

河道の弯曲の影響を受ける堰上流の合流部の流れ・河床変動特性に関する研究

明石工業高等専門学校専攻科

学生会員

○久保 裕基

明石工業高等専門学校専攻科

学生会員

高田 翔也

明石工業高等専門学校

正会員

神田 佳一

法政大学都市環境デザイン工学科

フェロー会員

道奥 康治

1. はじめに

近年、加古川では治水・利水を目的に建設された加古川大堰の上流区間において、堰の湛水及び左支川美囊川の合流、上流の河道弯曲の影響により、合流部での右岸砂州の肥大化など、河川管理上の諸課題が発生している。本研究では、このような美囊川合流部周辺の河川地形変化特性とその要因を明らかにすることを目的としており、既報では、上流河道の弯曲の影響を考慮した支川合流水路を用いて、堰湛水、上流河道の弯曲の影響を受ける合流部の流れ特性を明らかにしている¹⁾。本報では、本川と支川の流量比が美囊川合流部の河床変動特性に及ぼす影響について、移動床実験および2次元河床変動モデルを用いた数値解析により考察した。

2. 実験及び解析の概要

加古川は、兵庫県を流れる流路延長 96km、流域面積 1,730km² の一級河川であり、河口から 15.8km 付近で美囊川が合流している(図-1)。加古川大堰は河口から 12.0km の地点に位置し、高さ 5.3m、平常時における湛水区間上流端は、美囊川の合流部付近である¹⁾。合流部の本川幅は 200m、支川幅は 140m であり、支川美囊川には合流する直前に高さ 2m の落差工が設置されている。本実験では模型の縮尺を現地河道の 1/250 としてモデル化した。実験水路は、図-2 に示すように長さ 8m、幅 0.8m の本川に幅 0.48m の支川が X=2.83m の地点で本川に直角に合流したものであり、水路勾配は現地河道に合わせて 1/850 としている。支川の落差工として 0.108m の板を合流前 0.45m の位置に設置した。また、水路下流部には高さの調節が可能な堰板を設置し、大堰の操作による湛水効果を模擬した。移動床実験で河床材料は平均粒径 1.3mm、土粒子密度 1.47g/cm³ の石炭粉を使用し、水路に 0.1m の厚さで敷きつめた状態を初期条件とした。実験条件を表-1 に示す。上流端には弯曲の影響を模擬するために左岸側に水路幅 1/4 の板を設置した。本実験は本川と支川の流量比λ(=Q_l/Q_m)をパラメータとし、通水時間は予備実験において河床が定常状態となったと判断をした 60 分とした。また、通水中のビデオ画像から LSPIV 法により表面流速の測定を行うとともに、抜水後にレーザー変位計を用いて河床位の測定を行った。



図-1 美囊川合流部(2014 年)

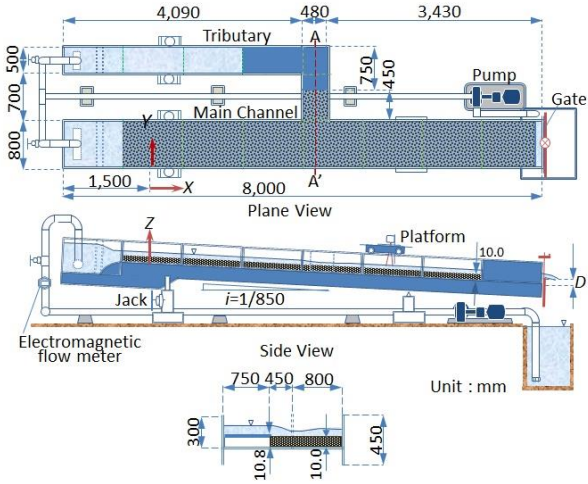


図-2 実験水路
表-1 実験条件

番号	通水時間 T(hr)	本川流量 Q _m (l/s)	支川流量 Q _l (l/s)	下流端堰高 H ₀ (cm)	上流端条件
Run1	1.0	5.0	1.0	1.0	水路の上流端の左岸側にB/4の板を設置
Run2			2.5		

また、今回は河川解析ソフトiRicを用いて実験同様の解析を行った。基礎式は、以下に示す平面2次元の連続式と運動方程式および流砂の連続式である。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial (uh)}{\partial x} + \frac{\partial (vh)}{\partial y} = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial (uh)}{\partial t} + \frac{\partial (hu^2)}{\partial x} + \frac{\partial (huv)}{\partial y} = -hg \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_x}{\rho} + D_x \tag{2}$$

$$\frac{\partial (vh)}{\partial t} + \frac{\partial (huv)}{\partial x} + \frac{\partial (hv^2)}{\partial y} = -hg \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_y}{\rho} + D_y \tag{3}$$

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} \left(\frac{\partial q_{bx}}{\partial x} + \frac{\partial q_{by}}{\partial y} + q_{su} + w_f c_b \right) = 0 \tag{4}$$

キーワード 支川合流, 移動床, 堰湛水, 数値解析

連絡先 〒674-0084 兵庫県明石市魚住町西岡 679-3 明石工業高等専門学校 TEL 078-946-6178

ここで, x, y : 平面直交座標, u, v : x, y 方向の水深平均流速(m/s), t : 時間(s), h : 水深, H : 水位, g : 重力加速度(m/s²), ρ : 水の密度, τ_x, τ_y : x, y 方向のせん断力(kg/m/s²), D_x, D_y : 拡散項, z : 河床高, λ : 空隙率, q_{bx}, q_{by} : x, y 方向の掃流砂量(m²/s), q_{su} : 河床からの土砂浮上量(m/s), w_f : 土砂の沈降速度. 移流項の離散化には CIP 法, 乱流モデルは $k-\varepsilon$ モデルが適用され, 掃流砂量式として 芦田・道上式に長谷川による斜面勾配の補正を考慮した式が用いられている. なお, 河床の材料は, 実験に用いたものと同じ, 密度 1.47g/cm³ 及び平均粒径 1.3mm とした. また, 実験水路と同様のスケールで, 横断方向 233 分割, 縦断方向 54 分割として格子を生成し, 境界条件としては, 本川及び支川の upstream 端で流量を与えた. 粗度係数は $n=0.018$ とし, 解析時間は 3600(s), として解析を行った.

3. 結果および考察

図-3 に Run1, 2 における抜水後の河床位コンター図を示す. 双方とも合流部付近水路中央に堆積が生じ, 合流部付近で洗掘, その下流側で堆積するといった傾向が得られた. しかし, (b) では支川流量を増加させると合流部付近の洗掘域及び範囲が増大しているのが確認できる. これは, 支川流入の影響が水路中央付近まで及んでいるものと考えられ, 流れの剥離域が増加したものと考えられる. またその影響により, 合流後左岸側に生じる死水域が増大し, それに伴い堆積域も水路中央付近まで拡大していることが確認できる. また支川流入の影響により局所的に生じた堰上げ背水の影響で水路中央での堆積が 5.0mm 程度増加し, 堆積域が $x=2.7\text{m}$ 付近までにとどまっているのが確認できる. 上流の弯曲の影響を再現するために上流端左岸側に水路幅 B/4 の板を設置したことにより, 水路の上流部左岸側に堆積が生じた. この傾向は現地の堆積状況と類似しており, 概ね再現できている. 図-4 には Run1, 2 における表面流況ベクトル図を示す. 図-4 の(a)と(b)を比較すると, (b) の場合は支川流入に伴う流れの剥離による影響が $y=0.2\text{m}$ 付近まで及び, 死水域が増大しているのが確認できる. また, 合流部付近の上流側においては局所的な堰上げ背水により, 流速が 8.0cm/s 程度小さくなっている.

図-5 には(a), (b)における数値解析の結果を示す. 移動床実験による結果と, 同様上流部左岸から合流部右岸側にかけて堆積が帯状に広がっているのが確認できる. また, 合流部付近の洗掘やその下流側に生じている, 堆積域についても実験結果と類似している結果となった.

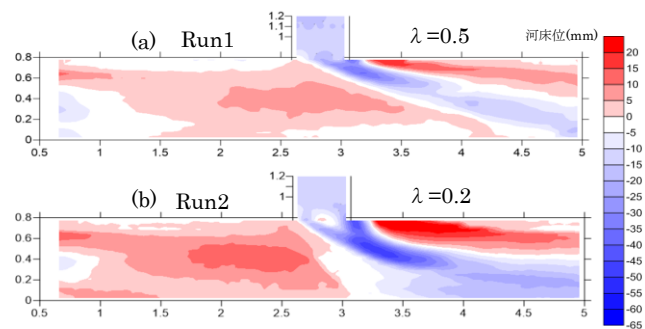


図-3 実験後の河床位コンター図

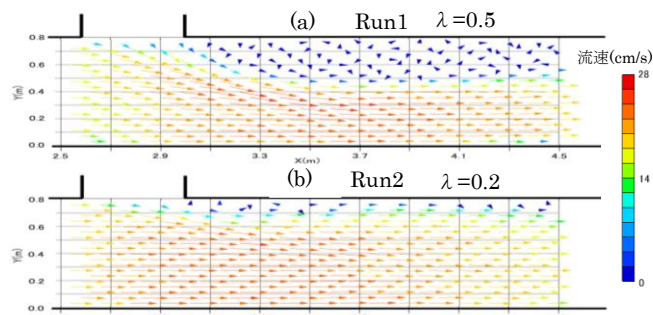


図-4 表面流況ベクトル図

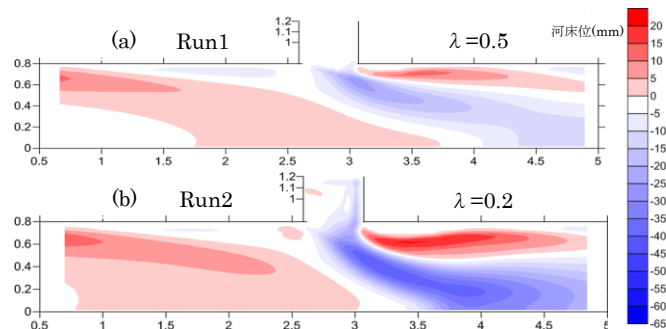


図-5 数値解析による河床位コンター図

以上より数値解析の結果は, 移動床実験の結果を概ね再現できているものと考えられる.

4. まとめ

本研究では, 合流部における加古川大堰の湛水効果と支川美濃川の合流, 上流部の弯曲を実験水路上で再現して移動床実験を行い, それらの影響が合流部の流れや河床変動に及ぼす影響について考察し, 数値解析が移動床実験を再現できているかについて考察した. 今後, 本実験や数値解析で得られた結果を踏まえ, 水制工の設置による移動床実験及び数値解析を行い, 河川地形変化特性の解明, 効果的な河道管理法の検討を行う予定である.

【参考文献】

- 1) 高田翔也, 神田佳一: 堰湛水の影響を受ける支川合流部の流れ特性に関する研究, 日本高専学会誌, pp29-34, 2015
- 2) iRIC 研究会: iRIC 講習会テキスト in KANSAI, 2013