

粒状体の流動現象のモデル化について

鹿児島大学工学部 学生員 北方裕人
 同上 正員 北村良介
 鹿児島大学大学院 学生員 新地正志

1. まえがき

粉体流や土石流の流動現象は、土塊を構成する土粒子の力学的挙動を知ることによって、解明できるのではないかと考える。北村は、そのような見識のもとに従来から提案してきている、マルコフ・モデルを粒状体の流動現象に適用する手順を示した¹⁾。今回、この手順に従って具体的な数値実験を行ったので、それを報告する。

2. マルコフ・モデルの流動現象への適用

マルコフ・モデルを用い、変形量を計算するまでのフローチャートを次に示す。

図-1に示したフローチャートの各アイテムについて説明する。

①、②：せん断応力 τ の分布を図-2のようにとると、

$$\tau = \tau_0 (1 - Y/D) \quad (1)$$

Ostwald-de Waele(オストワルド・デー・ウェール)モデルによると、

$$\tau = k \cdot |du/dy|^{n-1} \cdot du/dy$$

土塊をニュートン流体と見なすと、 $n=1$ 、 $k=\mu$
 $\therefore \tau = \mu \cdot du/dy \quad (2)$

摩擦応力 τ_0 はここでは土のせん断試験より得られるせん断抵抗と等しいものとし、次式を用いる。

$$\tau_0 = c + \sigma \tan \phi \quad (3)$$

(1)、(2)、(3)より

$$u = (c + \sigma \tan \phi) / \mu (1 - Y/2D) Y$$

ここに、 c は見かけの粘着力、 μ は粘性係数、 ϕ は内部摩擦角を示す。

③：次の固有値問題を解く。即ち、(4)式より σ_1 、 σ_3 を求め、さらに(5)式により v_1 、 v_3 を求める。

$$\begin{vmatrix} \gamma Z/2 - \sigma & \tau_{12} \\ \tau_{21} & \gamma Z - \sigma \end{vmatrix} = 0 \quad (4)$$

$$\begin{vmatrix} \gamma Z/2 - \sigma & \tau_{12} \\ \tau_{21} & \gamma Z - \sigma \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} v_1 \\ v_3 \end{vmatrix} = 0 \quad (5)$$

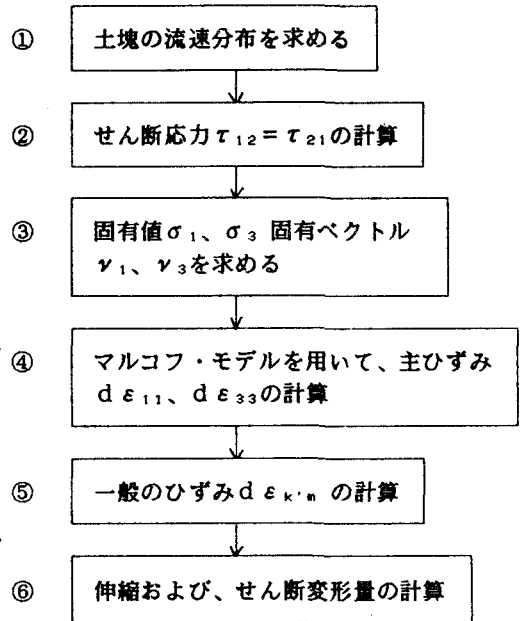


図-1 マルコフ・モデルの流動現象への適用手順

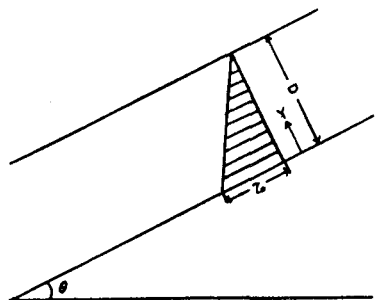


図-2 せん断応力 τ の分布図

ここに、 v_1, v_3 は固有ベクトルを示す。

④、⑤：マルコフ・モデルで計算した主ひずみより $d\varepsilon_{k'm}$ を計算する。

$$d\varepsilon_{k'm} = d\varepsilon_{JI} \beta_{k'j} \beta_{m'i}$$

$$\therefore d\varepsilon_{1'1'} = d\varepsilon_{11} \beta_{1'1} \beta_{1'1} + d\varepsilon_{22} \beta_{1'2} \beta_{1'2}$$

$$d\varepsilon_{1'2} = d\varepsilon_{11} \beta_{1'1} \beta_{1'2} + d\varepsilon_{22} \beta_{1'2} \beta_{2'2}$$

ここに、 $k, m = 1, 2, \beta_{k'j}$ は、の k' と j のなす方向余弦を示す(図-3)。

⑥：伸縮変形は $l_{11} d\varepsilon_{1'1'}$ 、せん断変形は $l_{12} d\varepsilon_{1'2}$ で表される。

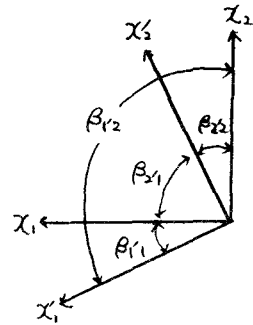


図-3 $\beta_{k'j}$ の定義

3、数値実験

土塊を図-4(a)のように3つの部分に分け、それぞれのメッシュについて変形量を求める。

計算結果が図-4(b)に示されている。

表-1に入力データを示す。

表-1 INPUT DATA

土塊の密度 ρ (kg/m ³)	1.6	
土塊の高さ D (m)	1.5	
各メッシュの重心までの距離 Y (m)	(1)	0.25
	(2)	0.75
	(3)	1.25
斜面の勾配 θ	35°	
地表の深さ Z (m)	$Y / \cos \theta$	
見かけの粘着力 C (kgf/m ²)	5×10^{-5}	
内部摩擦角 ϕ	30°	

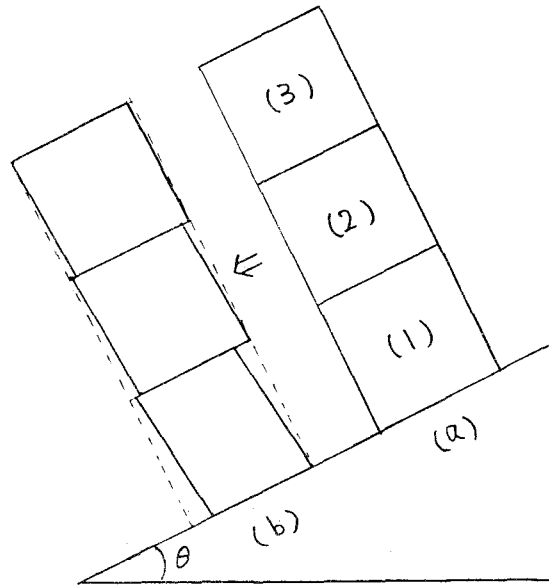


図-4 粒状体の流動現象の計算結果

4、あとがき

今回は、流速分布よりせん断力を求め、主応力を計算しマルコフ・モデルを適用して各メッシュの変形量をもとめた。今後は、流体運動におけるエネルギー保存則を導入し変形量を求める手法を考えて行きたい。

本研究は昭和61年度科研費(一般(c))の援助を受けたことを付記し、謝意を表します。

～参考文献～

1) 北村：土木学会第41回年次学術講演会、pp.349-350, 1986.