

Ⅲ－6 シミュレーションによる粒状体の流動機構に関する考察

東北大学 学生員 ○渡部秀貴

東北大学 正 員 岸野佑次

1. まえがき 自然災害の中でも土石流はその規模や被害が広範囲に至ることが多い。土石流は混相流として捉える必要があり、最近では、VTRシステムを利用したデータ収集や様々な理論解析が行われている。しかし土石流の観測データがなお不十分であるため斜面の地形特性や降雨量と土石流の因果関係などは、十分に明らかにされていない。そこで本研究においては、粒状体モデルを用い微視的立場から粒状体の流動機構および条件について考察を行う。

表－1 諸定数

底面の長さ	30 cm
粒子数	234 個
粒径	1.0, 0.8, 0.7, 0.6, 0.5 cm
面積比	1:1:1:1:1
単位体積重量	0.0025 kgf/cm ³
法線方向ばね定数	
粒子間	1000 kgf/cm
粒子境界間	2000 kgf/cm
接線方向ばね定数	
粒子間	700 kgf/cm
粒子境界間	1400 kgf/cm
摩擦係数	
粒子間	tan 25°
粒子境界間	tan 35°
斜面の勾配	
初期勾配	10°
勾配の増分	1°
液相	
初期液相高さ	1 cm
液相高さの増分	0.1 cm

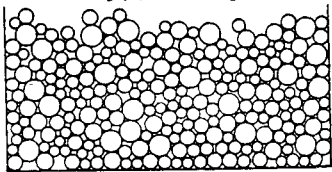
2. 粒状要素法モデルおよび解析方法 粒状要素法¹⁾を用い、重力落下により堆積した粒状体（図－1）を初期状態とし、後述の境界条件および液相の取扱い方法により流動化解析を行う。本解析はまず水平な底面をもつ初期状態から出発して徐々に斜面に勾配を与え（計算上は重力の方向を変化させる）、平衡状態を求める。次に静的平衡状態の求まる幾つかの斜面勾配について液相の影響を考慮した解析を行う。さらに固有変形解析を行い粒状体の変形機構について考察する。解析に用いた諸定数を表－1に示す。

1) 境界条件 図－2に示すように、本解析で対象とする地盤モデルは左右の仮想境界内部を単位とする周期的モデルとする。従って図－2の粒子AとA'は同一と見なされ、粒子AはCと接触すると同時にBにも接触している。

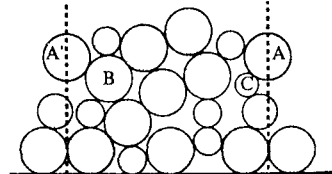
2) 液相の取扱い方法 斜面の崩壊は、強降雨による浸透水圧や地震時における間隙水圧の上昇など液相の影響によるところが大きい。本研究ではこの液相の影響を次のようにモデル化している。その手順を図－3(a),(b),(c)に示し説明する。まず粒状体の液相中に存在する粒子の半径を拡大する（図－3(a)）。半径拡大により粒状要素法における粒子の重なり量増分に相対する接触力ベクトル増分が生じる（図－3(b)）この接触力ベクトル増分を記憶させ粒子の半径を元に戻し、接触力ベクトル増分を粒状要素法における不釣り合い力とする。この不釣り合い力は非定常浸透水圧あるいは間隙水圧に相当するものと考え（図－3(c)）、収束計算を行う。本研究における流動化解析のフローチャートを図－4に示す。

3) 固有変形解析²⁾ 各解析結果より、斜面上の粒状体の崩壊直前ステップにおける粒子接触剛性に基づく剛性行列の固有値解析を行い、変形機構について考察する。

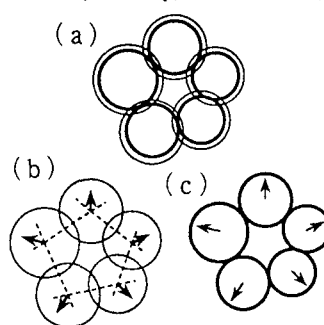
3. 解析結果および考察 図－5の勾配30°と32°のステップ間における変位ベクトル分布は、液相のない斜面崩壊の過程は常に斜面に水平方向であることを表している。これに対し図－6に示した勾配30°における



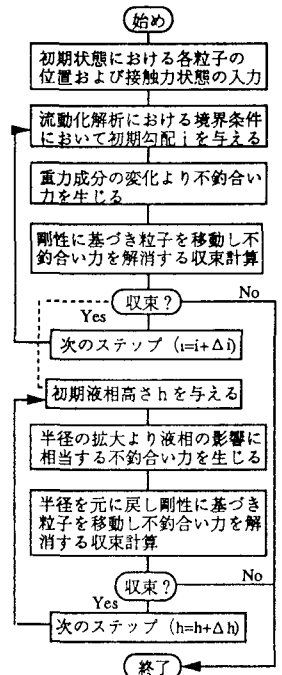
図－1 初期状態



図－2 仮想境界



図－3 (a)(b)(c) 液相の取扱い



図－4 フローチャート

初期水深 1 cm と 5.4 cm のステップ間の変位ベクトル分布は右下部分の粒子群が鉛直方向に押し上げられる挙動が見られる。これは浸透水圧によるボイリング現象の挙動に類似しており、液相の影響により相中の粒子の有効応力が減少したことを示している。最終的には、図-7 の初期水深 1 cm と限界水深 5.7 cm のステップ間の変位ベクトル分布に示されるように粒状体は崩壊する。この挙動の違いに対する変形機構を考察するために、液相のない勾配 30° と水深 5.3 cm のそれぞれのステップにおいて固有値解析を行った。図-8 に示す液相のない場合の固有ベクトル分布は 1 つの零固有値のモードによって図-5 の実際の変形が大きく支配されていることがわかる。これに対し液相の影響を受けた場合の固有ベクトル分布は図-9 に示されるように局所的な変形モードを表している。また、図-10 の固有値の分布を見ると液相のある場合は極めて零に近い固有値が多数見られ、これらの差は小さいため重根と見なせば、液相の影響により有効接触力が減少し剛性抵抗の少ない変形モードはこれら 10 数個の固有モードの線形結合により代えることができ、粒子個々の移動に関して不確定性が伴う。このことより液相中に存在する粒子群は液体の挙動を強めていると考えられる。また、本解析結果より得られた各勾配における限界水深を図-11 に示す。ここで、32° は大きく内部構造が変化した勾配である。

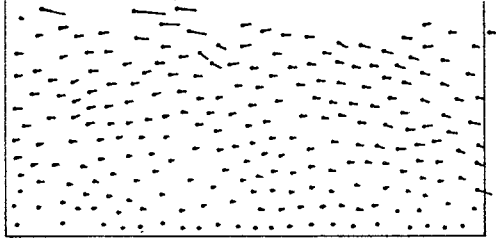


図-5 液相のない場合の変位ベクトル分布

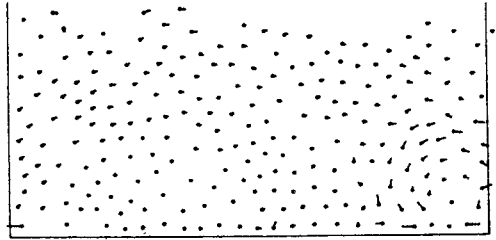


図-6 液相のある場合の変位ベクトル分布

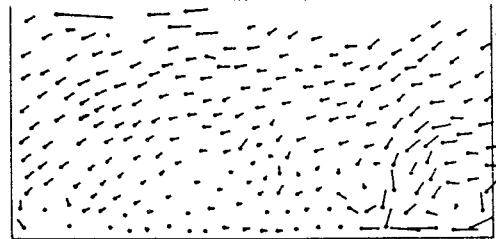


図-7 液相の影響による崩壊の様子

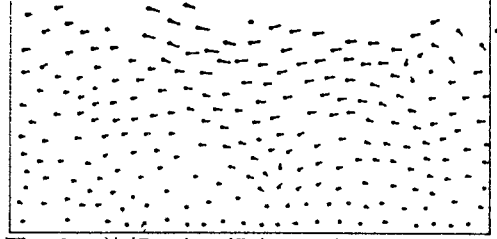


図-8 液相のない場合の固有ベクトル分布

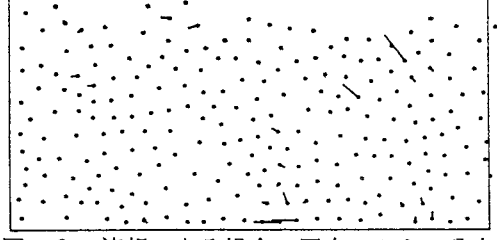


図-9 液相のある場合の固有ベクトル分布

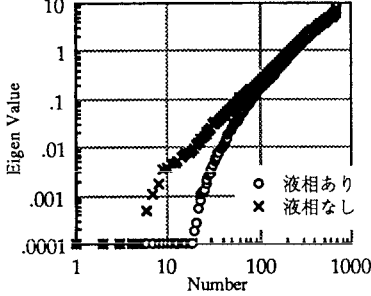


図-10 固有値の分布

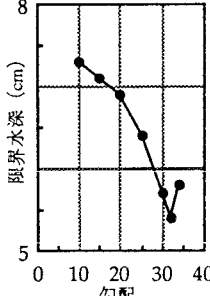


図-11 勾配と限界水深の関係

4. あとがき 本研究において液相の影響を受ける斜面の崩壊のメカニズムについて微視的立場から考察を行い、特に固有変形解析より液相中の粒子の移動には不確定性が伴い液体の挙動を強めていることがわかった。なお、異粒径と等粒径の崩壊過程の違いなどについても解析を行っているが、紙面の都合により省略する。

参考文献 1) 岸野佑次：新しいシミュレーション法を用いた粒状体の準静的挙動の解析、土木学会論文集、Vol.406/III-11, pp.97-106 (1989). 2) 岸野佑次：粒状体の固有変形解析、土木学会論文集投稿中