

三春ダム直下流における置土侵食の平面2次元河床変動解析

(独) 土木研究所 正会員 ○ 佐々木 崇憲
 (独) 土木研究所 正会員 櫻井 寿之
 (独) 土木研究所 正会員 箱石 憲昭

1. はじめに

近年、総合土砂管理、下流河川環境の保全および堆砂により減少した貯水容量の回復の観点から、既設ダムにおいて、貯水池内に堆積した土砂を下流河道に供給する試みが各地で行われている。その方法の1つとしてあげられる「置土」は、汎用性が高いことや比較的安価に実施することが可能であることから、採用するダムは増加傾向にある。しかしながら、土砂の侵食、流送挙動を体系的に予測する手法は確立されておらず、これらを把握する技術の開発が求められている。

そこで、本稿では、三春ダム直下流で試験的に実施された置土について、平面2次元河床変動解析を行い現地観測¹⁾との比較検討を行った結果を報告する。

2. 数値解析

(1) 基礎式

計算に用いた基礎式を図-1に示す。今回用いたモデルは著者らの作成した既存のモデル²⁾を現地スケールの現象に適用するために、混合粒径および浮遊砂の輸送を取り扱えるように改良したものである。本モデルの掃流砂の算定には、芦田・道上の式、主流に直交する方向の流砂量の算定には長谷川の式を用いている。浮遊砂については平均浮遊砂濃度の輸送方程式を用いた。沈降量は平均浮遊砂濃度と水理量から水深方向の濃度分布形を仮定して算定し、浮上量については、芦田・道上の濃度式を用いて基準面濃度を算定して沈降速度を乗じて求めた。離散化は有限体積法(風上差分)と陽解法を用いている。

(2) 側岸侵食

置土の侵食は、置土斜面が崩壊することにより進行する。本モデルでは、粘着性が卓越しない土砂を対象として水中安息角を用いた斜面崩壊をモデル化した。具体的には、水中斜面部において河床勾配が安息角以上となった場合、その勾配が安息角以下となるように定期的に形状をチェックし土砂を移動させた。

(3) 計算条件

計算条件は現地観測データ¹⁾を元に設定しており、断面データが得られている置土上流70mから下流200mまでの領域をモデル化した(図-2)。計算格子は流下方向に2m×135個、横断方向に2m×20個であり、交換層厚は30mm、粒度分布を記憶する層厚は60mmとし、計算時間間隔は0.005秒とした。境界条件は上流端に流量、下流端に水位を与えた。なお、計算範囲の下流端水位は、現地の河床勾配が概ね1/2000であることから、同勾配を用い算出した。

(連続式)

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial z} = 0$$

(運動方程式)

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial UM}{\partial x} + \frac{\partial WM}{\partial z} = -gh \frac{\partial(h+y_b)}{\partial x}$$

$$+ \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu h \frac{\partial U}{\partial x} - \overline{uuu} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu h \frac{\partial U}{\partial z} - \overline{uwu} \right) - \frac{\tau_{sx}}{\rho_0} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_0}$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial UN}{\partial x} + \frac{\partial WN}{\partial z} = -gh \frac{\partial(h+y_b)}{\partial z}$$

$$+ \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu h \frac{\partial W}{\partial x} - \overline{wuu} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu h \frac{\partial W}{\partial z} - \overline{www} \right) - \frac{\tau_{sz}}{\rho_0} - \frac{\tau_{bz}}{\rho_0}$$

(粒径別浮遊砂輸送方程式)

$$\frac{\partial(\bar{C}_k h)}{\partial t} + \frac{\partial(U \bar{C}_k h)}{\partial x} + \frac{\partial(W \bar{C}_k h)}{\partial z} = q_{upk} - q_{downk} + \frac{\partial}{\partial x} \left(D_{kh} \frac{\partial \bar{C}_k}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_{kh} \frac{\partial \bar{C}_k}{\partial z} \right)$$

$$\frac{\partial(\bar{C}_k h)}{\partial t} + \frac{\partial(M \bar{C}_k)}{\partial x} + \frac{\partial(N \bar{C}_k)}{\partial z} = q_{upk} - q_{downk} + \frac{\partial}{\partial x} \left(D_{kh} \frac{\partial \bar{C}_k}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_{kh} \frac{\partial \bar{C}_k}{\partial z} \right)$$

(流砂の連続式)

$$\frac{\partial}{\partial t} \{ (1-\lambda) y_b \} + \frac{\partial q_{Bx}}{\partial x} + \frac{\partial q_{Bz}}{\partial z} = q_{down} - q_{up}$$

$$q_{Bx} = \sum_k q_{Bxk}, \quad q_{Bz} = \sum_k q_{Bzk}, \quad q_{up} = \sum_k q_{upk}, \quad q_{down} = \sum_k q_{downk}$$

(交換層内における粒径別土砂収支式)

河床上昇時

$$\frac{\partial(P_{sk} y_{sa})}{\partial t} + \frac{1}{(1-\lambda)} \left\{ \frac{\partial q_{Bxk}}{\partial x} + \frac{\partial q_{Bzk}}{\partial z} + q_{upk} - q_{downk} \right\} = -P_{sk} \left(\frac{\partial y_{sb}}{\partial t} \right)$$

河床低下時

$$\frac{\partial(P_{ok} y_{sa})}{\partial t} + \frac{1}{(1-\lambda)} \left\{ \frac{\partial q_{Bxk}}{\partial x} + \frac{\partial q_{Bzk}}{\partial z} + q_{upk} - q_{downk} \right\} = -P_{ok} \left(\frac{\partial y_{sb}}{\partial t} \right)$$

ここに、
 (x, y, z): 空間座標(x: 流下方向, y: 鉛直上向き方向, z: 横断方向), h: 水深, y_b: 河床のy座標, t: 時間, (M, N): x方向, z方向のフラックス(M=Uh, N=Wh), (U, W): 水深方向に平均した平均流速ベクトル, \overline{uu} , \overline{uw} , \overline{ww} : $u'u'$, $u'w'$, $w'w'$ の水深方向の平均値, (u', v', w'): 乱れ速度ベクトル, g: 重力加速度, ν : 動粘性係数, ρ : 流体の密度, ρ_0 : 流体の基準密度, τ_{sx} , τ_{sz} , τ_{bx} , τ_{bz} : 水面及び河床面に単位面積当たり作用する力のx, z方向成分, (q_{us}, q_{ds}): x方向, z方向の単位幅当たり掃流砂量(m²/s), λ : 河床の間隙率(空隙率), \bar{C}_k : 粒径別断面平均浮遊砂濃度(m³/m³), D_{kh}: 水平方向の拡散係数(渦動粘性係数), q_{up}: 単位面積当たり浮遊砂浮上フラックス(m/s), q_{down}: 単位面積当たり浮遊砂沈降フラックス(m/s), (q_{Bxk}, q_{Bzk}): x方向, z方向の粒径別単位幅掃流砂量, P_{sk}: 交換層に占める各粒径成分の割合, y_{sa}: 交換層厚(m), y_{sb}: 交換層を除いた河床厚(m), P_{sk}: Δt前のP_{sk}, P_{ok}: 交換層直下の土質ブロックに占める各粒径成分の割合

図-1 解析に用いた基礎式

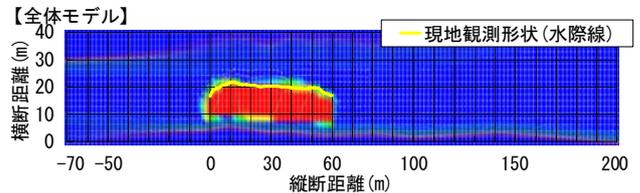


図-2 計算モデル

表-1 各ケースにおける粒径とその構成割合

Case	粒径 (mm)	構成割合 (%)	粒径 (mm)	構成割合 (%)	
Case-1	代表粒径	0.50	100.0	-----	
Case-2	代表粒径1	12.39	0.8	代表粒径5	0.60
	代表粒径2	6.72	1.3	代表粒径6	0.33
	代表粒径3	3.08	8.2	代表粒径7	0.16
	代表粒径4	1.30	18.8	代表粒径8	0.09

キーワード 置土, 平面2次元河床変動モデル, 侵食モデル, ダム堆砂, 土砂供給
 連絡先 〒305-8516 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 河川ダム水理チーム TEL: 029-879-6783

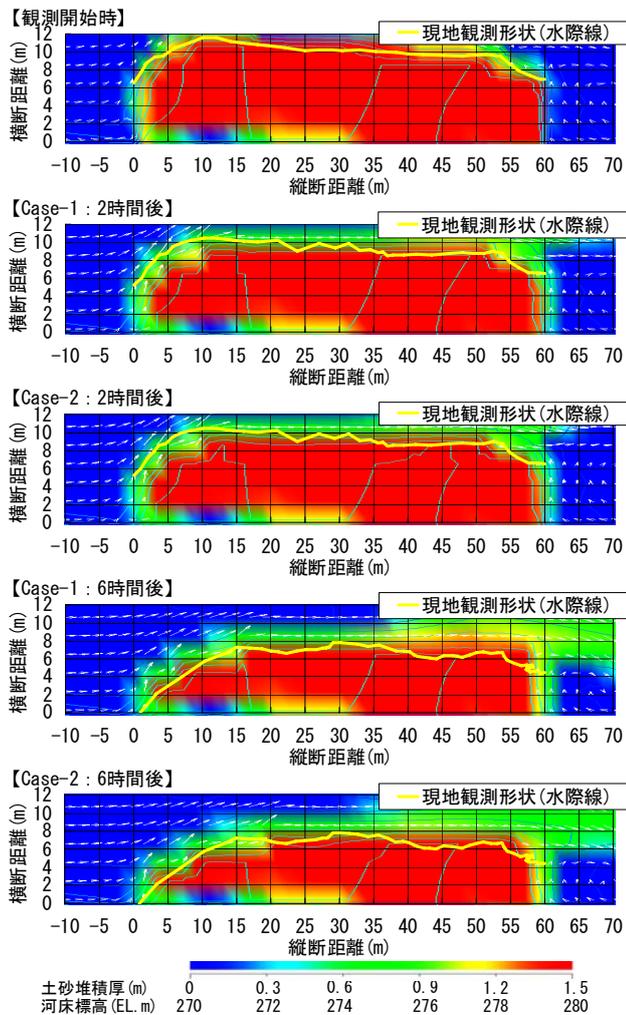


図-3 置土平面形状の時系列変化

(4) 計算ケース

計算は粒度のモデル化の影響を検討するために、現地観測によって得られた置土材料の粒度分布¹⁾をもとに、単一粒径(Case-1)と代表粒径を8個設定した混合粒径(Case-2)について行った。各ケースの代表粒径は、Case-1で D_{50} 値、Case-2においては、ふるいごとに8段階に区分された各区分の平均値である。表-1に各ケースの粒径とその構成割合を示す。

3. 数値解析結果

図-3は、置土の平面形状の最大流量時の2時間後と現地観測終了時の6時間後の変化を示したものである。図中の矢印は流速、色は置土の堆積厚、線は置土を含めた河床標高を示している。2時間後の形状では、Case-1とCase-2では大きな違いは認められないが、現地観測結果と計算結果では、後者のほうが先端0m~10m付近の侵食が若干進んでいる。さらに、6時間後の形状においては、Case-2のほうがCase-1に比して0m~20m付近の侵食が進む結果となった。なお、現地観測形状において40m付近より下流部の侵食がやや進んでいるが、これは、40m付近に設置された巨石が原因であると考えられる。なお、計算モデルではこれを考慮していない。

図-4は、河川流量および侵食土砂量をそれぞれ時系列で示し、侵食土砂量においては、現地観測値と計算結果を比較したものである。計算の侵食土砂量は、計算開始時に置

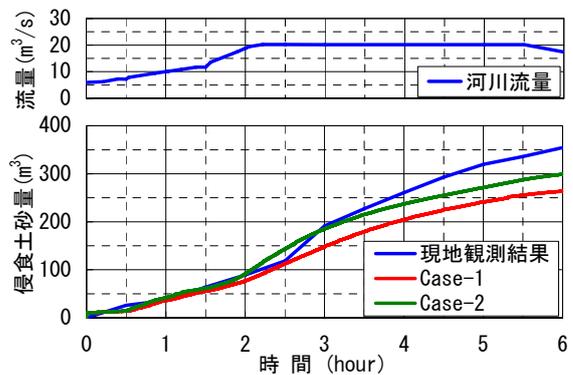


図-4 河川流量と置土侵食土砂量

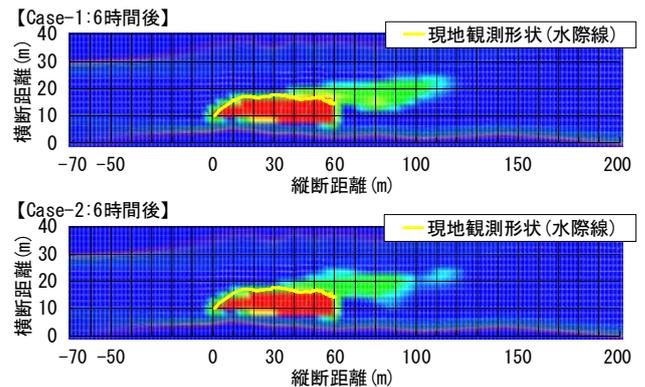


図-5 6時間後における置土平面形状

土が設置されていた範囲の変化量を算出したものである。Case-1、Case-2ともに現地観測開始後2時間程度までは現地観測結果と大きな差はないが、河川流量が最大付近に達した後は、Case-1に比してCase-2のほうが現地観測値に近い値になっている。また、現地観測結果で流量がピークに達してから侵食量が一時的に増加する傾向がみられるが、計算結果においても特にCase-2にその傾向が再現されている。なお、現地観測における土砂の算定は、図-3に示した水際線の面積変化量(30分間隔)に平均的な置土堆積厚である1.5mを乗じて算出しているが、現地では水際線より外側にも置土材料が確認されたため、上述した40m以降の侵食増加量も含め、実際の侵食量は小さくなるものと推察される。

図-5は、6時間後における計算結果の平面形状の全体図である。これに関しては、置土下流での土砂堆積状況の現地観測が行われていないため比較することはできなかったが、Case-1とCase-2において、100mより下流域で堆積厚に違いが見られた。

4. おわりに

本稿では、平面2次元河床変動モデルを用いて現地スケールの置土侵食現象をある程度定量的に再現できることを示した。今後は計算事例を増やして再現性の向上を図るとともに、置土計画等への反映を行っていきたい。

参考文献

- 1) 櫻井寿之・星野公秀・福島雅紀・箱石憲昭：三春ダム直下流における置土侵食の現地観測，土木学会第63回年次学術講演会講演概要集 第2部，2008（投稿中）
- 2) 鎌田昌行・柏井条介・櫻井寿之：ダム下流河道仮置き土砂侵食実験の平面2次元河床変動解析，土木学会第61回年次学術講演会講演概要集 第2部，pp.487-488，2006