

II-326 常・射流が混在する急勾配拡幅部流れの数値計算法

神戸市立工業高等専門学校 正会員 ○田下部 重 幸
 鳥取大学 工学部 フェロー 道上 正 規
 京都大学 農学部 正会員 藤 田 正 治
 鳥取大学 工学部 正会員 檜 谷 治
 鳥取大学地域共同研究センター 正会員 宮 本 邦 明

1. はじめに: 近年各地で計画されている多自然型川づくりでは、複雑な水面形が現れることがあるが、これらの個所でも洪水時の安全性の検討は必要であり、計画段階で数値解析を必要とするケースが今後増えてくるものと思われる。そのためには、種々の複雑な流れの特性を十分再現できる計算手法の確立が望まれる。本研究は、常・射流が混在する急勾配拡幅部流れの計算法としてのマッコーマック法の適用性を検証したものである。

2. 計算法: 基礎式は、図-1の座標系による二次元浅水流方程式を保存形で表した次式を用いる。

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial E}{\partial x} + \frac{\partial F}{\partial y} = C + D$$

ここに、

$$U = \begin{bmatrix} h \\ uh \\ vh \end{bmatrix}, \quad E = \begin{bmatrix} uh \\ u^2h + \frac{gh^2}{2} \\ uvh \end{bmatrix}, \quad F = \begin{bmatrix} vh \\ uvh \\ v^2h + \frac{gh^2}{2} \end{bmatrix}, \quad C = \begin{bmatrix} 0 \\ gh(I_x - I_{rx}) + \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \varepsilon \frac{\partial (uh)}{\partial x} \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \varepsilon \frac{\partial (uh)}{\partial y} \right\} \\ gh(I_y - I_{ry}) + \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \varepsilon \frac{\partial (vh)}{\partial x} \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \varepsilon \frac{\partial (vh)}{\partial y} \right\} \end{bmatrix}$$

で、D: 人工粘性項、h: 水深、u, v: x, y方向の流速、 I_x, I_y : x, y方向の水路勾配、 I_{rx}, I_{ry} : x, y方向の摩擦勾配、 ε : 水平方向の渦動粘性係数である。これらの数値計算法としては、マッコーマック法を用い、人工粘性項Dには岡部らの提案した式¹⁾を二次元に拡張して用いた。境界条件は、上流端で流量を、下流端でせき上げ水深を与え、水路側壁に沿う流れの成分にはslip条件を用いた。

3. 実験方法および結果: 実験は、長さ12m、幅0.4m、深さ0.4mの開水路を用い、中央付近を幅0.1mに縮小して図-2のような拡幅部を設置し下流側をせき上げた。条件を種々変化させて実験を行ったが、本研究では同一の水理条件でありながら複数の水面形が形成されるつぎのものを取り上げた。水路勾配1/50、流量3.9l/s、下流側せき上げ水深5cm、拡幅部終了地点よりせきまでの距離65cmである。この条件で実験を行うと拡幅部付近で跳水を伴う水面形となるが、初期に与える僅かな条件の違いにより4種類の水面形が形成された。すなわち、板などを用いて主流を右または左に向けると跳水が右または左に偏った左右非対称な水面形が形成される。さらに慎重に流れを調整すると横断方向には分布を持っているが、左右対称な水面形ができる。つぎに、最初十分低いせきを設置して射流で拡幅部を通過させておき徐々に所定の高さまでせき高を上げると主流に直角で横断方向に一樣な一次的な跳水を伴う水面形が形成される。左右非対称な水面形は安定しているが、一次的な跳水を伴う水面形は若干不安定である。一方、左右対称な水面形は非常に不安定で、実験でも長時間この水面形を保つことは困難であった。

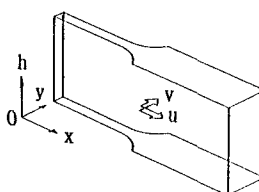


図-1 座標系

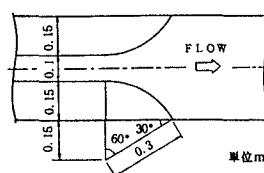


図-2 拡幅部の平面形状

常・射流混在流、拡幅部流れ、マッコーマック法

〒651-21 神戸市西区学園東町8丁目3番 TEL 078-795-3265 FAX 078-795-3314

4. 数値計算および結果：計算の距離間隔は $\Delta x = \Delta y = 2.5\text{cm}$ 、時間間隔は $\Delta t = 0.002\text{s}$ とし、粗度係数 n および渦動粘性係数 ϵ は、 0.01 および $10^{-6} (\text{m}^2/\text{s})$ とした。人工粘性係数は、跳水を伴う一次元流れに対する最適値²⁾ を参考に 3.5 とした。また、計算は下流端を十分せき上げた状態から所定の水深まで徐々に低下させて行い、定常解が得られるよう10000回(20s)の繰り返しを行った。実験で得られた4種類の水面形の再現のために与えた条件とそれらの結果はつぎのようである。

左右非対称な水面形は、下流端水位低下中に右または左へ流れを向けた。たとえば図-3のように2000回(4s)の間 y 方向の流速を1回当り 0.5mm/s ずつ加え、その後は特に条件は加えず10000回まで計算した。実験結果と計算結果を示すと図-4のようであり、比較的良好に再現できている。左右対称な水面形を再現するためには、横断方向について計算を交互に行った。これは拡幅部で計算メッシュが階段状になるので、交互に計算することで左右の対称性を保たせるためである。実験結果と計算結果を示すと図-5のように、跳水位置が若干ずれているものの全体的にはよく再現できていると思われる。最後に、一次元的な跳水を伴う水面形を再現するために、実験と同様な手順を計算でも用いた。すなわち、最初にせき高を低くして一次元的な跳水を発生させた後、徐々にせき高を上げて所定の高さにすると、安定した一次元的な跳水を伴う水面形が得られる。実験結果と計算結果を示すと図-6のようになり、水面形はほぼ再現できていると思われる。

5. おわりに：常・射流の混在する急変拡幅部付近の水面形は、二次元マッコーマック法により、比較的良好に再現することができる。また、実験では水理条件が同じでも跳水を伴う水面形の異なる流れが生じるが、この流れに関しても、初期条件や計算途中で挿入する条件を、実験で与える条件と同様な手順で与えることで再現することができた。なお、実験では拡幅部付近の水面形が安定する場合と不安定な場合があり、計算でどの程度の条件を与えるとこれらの水面形が得られるのかなど理論的な根拠については今後の課題である。

参考文献：1) 岡部・天羽・石垣：常流・射流の遷移を伴う不等流の数値計算法について、水工学論文集第36巻 pp. 337-342, 1992. 2. 2) 日下部・道上・藤田・檜谷・宮本：マッコーマック法を用いた砂防ダム上流の堆砂計算法に関する研究、水工学論文集第40巻 pp. 977-982, 1996. 2.

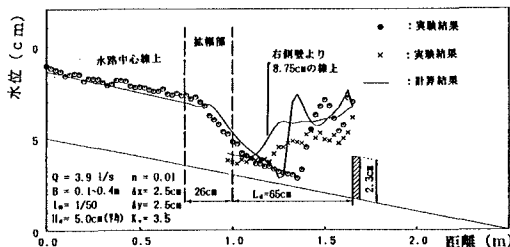


図-5 左右対称な水面形

この範囲内の y 方向の流速を2000回の間、1回当り 0.5mm/s ずつ右に向けた。

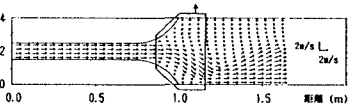


図-3 主流を右に向けた場合の流速ベクトル

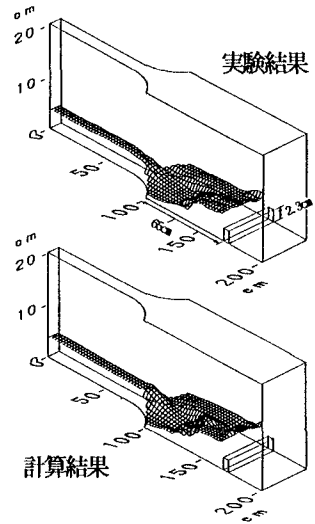


図-4 主流右向きの水面形

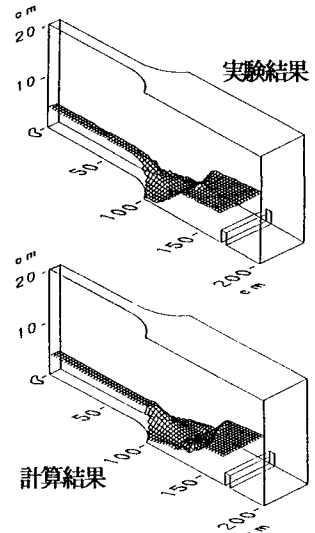


図-6 一次元的な跳水を伴う水面形