

混合粒径堆砂実験の1次元河床変動解析

土木研究所 正会員 鎌田昌行
 土木研究所 正会員 柏井条介
 土木研究所 正会員 櫻井寿之

1. はじめに

ダム等の堆砂対策の検討においては数値計算モデルが有用なツールと考えられるが、その再現性が混合粒径を用いた実験データにより検証された事例は少ない。こうした状況のもと、土木研究所では土砂バイパス施設の現地地形条件および流入土砂を用いた水理模型実験を行う機会を得た。本稿は1次元河床変動モデルを用いて水理模型実験の堆砂・排砂現象を計算し、実験結果との比較により現象の再現性を検証したものである。

2. 水理模型実験

水理模型実験は、土砂バイパス施設流入部の水理特性を確認し、土砂バイパス施設特性を把握することを目的に実施されたものである。実験対象は土砂バイパス施設の上流河道 1,400mの区間であり、模型縮尺 1/50 にて実施した。図1にバイパス呑口付近の施設配置を示す。

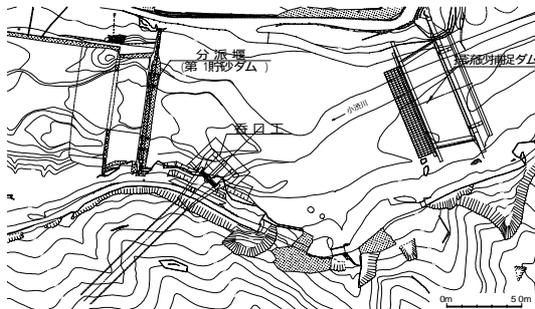


図1 施設配置図

流量条件は、1/200 確率の計画洪水と 1/50 確率に相当する実績洪水の平均波形を用い、流入土砂量は河道の輸送能力で与えられる粒径別流砂量を、既往出水波形に適用して、実際の貯水池内の堆砂量と粒度分布が一致するように粒径別に補正係数を乗じて推定した。粒度分布は上述の方法から比率を求め、縮率に応じて与えるものとした。また、初期河床高は横断測量結果の平均河床高を用いた。

図2に用いた流入波形を原型値と模型値の両方のスケールで示す。流入土砂の粒度分布は、推定結果をもとに流量規模毎に変化させており、図3に用いた粒度分布を示す。

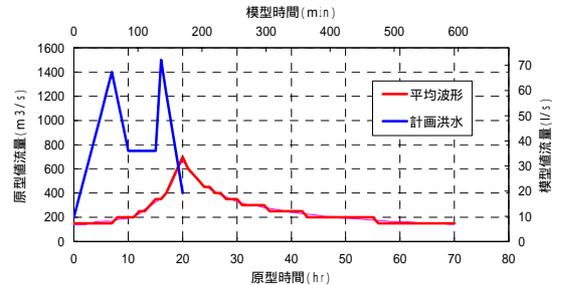


図2 流入波形の比較

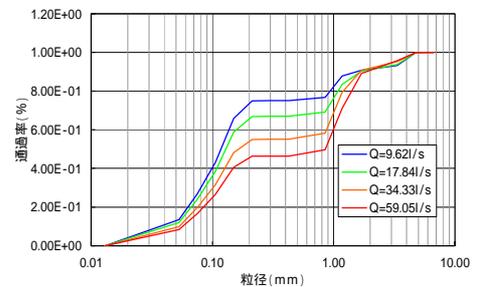


図3 実験で用いた粒度分布

3. 数値計算

(1) 数値計算モデル

本研究で用いた数値計算モデルは混合粒径を取り扱える非定常(不定流)の1次元河床変動モデルであり、基礎方程式は1次元の流れの連続式、流れの運動方程式、流砂の連続式、浮遊砂の粒径別輸送方程式および交換層内の粒径別土砂収支式から構成されている。浮遊砂の輸送方程式を用いることで浮遊砂の浮上と沈降の非平衡性を考慮している。

常流と射流の混在した流れを再現するために、基礎方程式の各変数をスタッガード格子に配置し、非定常項についてはオイラー陽解法、空間については有限体積法により離散化した。移流項の離散化には1次精度風上差分を用いている。この手法により、1次元の水面形計算において常流と射流の混在する流れを計算可能なことが確認されている¹⁾。

掃流砂の算定には芦田・道上の流砂量式²⁾を用い、浮遊砂の非平衡性の取扱いに清水ら³⁾、井上ら⁴⁾を参考にしており、浮遊砂の基準面濃度の算定には芦田・道上⁵⁾の式を用いている。

キーワード 1次元河床変動モデル, 混合粒径, 水理模型実験, 堆砂

連絡先 〒305-0032 茨城県つくば市南原 1-6(独)土木研究所水工研究グループ TEL029-879-0867 E-mail: kamada44@pwri.go.jp

(2) 計算条件

実験に用いられた河道模型の延長は約 25.3mであるが、下流端を掃流砂捕捉ダムとして、模型上流端から 21.2mの領域とした。

計算格子は横断測量結果をもとに 25m間隔で作成し、河岸形状および河床高の初期条件は現地観測データを用いて与えた。混合粒径のモデル化には表 1 に示す 15 の代表粒径を設定した境界条件として、上流端に流入量と粒径ごとの流入土砂量、下流端に水位を与えた。

表 1 代表粒径

粒径No.	粒径(mm)
1	6.125
2	5.158
3	3.989
4	2.386
5	1.416
6	1.001
7	0.601
8	0.357
9	0.252
10	0.178
11	0.126
12	0.089
13	0.063
14	0.026
15	0.004

(3) 計算結果

図 4 に縦断河床形状の変化を示す。なお、以下の計算結果の表現では模型値で示している。

平均波形の場合、計算開始後 300 分で掃流砂捕捉ダムが満砂する(実験では約 160 分で満砂)。河床形状は上流端付近では計算値が実験値より多く堆積する結果となっているが、下流側ではほぼ実験結果と一致しており、概ね再現できていると思われる。

計画洪水では、掃流砂捕捉ダムは計算開始後 100 分で満砂する(実験では約 44 分で満砂)。河床形状はよく再現していると言える。

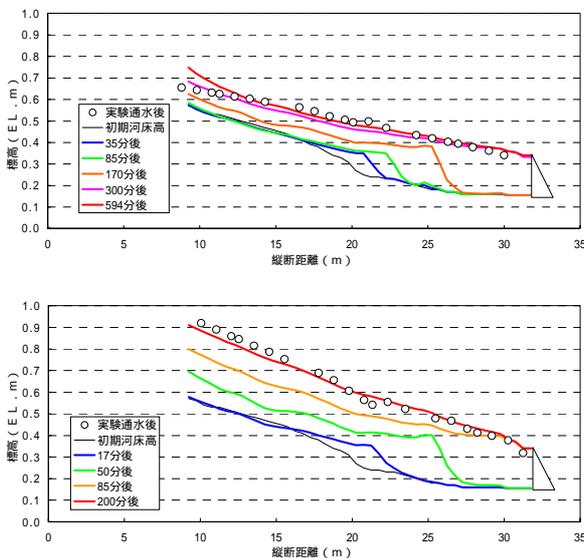


図 4 河床形状の変化(上:平均波形,下:計画洪水)

また、図 5 に流出土砂量の時系列図を示す。計算結果は掃流砂捕捉ダムからの流出土砂量を示しており、実験値は掃流砂捕捉ダムより約 4.1m下流の分派堰およびバイパストンネルからの流出土砂量の値を示している。

実験では捕捉ダムが満砂するまでは流出土砂量が

小さく、浮遊成分もあまり流出していないと考えられる。計算では捕捉ダムが満砂する前から浮遊砂が流出傾向にある。実験の流況観察から、捕捉ダムの上流では主流が左岸よりになっており、こうした流れの横断方向の非均一性が、捕捉ダムの満砂に要する時間等の 1次元モデルによる計算結果と実験結果の相違の要因となっている可能性がある。

捕捉ダム満砂後の流出土砂量の計算結果は、概ね実験結果と同程度の値となっている。

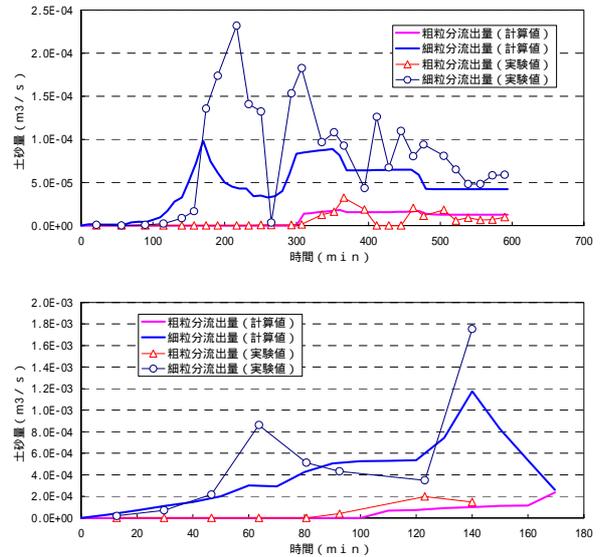


図 5 流出土砂量(上:平均波形,下:計画洪水)

4. おわりに

実験では河床形状を通水終了後に計測しているため、途中経過の比較はできないが、掃流砂捕捉ダム満砂後の安定河床では、混合粒径を用いた実験の堆砂形状を 1次元河床変動モデルにより精度よく再現できることが示された。

しかしながら、捕捉ダムが満砂するまでの時間と実験前半の流出土砂量に実験結果との違いが認められており、今後の検討課題としたい。

参考文献

- 1) 社団法人土木学会: 常流・射流混在流れ, 水理公式集例題プログラム集平成13年版, 第2編河川編, 例題2-9, 2001
- 2) 芦田和男・道上正規: 移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究, 土木学会論文報告集, 第206号, pp.56-69, 1972
- 3) 清水康行・板倉忠興・岸力・黒木幹男: 昭和56年8月洪水における石狩川下流部の河床変動について, 水理講演会論文集, 第30巻, pp.487-492, 1986
- 4) 井上卓也・清水康行: 貯水池の水位変化を伴う貯水池の排砂に関する研究, 水工学論文集, 第46巻, pp.791-795, 2002
- 5) 芦田和男・道上正規: 浮遊砂に関する研究(1) - 河床付近の濃度 -, 京都大学防災研究所年報, 13号B, pp.233-242, 1970