

SPH 法による土構造物の侵食解析プログラムの開発

法政大学大学院 学生会員 ○田川幹晃 正会員 酒井久和
立命館大学大学院 正会員 里深好文 学生会員 高山翔貴
鳥取大学大学院 正会員 小野祐輔

1. 研究の背景・目的

近年、我が国では記録的豪雨が毎年のように観測されており、豪雨に伴う盛土や堤防などの土構造物の被害が多数発生している。2016年8月の北海道豪雨では、台風7号、9号、11号の3つの台風が上陸した他、8月30日には台風10号が接近した。これら4つの台風がもたらした豪雨によって周辺の河川の多数の橋梁で河川の侵食によって、橋台背面盛土の流出やそれによる落橋が発生した。橋梁が被害を受けると、救助の遅れや孤立集落を生じる危険がある他、水道管や電線などの添加物が被害を受けると断水や停電など深刻な被害を発生させる。北海道豪雨の被災状況をまとめた青木ら¹⁾の研究によると、橋梁被害のうち、橋台背面盛土の流出が原因となったものは全体の58%であり、橋台背面盛土を保全することが橋梁自体を保全としている。このように非常に重要な土構造物である橋台背面盛土であるが、研究の事例は非常に少ない。そこで、本研究では橋台背面盛土の流出解析の最初の段階として、近年、流体解析や地盤工学分野に適用されているSPH法を用いて土構造物の侵食解析プログラムを開発する。また、開発したプログラムの妥当性を検証するために2013年に里深らが行った天然ダムの越流決壊実験を対象として数値解析を実施した。

2. 越流決壊実験

実験は、2013年に岐阜県高山市奥飛騨温泉郷中尾の京都大学防災研究所穂高砂防観測所の観測領域内にある、ヒル谷試験流域の堰堤下約100mの区間を利用して行われた。実験は、河床に堆積物がなく露岩している河道幅5~6mの場所に、ダム高および、ダム形状の異なる3つのケースを作成し、自然湛水させた後に決壊させている。天然ダム作製には平均粒径1.5mmの比較的均一な粒径の土砂を用いている。



図1 Case1の天然ダム（撮影：里深ら）

3. 侵食メカニズム

3.1 状態フラグの導入

土が固体状から侵食により流動化する粒子の状態の変化を表1のようにフラグ値によって識別する。例えば、盛土内部の粒子は水と接する表層粒子になるまで侵食されず、表層粒子のみに対して3.2の侵食判定を行い、侵食と判定した場合にフラグ値を20~29から30に変更することで粒子の特性を流出粒子に変更し侵食を模擬する。

3.2 侵食判定

表層粒子にはたらく流速のせん断成分もしくは水が表面に衝突する成分が、粒子が動き出す限界の流速

表1 フラグ値と粒子の特性

フラグ値	粒子の特性
10	盛土内部の粒子（内部粒子）
20~29	盛土表面の粒子（表層粒子）
30	侵食された粒子（流出粒子）
40	水粒子
50	壁粒子
60	計算を行わない粒子（不活性粒子）

キーワード：橋台背面盛土 盛土の侵食 越流決壊 SPH法

住所：東京都新宿区市谷田町 2-33 電話番号：03-5228-1406

(以下、限界流速)を超えた時に表層粒子のフラグ値に1を加える。表層粒子のフラグ値の初期値は20であるため、表層粒子にはたらく流速が限界流速を10回超えると、フラグ値は30となり粒子の特性は流出粒子へと変化する。これは、既往の研究²⁾で積分時間間隔の10倍の時間での平均流速を用いていたことを疑似的に再現するためである。

3.3 限界流速

せん断方向の限界流速は、地学の分野で用いられているユルストローム図から求めた。図中の2本の曲線のうち、上の曲線は初動曲線と呼ばれ、粒子が動き出す流速を示している。せん断方向の限界流速はこの初動曲線上の流速とし、実験で用いた土砂の粒径が1.5mmであったことからせん断方向の限界流速は0.45m/sとした。衝突方向の限界流速は解析によって同定し、0.4m/sとした。

4. 越流決壊実験の数値解析

越流決壊実験の各ケースに対して20秒間の数値解析を行った。表2にCase1の解析パラメータを、図3～図5に、Case1の数値解析における形状変化の過程の例を示す。解析では開始4秒ほどで越流が始まった。越流によって侵食が始まると、開始6秒ほどで、図3のように天然ダム下流側表面において、凸部が形成された。実験においても侵食が始まると、ほぼ同じ箇所で見られた。

その後、図3で見られた凸部が侵食を受け消滅する。侵食が進行するとともに、下流側へ水が流れ落ちる箇所(以下、落ち口)が後退していく。落ち口が後退し、図4のように上流側の湛水域に達すると下流側へ流れ落ちていく水の量が増加するため、落ち口の真下付近が集中的に侵食される。実験においても落ち口の真下は落下流によって侵食されるために、同様の傾向が見られた。

落ち口が後退し湛水域に達したことで、天然ダムの上流側においても侵食が始まる。これにより、ダム高さが低下を始める。ダム高さが低下を始めると湛水域に溜まっていた水粒子が一気に下流へ流れ落ちていくために、図5のように侵食が急激に進行し天然ダムは消滅した。これについても実験と同じ形状変化の過程をたどっている。

5. 結論

本研究では、SPH法による土構造物の侵食解析プログラムの開発を行った。プログラムは実時間に対応していないが形状変化の過程は実験とほぼ同じであり、一定の妥当性を確認できた。

参考文献

- 1) 青木卓也, 山梨高裕, 橋本聖, 林宏親: 河川の超過洪水に対応する橋台背面盛土の保全対策技術の検討, 平成29年度土木学会北海道支部論文報告集, 第74号, 2017.
- 2) 後藤仁志, 林稔, 織田晃治, 酒井哲郎: 越流水による河川堤防侵食過程のグリッドレス解析, 水工学論文集, 第46巻, 2002

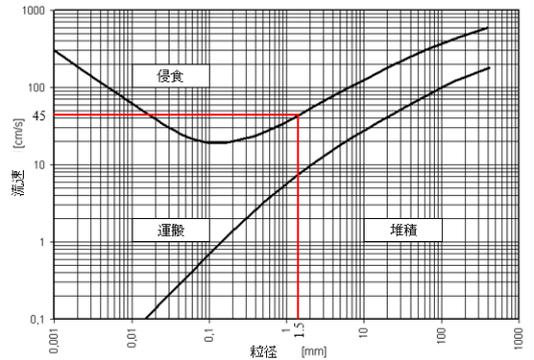


図2 ユルストローム図

表2 解析パラメータ

総粒子数	5487 個
粒子径	0.05m
積分時間間隔	1.0×10^{-4} s
総ステップ数	200000
粘性係数	0.01
水粒子の密度	1.0×10^{-3} kg/m ³
土粒子の密度	2.63g/cm ³

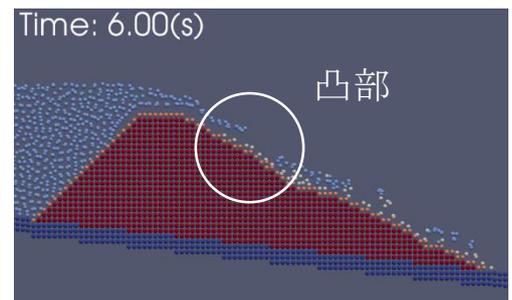


図3 6秒経過時の形状 (Case1)

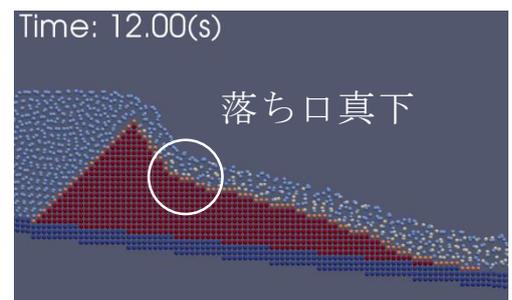


図4 12秒経過時の形状 (Case1)

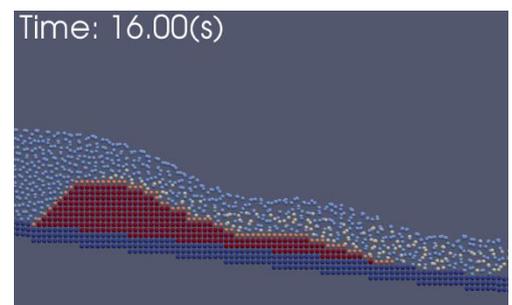


図5 16秒経過時の形状 (Case1)