

(財) 砂防・地すべり技術センター ○嶋 文示 吉田一雄

1. はじめに

近年、流砂系の概念を取り入れ土石流区間にも透過型えん堤が採用されている。このえん堤の機能は、土石流時の流出土砂を捕捉するほか、中小洪水時及び平常時には生態系の連続性の維持、土砂捕捉容量確保のために無害な土砂を極力通過させるものである。この機能を満足させるためのえん堤のスリット間隔は、土石流の先頭部に含まれる巨礫群が確実に捕捉されるよう最大礫径の1.5倍に設定している。ところが、土石流堆積区間のような勾配の緩い地点に設置される場合には、土石流の先頭部がほぐれて巨礫がえん堤に到達しないなど、土砂捕捉効果が十分に発揮されない可能性がある。この対策として横材を配置したり、部材間隔を狭めることが考えられる。しかし、部材間隔を狭めすぎると、透過型えん堤のもう一つの機能である中小洪水時及び平常時に土砂が捕捉され、下流に土砂を供給できなくなる可能性がある。そこで土石流堆積区間を想定した水理模型実験を行い、従来の縦材に加えて横材も利用した透過型えん堤の礫捕捉機能について検証することとした。

2. 実験概要

(1) 実験水路

模型に用いる水路は、長さ10m、幅0.3m、高さ0.5mの片面ガラス製の2次元水路を用いた。また、本実験では水理量の相似則としてフルードの相似則を用い、模型縮尺を $S=1/40$ とした。水路勾配は、土砂の移動形態が集合運搬から各個運搬に変化する区間として1/15に設定した。

(2) 実験砂

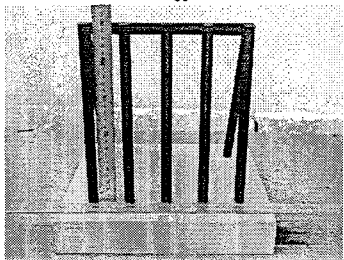
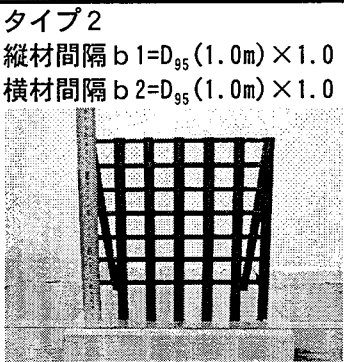
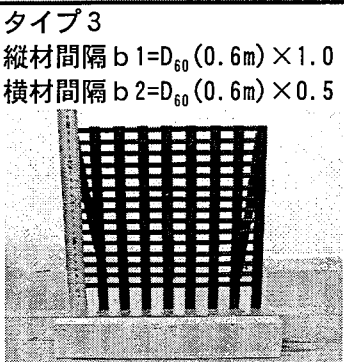
実験砂は、河床材料に巨礫を混入させたものを使用した。ここで河床材料調査と巨礫調査は調査手法が異なるため、巨礫の出現頻度は、幅=水路幅、長さ400m(模型値=100cm)、深さ=巨礫の D_{95} が一層の厚さを1ブロックとし、1ブロックの河床材料中に巨礫調査の100個の巨礫が1セット存在するものとした。これは、現河床表面の構成材料は、かつて土石流の発生や大規模な河床変動に伴って堆積した河床材料から、小出水や平常時の流水により粒径の細かい砂だけが移動して形成されたものと考え、最大礫径をひとつの層として移動床の厚さ方向にこのブロックが繰り返して存在すると仮定した。

(3) 土砂量及び流量

土砂量は、対象砂防えん堤の計画堆砂勾配を元河床の1/2勾配として計画捕捉量を設定し、この土砂量を上流から流送能力見合いで供給することとした。各々の流量について、土石流として100年確率、中小洪水として20年確率、平常時として3年確率の清水流量を定流で与えた。

(4) えん堤模型

えん堤模型は3種類とした。タイプ1は縦材のみでスリット間隔を最大礫径の1.5倍とした。タイプ2は縦横組み合わせで縦材間隔を最大礫径の1.0倍、横材間隔を最大礫径の1.0倍とし、横材最下段高 H については、 b_2 の2倍とした。タイプ3は同じく縦横組み合わせで縦材間隔を D_{60} の1.0倍、横材を D_{60} の0.5倍とし、横材最下段高 H は、常時水深 $<H<$ (計算による土石流水深と礫径 D_{95} の大きい方)を満たす値とした。

	形状	規模
case1	タイプ1 縦材間隔 $b_1 = D_{95} (1.0\text{m}) \times 1.5$ 	土石流 1/100年 35m ³ /sec
case2	タイプ2 縦材間隔 $b_1 = D_{95} (1.0\text{m}) \times 1.0$ 横材間隔 $b_2 = D_{95} (1.0\text{m}) \times 1.0$ 	土石流 1/100年 35m ³ /sec
case3		中小出水 1/20年 25m ³ /sec
case4	タイプ3 縦材間隔 $b_1 = D_{60} (0.6\text{m}) \times 1.0$ 横材間隔 $b_2 = D_{60} (0.6\text{m}) \times 0.5$	土石流 1/100年 35m ³ /sec
case5		中小出水 1/20年 25m ³ /sec
case6		平常時 1/3年 12m ³ /sec

3. 実験結果

(1) タイプ1

case1 は、全粒径の土砂（巨礫を含む）が移動しえん堤地点に到達したが、巨礫を含めてすべて透過部を通過した。巨礫の3辺平均径はスリット幅より大きい、短径からスリット部をすり抜けた。

(2) タイプ2

case2 及び case3 は、巨礫がえん堤地点に到達しても透過部は閉塞しにくかった。これは、スリット部に引っ掛かり一時的に捕捉されても、スリット部に集中する水の流れによって礫は下流へ押し出される方向に水圧を受け、回転して透過部を通過する現象が生じたためである。最終的に最下段の全透過部を閉塞させるのに現地スケールとして case2 で 50 分（模型値で 8 分）、case3 で 57 分（模型値で 9 分）を要した。また、最下段が閉塞した後も上段の透過部からは多量の土砂が流出し、最終的にはえん堤高の1/2程度の高さまでしか土砂は捕捉されなかった。全流出土砂量 case2 で約 11968m³（土砂濃度約 4.47%）、case3 で約 7232m³（土砂濃度約 1.98%）であった。

(3) タイプ3

case4 及び case5 は最終的には透過部が閉塞した。最終的に最下段の全透過部を閉塞させるのに現地スケールで case4 で 9.4 分（模型値で 1.5 分）、case5 で 11 分（模型値で 1.75 分）の時間を要し、この間に case4 で約 812m³（土砂濃度約 1.8%）、case5 で約 710m³（土砂濃度約 1.8%）の土砂が流出した。最下段の透過部が閉塞すると上段の透過部は閉塞しやすく土砂が捕捉された。ただし、最下段の閉塞までに時間を要するため土石流前半の土砂が流出した。case6 は、最下段の横スリット間隔が平常時水深よりも高いため土砂を捕捉しなかった。岩垣の移動限界粒径の逆算において、粗度係数 0.04 とすると移動限界粒径は D_{60} となる。実験砂は D_{60} （巨礫の 60% 粒径） $\approx D_{95}$ （河床材料の 95% 粒径）であることから、これは河床に多量に存在する巨礫とほぼ全粒径の河床材料が移動することを示しており、実験の現象とほぼ一致する。

4. 考察

礫による砂防えん堤の閉塞状況を時系列で把握するため、えん堤地点における河床高の時間変化を図1及び図2に示す。なお、河床高は最深河床高とした。土石流発生時、（図1参照）は、タイプ1では透過部が閉塞されなため、えん堤地点の河床が上がらなかったのに対し、タイプ3では実験開始後14分の満砂に至るまで河床面の上昇が続き、透過部は徐々に閉塞されていった。またタイプ2は、横材に礫が捕捉されるまで河床高が維持され、礫が捕捉されだすと上昇し、これを繰り返しており、全透過部を閉塞させるのに時間を要した。

中小洪水時（図2参照）では、タイプ3は透過部の閉塞が生じやすく土砂捕捉効果が高いことが読みとれる。一方、タイプ2は横材最下段高が閉塞するのに9分を要しており、中小洪水時の土砂捕捉効果が低いことがわかった。また平常時では、タイプ3でも透過部断面が閉塞せず、下流への土砂供給されることが確認できた。

5. おわりに

えん堤地点の河床高の時間変化を示すことによって、透過型えん堤の閉塞状況を時系列で把握することができた。今後、地形条件や水理的な諸条件を変化させるなど、異なる砂防えん堤の形状を配置した場合のグラフの特性を検討・把握することによって、河床高の時間変化を示すグラフをもとに透過型えん堤を選定するための評価手法として用いることができるものと考えられる。

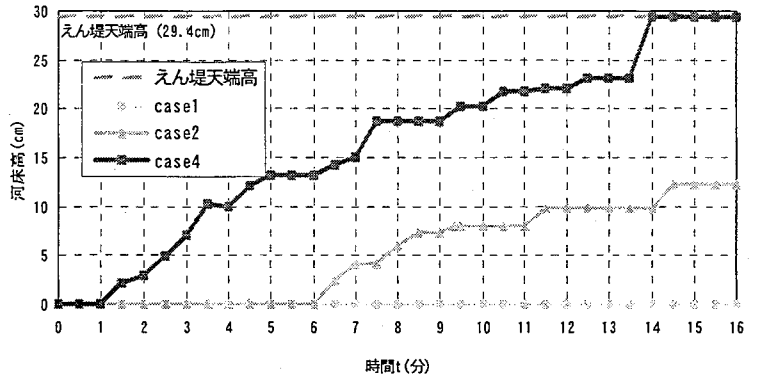


図1 土砂捕捉による最深河床高の時間的変化（土石流時）

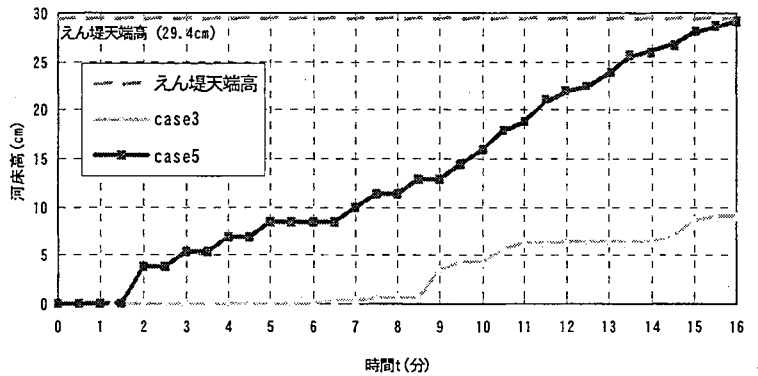


図2 土砂捕捉による最深河床高の時間的変化（中小出水）