

土石流発生時のハイドログラフが到達範囲等に及ぼす影響に関する数値実験

(株) 建設技術研究所 ○西口幸希
国土交通省 国土技術政策総合研究所 内田太郎
京都大学大学院 農学研究科 水山高久

1. はじめに

土石流による被害を再現・予測するうえで、数値計算が広く用いられてきている。これまで実施されてきた土石流の流下・氾濫に関する数値計算の多くは、計算区間を設定し、上流端にハイドログラフを与え、土石流の流下、氾濫、侵食・堆積状況を計算するものである。これまでの土石流発生時のハイドログラフは、タンクモデルや貯留関数等の流出解析結果を用いた方法¹⁾などや、砂防基本計画策定指針による土石流総量を用いた方法²⁾など等により設定されている。

しかしながら、土石流の発生機構は複雑であり、土石流の発生直後のハイドログラフを予想することは難しい。再現計算を行う際にも、現地調査や空中写真判読等により、総流出土砂量についてはある程度推定できるものの、実際の波形を把握することは難しく、崩壊土砂が1波で流出したのか、複数波に分かれて流出したのか、土石流の継続時間はどの程度か、については不明な場合が多い。

計算上流端のハイドログラフには、不確実性が含まれているにも関わらず、ハイドログラフが数値計算結果に及ぼす影響に関する知見はあまり得られていない。そこで西口ら³⁾は2003年に熊本県集川で発生した深層崩壊に伴う土石流に対して、供給ハイドログラフを変化させた数値実験を行った。その結果、崩壊土砂量が同じでも、土砂供給のタイミングによって、下流のピーク流量や総流出量に違いが生じるものの、継続時間がある程度小さい範囲では下流におけるこれらの差は小さいこと等を示した。本研究では、他流域で同様な数値実験を行うとともに、土石流発生時のハイドログラフが、河床変動や到達範囲に及ぼす影響について検討を行った。

2. 手法

2.1 対象土石流と計算モデル

2003年熊本県集川の土石流および2004年宮崎県片井野川の土石流を対象とした。集川の崩壊地直下の溪床勾配は約20度で、崩壊直下から約900mの区間は侵食が卓越し、その下流で堆積が生じた。片井野川の崩壊地直下の溪床勾配は約10度で、全区間が堆積区間であった。本検討の数値計算では、西口ら⁴⁾によって、土石流の到達範囲を良好に再現できた数値計算モデルおよびパラメータの設定手法を用いた。

2.2 ハイドログラフの条件

西口ら⁴⁾における手法によるハイドログラフをケース

0(C-0)とする。これは、ハイドログラフの総流出量(土砂+水)は、崩壊土砂量(空隙込み)とし、計算区間上流端の土石流の先頭と末尾の長さが崩壊地の長さと同じと仮定して求めた1波の三角形ハイドログラフである。この継続時間を T_0 、ピーク流量 Q_0 とすると、集川、片井野川の T_0 と Q_0 はそれぞれ10秒と4270 m³/s、101秒と5387 m³/sである。本研究では、総量は一定とし、継続時間を変化させた場合や、2波が発生した場合の2波の土石流規模を変化させた場合のハイドログラフを設定した(表-1)。表中ケース2.1~2.5における2波の発生時間は1波目が発生した10分後とした。

3. 結果

片井野川ではいずれのケースも河床変動量の縦断分布にあまり違いが生じなかった。C-0、1.1~1.5の結果を例に図-1に示す。集川ではハイドログラフの波形の違

表-1 ハイドログラフのケース

ケース(C)	土石流の波数	1波の継続時間($T_0 \times n$)*	1波目と2波目のピーク流量比
0	1	$T_0 \times 1$	-
1.1	1	$T_0 \times 0.5$	-
1.2	1	$T_0 \times 2$	-
1.3	1	$T_0 \times 10$	-
1.4	1	$T_0 \times 20$	-
1.5	1	$T_0 \times 50$	-
2.1	2	$T_0 \times 1$	1:5
2.2	2	$T_0 \times 1$	1:5
2.3	2	$T_0 \times 1$	1:1
2.4	2	$T_0 \times 1$	2:1
2.5	2	$T_0 \times 1$	5:1

*1波のピーク流量は $Q_0 \times 1/n$ である

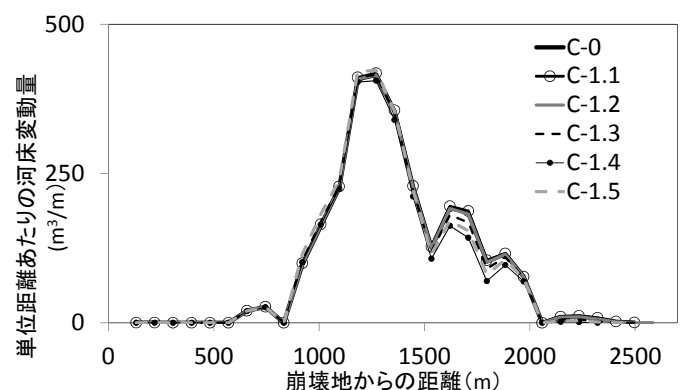


図-1 片井野川におけるケース0、1の計算結果

いによる、侵食域の河床変動量への影響はあまり生じなかったが、侵食域と堆積域の境界位置は、上流端ハイドログラフの波形によって違いがみられた。侵食域と堆積域の境界が他と比べて上流側にあった C-1.4, 1.5, 2.4, 2.5 では、到達距離も短くなる傾向にあった。侵食域と堆積域の境界位置の違いの詳細は以下のとおりである。

(1) 継続時間が異なるハイドログラフ

継続時間が短い方が、侵食域と堆積域の境界は約 50–200 m 下流側となる傾向にあった(図-2 上図)。ここで C-0 と C-1.5 の結果を時系列でみると、いずれも崩壊地から約 560m の勾配変化点で一旦土砂堆積が生じた。C-0 では、流量の時間変化が大きく、42秒後に4mの急激な堆積が生じ、本区間で 10 度の急勾配区間が形成されたが、直後に堆積土砂の再侵食が生じ、900m 地点まで侵食域が延びた(図-3)。C-1.5 では勾配変化点で約5分後に1.6m堆積し、最高河床高はC-0の計算終了時と概ね同じ標高であった。流量が小さく、勾配も緩いため、本区間の堆積土砂の再移動はほとんど生じず、C-1.5 より上流の 700m地点で堆積が始まった。

(2) 2波の土石流規模が異なるハイドログラフ

1 波目のピーク流量が 2 波のピーク流量より小さい方が侵食域と堆積域の境界は下流側となる傾向にあった(図-2 下図)。ここで C-2.1 と C-2.5 の結果を時系列でみると、1波目流下後の堆積域上流端は、C-2.1 では崩壊地から約 500 m 地点、C-2.5 では崩壊地から約 700 m 地点であった(図-4)。2波目の流下時には、C-2.5 では土石流規模が小さいため、1波目の堆積域で堆積遡上が生じ、侵食と堆積区間の境界はやや上流に移動したのに対して、C-2.1 では2波目の土石流規模が大きいため、堆積土砂を含む渓床が侵食され、侵食域と堆積域の境界が下流側に移動した。

4. まとめ

土石流計算により到達範囲等を検討する際は、下記に留意してハイドログラフを設定することが重要である。

- (1) 土石流が全区間で堆積する地形においては上流端ハイドログラフの違いが計算結果の堆積形状および到達距離に及ぼす影響は小さい。一方、土石流の侵食区間が存在する地形では、上流端ハイドログラフによって土石流の到達距離は異なる。
- (2) 計算結果の侵食域と堆積域の境界位置が上流側のケースにおいて、土石流の到達距離も短くなる。
- (3) 侵食域と堆積域の境界は、ハイドログラフの継続時間が比較的短く、ピーク流量が大きい場合や、複数波で1波目の土石流規模が小さく、後続の土石流規模が大きい場合に、より下流側に遷移する傾向がみられる。

なお、ここでは到達距離・河床変動に着目した結果を示した。ピーク流量の縦断変化に対する影響も考慮することが重要と考えられる。

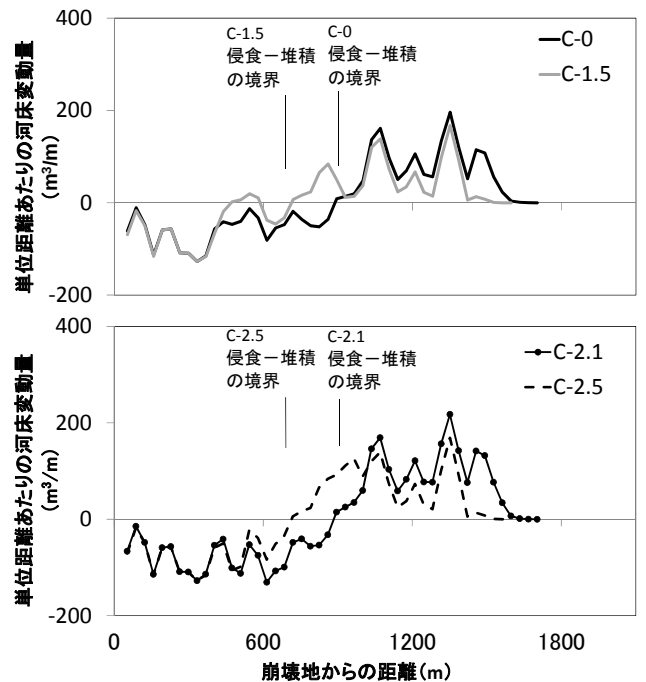


図-2 C-0 と C-1.5 および C-2.1 と C-2.5 の侵食域—堆積域の境界位置の違い

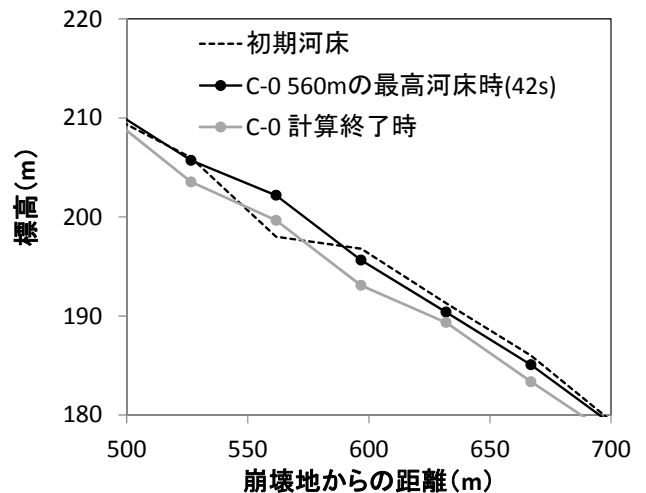


図-3 C-1.0 における勾配変化点の堆積・侵食過

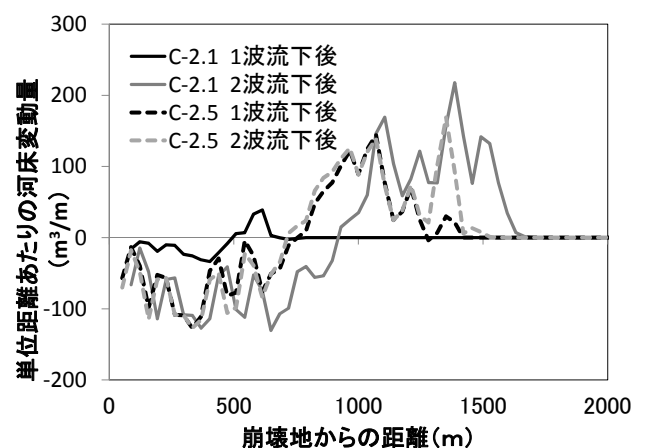


図-4 C-2.1 と C-2.5 の河床変動の違い

参考文献:1) 中川ら(2001), 京都大学防災研究所年報, 41, B-2, 287–298 2) 中谷ら(2009), 水工学論文集, 53, 709–708 3) 西口ら(2013), 砂防学会研究発表会概要集, B-108–109 4) 西口ら(2012), 第6回土砂災害に関するシンポジウム論文集, 167–172