

離散要素モデル(SPH)を用いた支川合流点で形成された天然ダム再現の試み
ー昭和9年手取川上流域で発生した天然ダムの事例ー

国土交通省北陸地方整備局 金沢河川国道事務所 藤田重敬 餅田大輔
名古屋工業大学 都市社会工学科 前田健一
株式会社パスコ ○ 筒井胤雄 杉井大輔 平林大輝

1. はじめに

近年発生している天然ダムは、地震や降雨などにより崩壊地直下で天然ダムが形成されている事例が多く、崩壊した土砂が流動化して流下し、支川合流点で天然ダムを形成するような事例は少ない。このような事例は決壊までの時間も短く記録が残っていないことが多い。

近年では、深層崩壊の発生箇所を予測する調査が全国的に行われているが、今後は大規模崩壊の発生箇所のみならず、崩壊土砂が流動化して、下流域で天然ダムを形成する可能性のある箇所を予測することも重要である。

土石流シミュレーション技術は、混相流として扱う連続体モデルが一般的であり実用化が進んでいるが、地すべり崩壊からの流動化や岩屑なだれ、地震時の土石流など、崩壊が流動化して流出し、天然ダムを形成するといった複雑な現象を一連で解析した事例は少ない。

このように、地すべり等の崩壊が流動化して急勾配区間を流下するような場合には、離散要素モデルが有効と考えられ、中谷ら(2005)は平成16年5月17日手取川上流域別当谷で地すべり崩壊から発生した土石流の流下現象を個別要素法で再現検証(以下、H16災害検証とする)している。

昭和9年の災害では、被災者の証言記録等により、手取川上流域の別当谷及び湯ノ谷から、それぞれ別当谷大崩れ(V=約460万m³)、百万坪大崩れ(V=約300万m³)と呼ばれる大規模崩壊から流動化した土砂が流下し、2つの支川合流点にて天然ダムが形成され、約30分後に決壊したとされている(以下、S9災害とする)。

本文では、この事例を基に、離散要素モデル(Smoothed Particle Hydrodynamics; 以下 SPH と略す)を用いて再現計算を試みた。

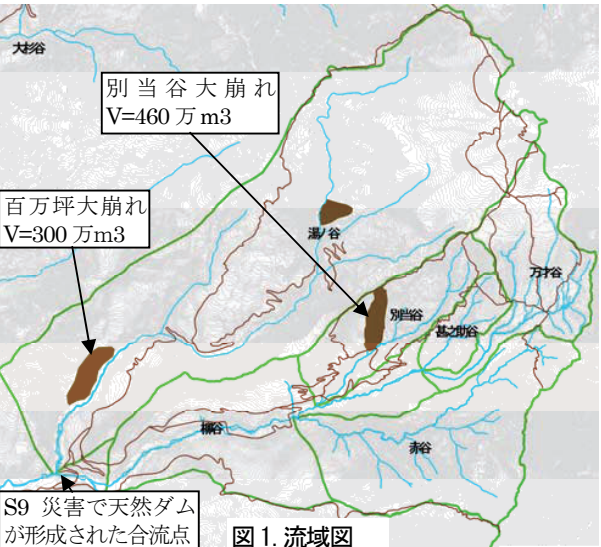


図1. 流域図

2. 再現計算

1) 計算手法

解析手法は、H16災害検証で再現計算を行い、その後感度分析及び模型実験により検証が行われている個別要素法のパラメータを用いるが、数百万～数千万オーダーの土砂移動を取り扱う場合、この手法では限界がある。従って、個別要素法と同様のパラメータを使え、計算時間の短縮が可能なSPH法を採用した。SPH法は、宇宙物理分野から発達した手法で、物理量を有して運動する粒子素片(半径h)を格子としたlagrange的手法である(Lucy,1977;Gingold・Monaghn,1977)。注目する粒子素片の中心x(位置ベクトル)における物理量f(x)は、影響範囲内にある粒子素片x'の物理量f(x')を平滑化関数Wによって内挿して計算する。

$$\langle f(x) \rangle = \int f(x') W(x-x', h) dx' \dots \dots (1)$$

ここで、式(1)について有限個(総数N個)の粒子素片に離散化するため、次式のように近似式を考える。

$$f_i = \langle f_i \rangle = \sum_{j=1}^N m_j \frac{1}{\rho_j} W_{ij}(x_i-x_j, h) \dots \dots (2)$$

ここに、評価する素片粒子iの位置ベクトル、質量、密度をx_i, m_i, ρ_iとし、近接する素片粒子をjとした。また、Wは半径2hの領域内での積分値が1であり、ここでは3次のスプライン関数を用いた(Gingold・Monaghn,1977)。

2) パラメータの設定

解析パラメータは、H16災害検証のパラメータを基に、SPH法でばね定数に相当するところを直接ヤング率とポアソン比を与えて計算する。従って、SPH法に用いるパラメータは、DEMで用いるパラメータを理論的に置換することが可能である(図2)。

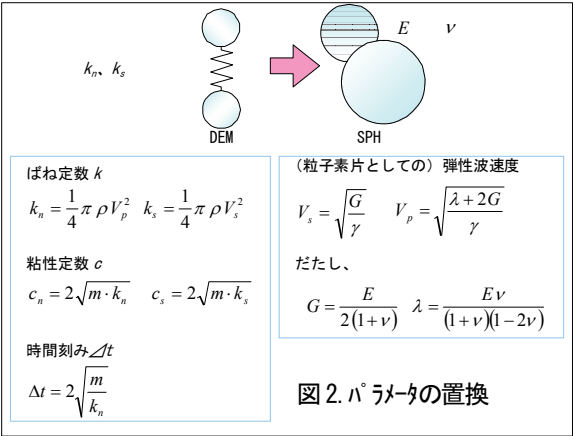


図2. パラメータの置換

本業務の検証解析に先立って、個別要素法とSPH法のパラメータ置換による影響を、簡単な現象(ダムブレイ

ク;図 3) を用いて確認した。個別要素法と SPH 法それぞれ同じ材料の柱を作成し、前面の仮想板をはずして挙動を確認した。先端の到達時間を確認したところ、概ね両手法で一致していることから、モデルとして SPH 法を用いても良いことを確認した。

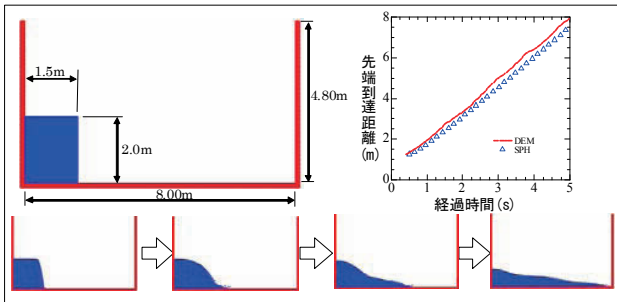


図 3. ダムブレイクシミュレーションによる検証

表 1. 採用パラメータ

パラメータ	単位	粒子間	根拠
粒子塊	m	4~5	計算時間と検証計算により決定し
粒子傾度分布		ガウス分布 (対数)	
粒子密度	kg/m ³	2600	土石流対策技術指針 p8 より
粒子数	個	ケース毎	表-2 計算ケースより
粒子間摩擦係数	deg	30	
水の密度	t/m ³	1.2	土石流対策技術指針 p8 より
時間増分	s	1.0×10^{-5}	
ヤング率	N/m ²	1.28×10^9 N/m ²	
ポアソン比		0.33	

3) 計算ケース

最初に、天然ダムが形成されたとされる合流点に近く、本川に直交する支川湯ノ谷にある百万坪大崩れの影響が大きいと考え case 1 を実施し、天然ダムの形成の有無を検証した後、本川と同時に流出した case3 を実施した。case2 は case1 で想定した現象が得られなかったため、追加ケースとして実施した。

それぞれのケースで配置した土砂量は、case1, 2 では、S9 測量の堆積範囲から河床変動計算により再現された流入土砂量を、case3 は計画流出土砂量を溪床及び崩壊地に配置した。崩壊土量は残土率を考慮した土量とした。

表-2. 計算ケース

計算 ケース	支川(湯ノ谷) 溪床 (万m ³)	支川(湯ノ谷) 崩壊地 (万m ³)	本川(別当谷、甚之助谷等) 溪床 (万m ³)	本川(別当谷、甚之助谷等) 崩壊地 (万m ³)	備考
case1	—	230	—	—	百万坪大崩れ
case2	250	300	—	—	上記+湯ノ谷上流
case3	180	300	2700	300	上記+別当谷大崩れ

4) 計算結果

Case1：百万坪大崩れからの流出土砂による天然ダム形成の有無を確認した。崩壊地下流の溪床土砂も崩壊地を含めた粒子を配置し流下させた。結果、土砂は崩壊直下に堆積し、下流への流下は見られなかった。これは崩壊地直下の河道の勾配が比較的緩いため (1/11~1/12)、H16 災害検証のような急勾配の流れにはならず、百万坪大崩れのみでは合流点まで流下しない結果となった。

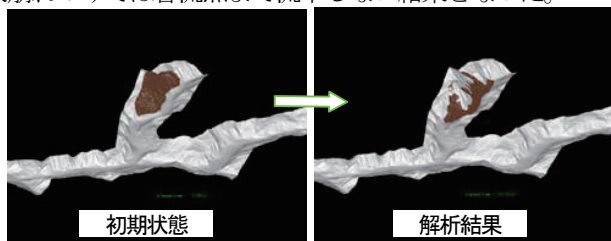


図 4. case1

Case2：流下させる土砂は、湯ノ谷全体の再現計算による流出土砂を主要な河道及び大規模崩壊地に配置し、これらを同時に流出させて計算を行った。

結果は、合流点付近で天然ダムが形成され、S9 災害で発生したと想定される現象が再現できた。

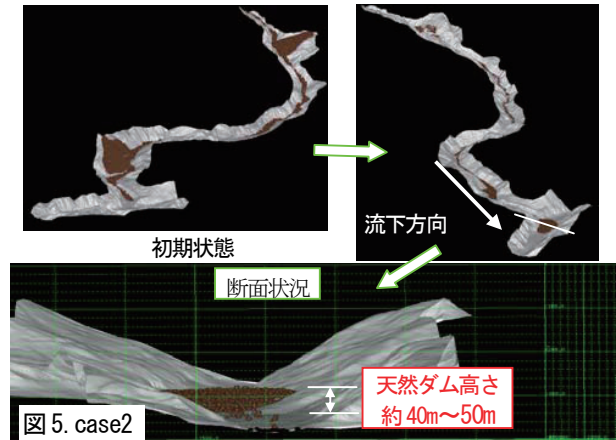


図 5. case2

Case3：別当谷、甚之助谷、湯ノ谷からそれぞれ同時に計画流出土砂量規模の土砂が流出した場合は、天然ダムの規模が更に大きくなることを想定し検証を行った。

結果は、合流した粒子が互いに引きずられるように下流に流下し、合流点では一時的に堆積が大きくなるが、その後、徐々に流下する結果となった。また、S9 災害で天然ダムが形成されたとされる合流点より少し上流の左支川が合流する湾曲部では堆積が大きく、約 20~30m の天然ダムの形成が確認されたが、河床全般に堆積しているため、今回の結果では、その後上流部に貯水して決壊という現象は起こりにくいと考えられる。



図 6. case3

3. おわりに

本再現計算では、被災者の証言記録等から昭和 9 年に発生したと想定されている天然ダムの再現を H16 災害検証で検証されているパラメータを用いて再現を試みた。結果として、本川に直角方向に流入する土砂によって天然ダムが形成される可能性があることが判った。しかし、湯ノ谷及び別当谷から同時に流下させた場合については、S9 規模の天然ダムが形成されず、最初に支川から流出した土砂の影響が大きいことが判った。

今後は、支川から流入した土砂により天然ダムを形成した後、本川から流入した場合の検討などが課題と考えている。

【参考文献】

中谷ら (2005) 急勾配区間での土石流に関する運動学的特性の再現手法について、砂防学会誌 第 58 巻 第 4 号他