. 境界条件及び計算結果

ここで、行った浸透能試験とは、図-3のように自然地盤に直径 $\phi=30\text{cm}$ ・高さ約120cmの周りが不透水性の材質で囲まれた円筒を埋め込んだもので、底面から水が浸透するようになっている。これを定水位にしながら水を流入させ、10分おきにその流入量を測定することにより地盤内に浸透する水の量を求めることができる。

また、シミュレーションを行う際の初期条件・入力値を表-1および表-2に、図-4にフローチャートを示す。図-5に示す時間と透水量の関係のグラフでは、透水量のオーダーは合っているものの実測値と計算結果との差がまだ大きい。これは、コンピュータによって計算を行う際に、漸次的に変化する自然環境（初期条件・境界条件）を的確に表現するのは困難であるためこの程度の誤差が生じたものと考えられるが、初期のうちに水が浸透し定常状態に落ち着く様子を定性的に表現することができた。

表-1 数値シミュレーションに必要な
モデルパラメータとそれらの具体値

素体積高さ (cm)	0.002
水の粘性係数 ($\text{gf} \cdot \text{s} / \text{cm}^2$)	1.1161×10^{-5}
管径の平均 (cm)	0.0012
管径の標準偏差 (cm)	0.0008
管径 θ pdf の最低高さ	0.159
水の表面張力 (gf / cm)	0.075

表-2 数値シミュレーションでの
初期条件・境界条件

要素の数 (縦×横)	961 (31×31)
要素の一辺の大きさ (cm)	30.0
初期体積含水率	0.02
時間増分 Δt (sec)	10.0

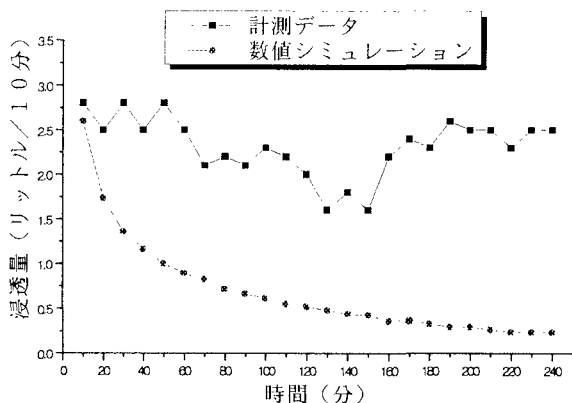


図-5 現地計測との比較

4. あとがき

北村らが提案している間隙モデルを用いて、一次しらす地盤で行われた浸透能試験をシミュレートすることを試みた。数値実験での入力パラメータの具体値は一般的なしらすで考えられる値を用いており、地盤内に水が浸透していく様子を定量的に表現できたといえる。今後は、さらに現場の試料を想定したモデルパラメータを実験的に求め、それをもとにした数値実験を行っていきたい。

謝辞：本研究に対し、(株)協和エクシオより助成をいただいた。ここに、謝意を表します。

(参考文献)

- 1) 北村、福原：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. 1297-1930、1995。
- 2) 北村、福原、木佐賀：粒状体の崩壊・流動・堆積に関する数値力学的モデルの提案、第30回土質工学研究発表会。