深層崩壊に起因する土石流の流下過程の推定

(独) 土木研究所 〇西口幸希, 内田太郎, 武澤永純,田村圭司 立命館大学理工学部 里深好文

1. はじめに

豪雨や地震等に伴う山腹崩壊により、しばしば土砂災害が発生している。なかでも深層崩壊は発生直後に大規模な 土石流となることがあり、近年でも1998年の鹿児島県出水市、2005年の熊本県水俣市で多数の犠牲者がでた。このような被害を防ぐために、数値シミューション技術等を用いて、土石流の流下過程や氾濫範囲等を予測することは重要と 考えられており、これまでにも多くの事例に関して土石流の再現計算が行われてきた。

一方、大規模な土石流に含まれている土石は幅の広い粒度分布を示し、土石の挙動は粒度により異なる可能性があると考えられる。しかし従来の土石流に関する数値シミュレーション手法の多くは、単一粒径の条件のもとで構築されたものであり、幅の広い粒度分布の流れについて十分には表現できていないことが指摘されてきた¹⁾。これに対し中川らは、土石流中の微細土砂は間隙流体として流下すると仮定し、微細土砂と粗礫のそれぞれの連続式を数値計算モデルに導入し、針原川等の土石流の再現計算を行った²⁾。また江頭らは、同様に土石流中の微細土砂が間隙流体として流下すると仮定し、間隙流体の比重を変化させて土石流の数値シミュレーションを行った³⁾。

そこで本研究では、深層崩壊に起因する土石流の流下過程を数値シミュレーションにより推定することを目的とし、 間隙流体に取り込まれる微細土砂の最大粒径に着目し、微細土砂が間隙流体に取り込まれることによる間隙流体の 密度、土砂濃度や代表粒径の変化について定式化を図った。そのうえで、実際に発生した土石流への適用を試み た。

2. 土石流中に含まれる土砂と水の挙動

山腹斜面や渓床など静止状態において、土石は粒径にかかわらず固体として存在し、間隙水は液体として土砂の間隙に存在している(図-1 左)。一方、土石流となり土石及び間隙水が流動化すると、土石流中の細砂は間隙水の乱

れの影響を受けるようになる(図-1 右)。このとき、細砂は間隙水 と同様に乱流状態で移動することから、間隙流体(液相)の一部 として振舞うとみなすことができる。一方、その他の粗礫は層流 状態で移動すると考えられることから、固相として運動するとみな すことができる。

そこで、ここでは、粒径 ϕ_c までの細砂はすべて間隙流体へ 取りこまれるとし、土石流の土砂濃度 (C_d)、間隙流体の密度 (ρ)、土石流の代表粒径 (D) は質量保存則から、以下のように 表すことができる(図-2)。

$$\begin{cases}
C_d = (1-w)(1-\frac{P(\phi_c)}{100}) \cdots \cdots \cdots \cdots \cdots (1) \\
\rho = \frac{w \rho_w + (1-w)\rho_s P(\phi_c)}{w + (1-w)P(\phi_c)} \cdots \cdots \cdots (2)
\end{cases}$$

D は ø 以上の土石の平均粒径

ここで、wは土石流中の清水の割合, $P(\phi_c)$ は ϕ_c の 重量百分率, ρ_s , ρ_w はそれぞれ土粒子,清水の密度 である。

また、河床が侵食される際の細砂と粗礫に関する質量保存 則から、土石の連続式は(3)式のようにあらわすことができる。





図-2 *ø* による液相と固相の区分

ここで、 C_* は河床の土石の容積濃度、uはx方向の流速、vはy方向の流速、hは水深、iは侵食速度である。

3. 深層崩壊に起因する土石流への適用例

3.1 対象事例

2003 年7月 20 日、熊本県水侯市の集川において、豪雨により深層崩壊が発生し、これに伴い泥流および石礫型土 石流が流下した。本研究では主たる流れであった石礫型土石流を対象とした。

3.2 計算方法

(1)計算プログラム

土石流シミュレータ「kanako2D」を用いた。

(2)計算条件の設定

①地形

縦断形は、崩壊発生前の航空写真より DEM (数値高 モデル)を作成し、最深河床を結んだものとした。土石 流の流下幅は、土石流発生後のレーザープロファイラに よる DEM と DSM (数値表層モデル)を比較することで推 定した。堆積域については土石流発生後の航空写真か ら流下幅を推定した(図-3)。

②粒径

粒度分布は土石流発生後の巨礫調査、土石 流堆積物の断面写真および堆積域の粒度試験結果を 合成して作成した(図-2)。計算では ϕ_c を変化(ϕ_c = 0,10,30,100(mm))させた。

③ハイドログラフ

計算区間の上流端のハイドログラフは三角波形を想定し、土石の総流出量は崩壊地の測量結果から推定された 土石の総量とした。継続時間は、崩土が崩壊斜面長を移動する時間とし、崩壊地末端における水理量が高橋の抵 抗則を満たすものとして、各 *øc*でのハイドログラフを設定した。

④その他の主な条件

*C**は 0.6、粗度係数を 0.06、初期の河床 の堆積層厚を 5m とした。

3.3 計算結果

土石流下前後の河床変動高について計算 結果および現地の計測結果を図-4 に示す。な お $\phi_c=0$ mm は土石流中の土石は全て固相と して扱ったケースである。 $\phi_c=30$ mm のとき土 石流の到達距離や河床変動の傾向の再現性 が高かった。

3.4. 計算結果の検証

粒径 30mm の沈降速度(Rubey の式より算出)は、34(cm/sec)であった。一方、摩擦速度はシミュレーション結果の平均水深を用いると195(cm/sec)となり、粒径 30mm の沈降速度の約6倍大きかった。これは、粒径 30mm までの土砂は液相に取り込まれる可能性があることを示している。

4. まとめ

土石流中において液相とみなせる細砂の最大粒径 ø。を導入し、土砂濃度、間隙流体の密度、代表粒径の定式化 を行った。そのうえで数値計算を行った結果、深層崩壊に起因する土石流の再現性が高まることが確認できた。また、 最も良く土石流の流下・堆積過程を再現できた ø。の値は沈降速度と摩擦速度の関係から見ても、矛盾しない結果とな った。大規模な山腹崩壊に起因する土石流対策技術が確立されていない現状において、本研究の考え方を適用する ことにより、大規模な土石流の流下過程を推定できる可能性が示唆された。

【参考文献】1)江頭·高橋(2004):日本流体力学会数值流流体力学部門 web 会誌,第 12 巻第 2 号,pp.33~43 2)中 川·高橋·里深·立川·市川·吉田·中村(1998):京都大学防災研究所年報,第 41 号 B-2,pp.287~298 3)江頭·本田· 宮本(1998):水工学論文集,第 42 巻, pp.919~924



