

流木を考慮した透過型砂防ダム閉塞過程の数値シミュレーション

豊田工業高等専門学校 学生会員 永田祥久

豊田工業高等専門学校 正会員 原田英治

1. はじめに

土石流対策構造物として土砂調整機能に優れた透過式砂防ダムがあり、中でも簡便施工で工期が比較的短い鋼管製透過型ダム(格子ダム)が注目されている。これまで、芦田・高橋(1980)、水山ら(1995)は室内実験によって土石流補足に効果的な鋼管間隔の設計規範を示している。また、水野ら(2000)は、個別要素法を用いた数値シミュレーションによって捕捉石礫間の内部構造を計算力学的に検討している。このように閉塞過程に関する研究成果は蓄積されつつあるが、流木が混在した土石流の閉塞過程の検討は十分ではない。土石流後の格子型ダムを見ると石礫だけでなく流木によっても閉塞されている状況が確認でき、特にダム上流部に流木が発生しやすい急傾斜地が存在する場合には、流木の流出を考慮した格子型ダムの閉塞過程の検討は重要であると考えられる。

そこで本研究では、流木が混在した土石流の格子型ダムにおける閉塞過程を対象とし、個別要素法ベースの粒状体モデルを用いた数値シミュレーションを実施し、流木の混在が閉塞過程に及ぼす影響を検討する。

2. シミュレーションの概要

2. 1 個別要素法

石礫要素の運動は、要素間接触力を陽に取り扱える個別要素法型の粒状体モデルによって記述した。本研究では原田ら(2003)と同様に、土石流の運動は水と粒子が十分に混合された状態を想定した。

単一要素の運動は並進及び回転の運動方程式

$$\rho \left(\frac{\sigma}{\rho} + C_M \right) A_3 d^3 \frac{d u_p}{d t} = F_{pint} + F_{gr} \quad (1)$$

$$\sigma \frac{\pi d^5}{60} \frac{d \omega_p}{d t} = T \quad (2)$$

$$F_{gr} = \begin{bmatrix} 0 \\ -\rho \left(\frac{\sigma}{\rho} - 1 \right) A_3 d^3 g \end{bmatrix} \quad (3)$$

を用いて記述した。ここに、 ρ : 水の密度、 σ : 石礫要素の密度、 d : 要素径、 C_M : 付加質量係数、 A_3 : 要素の三次元形状係数、 u_p : 石礫要素の移動

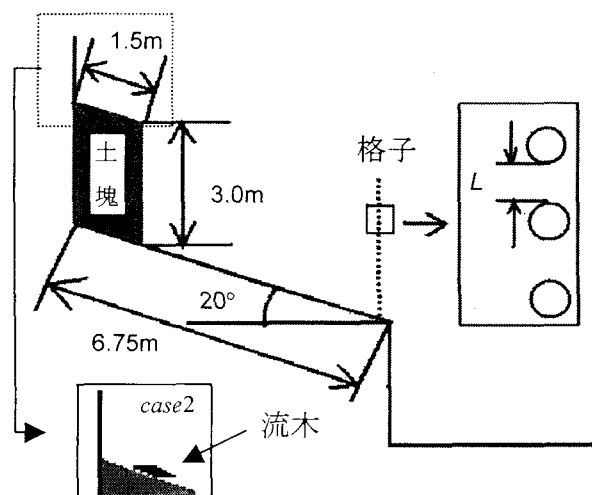


図-1 計算領域

速度ベクトル、 t : 時間、 F_{pint} : 要素間相互作用力ベクトル、 F_{gr} : 重力ベクトル、 π : 円周率、 ω_p : 石礫要素の回転速度ベクトル、 T : 石礫要素に作用するトルクである。なお周囲水の石礫要素への影響は付加質量力と浮力のみとして、水・石礫要素の相対速度はゼロとして取り扱い、流体抗力項を方程式中に導入していない。流木は5つの要素を剛体連結して表現した。なお、剛体モデルはKoshizukaら(1988)のモデルを用いた。

2. 2 モデル定数の設定

個別要素法で用いる粒子間接触を表現するためのモデル定数(法線方向および接線方向のバネ定数と粘性定数、接触面の摩擦係数)は、次節で述べる土石流閉塞過程のシミュレーションを対象とした既往の実験結果から得られている平衡流動状態における土石流の流動特性の再現性を重視して決定した。

3. シミュレーション結果

図-1に対象計算領域を示す。勾配 $\phi=20^\circ$ の斜面上端部に配置した1800個の要素(直径 $d=0.05m$, 比重 $\rho/\sigma=2.65$)が斜面端付近に設けた格子幅 L の格子型ダムに向けて流下する過程を追跡した。なお、要素径格子幅比 $d/L=2.5$ の場合について検討し、流木が混在しない場合を case1, 混在する場合を case2 とした。

図-2に case1, 2 の瞬間像を示す。case1 と比較して流木が含まれる case2 の要素透過量が低いこ

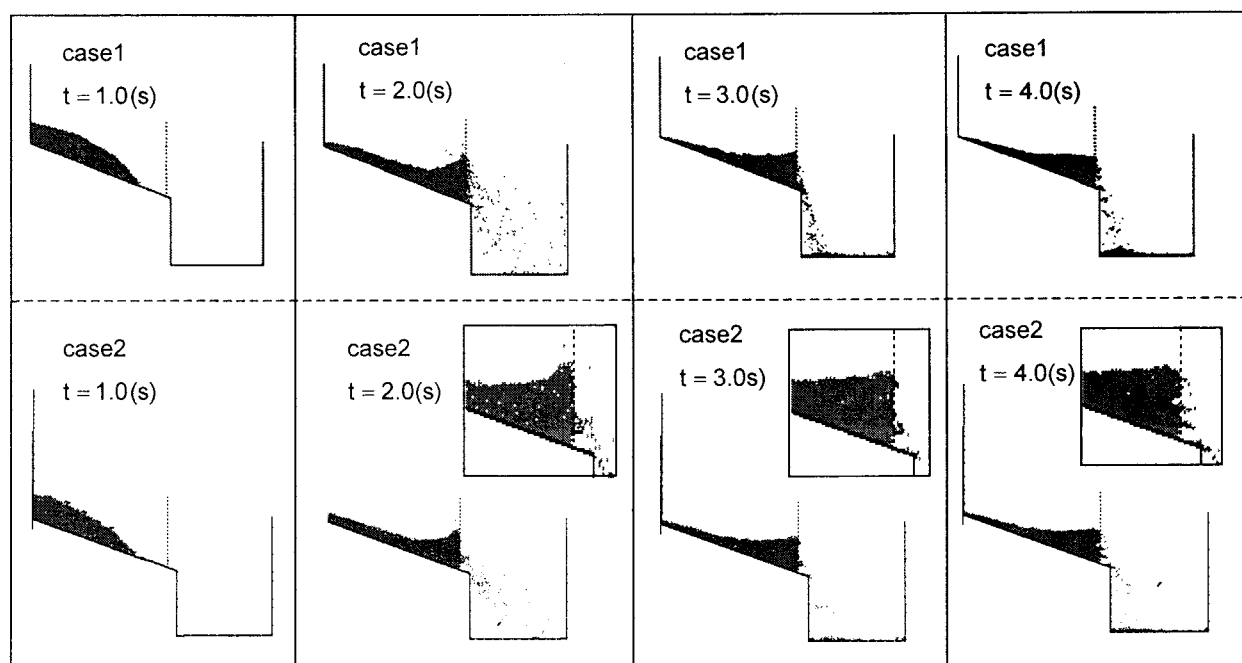


図-2 瞬間像 (case1 vs. case2)

とが堆砂量から確認できる．これは，図-2の case2, $t=2.0s$ に示されるように，流木による格子部での閉塞が原因であることが理解できる．図-3に累積通過要素数の時系列を示す．流木が格子に到達すると閉塞による case2 の透過率の減少が確認される．

4. あとがき

本稿では，流木混在が透過型砂防ダムの閉塞過程に与える影響を個別要素法を基礎とした粒状対モデルを用いた数値シミュレーションから検討した．

今後，図-4に示すような要素間力分布から，閉塞過程における内部構造の検討を進めたい．

参考文献

- 1) 芦田和男, 高橋保(1980): 土石流の調査制御に関する研究—立体格子型砂防堰堤の水理機能—, 京都大学防災研究所年報, 23 b-2, pp433-441.
- 2) 水山高久, 小橋澄治, 水野秀明(1995): 格子型ダムのピーク流量減少率に関する研究, 新砂防, vol 147, pp8-13.
- 3) 水野秀明, 水山高久, 南哲行, 倉岡千郎(2000): 個別要素法を用いた鋼管製透過型砂防ダムの土石流補足効果に関するシミュレーション解析, 砂防学会誌 vol 52, pp4-11.
- 4) 原田英治, 後藤仁志, 酒井哲郎, 大野正博(2003): 三次元数値移動床による土石流堆積過程の数値シミュレーション, 水工学論文集, 第47巻, pp553-558.

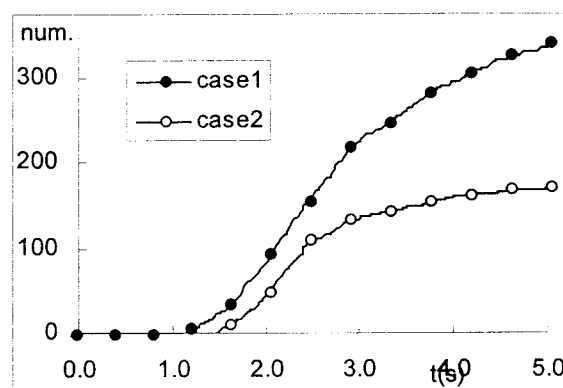


図-3 累積通過要素数の時系列

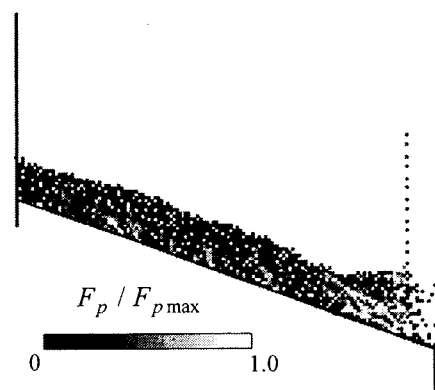


図-4 要素間力分布

- 4) Koshizuka, S., Nobe, A. and Oka, Y.: Numerical analysis of breaking waves using the moving particle semi-implicit water, Int.J.Numer.Meth.Fluids, Vol.26, pp.751-769, 1988.