

大阪工業大学大学院 学生員 松田如水
建設技術研究所 正 員 宮脇伸行
大阪工業大学工学部 正 員 綾 史郎

1. はじめに 洪水時における河川構造物や植生と流れの関係を解明することは河川管理上極めて重要であり、近年盛んに研究されている。本研究は、洪水時における河道内の河川構造物（越流型水制）と流れの関係を説明できる数値モデルの開発を目的として、淀川下流域を対象とした数値解析モデルを作成し、'93年7月5日の洪水流について数値実験を行い、数値モデルの適用性及び水制工周りの流況についての考察を行った。

2. 基礎方程式 デカルト座標系による平面2次元流れの基礎方程式を以下に示す。

$$\cdot \text{連続式} \quad \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hU_j)}{\partial x_j} = 0 \quad (1)$$

$$\cdot \text{運動方程式} \quad \frac{\partial(hU_i)}{\partial t} + \frac{\partial(hU_jU_i)}{\partial x_j} = -gh \frac{\partial \zeta}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(h \frac{\tau_{ij}}{\rho} \right) - \frac{\tau_{ib}}{\rho} + hF_i \quad (2)$$

ここに、 U_i ：水深平均流速ベクトルの x_i 軸方向成分、 h ：水深、 ζ ：水位、 g ：重力加速度、 τ_{ij} ： x_j 軸に垂直な面に作用する x_i 軸方向の応力、 τ_{ib} ： x_i 軸方向の底面せん断応力、 ρ ：水の密度である。また、 F_i は越流型水制の存在による抵抗（流体力）の反力の x_i 軸方向成分であり、水制がない場合は $F_i = 0$ 、ある場合は以下に示すように、水制に働く抗力 D と揚力 L の反作用として基礎方程式に取り込まれている。

$$D = \frac{1}{2} \rho C_D A_G \sin \alpha U |U| \quad (3)$$

$$L = \frac{1}{2} \rho C_L A_G \sin \alpha U |U| \operatorname{sgn}(\cos \alpha) \quad (4)$$

$$\operatorname{sgn}(\cos \alpha) \equiv \begin{cases} 1, & \text{for } 0 \leq \cos \alpha \\ -1, & \text{for } 0 > \cos \alpha \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{pmatrix} F_1 \\ F_2 \end{pmatrix} = -\frac{1}{\rho h S} \begin{pmatrix} \cos(-\theta) & \sin(-\theta) \\ -\sin(-\theta) & \cos(-\theta) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} D \\ L \end{pmatrix} \quad (5)$$

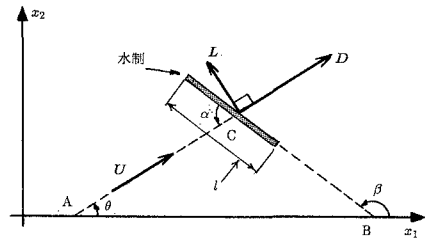


図-1 越流型水制のモデル化

ここに、 C_D ：抗力係数、 C_L ：揚力係数、 A_G ：コントロールボリューム内の水制の面積（ $=l \cdot h_G$ ）、 l ：水制長、 h_G ：水制高、 α ：水制と流速ベクトルのなす角、 sgn ：符号関数、 S ：コントロールボリュームの x_1 - x_2 平面の面積、 θ ： x_1 軸座標の正の向きと流れのなす角である（図-1参照）。河道是不規則に曲がり、複雑な断面形状を有するので、(1),(2)を一般曲線座標系におけるものに変換した¹⁾。

3. 解析方法 数値解析は、下流端を毛馬、上流端を枚方水位観測所とする16kmの区間の低水路部分の長水域（一般曲線格子の大きさは20m×5m程度）と、水制の流れへの影響を詳しく見るために、より小さい格子網（5m×2.5m程度）で12.8kmから13.4kmの短水域での数値模型実験水路を作成し、'93年7月5日の洪水流について行った。境界条件は上流端で流量を、下流端で水位を与えた。なお、底面摩擦は粗度係数 $n = 0.03$ 、渦動粘性係数は $A_h = 1.0\text{m}^2/\text{sec}$ とし、水制については $C_D = 3.8$ 、 $C_L = 0.32$ 、 $h_G = 0.4\text{m}$ を基本とし、これらの値を変えて数値解析を行った。

4. 結果とその考察 図-2に長水域実験で得られた枚方水位が観測値とともに示している。計算開始時やピーク付近で数10cmのずれがあるが時間的な変化や最大水位は概ね一致している。図-3は短水域実験で得られた等水位線図である。越流型水制の存在により等水位線が集中し、その前後で局所的に水位が10cmから20cm急変していることが示されている。図-4は同実験における流速ベクトルの平面分布である。河幅の変化や流軸の曲がりの影響により流れが向きを変えながら加速していく様子や、水制の存在により左岸

付近の流速が大きく低下していることがわかる。図-5は長水域・短水域実験で得られた13.0km線における水深平均流速の横断分布と画像解析により得られた表面流速分布³⁾とを比較したものであり、長水域実験については抗力係数が異なる場合の流速分布を、短水域実験については水制の有無の場合における流速分布の違いを示している。長水域実験においては、左岸側水制の存在により左岸側の流速が低下し、最大流速は河川中央付近で得られ、抗力係数の違いによる流速差は約20cm/sとなっている。短水域実験における流速分布は、水制のない場合はその横断分布は滑らかであり、水制を考慮した場合は左岸側で流速が大きく低下し、最大流速は河川中央の部分にある。また、両者とも画像解析による流速分布とよく似たパターンになっている。

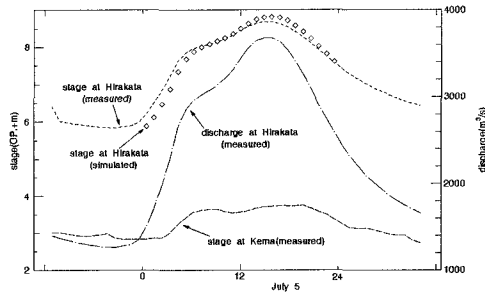


図-2 '93年7月5日ハイドログラフ

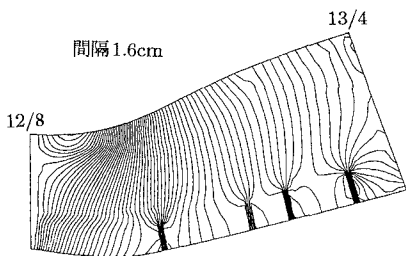


図-3 等水位線図(短水域実験)

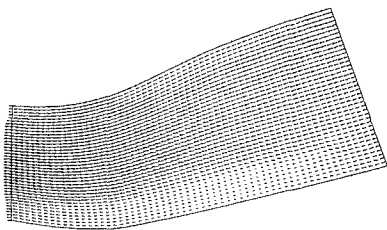


図-4 水深平均流速の平面分布(短水域実験)

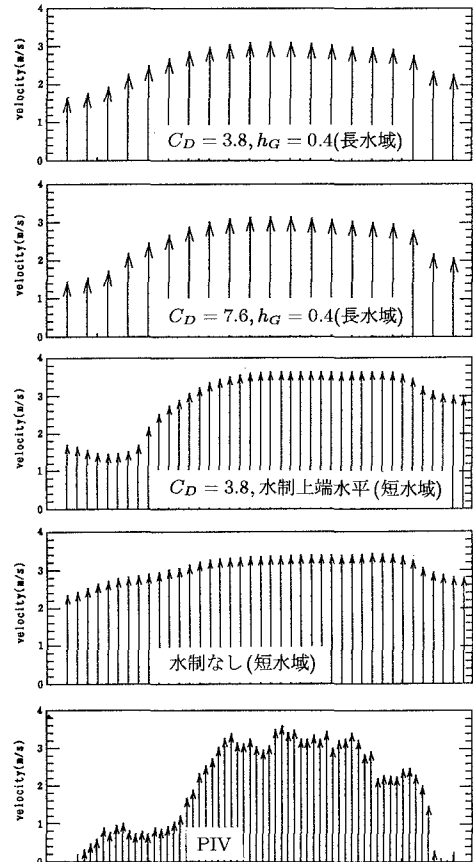


図-5 水深平均流速と平面流速ベクトルの分布

4. まとめ 越流型水制を組み込んだ一般曲線座標系による平面2次元数値モデルを用いて、淀川下流における'93年7月の洪水流の再現計算と水制に関するいくつかの条件を変えた数値実験を行った。これらの結果は、水制の存在による流れへの影響を示すとともに、PIV法を用いた画像解析により得られた表面流速分布の比較においても良好な結果を得た。

参考文献 1) 綾ら：水工学論文集，Vol.39，pp.447-452，1995． 2) 福岡ら：第2回河道の水理と河川環境論文集，pp.211-216，1995． 3) 綾ら：第2回河道の水理と河川環境論文集，pp.59-65，1995．