

## 崩壊に起因する土石流の2次元再現計算

(株) 建設技術研究所 ○西口幸希・日名純也  
国土技術政策総合研究所 内田太郎・松本直樹・桜井亘

### 1.はじめに

崩壊に起因する大規模な土石流の流下・堆積を数値計算で表現する際には、土石のうち細粒分のみが間隙水と一体となって層流状態から乱流状態となって移動する、いわゆるフェーズシフトを考慮することが重要であることが指摘されている(例えば<sup>1)</sup>。

またフェーズシフトの程度は、間隙流体の乱れ応力や摩擦速度等の水理条件の影響を受ける可能性がある等の知見が得られてきており(例えば<sup>2)</sup>、近年、これらの知見を数値計算に導入し、細粒土砂のフェーズシフトの設定方法や、フェーズシフトの条件に関する感度分析に関する研究が行われてきている(例えば<sup>3)</sup>。ただし、これらは1次元計算で実施された事例がほとんどである。2次元計算においては、フェーズシフトの有無の影響や、フェーズシフトを考慮しても流体密度を1以上の一定値とした研究はあるものの(例えば<sup>4)</sup>、フェーズシフトの条件が水理量により変化する考え方を導入した研究はあまりない。

そこで本研究では、フェーズシフトが生じる粒径が、水理条件によって時空間的に変化する2次元の混合粒径モデルを用いて、平成27年7月28日に発生した鹿児島県垂水市深港川地区の土石流の再現計算を実施した。さらにフェーズシフトの条件が計算結果に及ぼす影響を検討した。

### 2. 計算モデル

本研究では、混合粒径に対応し、土石流から掃流までの土砂移動を連続的に解析する2次元計算モデルを用いた。土石流・掃流状集合流動区間の抵抗則は高橋の式をもとに設定している。

本モデルは、土石流領域では、層流で移動する粗粒土砂と乱流で移動する細粒土砂を、掃流状集合流動領域では砂礫移動層中の粗粒土砂・細粒土砂と水流層中の浮遊砂を、掃流区間では掃流砂および浮遊砂を対象とした既往モデル<sup>5)</sup>を2次元化したモデルである。また既往研究<sup>6), 7)</sup>から、次式の条件を満たす粒径 $d_k$ はフェーズシフトしうるとした。

$$u_* > \alpha W_k \quad (\text{式1})$$

ここに、 $u_*$ : 摩擦速度、 $W_k$ : 粒径 $d_k$ の沈降速度、 $\alpha$ : 係数である。

### 3. 再現計算の実施

#### 3.1 対象とする土石流

本研究では平成27年7月28日に鹿児島県の深港地区で発生した土石流を対象とする。現地では同日に無降雨の状態でも2回の崩壊および土石流が発生し、約1.1km流下した。崩壊地からの総流出量は、災害前後の2時期のLPの差分より、2波の土石流の合計で91,000 m<sup>3</sup>であった。土石流の粒度分布は、現地調査結果より平均粒径は14 cm、2 mm以下が46%程度占めていた。崩土の平均間隙率、平均土粒子密度は、崩壊地斜面の採取土砂の計測によりそれぞれ0.49、2.46であった。崩壊地を撮影したCCTVの画像より、第1波の継続時間は25秒程度、第2波の継続時間は23秒程度であった。

#### 3.2 計算条件

計算メッシュは、深港川の流下方向をX軸、流向に直交する方向をY軸とした5mの矩形メッシュを作成した。崩壊地上流端の60m下流を計算開始位置とした。供給ハイドログラフの総量はLPの差分より、2波の継続時間はCCTVより設定し、第1波と第2波の総流量の割合は1:1と仮定して設定した。侵食速度係数は0.0007、堆積速度係数は0.0005とした。粒径は実測の粒度分布を10区分した。移動可能層厚は、計算開始点から300m区間の侵食域で実績の侵食深、露岩箇所でも0mとし、流路工区間で0m、その他の領域で3mとした。

本研究ではフェーズシフトの条件を変化させた3ケースを実施した(表1)。なお、既往研究<sup>9)</sup>では水理実験により、式1の $\alpha$ は2~4と推定されている。

#### 3.3 計算結果

実績および計算結果の河床変動図を図1に、崩壊地から約1km下流の国道220号付近でCCTVより判読した実績の水深および計算結果の水深の時系列変化を図2に示す。ここで水深とは、土砂堆積深を含めた水深である。災害後、LPデータを取得するまでに流路工区間で除石を実施したため、図1d)の流路工区間で顕著な堆積が顕れていないが、CCTVより国道220号付近で2波とも土石流の流下状況が確認されている(図2)。

図1より、実績では領域Aで主に侵食が生じているが、C1では堆積が卓越した。また領域Bや領域Cでの堆積範囲や堆積深は、実績よりも小さかった。一方C2、C3では、領域Aの侵食範囲や侵食深、領域Bおよび領域Cの堆積範囲や堆積深の

表 1 計算ケース

ケース	フェーズシフトが生じる条件
C1	なし
C2	式 1 の $\alpha = 4$
C3	式 1 の $\alpha = 1$

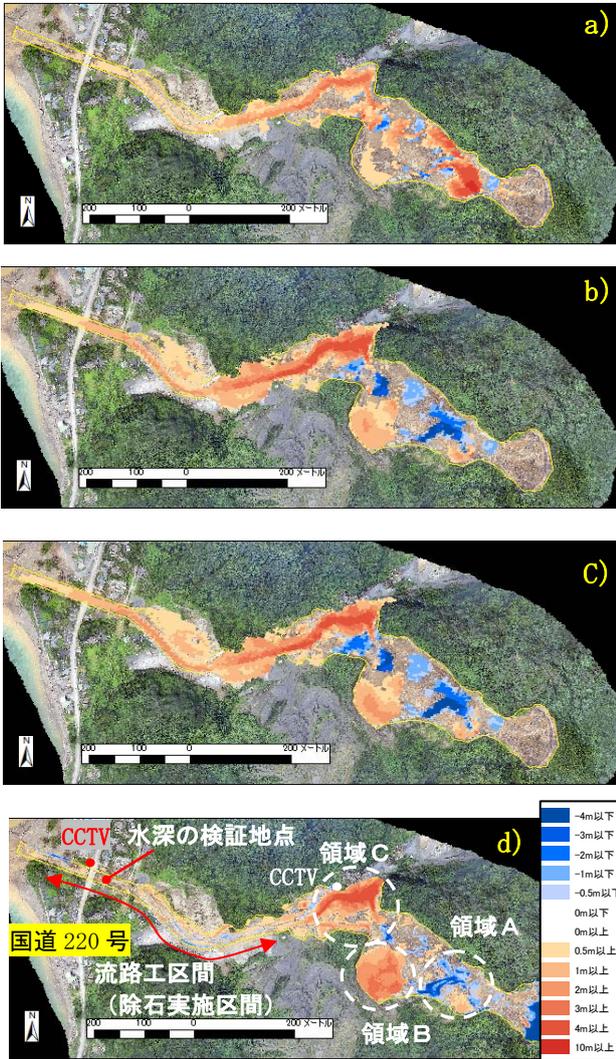


図 1 計算結果および実績の侵食・堆積深  
(a) C1, b) C2, c) C3, d) 実績

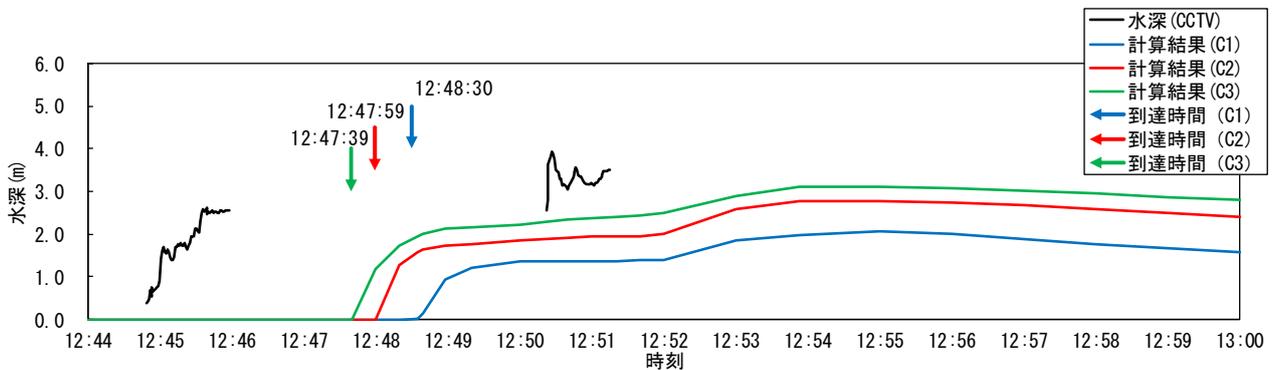


図 2 国道上流 20 m 地点での計算結果と実績の水深の時系列変化

いずれも実績と概ね一致し、再現性が高かった。

国道上流 20 m 地点の土石流の到達は、C1、C2、C3 でそれぞれ実績から約 3 分、約 2 分半、約 2 分遅れた。また 1 波目の水深は実績で約 2.5 m であったのに対し、C1 で約 1.3 m、C2 で約 1.9 m、C3 で約 2.4 m となり、C3 のとき実績と概ね整合した。2 波目が到達した際の水深 (堆積深) は実績で 3.0 ~ 3.5 m であり、計算では C3 が最も高い水深で実績と同程度であった。

#### 4. まとめ

本研究では摩擦速度と沈降速度の比に応じて、細粒土砂のフェーズシフトが生じると考え、2 次元モデルによる再現計算を実施した。その結果、フェーズシフトを考慮することにより、上流区間で侵食が生じやすく、下流の堆積範囲や堆積深が大きくなり、実績と整合した。対象地域では、局部的に低くなっている範囲や湾曲部があり、これらの箇所では横断方向に侵食・堆積の偏りがみられる。本検討の 2 次元計算により、これらの再現が可能であった。

またフェーズシフトが起こりやすい条件では土石流の水深はより大きくなり、 $\alpha = 1$  のときに最も再現性が高いことが確認された。

一方、土石流の到達時間が実績に比べて遅れる傾向にあったことは、2 次元メッシュの向きと流下方向がずれる区間 (流路工の上流区間等) が存在することが主な原因と考えられる。

今後、対象現象の規模等の特徴と、 $\alpha$  の設定値との関連に着目するなど、適切なフェーズシフト条件の設定方法を検討することが重要と考える。

【参考文献】1) 芦田・江頭 (1985) 京都大学防災研究所年報, Vol. 28, B-2, 2) 中谷ら (2018) 砂防学会誌, Vol. 70, No. 6, 3) 西口ら (2017) H29 砂防学会研究発表概要集, 4) 竹林・藤田 (2015) 平成 27 年度砂防学会研究発表会概要集, 5) 内田ら (2016) 平成 28 年度砂防学会研究発表概要集, 6) 嶋ら (2014), 平成 25 年度砂防学会研究発表概要集, 7) 西口 (2014) 京都大学学位論文