

第II部門

透過型砂防ダムの堆砂過程の3Dシミュレーション

京都大学工学部地球工学科 学生員 ○合田健一

京都大学工学研究科 正会員 後藤仁志

豊田高専環境都市科 正会員 原田英治

京都大学工学研究科 フェロー 酒井哲郎

1. はじめに 本研究では、透過式砂防ダムにおける土石流の閉塞条件を、個別要素法（DEM）を基礎とした粒状体モデルによる数値シミュレーションから確認することを目的とする。一連のシミュレーション結果を三次元グラフィックスとしてとりまとめ、流動・閉塞・堆積過程を視覚的に示すとともに、実験では困難である土石流閉塞現象の内部構造を計算力学的に検討する。これまで、透過式砂防ダムの土砂堆積機構や土石流調節機構に関する多くの研究が行われてきている(芦田・高橋¹⁾, 水山・小橋ら²⁾)。本研究では、これらの既往の実験結果との比較を行う。

2. シミュレーションの概要 土砂粒子の運動は、粒子間衝突を陽に取り扱える数値移動床（個別要素法の粒状体モデルによって記述した。また、本研究で用いたモデル定数は、粒状体モデルで用いる計算時間ステップ $\Delta t = 1.0 \times 10^{-3} (s)$ および粒径 $d = 2.46 \text{ mm}$ の粒子に対して、法線および接線方向のバネとダッシュポットについて $k_n = 10.08 \text{ (N/s)}$, $k_s = 3.88 \text{ (N/m)}$, $\eta_n = 3.28 \times 10^{-4} \text{ (Ns/m)}$, $\eta_s = 1.99 \times 10^{-4} \text{ (Ns/m)}$ に設定した。これらのモデル定数は、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選択されたものである。計算領域は図1に示す。初期状態から実時間で3秒間は、土砂粒子は流路全面を塞ぐ鉛直壁によって堰き止められて配置されており、その状態で重力を作用させて接触計算（パッキング）を行い、安定した堆積状態を得ている。なお、流路の下流境界は自由流出としており、粒子の計算は境界外に出た時点で終了する。固定壁粒子径は30.0cm、移動粒子径は10.0, 20.0cmで、固定粒子壁は20.0cm オーバーラップさせて配置し、壁面の凹凸を緩和している。総粒子数は約102000個であり、そのうち移動粒子が約18500個、固定壁粒子が約81000個、移動壁粒子が3010個である。移動粒子は粒径20.0cmのものと10.0cmのものが、体積比1:1となるようにランダムに混合してある。粒子個数では、粒径20.0cmの粒子が約2000個、10.0cmの粒子が約16500個となっている。供給土砂総量は約100 m³の土砂になる。また、流路の傾斜角は17°になっている。本研究では、砂防ダムの透過部分の格子間隔と砂礫の最大粒径の比 ($L/d_{\max}$) を1.5, 2.0, 2.5の三通りで行った。供給土砂粒子の粒径・粒子数は固定し、砂防ダムの格子部分 L の間隔を変えている。格子部分の間隔はそれぞれ30.0, 40.0, 50.0cmである。またダムの袖部と格子部分との間隔は格子部分の間隔との比を3:4で固定し、格子間隔30.0, 40.0, 50.0cmの各々に対して、22.5, 30.0, 37.5cmとしている。

3. シミュレーション結果 $L/d_{\max} = 2.5 (L = 50 \text{ cm})$ の場合、一時閉塞する部分もあるが、その箇所も再び透過してしまう。最も大きな破壊力を持つ土石流先端部のピーク流砂量は大きく、他のケースよりも減少率が小さい。ダム後部の堆積部分もあり成長しない。 $L/d_{\max} = 2.0 (L = 40 \text{ cm})$ の場合は $L = 2.5$ のケースよりもピーク流砂量の減少率も大きく、ダム設置の効果がみられる。計算時間内に粒子の透過がなくなることはなかったので、ダム後部の堆積部分はある程度成長するが、いずれなくなる

ものと考えられる． $L/d_{\max} = 1.5 (L = 30\text{cm})$ の場合は，ピーク流砂量がかなり少なく，ダム後部の堆積部分も他のケースより大きくなる．このケースでは，いくつかの粒子が連なり格子間が閉塞し，15 秒以降は粒子の透過はほとんどなくなる．透過式砂防ダムとしての機能を永続的に持たせるには， $1.5 \leq L/d_{\max} \leq 2.0$ の大きな粒子を取り除いてやる必要がある．

4. おわりに 3次元並列型数値移動床に基づく粒状体モデルによって，砂防ダムの堆砂過程のシミュレーションを実施，検討した．どのケースも実験結果をよく再現しており，閉塞の様子も観察できる．透過式砂防ダムにおける，土石流の堰き止め・堆積プロセスの検討に対して，この種のシミュレーションモデルが有効であることの一端を示していると考えられる．今後は，実スケールに合わせた大規模化や，倒木を含んだ土石流などのより複雑なケースの検討を行いたい．

5. 参考文献 1) 芦田 和男・高橋 保(1980)：土石流の調節制御に関する研究，京都大学防災研究所年報，第23号B-2，pp.433-441 2) 水山 高久・小橋 澄治・水野 秀明(1995)：格子型砂防ダムのピーク流砂量減率に関する研究，新砂防，Vol.47，No.5(196)，January，pp.8-13

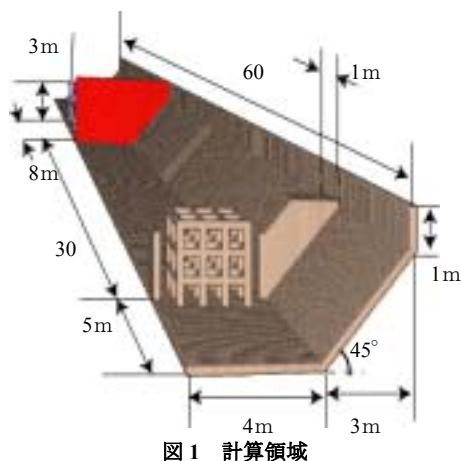


図1 計算領域

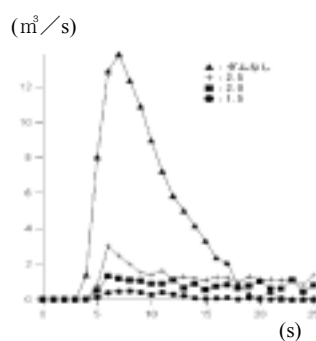


図2 流砂量

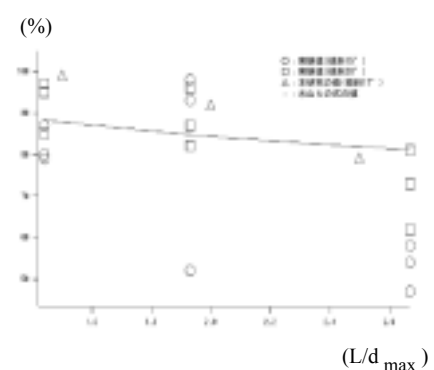


図3 ピーク流砂量減少率

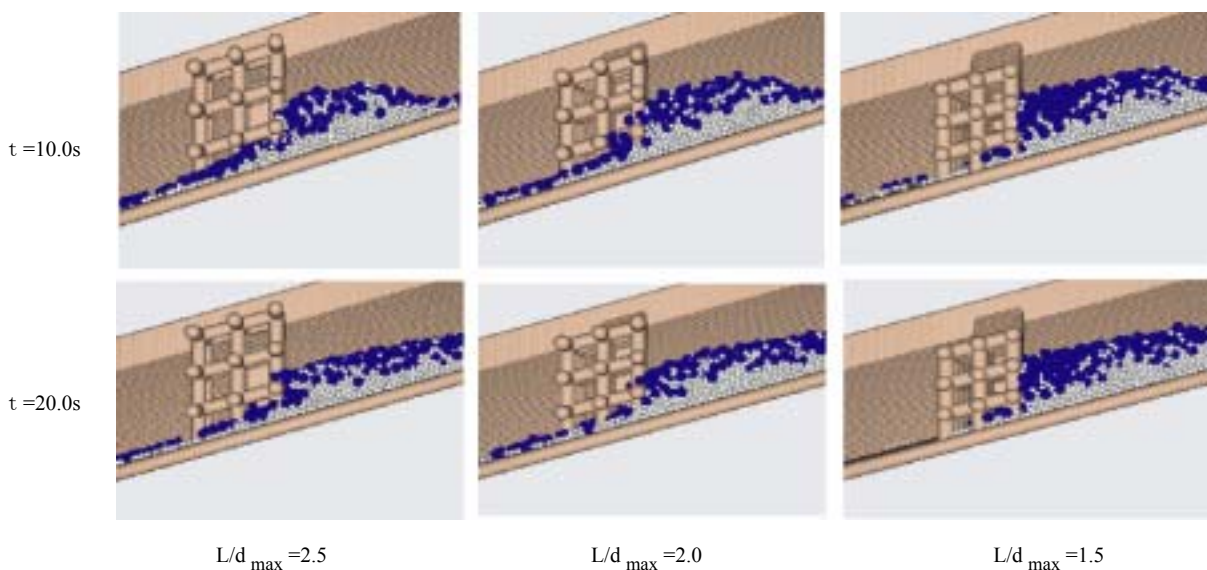


図4 ダム付近の断面図