

砂防ダムの影響を考慮した土石流流動シミュレーション

鉄道総合技術研究所 正会員 ○阿部慶太 川越 健
富士通エフ・アイ・ピー 田中宏樹 塩見和利

1. はじめに

近年、局所的な大雨や集中豪雨による河川氾濫、浸水被害および土砂災害の発生が多くなっている。特に土砂災害においては、土石流が発生した場合、人的、インフラ被害は甚大になる。一方、マルチパラメータレーダーの利用による降水ナウキャストが気象庁より提供され、豪雨発生の予測が可能になってきている。さらに、フェーズドアレイ気象レーダーの利用により、秒単位で豪雨発生状況を検出し、ビックデータ解析を介して精緻に豪雨を予測する試みも行われている。これらの予測された豪雨情報を用いて地すべり発生および土石流の流動範囲予測が可能になれば、人的、インフラ被害低減に大きく貢献できるものと考えられる。本件では、その一環として、豪雨情報に基づき地すべり発生領域が特定された後に、土石流の流動範囲を予測する手法の構築に向けて、粒子法を用いた既往の土石流発生事例のシミュレーションを行った。

2. 解析手法の概要

本件では、支配方程式に浅水流方程式を用い、粒子法の一つである、Material Point Method¹⁾(MPM)の方法で離散化されたアルゴリズムで計算を行う手法²⁾を用いた。図-1にこの手法を用

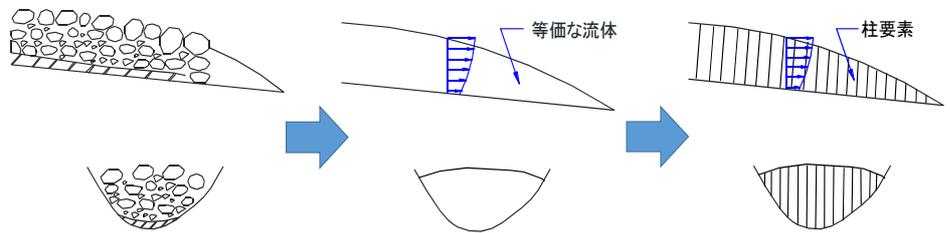


図-1 土砂の柱群モデル化 (上図：流下方向, 下図：流下直交方向)

いて土砂を柱群でモデルするイメージを示す。土砂を等価で均質な流体とみなし柱群の集合で表す。この手法を用いることで、粒子群で直接土砂をモデル化する手法に比べ、少ない計算負荷で解析することができる。さらに、土砂に作用する力を、柱要素間の相互作用力、底面摩擦力および自重により、容易に少ないパラメータで表現することができる。一方、粒子群でモデル化する手法のように、固相、液相間の相互作用メカニズムを陽に表現することはできない。本件では、実用的な土石流の流動範囲予測手法の構築に焦点を絞り、柱群でモデル化する手法を用いるものとした。

3. 解析対象

図-2に示す平成9年7月10日に発生した鹿児島県出水市針原川流域における大規模深層崩壊による土石流災害³⁾を解析対象とした。本災害は、集中豪雨で発生した針原川上流部での深層崩壊を源とし、土砂が土石流となって流下した後、下流の集落で人的、建物被害をもたらした。また、土石流流下域には砂防ダム(高さ14m、堤長85m、貯砂量2.2万m³、流域面積0.65ha)が建設されていた。文献³⁾

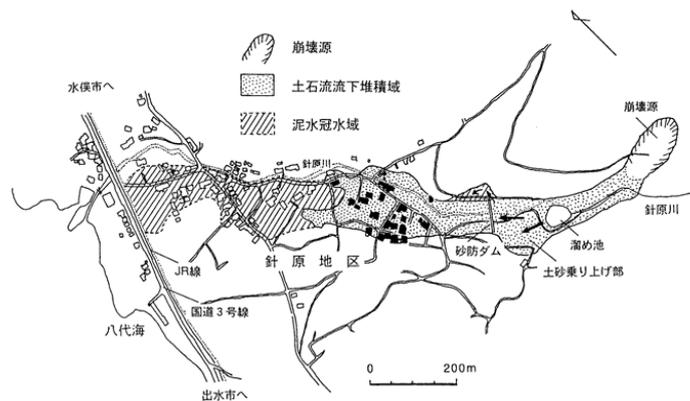


図-2 針原川流域の土石流災害の状況³⁾

によれば、推定崩壊土砂量は16万m³、砂防ダムまでの土石流の最大速度は20.2m/sと推定されている。

4. 解析モデル

地形データは国土地理院提供の基盤地図情報でモデル化し、崩壊土砂の初期位置は図-2を参照して決定した。表-1に解析パラメータを示す。本手法ではMPMと同様に構成則を用いることができるため、バイリニア

キーワード 土石流, シミュレーション, 粒子法, 砂防ダム

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 (公財)鉄道総合技術研究所 TEL042-573-7261

型の Drucker-Prager モデル（非関連流れ則）を用いた。表-1 に示す地盤の諸数値は、崩壊土砂の地質が風化安山岩であること踏まえ、N 値が小さい砂質土として設定した。柱要素間の相互作用力は、構成則と土砂のひずみから計算された有効応力で求められる。底面摩擦力にはニュートン流体モデルを用い、底面有効摩擦角は等価摩擦係数（崩壊斜面の頂部から移動土砂の先端部までの水平距離 L と比高 H との正接 H/L ）より求めた。また、砂防ダムの有無を考慮し解析を行った。ダムが有るケースでは、砂防ダムの位置の背面格子点に仮想の境界を設定し、砂防ダムを含むように設定した土砂堆積判定範囲内で、速度がほぼゼロの柱群の全体積が上述の貯砂量を超えた場合に境界が消失するようモデル化した。

表-1 解析パラメータ

パラメータ	数値
底面摩擦角 (°)	7.40
内部摩擦角 (°)	30.0
湿潤密度 (g/cm ³)	1.74×10 ³
ヤング係数 (kPa)	2.50×10 ³
ポアソン比	0.30
ダイレイタンスー角 (°)	0.0
引張強度 (kPa)	0.0
粘着力 (kPa)	1.0×10 ⁻¹
間隙率	0.50
粘性係数 (Pa・s)	5.0
全柱要素数	2721
背面格子長 (m)	10.0
時間間隔 (s)	1.0×10 ⁻⁴

5. 解析結果

図-3 に土砂がほぼ静止した 75 秒後までの土砂の深さ(m)のコンター図を示す。砂防ダムが有るケースでの土砂の堆積範囲の解析結果は、図-2 に示す「土石流流下堆積域」と同等である。また、砂防ダムが無い場合は、有る場合に比べ土砂の到達距離が大きい。なお、解析における砂防ダム到達までの最大平均速度は 19.7m/s であり、推定速度(20.2m/s)と同等であることを確認した。図-4 に図-3 中に示す出力点での土砂の速度と深さの時刻歴を示す。砂防ダムの影響により最大速度が小さく、到達時間が遅く、土砂深さが小さくなった。以上より、砂防ダムの影響も含め土石流の流動範囲を概ね再現できることを確認した。

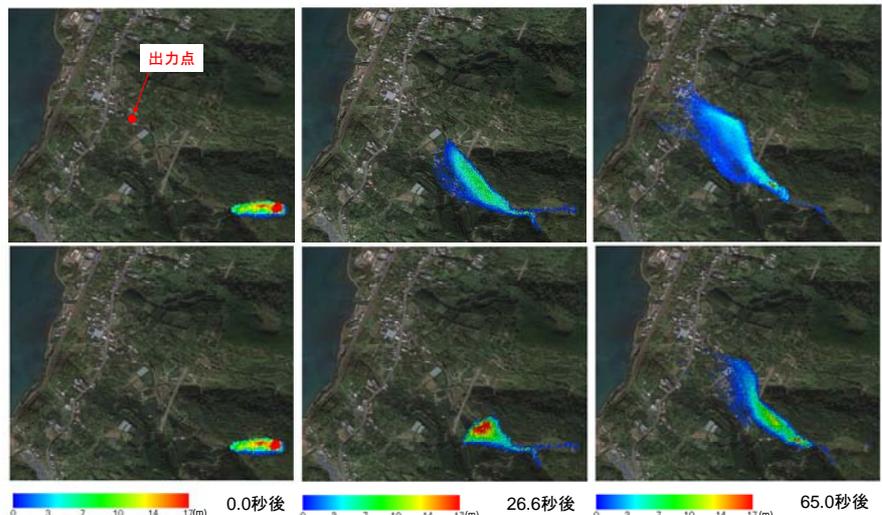


図-3 解析結果（上図：砂防ダム無し，下図：砂防ダム有り）

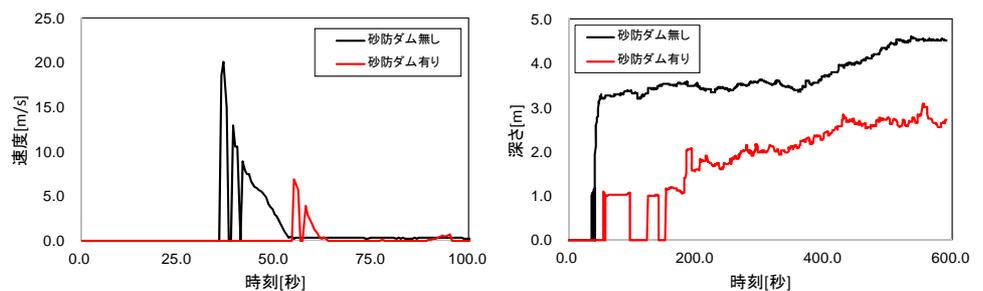


図-4 出力点での土砂の速度と深さの時刻歴

6. まとめ

土砂を柱群でモデル化し粒子法のスキームで計算する手法により、土石流の流動範囲を砂防ダムの影響も含めて再現できることを確認した。今後は、解析事例数を増やし流動範囲予測手法の構築に向け深度化する。

謝辞 本研究は、総合科学技術・イノベーション会議の SIP 「レジリエントな防災・減災機能の強化」により実施しました。

参考文献

1) Sulsky, D. et al. : “A particle method for history-dependent materials,” *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, Vol. 118, pp. 176–196, 1994. 2) 阿部ら：MPM を応用した高速長距離土砂流動の運動範囲予測のための数値解析手法，土木学会論文集 C, Vol. 63, pp. 93–109, 2007. 3) 防災科学技術研究所：1997 年 7 月鹿児島県出水市針原川土石流災害調査報告，主要災害調査，第 35 号，1998.