緩流河川河口部における平面流況の数値計算例

徳島大学工学部　正員　岡部　健士
四国建設コンサルタント　正員　○天羽　誠二
徳島大学大学院　学生員　山下　秀基

1．まえがき

近年の河川改修では、多自然型川づくりが定着し、それぞれ独創性を生かした改修計画が進められている。この種の計画の合理化のためには、河川形状の変更に伴う平面流況の変化を詳細に検討することが重要であるが、実務では、従来通りの１次元不等流計算に基く計画高水位の検討までに止まる場合が多い。本報告では、低水路法線の整正が流況に及ぼす影響・効果を２次元浅水流解析を通して検討した事例を紹介する。

2．基礎式ならびに数値解析

２次元浅水流の計算方法としては、直交・直線座標系（x,y）について記述された非定常のSt.Venant方程式を用い、適当な初期条件から出発した不定流計算の収斂解として定常流況を求める手法が従来より一般的に行われてきた。しかし、直交・直線座標系は不規則な形状の実際河川を取り扱うには不便であり、本研究では式(1)に示すような任意の斜交・曲線座標系［ψ（x,y），ϕ（x,y）］に基づくSt.Venant方程式の採用を試みた。[1)]

$$\partial A/\partial t + \partial B/\partial \psi + \partial C/\partial \phi = D_\psi + D_\phi \qquad (1)$$

ここに上式の従属変数の定義は以下に列記するとおりである。

$$A = \begin{bmatrix} h/J \\ u^x h/J \\ u^y h/J \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} u^\psi h/J \\ 1/J[(u^x u^\psi h+\psi_x/2\cdot gh^2)-\varepsilon\{\psi_x(\psi_x\partial(u^x h)/\partial\psi+\phi_x\partial(u^x h)/\partial\phi) \\ \qquad +\psi_y(\psi_y\partial(u^x h)/\partial\psi+\phi_y\partial(u^x h)/\partial\phi)\}] \\ 1/J[(u^\psi u^y h+\psi_y/2\cdot gh^2)-\varepsilon\{\psi_x(\psi_x\partial(u^y h)/\partial\psi+\phi_x\partial(u^y h)/\partial\phi) \\ \qquad +\psi_y(\psi_y\partial(u^y h)/\partial\psi+\phi_y\partial(u^y h)/\partial\phi)\}] \end{bmatrix}$$

$$D_\psi = \begin{bmatrix} 0 \\ 1/J\cdot gh(SX_{o\psi}-SX_{f\psi}) \\ 1/J\cdot gh(SY_{o\psi}-SY_{f\psi}) \end{bmatrix}$$

$$D_\phi = \begin{bmatrix} 0 \\ 1/J\cdot gh(SX_{o\phi}-SX_{f\phi}) \\ 1/J\cdot gh(SY_{o\phi}-SY_{f\phi}) \end{bmatrix}, \quad C = \begin{bmatrix} u^\phi h/J \\ 1/J[(u^y u^\phi h+\phi_x/2\cdot gh^2)-\varepsilon\{\phi_x(\psi_x\partial(u^x h)/\partial\psi+\phi_x\partial(u^x h)/\partial\phi) \\ \qquad +\phi_y(\psi_y\partial(u^x h)/\partial\psi+\phi_y\partial(u^x h)/\partial\phi)\}] \\ 1/J[(u^\phi u^y h+\phi_y/2\cdot gh^2)-\varepsilon\{\phi_x(\psi_x\partial(u^y h)/\partial\psi+\phi_x\partial(u^y h)/\partial\phi) \\ \qquad +\phi_y(\psi_y\partial(u^y h)/\partial\psi+\phi_y\partial(u^y h)/\partial\phi)\}] \end{bmatrix}$$

$$SX_{o\psi}=-\psi_x\partial Z_b/\partial\psi \;, \quad SX_{o\phi}=-\phi_x\partial Z_b/\partial\phi$$

$$SY_{o\psi}=-\psi_y\partial Z_b/\partial\psi \;, \quad SY_{o\phi}=-\phi_y\partial Z_b/\partial\phi$$

$$SX_{f\psi}= \phi_y/J\cdot u^\psi(n^2\sqrt{(u^x)^2+(u^y)^2})/h^{4/3} \;, \quad SY_{f\psi}=-\phi_x/J\cdot u^\psi(n^2\sqrt{(u^x)^2+(u^y)^2})/h^{4/3}$$

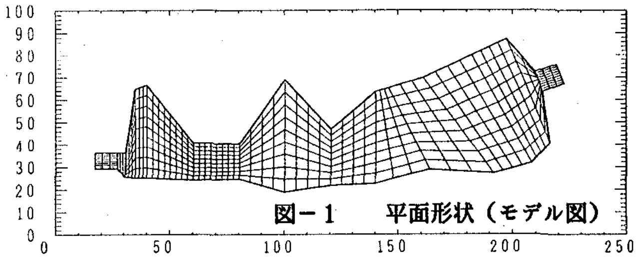
$$SX_{f\phi}=-\psi_y/J\cdot u^\phi(n^2\sqrt{(u^x)^2+(u^y)^2})/h^{4/3} \;, \quad SY_{f\phi}= \psi_x/J\cdot u^\phi(n^2\sqrt{(u^x)^2+(u^y)^2})/h^{4/3}$$

ここに、t=時間，h=局所水深，u^xおよびu^y=xおよびy 方向の水深平均流速成分，ε= 渦動粘性係数(=u_*h/15；u_*=摩擦速度），g=重力の加速度。また$\psi_x=\partial\psi/\partial x$，$\psi_y=\partial\psi/\partial y$，$\phi_x=\partial\phi/\partial x$，$\phi_y=\partial\phi/\partial y$であり、J=座標変換のヤコビアンで$J=\psi_x\phi_y-\psi_y\phi_x$である。

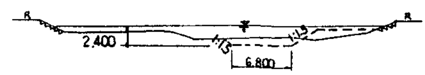
基礎式(1)の数値解析はR.Garcia[2)]等によって提案されたMacCormack法に基づく時間分割法に従って実施した。本法では、まず、空間について２次元の時間依存型方程式を近似的に１次元の方程式に分割し、それぞれに対してMacCormackの１次元差分法を適用し、それらの重ね合せとして元の方程式の解が求められる。

3．検討事例

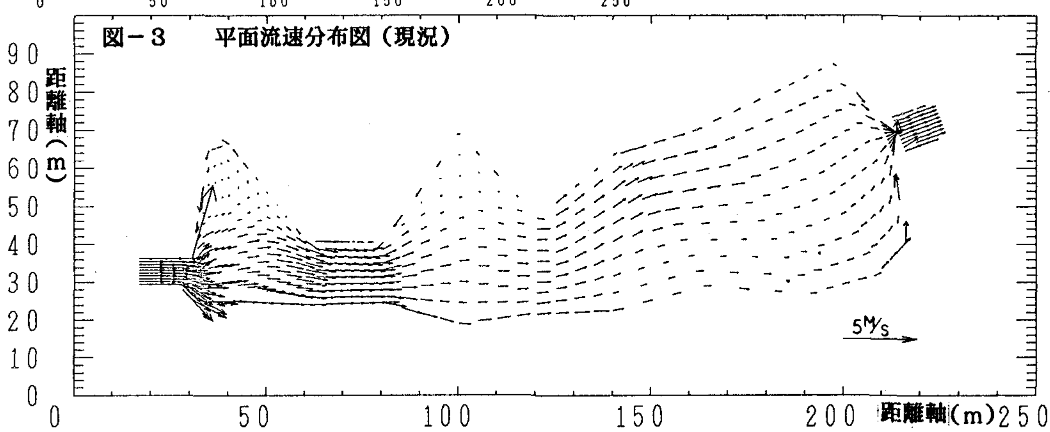
対象モデル河川の平面形状及び横断面形の一例を図-1,2に示す。左右岸とも自然の高水敷形状を呈しており、平面的には左岸側の変化が激しく、上下流端は従来型（側壁勾配５分）の護岸が建設されている。図-2でも明らかなように、河道のほぼ中央部の低水路法線の整正を実施した結果、その平面的な流況分布は図-3，4 に示す通りとなる。現況では、河道区間の中央部で流れが渦を巻くが、整正後はこの現象もなくなり、かつ、下流護岸部への水の流れもスムーズになっており、全体的に流況が改善されている。



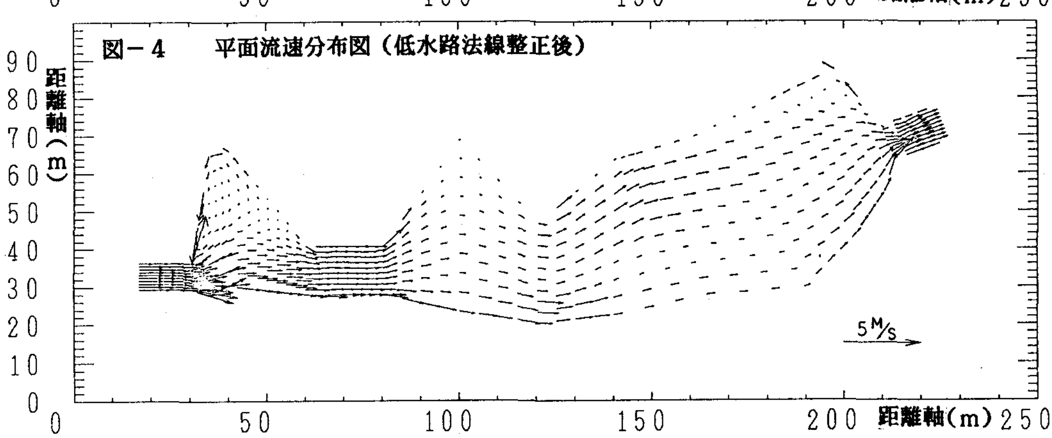
図－1　平面形状（モデル図）



図－2　横断面形状



図－3　平面流速分布図（現況）



図－4　平面流速分布図（低水路法線整正後）

参考文献　1）清水，山下，山下，崇田：一般曲線座標系を用いた常・射流混在流れの計算，開発土木研究所月報　No.455,1991

2) R.Garcia and R.Kawawita ：Numerical solution of the St.Venant equation with the MacCormack finite-difference scheme ； International Journal for Numerical Methods in Fluids.Vol6,1986.