

個別要素法を用いたスリット砂防ダムの土砂捕捉に関する検討

日本工営株式会社

北海道小樽土木現業所

○牧野孝久, 小川和彦, 倉岡千郎, 池永均
池島剛, 長山孝彦, 小野寺勝, 末武晋一
後藤英嗣

1. はじめに

スリット砂防ダムは、スリットの幅、巨礫の粒径や量などによって閉塞する場合としない場合がある。そこで、土砂の捕捉効果を向上させるためにスリット部に水平バー（鋼製の棧）を設置することが推奨されている。しかし、スリット砂防ダムにおいて水平バーの設置間隔が土砂の補足効果に与える影響については十分に把握されていないと言える。

本論文では、スリット砂防ダムにおける水平バーの土砂捕捉効果について、水理模型実験と3次元数値解析により検討した結果を報告する。

2. 数値解析手法および解析モデル

本報告では、3次元個別要素法（DEM）によるモデル化を行った。個別要素法は粒子の集合体の運動をモデル化するものであり、粒子間にバネ、粘性ダンパー、スライダ（せん断機構）で表される接触メカニズムを導入し運動方程式を解く手法である。粘性ダンパーのパラメータは反発係数から算定され、スライダはモール・クーロンの破壊基準に従う。なお、スリットダムは剛体の平板でモデル化した。

本解析手法では、水を含めた土石の混合体が既往の観測結果から考えられる速度と整合するように水の推力を与えるものとした。そこで、水の速度は土石流の速度とほぼ同じ速度と仮定し、水と粒子との相対速度に起因する抗力および推力を粒子に加えた。

表1 解析条件

バネ定数	1.0×10 ⁶ N/m
土石密度	2650 kg/m ³
反発係数	0.2
摩擦係数	1.0
抗力係数	1.0

解析モデルを図1、図2に示す。本モデルは一様勾配(1/14)の直線水路で、堰堤の上流40mの位置から、40,000粒子からなる土石流が流下する現象を扱う。また、本モデルの縮尺1/18の水理模型実験を実施し、閉

塞状況、最終堆積形状、およびスリットを通過した土砂量を調べた。

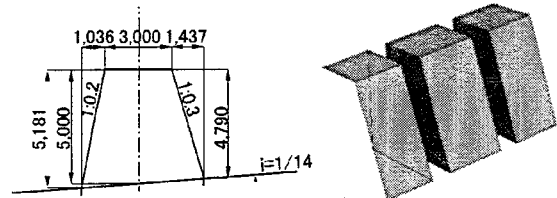


図1 堰堤形状 (単位 mm)

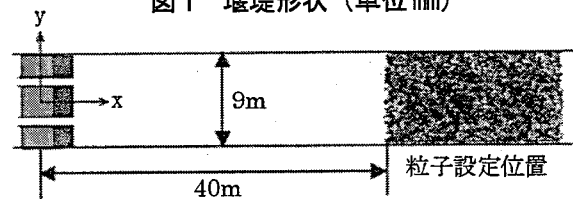


図2 解析モデル平面図

表2 解析モデル諸条件

最大粒径 (D ₉₅)	0.60m
河床勾配	1/14
スリット門数	2門
スリット幅	1.5 D ₉₅ (=0.9m)

表3 土砂粒子条件

粒径 (mm)	粒子数 (個)	総体積 (m ³)
大	576	41.4
中	410	6,072
小	257	33,514
合計:	40,000	556

土粒子分布については水理実験で使用した粒土分布を基に代表粒径3種類でモデル化を行った(表3)。また、流速は、実験を撮影したビデオ映像から求めた結果を参考に、流速 17m/sec (実スケール) で流下し、堰堤衝突後に速度が低減していき、最終的に 0.5m/sec となるように設定した。

3. 解析結果

解析ケースを表4に示す。水平バーがないケースと、水平バーの間隔を4通りに変更した計5ケースを実施した。ケース1~3については模型実験を実施し、閉塞状況、堆積形状およびスリットを通過した土砂量の再現解析を行い、物性値等の算定を行った。

表4 解析ケース一覧

ケース	水平バー	実験
1	なし	実施
2	最下段 1.0D、上部 0.50D	実施
3	最下段 1.5D、上部 0.75D	実施
4	全て 1.0D	
5	全て 1.5D	

※Dは最大粒径 $D_{95}=0.6m$

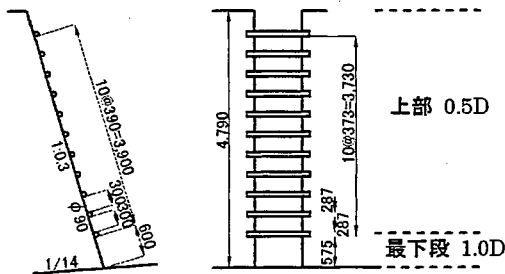


図3 水平バー間隔一例(ケース2)

再現解析結果の一例として、ケース1の堆積形状を図4、5に示す。実験結果と同様にスリットからすり鉢状に土砂が流出する傾向が再現できた。また、スリット通過土砂量は図7に示してあり、実験結果と概ね整合する結果が得られた。

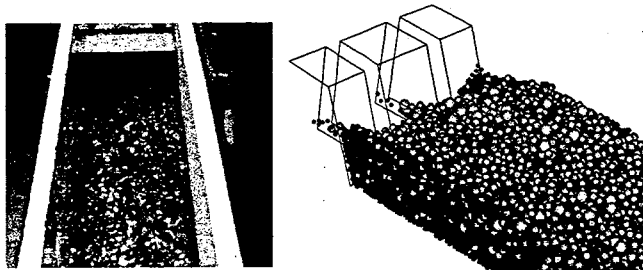


図4 スリット近傍の堆積形状(ケース1)

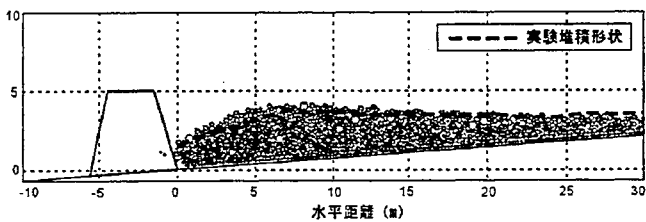


図5 スリット中央断面での堆積形状(ケース1)

水平バー間隔の土砂捕捉効果に関する影響を調べるため、ケース1~5の最終堆積形状を図6に、スリットを通過した土砂量を図7に示す。

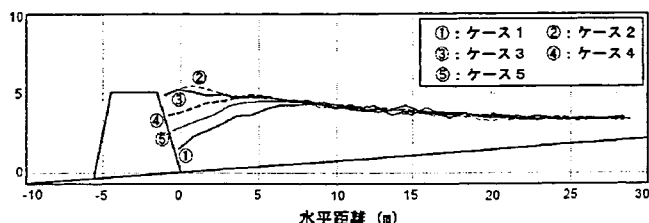


図6 スリット中央断面での堆積形状(解析結果)

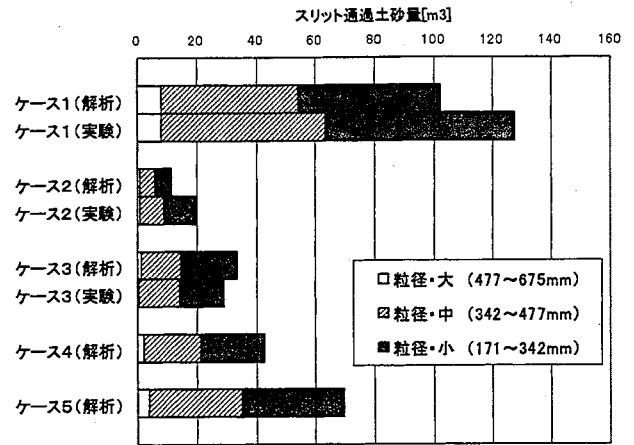


図7 スリットを通過した土砂量の比較

※堰堤を越流したものは含まない。

これらの結果から、水平バー間隔が大きくなるに従って、スリット付近での堆積層厚が薄くなり(図6)、スリットを通過する土砂量が増加する傾向(図7)が確認できた。また、図6のケース4を見ると、スリット上部で土砂の流出が若干見られるが、下部は閉塞する結果が得られた。一方、ケース5では、堰堤高の約半分まで土砂が流出し、下部においても閉塞しておらず、土砂流出が続くと推定された。

なお、解析ケース1(水平バー無し)でのスリット通過土砂量を100%とした場合、ケース2が11.3%、ケース3が32.4%、ケース4が41.4%、ケース5が67.7%となった。

4. 結論および今後の課題

- 水理模型実験の再現解析を行い、堆積形状およびスリット通過土砂量について再現性の良好な解析モデルが構築できた。
- 水平バー間隔をパラメータとした解析を実施し、捕捉効果を定量的に確認することができた。
- 今後は、本手法が水平バー設計時に有用な手法になりうるように、河床勾配や粒度分布などの他の要因も含め、水平バー間隔による土砂捕捉効果の検討を行い、解析手法の改良を行う必要がある。

参考文献

- 1) 深和岳人, 香月 智, 石川信隆, 山田 正: オープン型鋼製砂防ダムの礫捕捉効果に関する個別要素法と確率的評価, 土木学会論文, No703, I-59, p165-176, 2002
- 2) 勝田貴志, 織田 剛, 守山浩史, 葛西俊一郎: 個別要素法を用いた鋼製砂防堰堤における土石流捕捉に関する数値解析, 砂防学会研究発表会, p118, 2004