

II-287 高速流入を伴う水路合流部の流れの数値計算法

岐阜大学工学部 正員 中谷 剛
 岐阜大学工学部 正員 河村三郎
 三重県庁 前川裕樹

1. はじめに

従来の開水路合流部に関する研究の大部分は、水力条件が常流範囲に限られており、射流域を含む流れを対象とした研究は少ない。合流部で流れが射流になるような場合には、跳水現象や衝撃波などが発生し、常流の場合とは異なった水力特性となることが予想される。その特性を知るとは、特に山地丘陵部の急勾配水路では防災上重要である。本研究では、常流・射流の混在する2次元流れの数値計算法を提案し、射流を伴う水路合流部の流れへの適用性を検討する。

2. 基礎方程式

基礎方程式は次の2次元浅水方程式である。

$$U_t + E_x + F_y = C \quad (1)$$

$$U = \begin{bmatrix} h \\ hu \\ hv \end{bmatrix}, \quad E = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} u^2 h + g h^3 / 2 + g h z - \nu_T (hu)_x \\ uvh \\ -\nu_T (hv)_x \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$F = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} v^2 h + g h^3 / 2 + g h z - \nu_T (hv)_y \\ uvh \\ -\nu_T (hu)_y \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$C = \begin{bmatrix} 0 \\ -\frac{n^2}{2} g u \sqrt{u^2 + v^2} / h^{1/3} \\ -\frac{n^2}{2} g v \sqrt{u^2 + v^2} / h^{1/3} \end{bmatrix} \quad (4)$$

ここに、 h : 水深, u : x 方向の流速, v : y 方向の流速, g : 重力加速度, z : 河床高, ν_T : 渦動粘性係数, n : 粗度係数, また, ν_T 以外の文字の右下にある添え字は偏微分を表す。

3. 計算手法

差分スキームは、2次精度のMacCormack法を採用する。この方法は跳水を含む急変流などの計算が可能であることが知られているが、その際には物理的に意味の無い数値振動を生じる。ここでは、時間分割法により基礎方程式を x 方向と y 方向に分割し、それぞれを2次精度のTVDスキーム¹⁾ となるように書き換えて数値振動を抑制した。 x , y 方向の差分演算子を $L_x(\Delta t)$, $L_y(\Delta t)$ のように表すと、解は以下の演算によって求められる。

$$S = \frac{1}{2} \{ L_x(\Delta t) L_y(\Delta t) U^n + L_y(\Delta t) L_x(\Delta t) U^n \} \quad (5)$$

ただし、演算子の組み合わせ $L_y(\Delta t) L_x(\Delta t) U^n$ は、 $L_x(\Delta t) U^n$ の結果に $L_y(\Delta t)$ を作用させることを意味する。

4. 数値計算例

水平勾配の直角合流水路の支川から高速流入がある場合に生じる跳水を伴った流れを計算対象とした。計算領域は、図-1 に示す本川の長さ3.5m、支川の長さ0.5mの領域とした。表-1 に計算条件を示した。図-2 と図-3 に、ケースSA5とケースSA7の水面形状、水深分布、フルード数分布をそれぞれ示した。ケースSA5は跳水への遷移状態であるが、ケースSA7では明らかに跳水が発生している。これらの状況は実験²⁾ による跳水の発生限界とよく一致している。跳水が生じていない場合は死水域付近でもっとも水深が小さくなるが、跳水が発達するにつれて跳水前面での水深が最も低いという合流部における水面形の特徴を数値計算からも得ることができた。計算では側壁でスリップ条件としているため、側壁付近のフルード数は実験結果とは異なっているが、それ以外の部分では実験結果とよく一致している。

5. おわりに

時間分割法の採用によってTVD形式のMacCormack法による2次元流れ計算が可能となった。この計算手法を跳水を伴う水路合流部の流れに適用したところ、実験結果とよく一致しその適用性が明らかとなった。今後は任意座標系への拡張を行い、実用性のある手法とする事が期待できると思われる。

参考文献 1) D.M. Causon : High Resolution Finite Volume Scheme and Computational Aerodynamics, Nonlinear Hyperbolic Equations - Theory, Computation Methods, and Applications, Notes on Numerical Fluid Mechanics, Vol.24, 1988, pp.63-74. 2) 藤田一郎, 河村三郎, 中谷剛, 水上精栄 : 射流合流に関する実験的研究, 自然災害科学中部地区シンポジウム講演要旨集, 1991, pp.38-39.

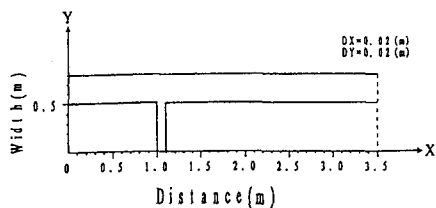
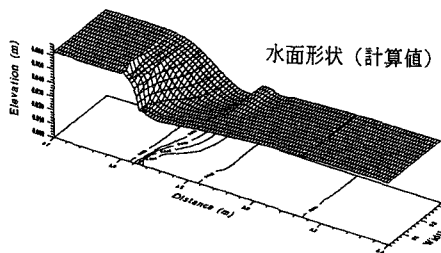


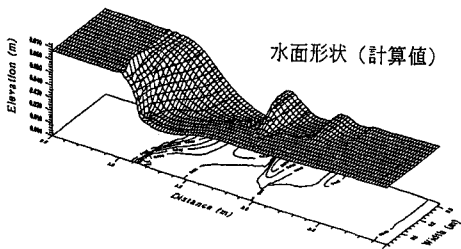
図-1 計算領域

表-1 計算条件

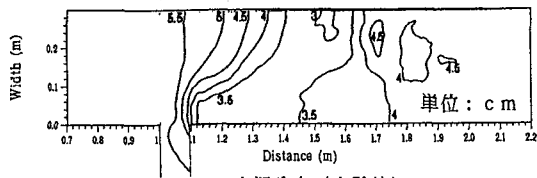
CASE	本川流量 (l/s)	支川流量 (l/s)	合流後流量 (l/s)	マンニングの 粗度係数	Δt (s)	計算ステップ (回)
SA1	4.5	0.5	5.0	0.01	0.010	6000
SA2	4.0	1.0	5.0	0.01	0.010	6000
SA3	3.5	1.5	5.0	0.01	0.010	6000
SA4	3.0	2.0	5.0	0.01	0.010	6000
SA5	2.5	2.5	5.0	0.01	0.005	9000
SA6	2.0	3.0	5.0	0.01	0.005	9000
SA7	1.5	3.5	5.0	0.01	0.005	9000



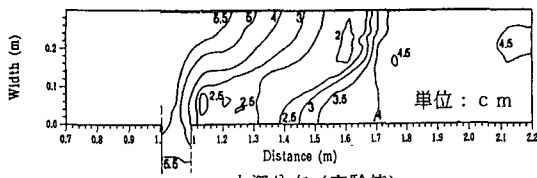
水面形状（計算値）



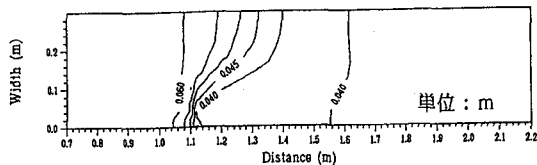
水面形状（計算値）



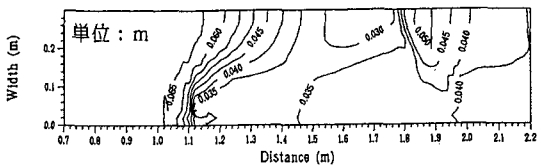
水深分布（実験値）



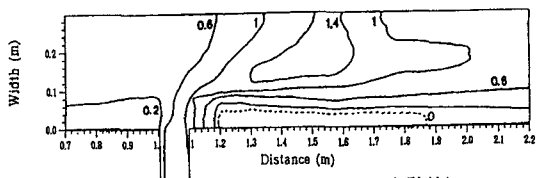
水深分布（実験値）



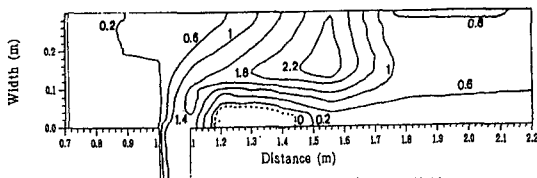
水深分布（計算値）



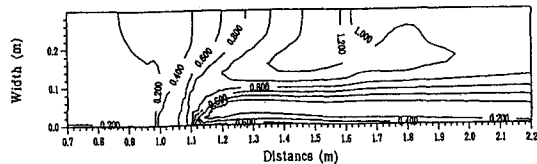
水深分布（計算値）



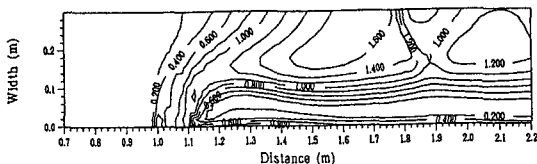
フルード数分布（実験値）



フルード数分布（実験値）



フルード数分布（計算値）



フルード数分布（計算値）

図-2 ケース SA 5

図-3 ケース SA 7