河床変動計算における透過型砂防堰堤の閉塞条件に関する研究

国土防災技術株式会社　○　丹羽諭
国土技術政策総合研究所　松本直樹、内田太郎、工藤司（現：砂防エンジニアリング㈱）、桜井亘
国土防災技術株式会社　河恩勁、大野亮一　　立命館大学　里深好文

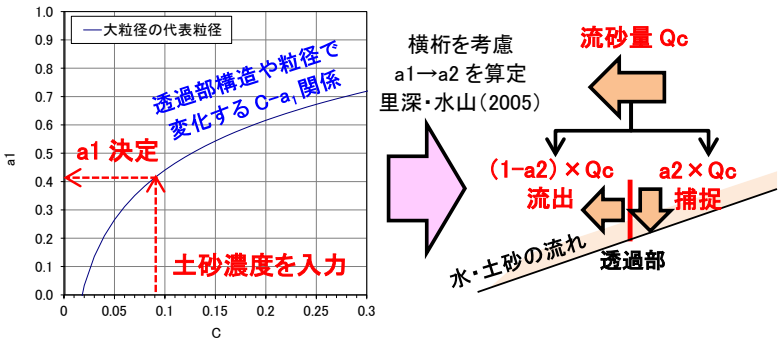
1. はじめに

砂防堰堤の土砂捕捉効果に関する研究は、今までにも、水路実験[1]や数値計算[2)3)]を用いて数多く実施されてきた。近年、透過型砂防堰堤が数多く設置されていることから、より砂防堰堤の構造が反映できる評価手法を確立し、合理的な配置計画を立案することは課題と言える。従って、本研究では、1 次元河床変動計算により透過型砂防堰堤を設置した水路実験の再現計算を実施し、透過部の閉塞評価方法について検討を行った。

2. 計算プログラム

2.1 基本構成

検討に用いた計算プログラムでは、土石流～掃流砂、および、浮遊砂を対象とした。土砂を複数粒径で取り扱い、河床のモデル化に平野モデルを適用することで、各粒径階の流砂量と河床の存在割合を評価した。また、砂防堰堤からの流出量は、運動方程式と $h-Q$ 式を組み合わせた評価[2]により、堆砂域の河床変動については、流路と同じく粗粒分を侵食速度式、細粒分を浮上量・沈降量により評価した。



図−1　里深・水山モデルのイメージ

2.2 透過部閉塞条件

本検討では、単粒径を対象とした里深・水山（2005）による閉塞モデル[3]（以降、里深・水山モデル）を複数粒径に適用した。里深・水山モデルでは、図−1 に示す $C-a1$ 関係により透過部における捕捉量、透過部からの流出量を決定する。ここで、a1=1.0 の場合は透過部の縦柱により土砂が 100%捕捉され、a1=0.0 の場合は 100%流出することを意味する。複数粒径を対象とするため $C-a1$ 関係の C に流れ全体の平均濃度を用いることで各粒径の a1 を評価した。なお、里深・水山モデルは、水深 h と粒径 d が等しい条件で検討されており、低濃度条件の流れに対して土砂捕捉を過小評価することが指摘[4]されいる。よって、本検討では、下記の 2 通りの閉塞条件について検討した。

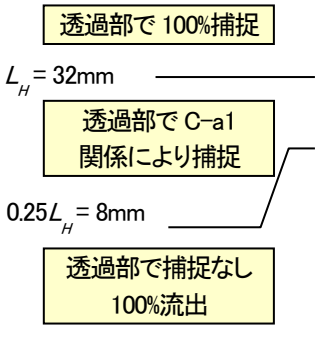
里深・水山モデル：里深・水山（2005）を複数粒径へ拡張した方法
本手法　　：掃流状集合流動状態で砂礫移動層の平均濃度 0.24 を用いて a1 を評価する方法

なお、d＞水平純間隔 L_H の礫については透過部で 100%捕捉される条件（a1=1.0）とし、嶋ら（2015）[5]の調査結果に基づき、$0.25\times L_H$ 以上の礫が閉塞に寄与するとして $d/L_H<0.25$ の礫は、透過部を 100%通過する条件（a1=0.0）とした。

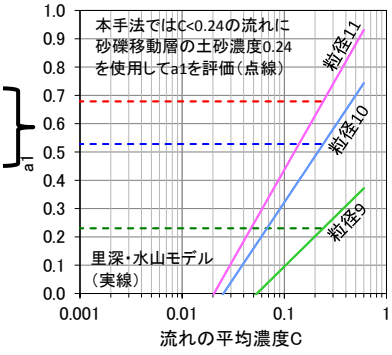
3. 1 次元河床変動計算による再現計算

3.1 計算条件

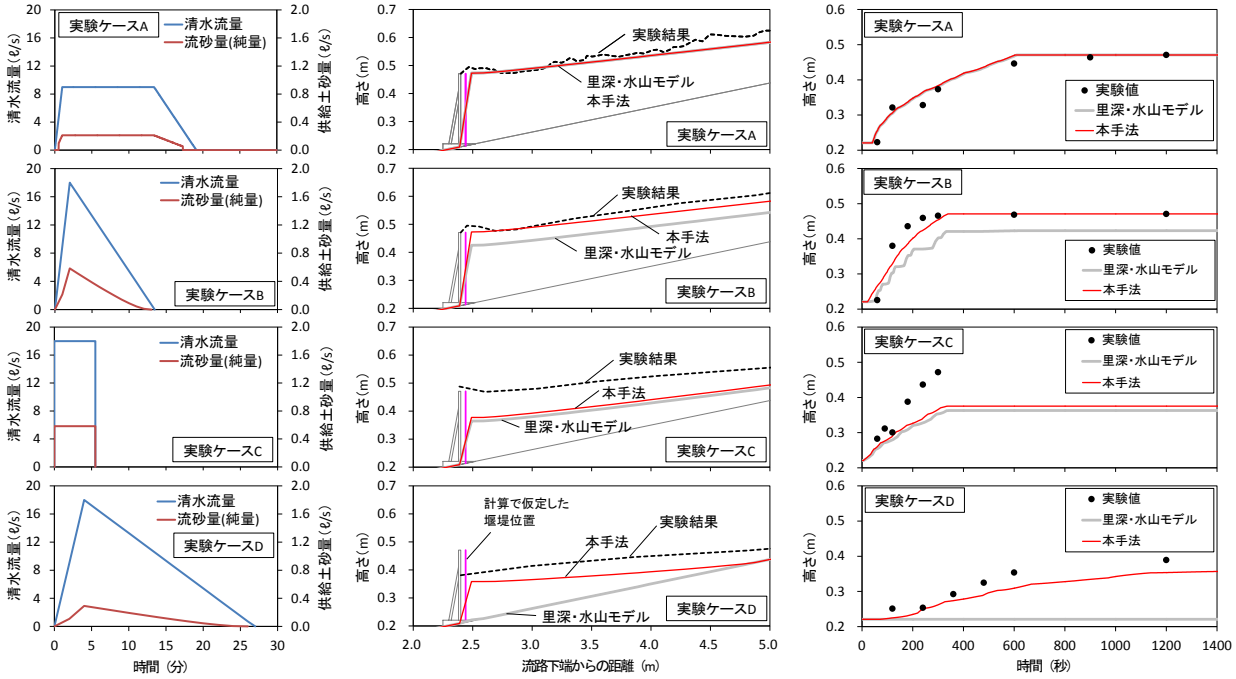
対象とする実験水路は、水路長 10m、水路幅 30cm、河床勾配 5°、下流端から 2.43m の位置に高さ 25cm、L_H および鉛直純間隔 L_V が 32mm、部材の径が 18mm の格子が設置されている。供給土砂の粒度分布（図−2）および上流端からの供給条件（図−3）が異なるケース A～D を対象とした。なお、4 ケースとも供給土砂量は 321ℓで共通である。計算では、分割幅を水路方向に 10cm とし、各粒径階の代表粒径は粒度範囲の中央粒径で評価した。



粒径階	粒度範囲	実験ケース供給土砂の存在割合（%）			
		A	B	C	D
粒径12	32-37.5mm	5.25	0.00	0.22	0.00
粒径11	26.5-32mm		3.16	0.15	0.16
粒径10	19-26.5mm	5.375	6.31	0.29	0.33
粒径9	9.5-19mm	34.375	32.64	1.30	1.47
粒径8	4.75-9.5mm	20.75	23.15	39.21	39.21
粒径7	2-4.75mm	15.5	16.85	28.52	28.52
粒径6	0.85-2mm	6.5	6.31	10.69	10.69
粒径5	0.425-0.85mm	3.75	3.16	5.35	5.35
粒径4	0.25-0.425mm	3.25	3.16	5.35	5.35
粒径3	0.106-0.25mm	4.25	4.21	7.13	7.13
粒径2	0.075-0.106mm	0.5	0.52	0.89	0.89
粒径1	0-0.075mm	0.5	0.53	0.89	0.89



図−2　供給土砂の粒度分布条件と透過部による捕捉条件

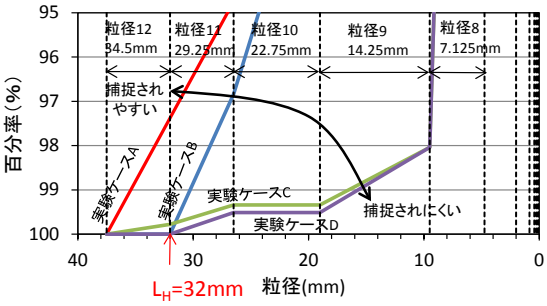


（a）水・土砂供給条件　（b）最終堆砂形状の計算結果　（c）透過部の閉塞高さの時間変化

図－3　供給条件および河床変動高の計算結果

3.2 計算結果

河床変動高の計算結果を図－3 に示す。里深・水山モデルによる計算値は、実験ケース A を除いて実験値の堆砂形状と透過部の閉塞高さを過小評価した。それに対して、本手法の計算値は、実験ケース C を除き実験値の堆砂形状と閉塞高さの上昇速度が概ね一致した。



図－4　大粒径の粒度分布条件

4. 考察

計算結果は、単粒径の里深・水山モデルに対する中谷ら（2015）の指摘[4]と同じ傾向を示した。また、本手法による掃流状集合流動状態において砂礫移動層の平均濃度で透過部の捕捉を評価する方法の妥当性が確認された。

しかし本手法の再現性は、実験ケース C に対して低く、実験ケース D の捕捉量を過小評価する。図－4 に大粒径の範囲を拡大した粒度分布曲線（X 軸・Y 軸を反転）を示す。これによると、実験ケース A→B→C→D の順で閉塞しやすい条件であることが推定され、計算結果でも粒度分布条件の相対的な差が評価されていることがわかる。再現性が低い実験ケース 2 は L_H=32mm より大きな礫が 0.22%含まれるが、実験では満砂するか否かと大きな違いが発生するのに対し、計算では実験ほどの差が現れない。以上の内容から、実際には、L_H より大きな礫の捕捉がそれより小さな礫の捕捉率を増加させるが、本手法ではその効果が評価されていないことが原因として挙げられた。

5. おわりに

本研究では、1 次元河床変動計算により透過型砂防堰堤を設置した水路実験の再現計算を実施し、透過部の閉塞評価方法について検討を行った。その結果、**里深・水山モデルを複数粒径へ拡張し、掃流状集合流動状態で砂礫移動層の平均濃度により a1 を評価することで、低濃度条件下でも、透過型砂防堰堤の土砂捕捉効果を評価可能となる**ことを示した。里深・水山モデルの複数粒径への拡張方法、$d>L_H$ の礫の捕捉が $d<L_H$ の礫の捕捉に与える影響の評価が、今後の課題として挙げられた。

参考文献

1) 松本ら（2016）：ハイドログラフの違いが砂防堰堤による土石流の流量低減に及ぼす影響に関する水路実験，平成 28 年度砂防学会研究発表会概要集 A，p.116-117
2) 松本ら（2017）：山地洪水に対する砂防堰堤の土砂捕捉に関する 1 次元河床変動計算の適用性の検討，平成 29 年度砂防学会研究発表会概要集，p.486-487
3) 里深・水山（2005）：格子型ダムによる土石流の調節に関する数値実験，砂防学会誌，Vol. 57，No. 6，p. 21-27
4) 中谷ら（2015）：流域特性に応じた透過型砂防堰堤の捕捉機能に関する検討，平成 27 年度砂防地すべり技術研究成果報告会，p.73-101
5) 嶋ら（2015）：鋼製透過型砂防堰堤の土石流捕捉における礫および部材間隔に関する一考察，砂防学会誌，Vol. 67，No. 5，p. 3-11