中小礫捕捉のための鋼製透過型砂防堰堤の機能部材の配置間隔に関する研究

（一財）砂防・地すべり技術センター　○佐々木司　嶋丈示
砂防鋼構造物研究会　　國領ひろし
防衛大学校　　香月智　嶋川理

1. はじめに

平成 28 年 4 月に，砂防基本計画策定指針および土石流・流木対策設計技術指針[1]（以下，指針）が改定され，土石流対策における砂防構造物は，透過型砂防堰堤を採用することが原則となった。これは，土石流を捕捉する性能に加えて，平常時における無害な土砂を流下させることにより，堰堤の捕捉容量を確保できるからである。ここで，透過型砂防堰堤の縦部材間隔および横部材間隔は，現行指針では土石流フロント部に集中する巨礫の最大礫径の 1.0 倍で決めることとされている。

一方，全礫数に占める巨礫の数が極端に少なかったり，表層崩壊に起因する土石流の場合，巨礫がフロント部に集中せずに堰堤に到達することも考えられる[2]。このような流下形態の場合，礫によるアーチアクション効果が発揮されにくくなり，透過部断面がうまく閉塞されない可能性がある。

そこで本研究では，透過部断面形状と捕捉性能の関係性について調べるために，土石流の流下形態を個別要素法によって解析し，縦横部材間隔を変えて透過部断面面積が等しい 2 つの堰堤モデルに対して捕捉シミュレーションを行った。

2. 解析の概要

2.1 検討諸元

検討に際し，広島西部山系における土石流危険渓流の河床勾配と粒径分布を参考にした（表－1）。本渓流は 0 次谷であり，渓床勾配は約 1/2（約 27°）と，急傾斜地斜面の境界である斜面勾配 30°に近い状況にある。また，地表には直径約 0.7m の転石が見られるもののその数は極めて少なく，比較的目立つ石礫は 0.5 m 前後となっている[3]。

2.2 堰堤モデル

図－1 に，2 つの堰堤モデルを示す。各堰堤モデルの部材配置条件は以下の通りである。なお，捕捉面の高さは 4.2m，幅は 3.3m である。

MODEL 1：縦横部材間隔とも大礫径×1.0 倍とし，現行指針に準じたモデル（透過部断面が正方形形状）

MODEL 2：横部材間隔を中礫径（D_{70}）とし，MODEL 1 と同面積となる様に縦部材間隔を調整したモデル（透過部断面が長方形形状）

2.3 検討手法

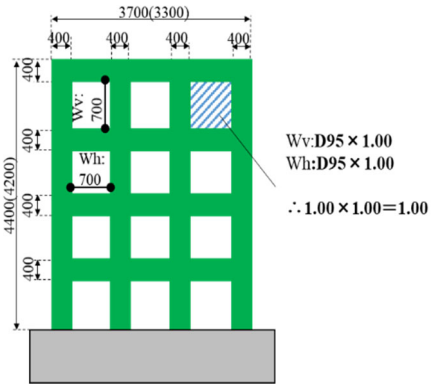
本研究に用いた個別要素法は剛体の運動解析を基本としており，各要素について逐次接触判定を行い，接触したならば要素間に設定した接触ばねの接触力を算定し，そうでなければ単なる剛体として，その運動方程式を解くことにより変位・回転を求め，個々の要素の運動を追跡するものである。土石流や液状化などの動的解析に用いられる手法のひとつとして活用されている[4]。

3. 解析の結果

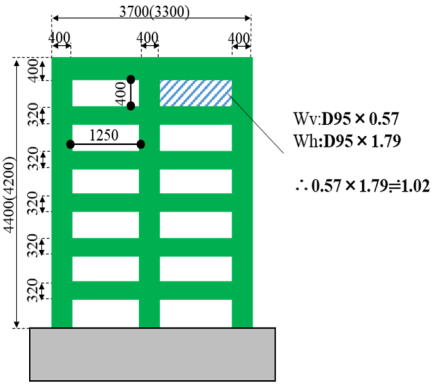
図－2 に解析の結果を示す。解析は，土石流のフロント部に大礫を集中させた条件（CASE 1）と，大中小それぞれの礫をランダムに配置した条件（CASE 2）の 2 つの初期形態（図－3）を作成して実施し，それぞれの条件下における捕捉率と捕捉状況を比較した。その結果，全ての検討ケースで大礫を 100％捕捉して，全体の捕捉率も 90％以上となった。また，図－4 に示す捕捉状況のとおり，いずれの検討ケースにおいても礫によるアーチアクション効果によって，透過部断面が閉塞する挙動を示した。

表－1　検討諸元

項目	諸元	
河床勾配	27°	(1/1.96)
礫A(大礫径)	700mm	(D_{95}相当)
礫B(中礫径)	400mm	(D_{70}相当)
礫C(小礫径)	250mm	(D_{25}相当)



MODEL 1



MODEL 2

図－1　堰堤モデル

透過部断面を正方形形状とした MODEL 1 では，CASE 1,2 ともに中小礫の抜け出しが確認された。CASE 1 では，先行流による抜け出しは僅かであったが，大礫による透過部断面の閉塞が捕捉面の中段で止まったことにより，捕捉面最上段から中小礫が抜け出した。CASE 2 では捕捉面最上段からの抜け出しに加え，大礫が捕捉面に到達する前に先行流として抜け出した中小礫が確認された。一方，透過部断面を長方形形状とした MODEL 2 では，CASE 1 の場合に全ての礫を捕捉して捕捉率が 100 %となった。CASE 2 では先行流として僅かに小礫が抜け出したものの，100 %に近い捕捉率となった。

4. 考察

本研究で行った捕捉シミュレーションの全ての検討ケースで礫により部材が閉塞する挙動が示され，個別要素法によって透過型砂防堰堤の捕捉性能を検証できることが確認できた。捕捉率も全て 90%以上となり，砂防堰堤としての効果が発揮されたといえる。捕捉面に注目すると，捕捉できなかった中小礫の大半は，大礫を主とした透過部断面の閉塞が起きる前後に先行流もしくは後続流として抜け出していたため，実際の対策にあたっても先行流および後続流を対象とすることが効果的であると考えられる。

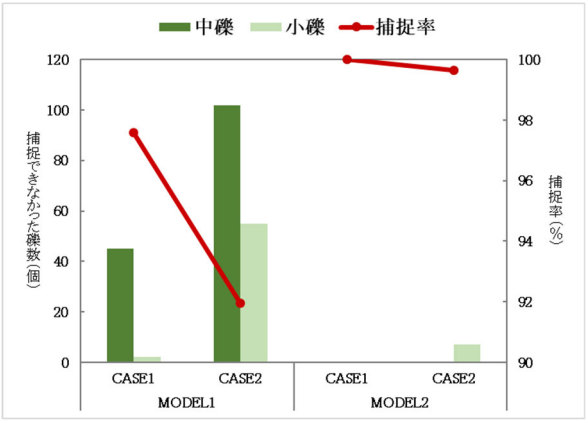
一方，透過部断面形状の違いが，中小礫の捕捉に影響を与えることが示唆された。今後，縦横部材間隔を調整して透過部断面形状を変えた，もしくは透過部断面面積を広げた際に，捕捉結果にどの様な影響が出るかを解析することで，透過部断面の最適化について検証できる可能性がある。

5. おわりに

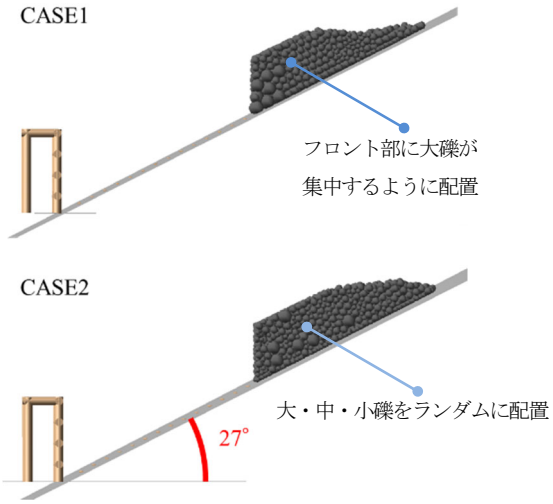
透過型砂防堰堤の設計指針が整備されて以来，最大礫径はその捕捉性能を決定する上で重要なパラメータとなっている。本研究では，個別要素法を用いて 2 つの土石流形態のもとで捕捉シミュレーションを行い，透過型砂防堰堤が礫を捕捉する挙動を解析した。しかし検討ケースが少なく，内容も基礎的なものであるため，礫径分布や河床勾配を変えた場合に，捕捉性能に違いが生じるかを検証する必要がある。また，実際に活用するにあたっては捕捉性能だけでなく構造的安全性も踏まえ，捕捉効果の高い部材配置を検証することが求められる。

参考文献

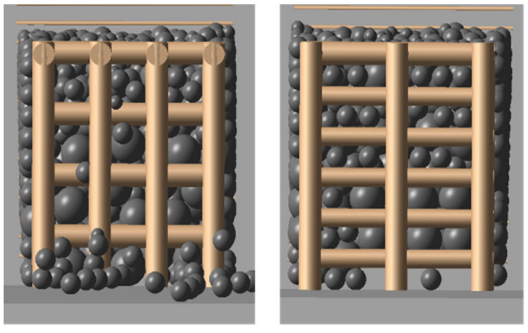
1）国土交通省国土技術政策総合研究所：砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）解説，土石流・流木対策設計技術指針解説，2016.4.
2）海堀正博：局所豪雨に起因する最近の土砂災害の特徴と課題，平成 30 年度砂防学会研究発表会概要集，2018.
3）川邊ら：広島西部山系（大町地区）における小規模渓流対応型施設検討について，砂防学会誌，Vol.67，No2，2014.
4）堀口ら：個別要素法を用いた鋼管製透過型砂防ダムの土石流捕捉効果に関するシミュレーション解析，砂防学会誌，Vol.69，No1，2016.



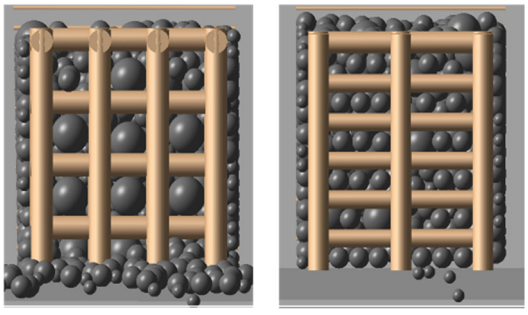
図－2　解析結果



図－3　土石流の初期配置（縦断図）



CASE 1（左：MODEL 1　右：MODEL 2）



CASE 2（左：MODEL 1　右：MODEL 2）

図－4　捕捉状況