深層崩壊に起因する土石流の数値計算における条件設定手法の検討

(独) 土木研究所　○西口幸希(現　建設技術研究所)
国土交通省　国土技術政策総合研究所　　内田太郎
(独)土木研究所　　山越隆雄、石塚忠範
立命館大学　　里深好文
京都大学　　中谷加奈

1. はじめに

深層崩壊に起因する土石流は、2003 年の熊本県水俣市の土石流のように、下流の人命・家屋に甚大な被害を招く恐れがある。これまで深層崩壊に起因する土石流の数値計算に関して多くの検討が進められ、数値計算手法が提示されてきた(例えば中川ら[1)]、西口ら[2)])。これらの研究の多くは、実際に発生した土石流の再現計算によりその手法の妥当性を評価することを重視したもので、将来生じうる現象の予測手法を検討したものは少ない。さらに、再現計算に用いる入力条件には、土石流流下幅、総流量など、発生後の実績より推定可能な条件が含まれている場合が多い。すなわち、今後発生しうる深層崩壊に起因する土石流の流下過程を推定することを目的として土石流の数値計算を実施する際には、これらの条件を事前に推定しなければならないこととなる。しかしながら、これらの設定手法は確立されていないのが現状である。そこで、本研究では、これらの入力条件が計算結果に及ぼす感度および影響を分析し、重要な入力条件を把握するとともに、それらの設定手法の整理を試みた。

2.数値計算

西口ら[2)]は、深層崩壊に起因する土石流中では、細砂は間隙水と一体となって挙動すると仮定し、細砂の最大粒径を定義したうえで土石流の土砂濃度、流体密度、平均粒径の算定式および粗礫の連続式を提示した。

本研究では、将来発生しうる深層崩壊に起因する土石流において、崩壊土砂の容積濃度と河床の容積濃度の差が大きい場合には、河床の侵食・堆積に伴う流体密度の時間変化を考慮する必要があることに留意し、従来の西口ら[2)]の手法に、細砂の侵食・堆積に関わる連続式((1)式)の新たな導入および、既往の流体密度算定式の更新((2)式))を図った数値計算手法を用いた。

$$\frac{\partial C_f h(1-C_d)}{\partial t}+\frac{\partial C_f u h(1-C_d)}{\partial x}=iC_* P(D_c) \quad \cdots\cdots (1)$$

$$\rho_m=\sigma C_f+\rho(1-C_f) \quad \cdots\cdots (2)$$

ここで C_d は粗礫の土砂濃度、C_f は流体相中の細砂の土砂濃度、hは水深、u は流速、i は侵食速度、σ は砂礫の密度、ρ は水の密度、$P(Dc)$は全土石に占める粒径が Dc 以下の土石の割合、C_*は河床の移動可能層の全ての土石の容積濃度である。

3.手法

3.1 対象とする条件

本手法における主な入力条件は、再現計算時の設定方法により、「発生前計測により得られる条件」、「発生後の実績に基づく条件」、「再現するよう同定した条件」、「一般値」の 4 つに分類できる(表-1)。本研究では、将来予測の計算において、設定手法が確立されていない、あるいは再現計算時よりも値の精度が低くなると考えられる「発生後の実績に基づく条件」の流下幅、総流量(崩壊規模)、代表粒径、侵食可能深を対象とした。

3.2 感度分析

数値計算の入力条件(総流量(崩壊規模)、流下幅、侵食可能深、代表粒径)を実績の取り得た範囲で変化させた場合に、計算結果(ピーク流量、総流出量、土石流の到達距離)に及ぼす影響を、感度分析により検討した。数値計算は集川の事例を対象とし、各入力条件の最大値、最小値、集川の諸元の3ケースずつ行った。また計算結果の総流出量およびピーク流量は、実績の侵食区

表-1　入力条件の分類

主な入力条件		発生前計測	発生後実績	同定	一般値
地形条件	縦断形	●			
	流下幅		●		
供給条件	総流量(崩壊規模)		●		
	清水量	●			
	代表粒径		●		
	細砂の最大粒径			●	
河床条件	侵食可能深		●		
	河床の容積濃度				●
	粗度係数				●

間から堆積区間に変化する地点で評価した。

各入力条件の最大値、最小値は、近年の深層崩壊に起因する土石流の実績の範囲より求めた(表-2)[3)]。渓流 No.1-10 の崩壊規模の実績は、発生後の現地調査または発生前後の数値標高モデルの差分より算定した結果、2 万 -150 万 m^3 の範囲であった。渓流 No.1-4 の流下幅の実績は、発生後の航空写真判読または、発生後の数値標高モデルおよび数値表層モデルのデータの重ね合わせによる裸地部分の幅を算定した結果、10-120mの範囲であった。渓流 No.1-5 の侵食深の実績は、発生前後の数値標高モデルの差分により求めた結果、0-10m の範囲であった。また、土石流の粒度分布を渓流No.1-4および6について、巨礫調査結果、土石流堆積物の粒径の写真判読および土砂のふるい分け試験結果を合成して求めた結果、土石流の代表粒径は 0.39-1.17m の範囲にあった。

表-2　近年の深層崩壊に起因する土石流発生事例

No	渓流名	発生年月
1	集川 （熊本県）	2003年7月
2	船石川 （鹿児島県）	2007年7月
3	片井野川 （宮崎県）	2005年9月
4	七瀬谷(宮崎県)	2005年9月
5	大用知 （徳島県）	2004年8月
6	針原川(鹿児島県)	1997年7月
7	春日谷 （三重県）	2004年9月
8	別当谷 （石川県）	2004年5月
9	宇原川 （長野県）	1981年8月
10	ドソウ沢 （宮城県）	2008年6月

4. 結果

計算結果のピーク流量、総流出量、土石流の到達距離に対する感度分析結果をそれぞれ図 1 (a),(b),(c)に示す。図の横軸は、入力条件の実績の範囲を、集川の入力値を 1 とした場合の倍数表示とし、縦軸は、計算結果のピーク流量、総流出量、土石流の到達範囲を、集川の結果を 1 とした場合の倍数表示とした。なお、図中の(1.1)で交差する破線は、入力条件の倍数と計算結果の倍数が等しい関係を示す。これらの線で区切られる領域の上側と下側は、入力条件の変化よりも計算結果の変化が大きい範囲、これらの線で区切られる領域の左側や右側は入力条件よりも計算結果の変化が小さい範囲を表す。

入力条件の変化に対して計算結果の変化が大きい条件は、ピーク流量の結果に対しては、代表粒径および流下幅の条件、総流出量の結果に対しては代表粒径の条件が該当し、土石流の到達距離に対する該当条件はなかった。また、入力条件の実績の幅が広いために、計算結果(縦軸)の取り得た範囲の幅が1オーダを超える条件は、ピーク流量の結果に対する、代表粒径および総流出量(崩壊規模)の条件であり、その他は、入力条件の実績の範囲に対する計算結果の幅は1オーダ未満であった。

5. まとめ

本手法による深層崩壊に起因する土石流のピーク流量の推定では、流下幅設定のための対象渓流の河道横断形状の調査、代表粒径設定のための対象渓流周辺の既往深層崩壊による土石流堆積物の粒径調査、崩壊規模の想定が重要となる。また総流出量の推定には、同様な粒径調査が重要であることが分かった。ただし、土石流堆積物の粒度分布は空間的なばらつきが大きいことが推定されるため、粒径の調査手法の確立が必要と考えられる。

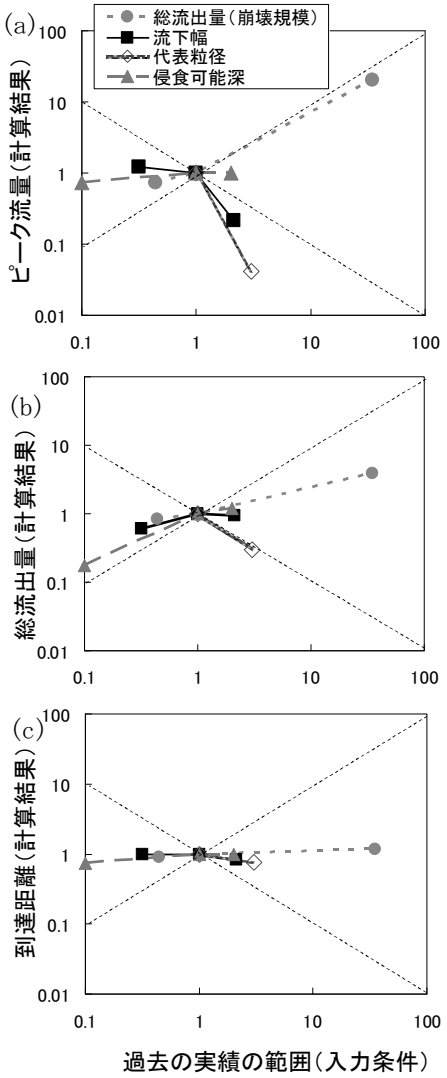

図-1　感度分析結果
(a)ピーク流量に対する結果
(b)総流出量に対する結果
(c)土石流到達距離に対する結果

【参考文献】1) 中川　一・高橋　保・里深好文・立川康人・市川　温・吉田義則・中村行雄 (1998)：平成 9 年鹿児島県出水市針原川で発生した土石流災害について，京都大学防災研究所年報，Vol.41，B-2，pp.287－298　2) 西口幸希・内田太郎・石塚忠範・里深好文・中谷加奈 (2011)：細粒土砂の挙動に着目した大規模土石流の流下過程に関する数値シミュレーション―深層崩壊に起因する土石流への適用―,砂防学会誌,Vol.64,No.3,pp.11-20　3) Yuki NISHIGUCHI, Taro UCHIDA, Nagazumi TAKEZAWA,Tadanori ISHIZUKA, Takahisa MIZUYAMA: Runout Characteristics and Grain Size Distribution of Large-scale Debris Flows Triggered by Deep Catastrophic Landslides, Special Issue on International Journal of Erosion Control Engineering(in press)