

微細土砂の液相化を考慮した現地再現計算における土石流の挙動

東京大学農学生命科学研究科 ○戸部潤一郎 堀田紀文 酒井佑一
 (株)建設技術研究所 西口幸希
 国土技術政策研究所 内田太郎

1. 背景

土石流の発生・流下は人家や山地領域に多大な被害を及ぼすため、その挙動を適切に評価することは防災上重要である。土石流の流下予測には数値計算が有効だと考えられる。土石流は粒度分布を持っているが、その幅が広がったり微細な土砂の割合が高かったりすると、微細な土砂の一部が間隙水に取り込まれて液相として振る舞うこと（液相化）が分かっている。数値計算の際にはこの液相化の評価が重要とされており、液相化の影響を考慮することで土石流の挙動が変化する事が確認されている¹⁾。近年、実験により液相化のモデル化なども進んでいるが²⁾、単純化のため二粒径を仮定しており実際の土石流への適用性は明らかではない。本研究では実験から求められた液相化モデル²⁾を用いて過去の土石流事例の再現数値計算を行い、現地スケールでの適用性を検討した。

2. 方法・対象地

大小二粒径の水路実験において、大粒子は全て固相として振る舞い、小粒子は一部が液相、残りが固相として振る舞うとする。このとき、小粒子のうちで液相として振る舞う粒子の割合 α は式(1)のように表現できる事が分かっている²⁾。

$$\alpha = 0.0167v_t/w_s - 0.0475 \quad (1)$$

ここで、 w_s は沈降速度、 v_t は乱れ速度を表す。本研

究ではこの α を用いて液相化を表現した。現地の幅広い粒度分布をこの二粒径モデルに適用するにあたり、境界粒径 D_c を定めて実際の粒度分布を大小の二粒径に分けた。粒径は大小それぞれの平均粒径とした。設定する D_c を変えると大小粒子の比率やそれぞれの粒径が変化する。なお、 α が0を下回ったり1を上回ったりした場合は、 $\alpha = 0$ や $\alpha = 1$ として計算に用いた。

本研究では一次元での数値計算を行い、リーブ・フロッグ・スキームによる差分法を用いた。様々な D_c を用いて計算を行い、侵食・堆積による河床変動高を現地のデータと比較した。河床変動高の残差の二乗平均平方根を誤差評価の基準として再現性を検討し、各事例で最適な D_c を求めた。また式(1)により小粒子の液相化の度合いを流れの中で変化させるモデルの他に、流動条件に関わらず $\alpha = 1$ とするモデルすなわち小粒子全てが常に液相化すると見なすモデルでも同様に計算して最適な D_c を求めた。流動条件によって α を変動させるモデルを変動液相化モデル、 $\alpha = 1$ で一定にするモデルを固定液相化モデルとする。

数値計算を行ったのは崩壊が発生起因であると考えられる6つの土石流事例である(表1)。これらの土石流は、粒径が0.1 mm以下のものから数mのものまで幅広い粒度分布を持っており、土石流の挙動に微細土砂の液相化が大きく影響していると考えられる。

表1：数値計算の対象とした土石流事例

土石流発生事例	発生年	流出土砂量(m ³)	流下距離(km)	平均勾配(°)	備考
(a)熊本県集川	2003年	30,500	1.6	9.5	流下区間に谷止工あり
(b)徳島県大用地	2004年	622,000	1.0	10.2	下流側で狭窄している
(c)宮崎県片井野川	2005年	272,000	3.6	3.8	
(d)宮崎県七瀬谷	2005年	183,000	0.9	5.0	
(e)鹿児島県船石川	2009年	19,000	0.6	8.6	流下区間に砂防堰堤あり
(f)鹿児島県深港川	2015年	91,000	1.1	6.8	崩壊が2回発生

3. 結果

2種類のモデルを用いた計算における各事例の D_c と、数値計算と現地データの河床変動高のRMSの関係を図に示す(図1)。変動液相化モデルでは、誤差の小さい事例a, fでは D_c を変化させても誤差の変化が少なく、どの D_c を選択しても再現性が高かった。現地のデータを最も再現できている D_c 付近で D_c を多少変化した計算での堆積形状を比べてみても大きく変化はしなかった。一方、事例c, d, eでは、再現性の高い D_c は存在するが範囲が狭く、その範囲から外れた D_c を選択すると再現性が大きく下がってしまった。また、事例bではどの D_c を選択しても誤差が大きくなり再現性は低かった。

固定液相化モデルでは、変動液相化モデルでは再現性が低かった事例bをよく再現できる D_c が存在した。また、最適な D_c を用いた計算では事例c, d, eでも変動液相化モデルより高い再現性を得られた。

各モデルでの最適な D_c を用いた計算結果での誤差を比較すると、流況に応じて液相化を評価したモデルで再現性が高い土石流と、常に最大の液相化が起きているとするモデルでの再現性が高い土石流があることが示された。

4. 考察

本研究で用いた2つのモデルのうち固定液相化モデルは、流速や土砂濃度といった流動条件の変化に関わらず微細土砂の液相化の度合いを常に最大とするものであるが、土石流の流動ではそういった現象は考えにくい。深層崩壊を起因とする土石流では、斜面の移動を開始した崩壊土塊がすぐに土石流へ変化しているとは限らない。固定液相化モデルでの再現性が特に高くなっている事例bでは、崩壊土塊が土石流化せずに土塊のまま運動をしているために、土石流として捉えてしまうとうまく説明できないと考えられる。今回土石流として再現数値計算の対象とした事例は、土石流として扱えるものと土塊として扱えるものに分けられる可能性がある。また、今まで土石流として一括りに扱われていた事例でも、今回使用した液相化モデルの適用性を見ることで土塊と土石流に分類できる可能性がある。

また、変動液相化モデルで誤差の小さい事例a, fでは、 D_c の変化に対し計算結果があまり変化しなかった。これは、 D_c の変化によって小粒子の比率が変わっても、小粒子の液相化の割合 α も変化することで液相化の度合いを調節できるからだと考えられる。このことから、 D_c を定める際に厳密な検討をしなくても液相化による土石流の挙動の変化を十分に表現できることが分かった。また、今回使用した液相化モデルの現地スケールでの適用性も示された。

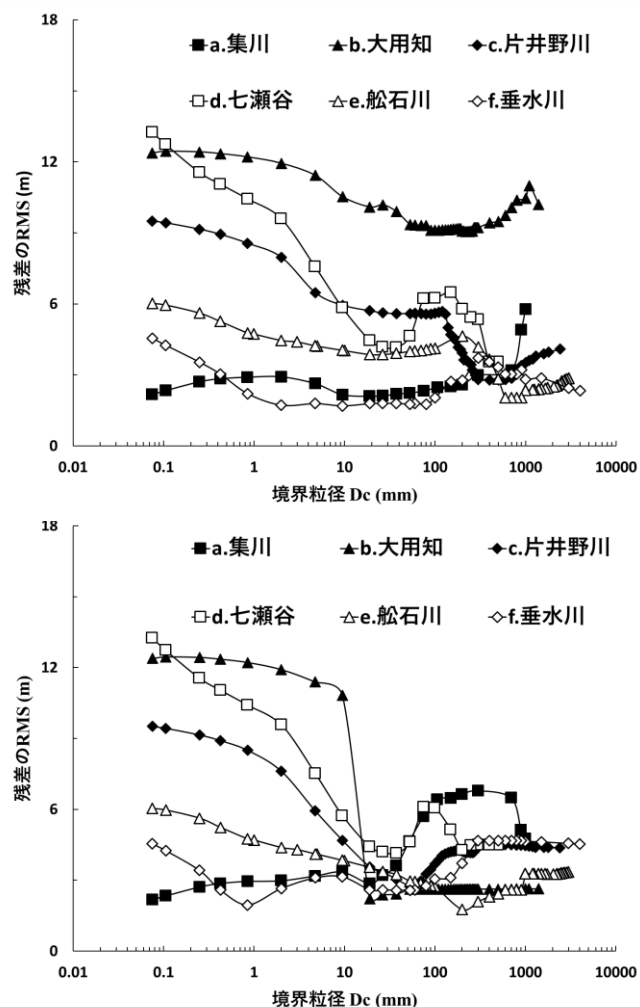


図1：変動液相化モデル(上)と固定液相化モデル(下)における境界粒径と残差のRMSの関係

参考文献

- 1) 西口幸希 (2014) 京都大学学位論文
- 2) Sakai Y., et al. (2019) : Effects of Grain-Size Composition on Flow Resistance of Debris Flows, Journal of Hydraulic Engineering