

大きな石を用いた河床高回復のための数値解析

中央大学大学院理工学研究科 学生会員 ○前嶋 達也
 国土交通省北陸地方整備局富山河川国道事務所 正会員 藤本 昌利
 中央大学研究開発機構 正会員 長田 健吾
 中央大学研究開発機構 フェロー会員 福岡 捷二

1. 研究背景および目的

日本の多くの河川は、上流からの土砂供給量の不足や洪水に耐える大きな石が減少し、河床高が低下する傾向にある。その結果、基盤層の露出が生じ、護岸など河川構造物の安全性が問題になっている。このような河床低下対策として、巨石を用いた河床高回復の検討が行われている^{1), 2)}。しかし、どのくらいの大きさの石をどの程度の密度で配置すれば良いかなど具体的なことは十分分かっていない。今後は、実験に加えて数値解析を用いた予測技術が重要になる。本研究では、著者らが大きな石の配置による河床高回復を試みた常願寺川現地実験²⁾の再現解析を行い、大きな石を用いた河床高回復実験結果を数値解析でどの程度説明できるのか検討する。

2. 既往の河床変動解析手法

洪水時の河床変動機構に関する研究は数多く行われている。例えば、芦田・道上³⁾の研究に代表されるような、平衡流砂量式を用いた手法、中川・辻本⁴⁾らによる pick-up rate, step length を推定し、土砂の非平衡性を考慮したモデルなどがある。一般に、混合粒径河床では、河床材料の特徴(大きさ, 形状, 種類)や粒度分布形状の違いが、土砂移動形態, 流砂量, 河床にできる空隙(河床凹凸)に影響し、河床変動機構が異なると考えられる。近年、長田・福岡⁵⁾は、これらの影響が顕著な大きな石が存在する石礫河川を対象に各粒径の高さを計算し、河床の凹凸を考慮した河床変動モデルを提案している。また、藤田ら⁶⁾は、空隙の時間変化を考慮した河床変動モデルを提案しており、土砂移動問題に対する新しい展開が行われている。

3. 解析手法と解析条件

本研究では、長田・福岡の石礫河川の二次元河床変動解析法を適用する。このモデルは、解析メッシュ内で河床高を一定にするのではなく、(1)式に示すように河床からの離脱量 V_p と堆積量 V_D を用いて、各粒径の高さ Z_{Bk} を計算し河床凹凸を表現している。また、流砂量 q_{bx} , q_{by} は流砂量式によらず、(2)式に示す単位面積当たりの流砂体積 V_S を用いて(3)式より算出している。

$$\frac{\partial Z_{B_{i,j,k}}}{\partial t} = -\frac{\alpha_2 (V_{P_{i,j,k}} - V_{D_{i,j,k}})}{\alpha_3 P_{i,j,k}} \quad (1)$$

$$\frac{\partial V_{S_{i,j,k}}}{\partial t} + \frac{\partial q_{B_{xi,j,k}}}{\partial x} + \frac{\partial q_{B_{yi,j,k}}}{\partial y} = V_{P_{i,j,k}} - V_{D_{i,j,k}} \quad (2)$$

$$q_{B_{xi,j,k}} = u_{px,i,j,k} V_{S_{i,j,k}}, \quad q_{B_{yi,j,k}} = u_{py,i,j,k} V_{S_{i,j,k}} \quad (3)$$

ここに、 α_2 , α_3 は形状係数、 P_{ki} は各粒径の表層割合、 u_{px} , u_{py} は粒子速度を表している。

実験水路の通水は全部で3回行った²⁾。解析対象とする3回目実験の通水前の河床は、直前の2回目の実験流量(6.0m³/s)に見合った河床凹凸、粒度分布を有している。解析では、1回目実験終了時の河床形状、河床粒度分布を初期条件として、2回目実験流量を流し、断面形状と粒度分布の計算を行った。このようにして求めた河床形状および河床粒度分布に、3回目通水前に配置した大きな石の効果を組み込む。図-1に、石を配置する前後の河床表層の模式図を示す。

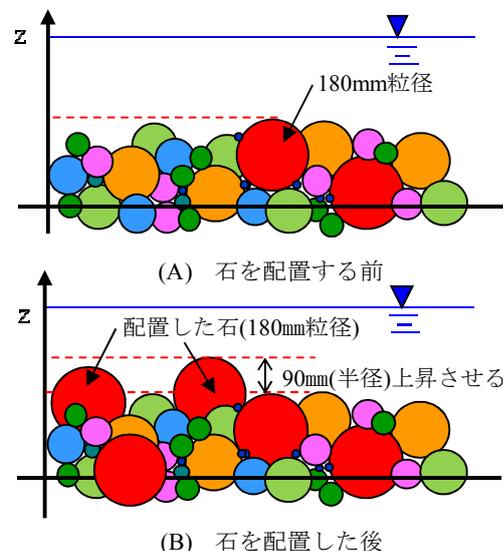


図-1 石の配置の模式図

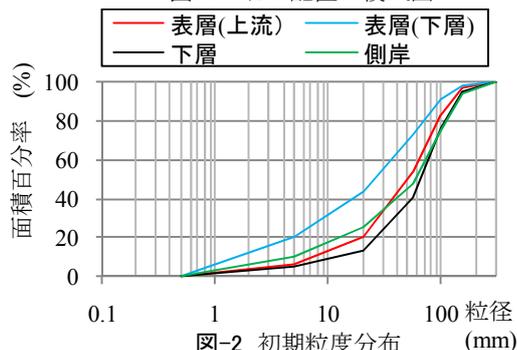


図-2 初期粒度分布

実験では、実験水路の上流区間に約 180mm の石を河床表面積の 10%程度配置した。解析では、配置した石に相当する粒径の表層割合を 10%割り増すと共に、その粒径の高さを 90mm(配置した石の半径)上昇させて、大きな石の配置を考慮した。上下流の境界条件には、観測された水位ハイドログラフを用いた。実験では、上流端からの土砂供給はないため、解析でも考慮していない。図-2 に解析で用いた河床表層、下層、側岸の初期粒度分布を示す。これらは、各断面での表層画像解析より求めた実測粒度分布を基に作成した。下流河道の河床表層は、実験 1 回目通水時に側岸侵食により供給された大量の砂が堆積したため、上流河道に比べて細かい粒度分布になった。使用した粒径は、180mm, 120mm, 70mm, 40mm, 10mm, 2mm の 6 粒径である。

4. 解析結果と考察

図-3 に解析水面形の時間変化と観測水位(圧力式水位計)および平均河床高の縦断図を示す。解析値は観測水面形を概ね再現している。平均河床高は、石を配置していない下流まで縦断的に上昇しており、観測値を十分説明できていない。図-4 に解析流量ハイドログラフと観測値を示す。解析水位が観測水位を再現できていることから、解析流量も観測値を概ね再現できている。図-5 に No.3 地点(石を配置した地点)における横断形状と平均粒径の横断分布を示す。側岸侵食量が実測値に比べて大きく、供給された河岸材料が河床に堆積している。図-6 に No.3 地点の通水前後の解析粒度分布と実測値の比較を示す。解析値は、実測値に比べ粗粒化しており、大きな河床材料が河床表層に堆積することで河床が安定し、洗掘されにくくなっている。

5. 結論

本研究では、石礫河川の河床変動解析モデルを用いて、大きな石の配置による河床高回復実験の再現解析を行った。解析結果は、側岸侵食量が多く全体的に河床高が上昇し、大きな石の効果による土砂堆積は十分検討できていない。今後は、大きな石の配置の取り込み方などモデルの検証を行う必要がある。また、堆積量を求める際に必要となる停止割合の改善を行う。現モデルでは、平均粒径を並べた河床上で粒子の衝突計算を行い、停止割合を求めている。大きな石の効果や河床凹凸の考慮するため、凹凸のある河床での検討を行う予定である。

参考文献

1)松本将能, 工藤美紀男, 福岡捷二:平成 20 年 8 月浅川洪水(多摩川水系)による土丹河床の大規模洗掘と河道管理方策, 河川技術論文集, 第 15 巻 pp285-290, 2009. 2)須賀正志, 前嶋達也, 藤本昌利, 長田健吾, 福岡捷二: 滯筋化・低下した石礫河川の河床高回復技術の開発研究, 河川技術論文集, pp273-278, 2009. 3)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, 土木学会論文集, 第 206 号, pp.59-69, 1972. 4)中川博次, 辻本哲郎, 原稔明: 混合砂れき床面の粗粒化過程について, 京都大学防災研究所年報, 第 20 号 B-2, 1977. 5)長田健吾, 福岡捷二: 石礫河川の二次元河床変動解析法に関する研究, 河川技術論文集, 第 15 巻, pp327-332, 2009. 6)藤田正治, Muhammad Sulaiman, Jazaul Ikhsan, 堤大三: 河床材料の空隙率の変化を考慮した河床変動モデルとその適用, 河川技術論文集, 第 14 巻, pp.13-18, 2008.

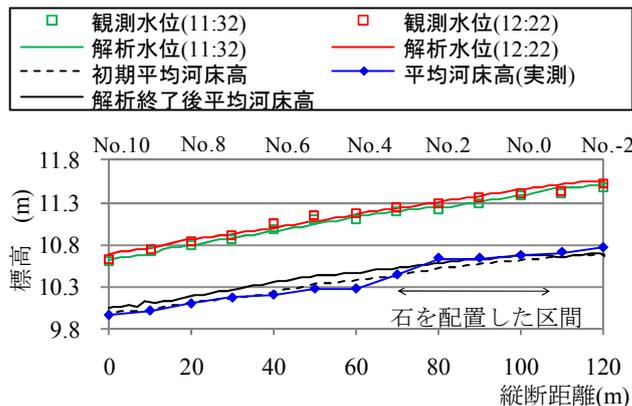


図-3 水位と平均河床の縦断図

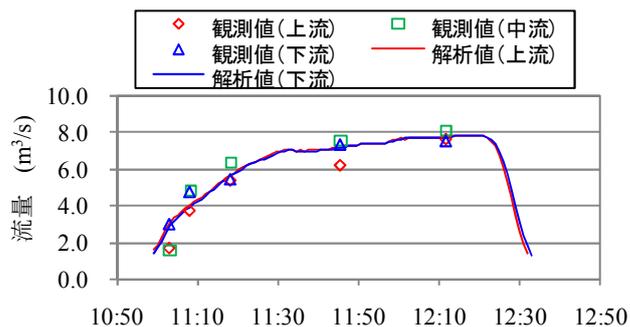


図-4 流量ハイドログラフ

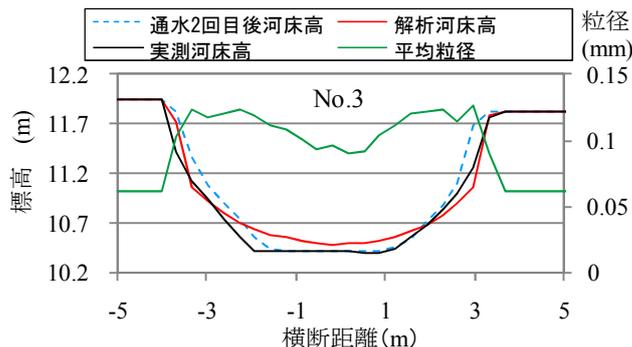


図-5 横断面形状と平均粒径の分布

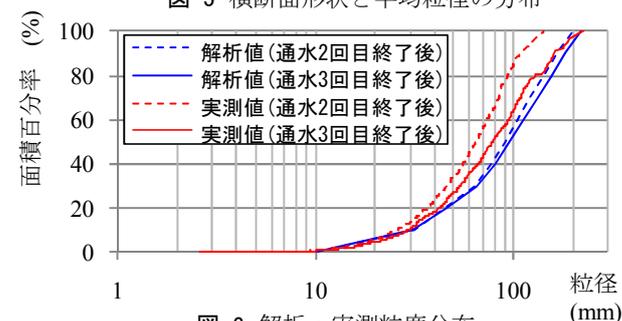


図-6 解析・実測粒度分布