

1. はじめに

山地河川における1次元河床変動計算は砂防ダムを対象とすることが多いが、時として貯水池上流に設置される貯砂ダムもその対象となる。1次元河床変動モデルは多数提案されているが、実際の山地河川のように流況や河道が複雑に変化する場でのモデルの適用性はまだ十分理解されていない部分もあるように思われる。

そこで本研究では、実際の山地河川地形に貯砂ダムを設置した場合の堆砂水理模型実験結果を検証データとし、1次元河床変動モデルによる再現計算を実施してモデルの適用性について調べた。

2. 計算方法及び実験方法

2-1. モデル概要

基礎方程式は流れの連続式と運動方程式、流砂の連続式、粒径別の浮遊砂輸送方程式、および交換層における粒径別土砂収支式から成る。未知数は、流量(Q)・流水断面積(A)・堆積土砂断面積(A_s)・水深平均浮遊砂濃度(C_j)・交換層の粒度分布(P_j)である。

本モデルは清水ら¹⁾を参考に浮遊砂の非平衡性を考慮している。すなわち、各地点における浮遊砂濃度の鉛直分布関数として定常鉛直1次元拡散方程式から求めた指数型分布式を適用し、底面での浮遊砂沈降フラックスを求める。その一方で、浮遊砂の基準面濃度を算出して浮遊砂浮上フラックスを求め、両フラックスの差によって浮遊砂の非平衡性を表現した。掃流砂量、基準面濃度はいずれも芦田・道上式から算出した。

計算方法には常・射流混在流れにおいて実績のある MacCormack 法を採用した。人工粘性項には岡部ら²⁾の拡散型を用いている。

2-2. 実験概要

計算の対象とした水理模型実験について概要を述べる。

図-1 に水理模型の平面図を示す。対象地形はAダム貯水池上流部(縮尺:50分の1)である。平均河床勾配は100分の1、河道上流と下流に湾曲部を有する。実験は前述のように貯砂ダムの土砂捕捉特性を調べるために実施された。

図-2 に実験で与えた流量波形を示す。流量は単純化された洪水波形によって与え、各ステップの流量に見合った土砂量を給砂した。実験土砂には5号珪砂($d_m=0.49\text{mm}$)と7号珪砂($d_m=0.18\text{mm}$)の混合砂を用いた。

測定項目は、水面形、堆砂形状、堆砂粒度分布、および貯砂ダム越流水に含まれる浮遊砂の量と粒度分布である。

2-3. 計算条件

計算条件は、空間刻み $dx=0.2\text{m}$ 、粗度係数 $n=0.02$ 、時間刻み $dt=0.001\text{s}$ 、空隙率は 0.49、代表粒径は実験で用いた土砂の粒度分布を参考に 0.06~0.9mm の範囲で8粒径とした。なお、空隙率は実測値から求め、粗度係数は無堆砂時水面形の実測値と計算値を比較して求めている。

3. 計算結果と考察

図-3-a), b)にステップ2, 3における水面と堆砂の縦断形状の比較を示す。実験値は水位・堆砂位とも横断平均値である。実験ではステップ2でNo.10付近に、ステップ3でNo.9付近に堆砂肩が形成されており、

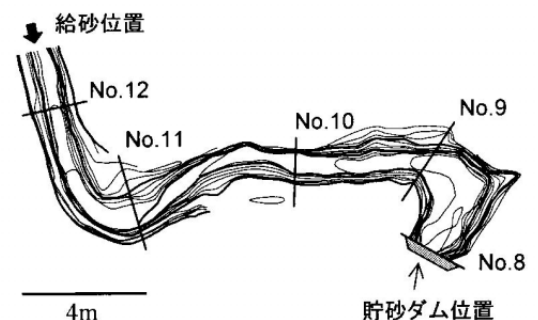


図-1 計算対象とした水理模型平面図

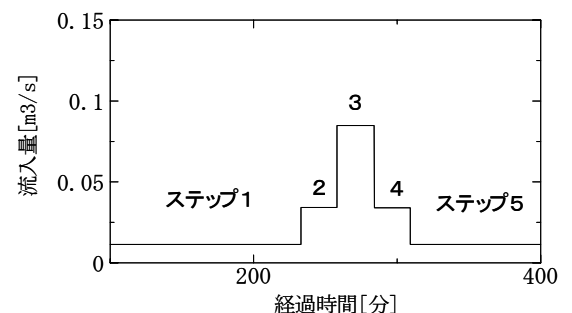


図-2 計算対象とした模型実験の流量条件

キーワード：貯砂ダム、山地河川、一次元河床変動計算、モデル適用性

連絡先：〒305-0031 茨城県つくば市南原 1-6 土木研究所 水工研究グループ ダム水理チーム tel:029-879-6783

さらにその下流には浮遊砂の堆積によって形成されたと考えられる勾配の緩やかな堆砂も見られる。計算では堆砂の全体的な形状は概ね再現できているが、いずれのステップにおいても実験より上流側に多く堆積する傾向が見られた。次に堆砂肩の下流を見ると、実験と同様、計算でも浮遊砂の堆積した様子が見られるが実験よりも過小となった。

次に図-4 は堆砂の平均粒径を比較した結果である。○印で示される実験結果では No.9～No.10 区間において下層ほど粒径が細かい傾向が見られ、この点は計算においても比較的好く再現されている。しかしその上流の No.10-6～No.11-1 区間では実験では下層ほど粗いのにに対し、計算では逆の傾向となった。

図-5 に貯砂ダム越流水中の流出土砂量及びその平均粒径の時間変化を示す。実験ではステップ3において流出土砂量の顕著な増加が見られた。計算でも同様の傾向は再現されたが流出量は実験値の半分程度となった。また平均粒径も小さく、実験よりも細かい成分しか流出しなかった。

以上の実験と計算における相違の主な理由は上流部湾曲部流況の再現性にあると考えられる。前述のように粗度係数を決定するために無堆砂時の水面形について実験と計算を比較しているが、その結果、実験では湾曲部において主流が外岸側に偏って射流状態のまま湾曲部を通過したのに対し、計算では湾曲部上流で川幅が拡大しているため流速が低下して跳水が生じた。こうした流れの違いにより湾曲部直下流部で実験よりも堆砂量が増大し、それがさらに下流部(No.8～10)の堆砂量および流出土砂量の減少に影響を及ぼしたと考えられる。

4. まとめと今後の課題

貯砂ダムの存在する山地河川における1次元河床変動モデルの適用性を調べるため、水理模型実験の再現計算を実施した。その結果、基本的な堆砂特性は再現できたが、3章で述べたように定量的には再現不十分な点も多く見られた。実験値との差には掃流砂量式、基準面濃度式、粗度係数、非平衡浮遊砂の表現方法等によるものも考えられるが、主たる原因として1次元モデルのため湾曲部射流のような局所流れの再現性が十分ではなく、これが“堆砂全体”に影響を及ぼしたと考えられた。今後、この点は流れの平面2次元モデル等によって湾曲部の流速分布特性を調べ、運動方程式のエネルギー補正係数 $\alpha \cdot \beta$ 等に反映させ、モデルの再現性向上を図る予定である。平面2次元河床変動モデルも再現精度向上の有力な手段であるが、計算効率を考えた場合、1次元河床変動モデルも依然として有力なツールであり、このような工夫も意味あるものと考えている。

参考文献:

- 1) 清水康行・板倉忠興・岸力・黒木幹男, 水理講演会論文集, 第30巻, pp.487-492, 1986.
- 2) (社)砂防学会編: 山地河川における河床変動の数値計算法, 山海堂, pp.54-59, 2000.

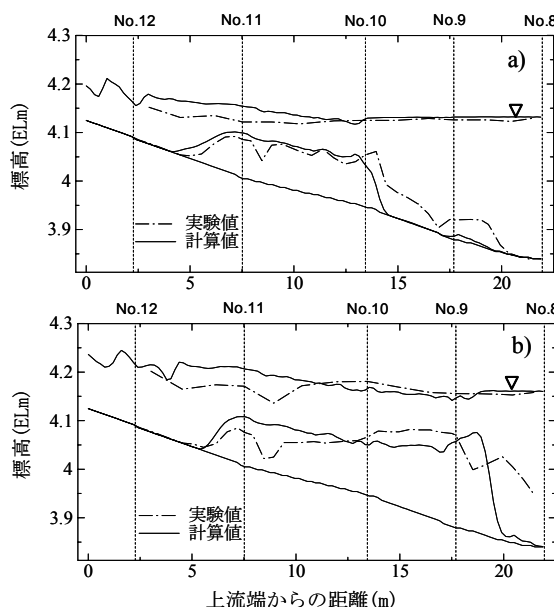


図-3 水面形と堆砂形状の比較: a) ステップ2, b) ステップ3

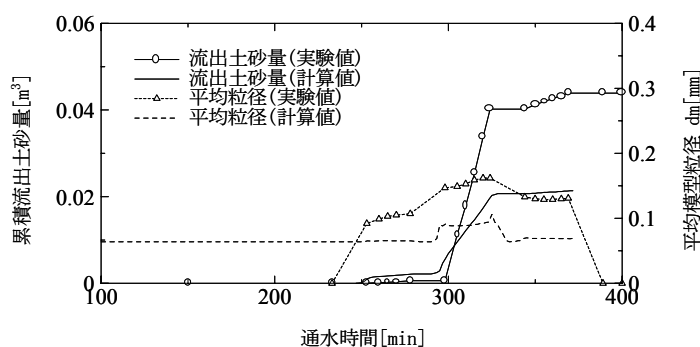


図-5 放流水中に含まれる浮遊砂量と平均粒径の経時変化

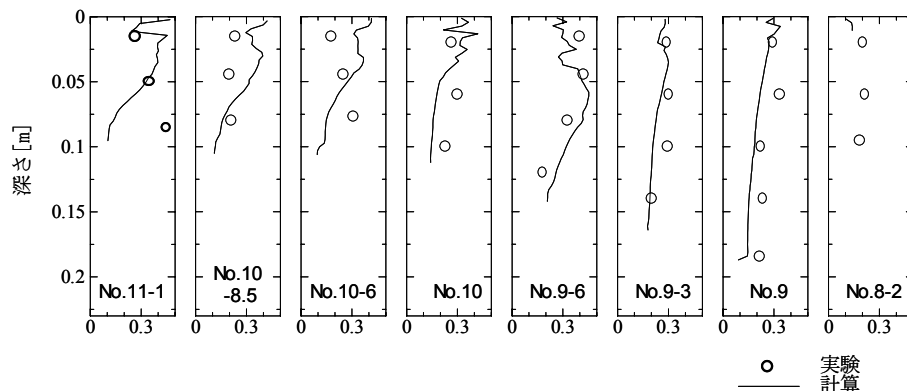


図-4 堆砂の平均粒径