

河道の弯曲と堰湛水の影響を受ける河川合流部における 水制による河床変動制御に関する研究

明石工業高等専門学校 建築・都市システム工学専攻 2年 久保裕基

1. はじめに

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)。同河川では、平成元年に治水・利水を目的とした加古川大堰の建設や河道改修が行われた。その影響により近年では合流部右岸側において砂州が固定・肥大化し、滞筋が偏向・固定化するという諸問題が生じている(図-1)。これを踏まえ現地河道では、砂州をフラッシュさせる目的として水制を設置するという対策が講じられており、検討も行われている。既報¹⁾の研究より平面 2次元の河床変動解析の結果は、水制周辺部の河床変動を除いて実験結果と概ね良好に一致したとなった。この結果を受け、本研究では 3次元的な流れが生じる水制周辺部の河床変動解析を行うため 3次元解析を行う。また、模型実験の結果と比較を行うことにより水制の形状による河床変動制御の検討を行う。本報では越流型と非越流型の水制での河床変動制御の検討を行う。

2. 模型実験及び数値解析の概要

実験では、模型の縮尺を 1/250 として現地河道をモデル化している。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 $X=2.83\text{m}$ 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。先行研究¹⁾にて越流が確認されたものを不透過越流水制、高さを十分に取らずに越流しないように作成したものを不透過非越流水制とした。越流水制は、厚さ 5mmの亚克力板を重ねたもので、最大幅 0.06m、最大長さ 0.2m、高さ 0.025mである(図-3)。非越流水制は、幅 0.06m、長さ 0.2m、高さ 0.14mのボックス型である。これらのいずれかを左岸合流部上端から 0.12m上流に設置した。移動床実験では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の厚さで平坦に敷きつめた状態を初期条件とした。

数値解析には、iRIC 研究会(International River Interface Corporative)によって開発され、インターネット上で公開

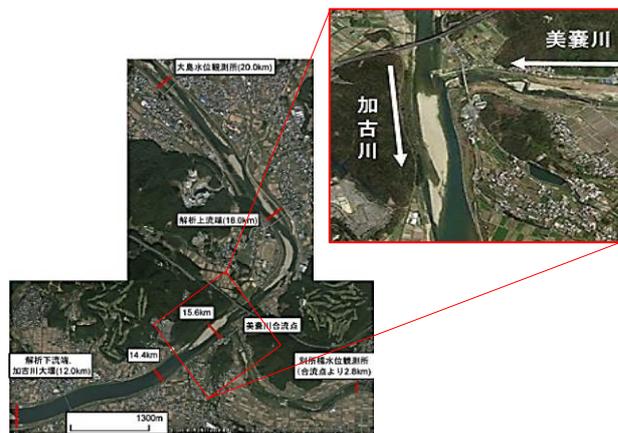


図-1 現地概要図

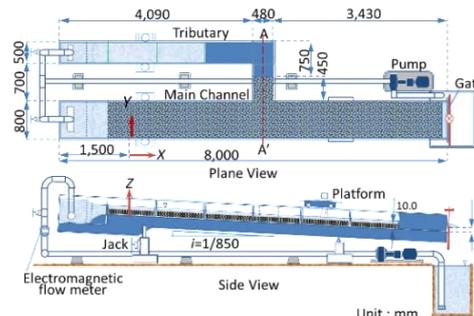


図-2 模型水路及び水制工概要図

されている汎用ソルバーの NaysCUBE (3次元)を用いた。基礎式は、流れの連続式と運動方程式及び流砂の連続式であり、流れの乱流モデルとしては、 $k-\epsilon$ 方程式を用いている。NaysCUBEは、デカルト座標系の基礎式を移動一般座標系の基礎式(1)~(4)に変換してプログラムが構成されている。本解析モデルを用いて、実験水路と同様のスケールで水制周辺の格子を生成した。境界条件としては、本川及び支川の上流端で流量を与え、本川下流端の水位は、堰高と限界水深の和で与えている。また、粗度係数は $n=0.018$ とし、河床材料は、実験と同じ石炭粉としている。ここで、 P : 圧力、 ν : 動粘性係数、 ρ : 流体の密度、 k : 乱れエネルギー、 ϵ : 乱れエネルギー散逸率、 ξ : 一般曲線座標、 V^i : 流速ベクトルの反変成分、 F^i : 重力加速度の反変成分、 ∇_i : 共変成分、 W^i : 格子移動速度、 ν_i : 渦動粘性係数、 Z_b : 河床高 $\mu\epsilon$: 動摩擦係数、 q_{BS} : 流線方向の掃流砂量、 τ^* : 無次元掃流力、 τ^*_{c} : 無次元限界掃流力、 σ : 河床材料の密度を示している。

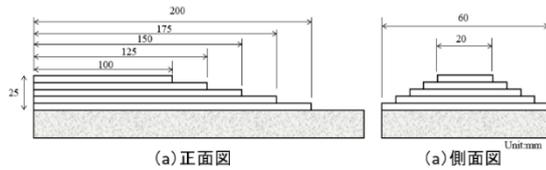


図-3 越流水制緒元

表-1 実験及び解析条件

Case番号	通水時間 T(hr)	本川流量 Q _M (L/s)	支川流量 Q _T (L/s)	流量比 λ (Q _T /Q _M)	水制工
Case1	1.0	5.0	1.0	0.2	越流型
Case2					非越流型

$$\frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial V^\alpha \sqrt{g}}{\partial \zeta^\alpha} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial V^t}{\partial t} + \nabla_j [V^i (V^j - W^j)] + V^i \nabla_j W^j + V^i \nabla_j W^i = F^i - \frac{1}{\rho} g^{ij} \nabla_j p + \nabla_j [-\overline{v^i v^j}] + 2\nu \nabla_j \varepsilon^{ij} \quad (2)$$

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \nabla_j [k (V^j - W^j)] + k \nabla_j W^j = -g_{ij} \overline{v^i v^j} \nabla_j V^i - \varepsilon + \nabla_j \left\{ \left(\frac{V^t}{\sigma_k} + \nu \right) g^{ij} \nabla_j k \right\} \quad (3)$$

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \nabla_j [\varepsilon (V^j - W^j)] + \varepsilon \nabla_j W^j = -C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} g_{ij} \overline{v^i v^j} \nabla_j V^i - C_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k} + \nabla_j \left\{ \left(\frac{V^t}{\sigma_k} + \nu \right) g^{ij} \nabla_j \varepsilon \right\} \quad (4)$$

3. 結果及び考察

模型実験における河床変動量を図-4に示し、表面流速ベクトルを図-5、3次元解析による非越流水制周辺の流速(上段:鉛直方向の流速分布及び水深,下段:表面流速)を図-6に示す。

河床変動量及び流速を比較すると、水制による水捌ね効果が確認され最大流速が右岸側へ偏向されている。それに伴い最大流速が発生した区間において河床低下が生じており、水制の上流側面及び先端では、既往の研究にみられるような二次流による馬蹄形の局所洗掘穴が発達している。支川流入による流れの混合域も右岸側にシフトし、合流部下流の右岸側壁に沿って河床が低下している。

非越流水制に関しては、越流水制と比較して流れが完全に偏向されるため水捌ね効果が大きくなり右岸で流速が増大した結果、河床低下量も増大している。また、水制により局所的な堰上げ背水が発生する影響(図-6)により水制上流側での流速及び河床変動量が低下している。

水制下流側面には上流側面にて洗掘された河床材料が支川の流れに沿うように堆積域を形成しており、越流水制での実験結果より顕著に表れているのが確認できる。この結果は越流水制で生じる2次流より、非越流水制の上流側面で生じる2次流の影響が大きく、馬蹄形洗掘が大きくなったことに由来するものと考えられる。

以上より、非越流水制は砂州のフラッシュ効果が大きく見込まれるが安定性を確保するために転倒防止等の対策が必要であると考えられる。

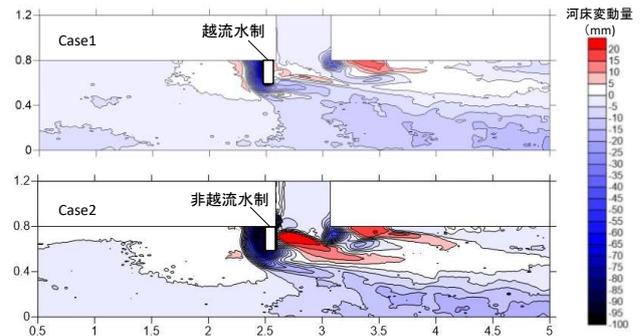


図-4 河床変動量コンター図

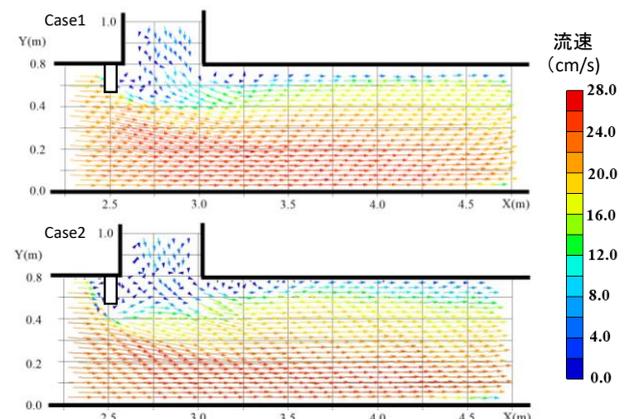


図-5 表面流速ベクトル図

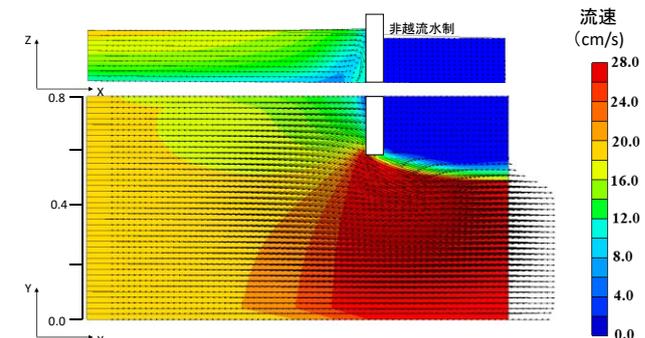


図-6 3次元解析による水制周辺の流速分布

4. おわりに

本報では、非越流・越流型の水制工周辺の流れ及び河床変動特性について模型実験及び3次元解析を用いて考察を行った。今後は本実験や数値解析で得られた結果を踏まえ、堰湛水の影響を受ける合流部での水制工による適切な河床変動制御法の検討を行う所存である。

【参考文献】

- 1) 高田翔也, 神田 佳一, 道奥康治, 久保裕基, 岡本吉弘: 上流の河道形状と堰湛水の影響を受ける合流部の河床変動とその制御に関する研究, 平成28年度 水工学論文集, 第61巻, 2017
- 2) iRIC 研究会: iRIC 講習会テキスト in KANSAI, 2013