

III-A 288 雨水の浸透を考慮した粒状体の崩壊シミュレーション

鹿児島大学大学院 学生員 木佐 貴浄治
 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 佐藤 公洋

1 はじめに

北村らは浸透、圧密、崩壊・流動・堆積挙動を数値力学モデルを用いた数値シミュレーションにより解明することを試みている^{1)・2)・3)}。これらの中で浸透及び圧密挙動については、確率論的手法により間隙モデルを提案し解析を行っている。また、粒子個々に運動方程式を与えることで土砂（土塊）の崩壊・流動・堆積挙動について数値シミュレーションを行ってきた。

本報告では、前述の2つの研究手法を有機的に結びつけ、地盤に雨水が浸透し、粘着力が低下することで、発生すると考えられるしらすの崩壊斜面機構を解明するため粒状体の崩壊挙動のシミュレーションを行った。

2 モデル化

浸透モデルにおいては、図-1、2に示す間隙モデルを用いる。間隙モデルは確率論的手法を加えることにより透水係数 k 、間隙比 e 、体積含水率 W_v 、PFは、それぞれ(1)～(4)式で表すことができる。

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

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

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

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

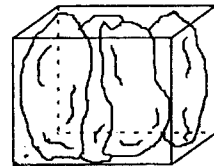


図-1：土塊の微小要素

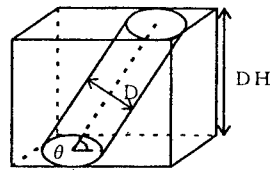


図-2：間隙モデル

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 : J 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。)

これら式を用いて、雨水が浸透した土中の飽和度の分布を求めることができる¹⁾。

また、崩壊・流動・体積挙動においては、2体のつり合い方程式及び簡単な弾性衝突問題に基づき運動するものとし、粒状体の崩壊から流動・堆積について同一のモデルで解析を行っている²⁾。

図-3のような座標系で力、モーメントのつり合い考えると(5)～(7)式に示すようにY軸、Z軸についてそれぞれ2体問題としてとらえ、それぞれの物理量に具体値を与えることによって崩壊挙動のシミュレーションを行うことができる。この際の粘着力の低下を前述の浸透シミュレーション結果から求めて行う。

Y軸方向：

$$P[I, J] \cos \theta = MF[I, K] \sin \theta + MF[I, J] \cos \theta \quad (5)$$

Z軸方向：

$$P[I, J] \sin \theta = MF[I, K] \cos \theta + MF[I, J] \sin \theta \quad (6)$$

モーメント：

$$mg \cdot r \sin \theta + M[I, K] \cdot r = T[I, K] \cdot r + MF[I, K] \cdot r \quad (7)$$

ここで、 $P[I, J]$: 接点I、Jにおける粒子Iの滑動力、
 $MF[I, J]$: 接点I、Jにおける摩擦抵抗力、
 $T[I, K]$: 接点I、Kに働く粘着力、
 $M[I, K]$: 接点I、Kに働く粒子の自重による粒子間力、
 θ : 粒子I、J間の粒子接点角、 r : 粒子半径、 m : 粒子質量、
 g : 重力加速度。

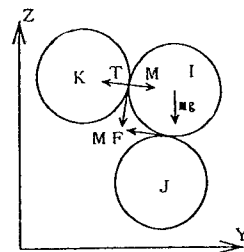


図-3：粒子に働く力

3 数値シミュレーション

図-4に土塊をモデル化した場合の初期状態を示す。浸透モデルでは雨水による影響は、最上部の粒子が水の供給を受けるものとし、下方からのみ排水するものとしている。また、崩壊モデルで不安定と判定された粒子については、間隙水の出入りはないものとしている。

図-5に示すシミュレーションのフローチャートに従って計算を行い、間隙モデル及び動水勾配の変動から間隙水の移動を計算し土中の飽和度を求めることにより粒子同士の粘着力の変化を追っている。

表-1の入力値により計算したシミュレーション結果を図-6, 7に示す。

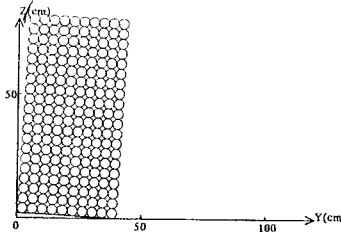


図-4：初期状態

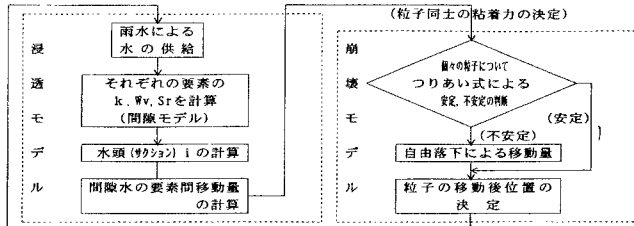


図-5：シミュレーションのフロー

表-1：入力パラメータ

浸透モデル		崩壊モデル	
素体積高さ (cm)	0.01	要素の数	200
水の粘性係数 (g \cdot s/cm 2)	1.161×10^{-3}	要素の大きさ (cm)	4 \times 4
管径の平均 (cm) (豊浦砂)	0.00274	傾斜角 (°)	3
管径の平均 (cm) (しらす)	0.0012	水の表面張力 (gf/cm)	0.075
管径の標準偏差 (cm) (豊浦砂)	0.00554	初期体積含水率	0.3
管径の標準偏差 (cm) (しらす)	0.0008	時間増分 Δt (sec)	0.01
管径 ρ pdfの最低高さ	0.159	降雨強度 (mm/hr)	10
		粒子数 (個)	200
		粒子半径 (cm)	2.0
		傾斜角 (°)	3
		反発係数	0.2
		粒子密度	2.7
		粒子間摩擦角	30

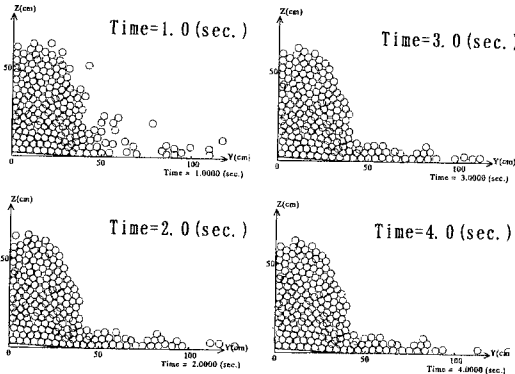


図-6：崩壊状況（豊浦標準砂を想定）

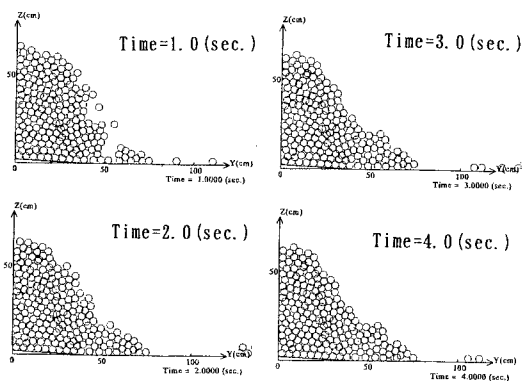


図-7：崩壊状況（しらすを想定）

5 あとがき

間隙モデルのパラメータ（関係の平均、標準偏差）を変化させることで、崩壊挙動に変化がみられた。これは、地盤の間隙（管径平均、標準偏差）及び粒度分布が実験で決まると、境界条件等（降雨などの気象条件）を入力することにより、斜面崩壊等の予測が可能であると言える。しかし、間隙モデルの諸パラメータの決定方法、実際の地盤での粘着力の低下のメカニズムなど明確にしなければならない問題も残されている。今後は、ミクロ（微視的考察）とマクロ（巨視的考察）を有機的に結びつけ、浸透、崩壊現象のみならず総合的な考えでの土質力学の解明を目指したい。

（参考文献）

- 1) 例えば、北村、福原、木佐貴、佐藤；不飽和地盤の透水にかかる諸問題シンポジウム発表論文集, pp. 193-200, 1996. 3.
- 2) 例えば、原口、北村、木佐貴；間隙モデルを用いた圧密シミュレーション, 平成7年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp. 610-611, 1996. 3.
- 3) 北村、福原、木佐貴；粒状体の崩壊・流動・堆積に関する数値力学モデルの提案, 大30回土質工学会研究発表会講演概要集, pp. 1803-1804, 1995. 7.
- 4) 北村、福原、木佐貴、村中；雨水の浸透に関する数値実験, 火山質土の性質と設計・施工に関するシンポジウム, 1995. 10.