

流砂観測データを用いた土砂流から浮遊砂の1次元河床変動解析モデルの検証

日本工営株式会社 ○濱原能成・伊藤隆郭・渡部春樹・三池力
国土交通省北陸地方整備局金沢河川国道事務所 岡嶋康子・南憲長・横山悠

1. はじめに

山地河川において、流砂の状態把握、降雨に対する応答を把握することは、砂防計画立案や土砂管理方針を検討する上で極めて重要である。豪雨時の山地河川は土石流・掃流状集合流動・掃流砂・浮遊砂という多様な土砂動態が混在し、これらを推定・評価するためには河床変動等の数値計算が有効と考えられる。しかしながら、使用する計算モデルの妥当性については、出水前後の河床変動量に基づき評価されることが多く、出水中の掃流砂観測データを用いた検証が試みられているが¹⁾²⁾、浮遊砂まで含めた出水中の土砂移動については検証されていない。

そこで本研究では、流砂観測の実施されている山地河川について、出水時の土砂移動再現を目的とした既に複数の土砂移動形態に対して連続的に取り扱うことが可能な一次元河床変動モデル³⁾を改良し、同河川における出水時の実測流砂量観測データ（観測柵・ハイドロフォン・濁度）を用い、同モデルの検証を行った。

2. 対象河川の流域特性

検証対象とした流域は、延長 26.6km、流域面積 189.7 km²、平均谷幅 40m、平均河床勾配 1/46.5、一級河川の支川流域にあたる。流域内のほぼ全域を山岳森林域で占め、砂防堰堤及び取水ダム等が複数設置されているものの、ダム貯水池のような土砂移動を完全に堰き止める構造物はない。

3. 流砂水文観測データ

同流域では、2004年に本川合流部付近の不透過型堰堤においてパルス式ハイドロフォン・流砂観測柵が設置され、(図-2)2008年までの4か年間に継続的な観測がされている。本研究では同流砂観測地点における観測データの中から、一出水において観測柵・ハイドロフォン・濁度のデータが同時に取得されている出水事例より流量規模の大きな事例を抽出し検証対象とした。図-3に、検証対象出水事例のハイドログラフ及びハイドロフォン観測データ・観測柵の捕捉土砂量（ロードセル）の時系列データを示す。出水時の観測流砂量の時系列的な変化に着目すると、観測柵による捕捉土砂量は出水後 1.5 h r 程度でほぼ頭打ちに、ハイドロフォンによる観測流砂量データについても出水後 2.5 h r 程度で頭打ちとなっている。観測柵については、頭打ちとなった時点の捕捉土砂量が観測柵満砂状態での重量を示しており、短時間で満砂になったと考えられる。ハイ



図-1 観測地点と対象流域 A

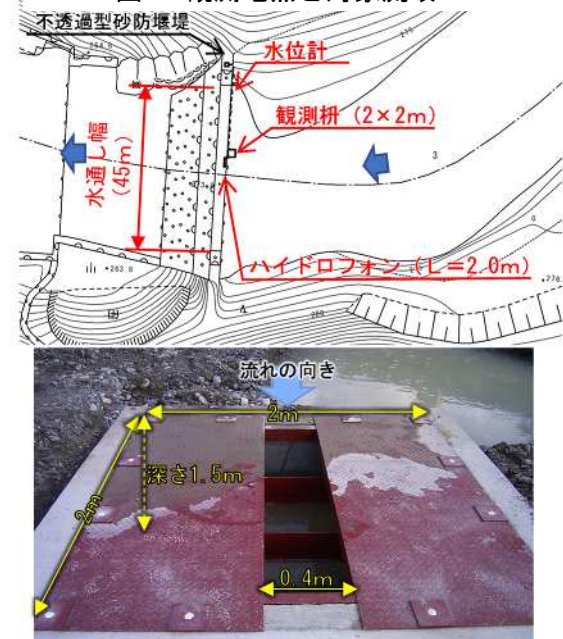


図-2 流砂観測の状況

ドロフォンについても、流量が比較的多い状況で流砂量が急激に低下していることより、センサー部の埋没などにより、正確な流砂量の計測ができていないと判断した。

4. 一次元河床変動計算モデル

再現計算には、冒頭で述べたの一次元河床変動計算モデル³⁾を用いた。同モデルは掃流砂量式として EMI 式⁴⁾を採用し、同式を改良することで幅広い土砂移動現象を対象とした河床変動を実用的に解析する。また、浮遊砂量式として芦田・道上の基準面濃度式に係数を乗じた式形を採用しているが、

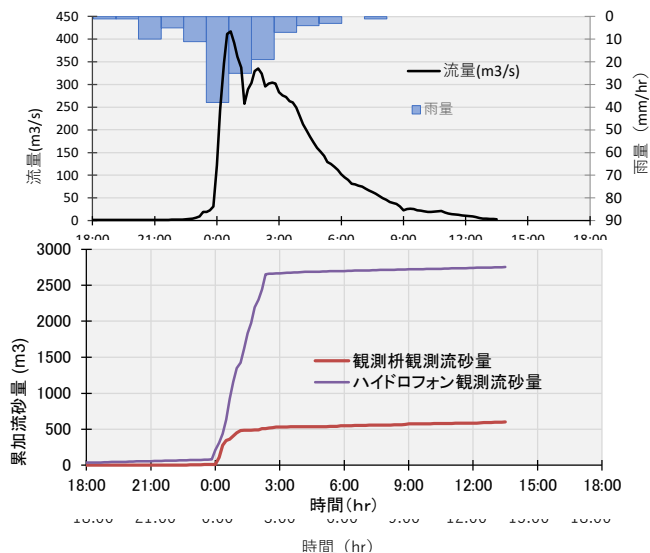


図-3 対象出水の水文・流砂観測データ
(累加流砂量は観測された流砂量データをもとに、水
通し幅より河道全体の通過土砂量に換算した)

沈降速度・摩擦速度比 (w_0/u_*) の比較的小さい溪流を対象としており、この式形は浮遊限界付近 ($w_0/u_* \approx 1$) の基準面濃度の急激な変化⁵⁾ に対し十分な追従ができない可能性がある。そこで本研究では、実験・現地データを全体的に包括しかつ浮遊限界付近での基準面濃度の変化に追従する Garcia-Parker⁶⁾ の基準面濃度式を適用、濁度データにより検証した。計算範囲は、本川合流地点を下流端とした 15.6 km の区間とし、断面形状は LP データに基づき 200m ピッチで与えている。河床材料については、出水後の観測柵捕捉土砂の粒度組成を使用した。観測柵では細粒分を捕捉できないことから、出水時の SS 成分の粒度組成をもとに、細粒成分について補完した。

5. 再現計算結果との比較検証

5.1 掃流砂量計算の比較検証

図-4 に再現計算による通過土砂量と観測データに基づく通過土砂量の比較結果を示す。

累加土砂量変化の傾きより流砂量を算出すると、計算流砂量が $0.38\text{m}^3/\text{s}$ 、ハイドロフォンによる観測流砂量が $0.30\text{m}^3/\text{s}$ 、観測柵による観測流砂量が $0.22\text{m}^3/\text{s}$ となった。仮にハイドロフォンによる観測流砂量を正しいとした場合、計算流砂量のずれは 1.3 程度となり、同じ実測データ間でも観測柵とハイドロフォンによる流砂量には、1.4 倍程度の相違があることを考慮すれば、本モデルによる流砂量算定結果は概ね妥当な値であると考えられる。

5.2 浮遊砂量計算結果の比較検証

図-5 に浮遊砂計算結果 (粒径区分 $0.001 \sim 0.425\text{m}$) と観測濁度より換算した SS 濃度の比較を示す。芦田・道上式と Garcia-Parker 式の基準面濃度式を用いた計算結果を比較すると、出水初期については、両モデルとも大きな違いはなく、出水

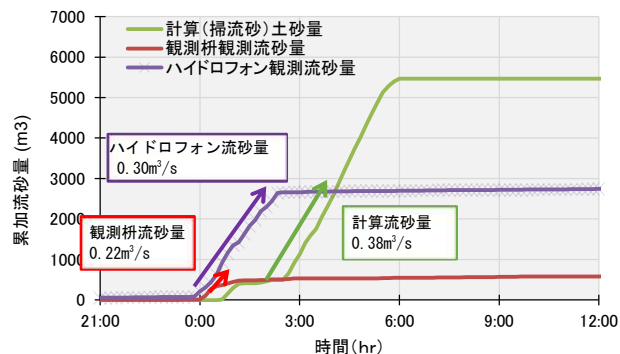


図-4 掃流砂量観測データと計算データの比較

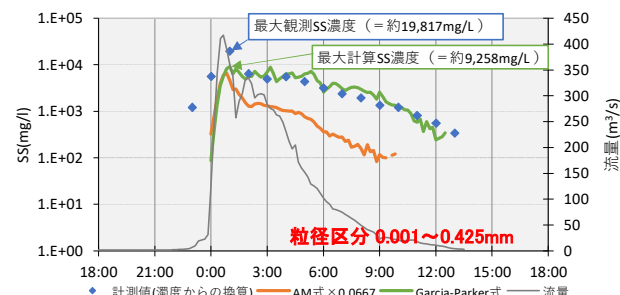


図-5 浮遊砂 (細粒成分) 計算結果と観測データ (濁度) の比較

後半では Garcia-Parker 式が観測結果の再現性が良好であった。計算結果と観測データの比較では、洪水初期からピークまでは観測値と計算結果に約 2 倍程度の差がみられたが、出水全体を通じての Garcia-Parker 式の再現性は良好であった。

6. まとめ

本研究では、山地河川を対象に出水中の流砂観測データを用いて一次元河床変動計算を検証した。その結果、掃流砂量については、観測データをもとにモデルの妥当性を検証することができ、また浮遊砂量 (0.425m 以下の細粒成分) については、出水初期では観測値との乖離がみられたが、出水全体での再現性は良好であった。直轄管内を中心に流砂観測データの蓄積が進んでおり、これらデータの活用法として河床変動計算モデルの検証への利用が有効な一例である。

参考文献: 1) 加藤ら: 天神川における流砂観測および土砂動態分析, 平成 30 年度砂防学会研究発表会概要集, p. 39-40, 2020, 2) 中谷加奈: 山地河川を対象とした流砂観測データを用いた河床変動計算の検証, 2015, 3) 渡部ら: 流砂量式等の取り扱いに着目した 1 次元河床変動解析の取り組みとその適用性, 2020 年度砂防学会研究発表会概要集, p. 207-208, 2020, 4) 水理公式集 [平成 11 年度版], 147, 1999, 5) 芦田ら: 平衡および非平衡浮遊砂量算定の確率モデル, 土木学会論文集, 第 375 号, p. 107-116, 1986, 6) Garcia, M., : Depositing and eroding sediment driven flows: Univ. of Minnesota, Project Report, 306, p.179 1990