

堰湛水区間における支川合流部の流れ特性に関する研究

明石高専都市システム工学科 学生会員 ○高田翔也
 明石高専都市システム工学科 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

加古川と美囊川の合流部では、下流の加古川大堰による湛水開始以降、その直上流の区間において、大堰の湛水効果と美囊川の合流および上流部の湾曲による影響により、複雑な河川地形が形成されている。そのため、治水・利水・環境面において河川管理上の諸課題が生じている。本報では、河川地形変化に影響を及ぼす合流部の流れ特性について、現地河道を模した合流部模型実験水路で固定床実験を行い、湛水区間における下流水位と支川合流、上流部の湾曲の効果について実験的に考察する。また、合流部の流れを再現できる2次元流解析モデル iRIC-Nays2DH¹⁾を用いた数値解析により、実験結果の検証とその適用性の検討を行った。

2. 実験の概要

加古川は、兵庫県を流れる流路延長 96km、流域面積 1730km² の一級河川であり、河口距離 15.8km 付近で美囊川が合流している。その上流部はほぼ直角に湾曲しており、また、合流部は河口距離 12.0km 地点に設置された加古川大堰の平水時の湛水区間の上流端となっている²⁾。合流部における本川幅は 200m であり、美囊川には合流部直上流に高さ 2m の落差工が設置されている。ここでは、本川幅と実験水路幅に基づいて模型のスケールを 1/250 とした。

実験水路は、図-1 に示すような長さ 8m、幅 0.8m の本川に、幅 0.48m の支川が直角に合流しており、水路勾配はともに 1/850 としている。落差工としては厚さ 9mm の板を支川合流前 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。また、結果の整理上、本川上流端から 1.5m 下流の右岸河床面を原点としている。

実験は表-1 に示すように、本川流量 $Q_M=5.0(\ell/s)$ に対する支川流量 Q_T の流量比 λ と堰の高さ H_D をパラメータとする 9 ケースと、水路の上流部(X=-0.5(m))右岸に水路半幅の板を設置し、上流部の湾曲流れを模擬した 3 ケース($\lambda=0.5, H_D=0, 1, 2(\text{cm})$)を行い、通水時に水面形の計測と表面流速の測定を行った。

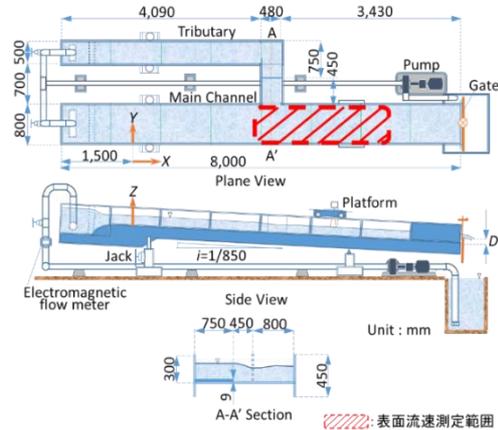


図-1 実験水路

表-1 実験条件

番号	流量比 $\lambda=Q_T/Q_M$	堰高 $H_D(\text{cm})$	上流端 条件	番号	流量比 $\lambda=Q_T/Q_M$	堰高 $H_D(\text{cm})$	上流端 条件	
Run2-0	0.5	0.0	無	Run10-0	0.1	0.0	無	
Run2-1		1.0		Run10-1		1.0		
Run2-2		2.0		Run10-2		2.0		
Run5-0	0.2	0.0		RunB2-0	0.5	0.0		有
Run5-1		1.0		RunB2-1		1.0		
Run5-2		2.0		RunB2-2		2.0		

3. 実験結果および考察

図-2 に Run2-0, Run2-2 における合流部近傍の水深のコンター図を示す。また、水路中央(Y=0.405(m))における縦断面形状を示せば図-3 のとおりである。合流部上流域の水面形は、合流によるエネルギー損失と貯留効果によって上昇し、堰上げ背水となっている。また、Run2-0 における合流部直下流では、水深が急低下しており、一時射流域に達し、その後弱い跳水を伴って常流

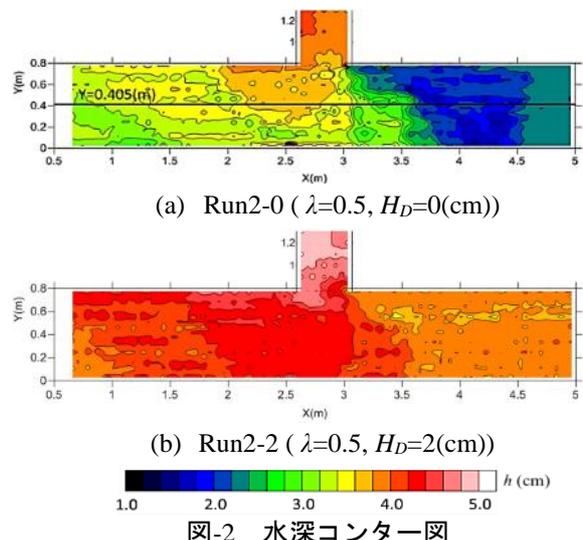


図-2 水深コンター図

キーワード 河川合流 堰 模型実験 数値解析
 連絡先 〒674-8501 兵庫県明石市魚住町西岡 679-3 TEL : 078-946-6178

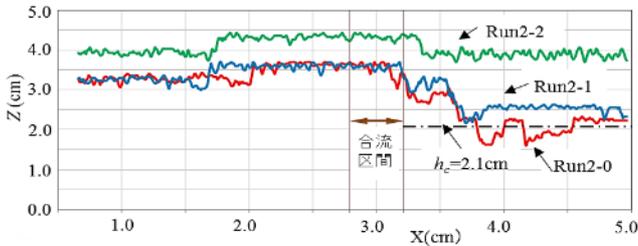


図-3 Y=0.405(m)における縦断水面形状

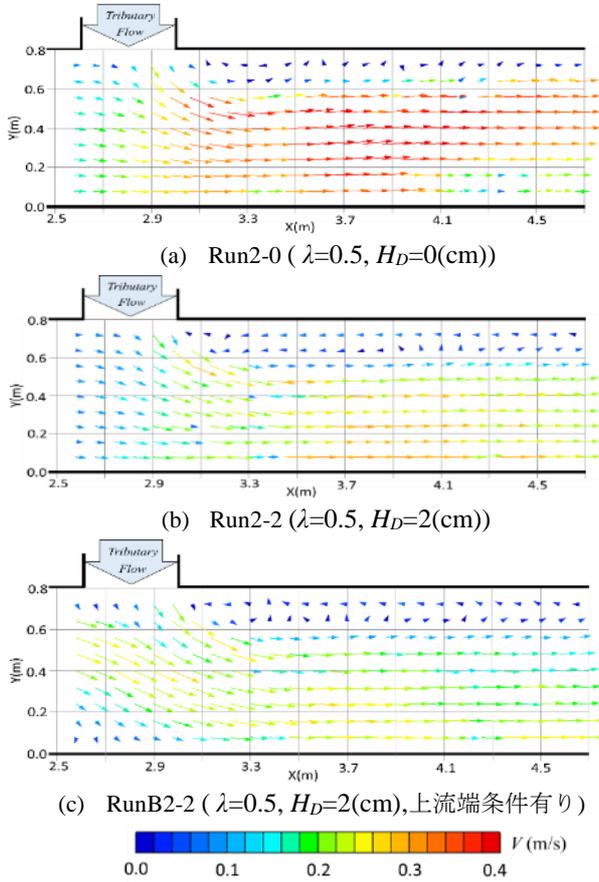


図-4 表面流速ベクトル図

に遷移している。Run2-2 においては、下流水位の上昇に伴い、合流後の水位変動は小さくなり、水路全体に湛水効果が及び、ほぼ等流状態となっている。

図-4 に Run2-0, 2-2 および Run2B-2 の表面流速ベクトル図を示す。合流部における流れは、支川の流勢により本川右岸側に大きく迂回し、本川右岸の直線的な流れと合流後、最大流速が生じている。一方、合流部下流左岸側では流線の剥離により、死水域が発生している。堰高 H_D の大きい Run2-2 では Run2-0 に比べ、湛水効果により、合流後の流速は小さく、死水域の規模も大きい。

また、上流端条件を与えた RunB2-2 では、左岸側に偏奇した主流部の流れは支川の合流によって右岸側に流向を変えながら蛇行しており、上流端条件を与えない場合に比べ、流線の曲りが顕著であって、合流の影響がより大きく現れている。一方、 $X=3.0(m)$ 付近より上流右岸側では、主流部の左岸への偏向による死水域の形成に伴い、流速の低下が確認された。

4. 数値解析による実験結果の検証

解析にはNays2DH¹⁾を用いた。基礎式は、以下に示す平面2次元の連続式と運動方程式である。

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

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

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

ここで、 x, y : 平面直交座標、 u, v : x, y 方向の水深平均流速、 t : 時間、 h : 水深、 H : 水位、 g : 重力加速度、 ρ : 水の密度、 τ_x, τ_y : x, y 方向のせん断力、 D_x, D_y : 拡散項である。移流項の離散化にはCIP法、乱流モデルは $k-\epsilon$ モデルが適用されている。境界条件としては、本川及び支川の上流端で実験条件と同様の流量を与え、本川下流端の水位は、実測値で与えた。せん断応力項には、マンニングの抵抗則を適用し、粗度係数は $n=0.01$ とした。

Run2-0, Run2B-2の解析結果は図-5のとおりである。これより、合流部直下流の水位低下、合流部左岸での流線の曲りと剥離域の範囲など、実験結果の適合性が確認された。

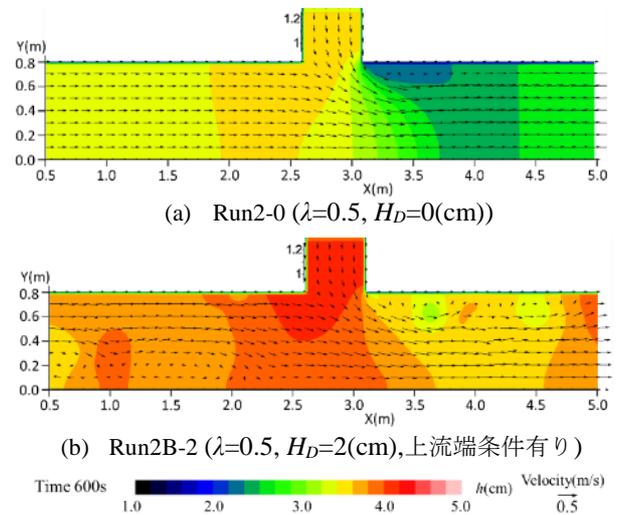


図-5 解析結果

5. まとめ

本研究では、固定床実験を行い合流部の流れに及ぼす影響について考察した。また、数値解析により実験結果について検証を行った。今後、本実験で得られた結果を踏まえ、移動床実験を行い、河川地形変化特性の解明、また、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) iRIC 研究会: iRIC 講習会テキスト in KANSAI, 2013.
- 2) 奥山貴也ら: 支川合流の影響を受ける大堰湛水区間における河川地形の経年変化解析, 平成26年度河川技術論文集, 第20巻, 2014