

常流・射流混在場での不等流計算

北海道開発局開発土木研究所 正員 渡邊 康玄

1. はじめに

実河川において、洪水流の再現、現況流下能力の把握および河道の縦断変化予測を行う場合、その再現性や計算の簡易性から広く一般に不等流計算が用いられてきた。しかし既往の不等流計算の場合、流れが常流の領域では下流から上流に向かって、また射流の領域では上流から下流に向かって計算を行う必要があり、常流射流の混在する場合には常流と射流の変化点で水位が合うよう繰り返し計算を行う必要がある。このため常流射流が頻繁に変化する場合の水面形算出は、非常に複雑なものとなり実用的ではない。本報告では、計算途中で人の手を介さず比較的簡単に一連の計算で常流射流混在場での水面形算出が可能となる方法について述べ、その適用性について検討を行った。

2. 基礎式および計算方法¹⁾

1次元の流れを解く基礎式は、(1)式で示される不等流と(2)式で示される連続の式である。リープフロッグの方法を利用し、図-1に示した計算格子で差分化すると(3)~(6)式となる。境界条件として下流端で水位上流端で流量を与え、流速は上流から下流に向かって水位は下流から上流に向かって、図-2に示したフローに従って計算を進める。

ここで、 u ; 流速、 H ; 水位、 P ; 圧力 ($= \rho g H$)、 ρ ; 水の密度、 g ; 重力加速度、 τ ; 河床せん断力、 h ; 水深、 n ; Manningの粗度係数、 Q ; 流量、 A ; 河道断面積、 x ; 流下方向距離、添え字の j は断面 j の値を示し、 $\hat{}$ は繰り返し計算の1つ前のステップの値を示す。

$$u \frac{\partial u}{\partial x} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} - \frac{\tau}{\rho h} \quad (1)$$

$$Q = A u \quad (2)$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} = \hat{u}_j \frac{u_j - u_{j-1}}{(\Delta x_j + \Delta x_{j-1})} \quad (3)$$

$$- \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} = - \frac{1}{\rho} \frac{P_j - P_{j-1}}{\Delta x_j} \quad (4)$$

$$- \frac{\tau}{\rho h} = - \frac{g n^2}{2} u_j \hat{u}_j (h_j^{-4/3} + h_{j-1}^{-4/3}) \quad (5)$$

$$Q = (A_j + A_{j-1}) u_j \quad (6)$$

3. 計算結果

本手法の妥当性を見るために、長さ10m、幅1mの直線水路に法勾配1:10のマウンドを設け、流量0.08m³/sを通水した場合の水面形について、実験値と計算値の結果を図-3に示した。なお比較のため従来より用いられてきた不等流計算結果も併せて示した。実験では跳水が8m付近で発生しているが、既往の不等流計算では7m付近となり7~8mの区間で水位が実験値よりかなり大きめの値となってしまう。一方今回の計算方法では若干跳水の位置は上流側にずれるもののその程度は小さく、既往の方法と比較してより実験値に近い値となっている。この実験のように射流から常流に変化する部分で流速が急激に変化する場合、

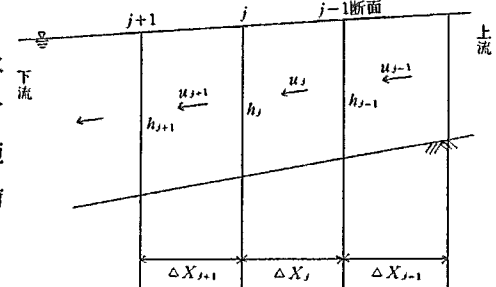


図-1 不等流計算格子

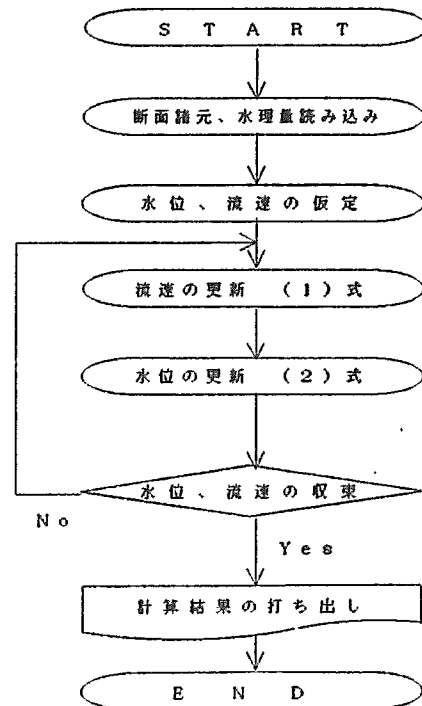


図-2 計算のフロー

跳水が発生する付近の流れは2次元の流れが強まりこのことを無視し得なくなる。このため跳水発生近傍の局所的な水面形の再現精度は落ちるが、跳水前後の水面形は実験値を精度良く再現しており、常流射流が混在する流れの場での水面形算出における本手法の有効性が示された。

4. 河床変動計算への適用

図-4は、板倉ら²⁾が行った縮流部を持つ水路における移動床実験結果と今回提案する不等流計算手法を用いた河床変動計算結果との比較を示したものである。なお河床変動計算は、最も解が安定した後進差分を用いている。初期通水時の水面形は、実験において測定されていないため計算結果のみを示した。

これより、流れは通水初期に縮流部において射流となっていると判断される。一方、河床変化後の水面形を見ると、流れは全区間常流と判断される。すなわち、流れは常流射流混在状態から河床の変化により常流状態へと変化していったものと考えられる。通水後の河床形状について実験値と計算結果を比較すると、縮流部における河床の凹凸までは再現されていないが、全体的な河床形状の傾向は十分に再現されている。このように、常流射流が混在する流れの場における河床変動計算も、本手法を用いることで計算途中で人の手を介さず一連の計算が可能となる。

5. おわりに

実河川の中でも特に急流河川における洪水再現のための不等流計算や河床変動の長期予測のための河床変動計算を行うことは、流れの状態(常流, 射流)が頻繁に変化し非常に厄介な問題であったが、本手法による不等流計算を行うことで比較的簡単に行うことが可能となった。

しかし、本手法による再現計算は全て実験水路のものであり、実河川に適用したものではない。今後実河川への適用を試み、その再現性について検討を加え本手法の適用範囲等を知る必要がある。

参考文献

- 1) 渡邊康玄、許士達広；常・射流混在流れの河床変動計算，第32回北海道開発局技術研究発表会講演概要集(3)昭和63年度
- 2) 岸力、板倉忠興、他；断面急変部における流れと河床変動に関する研究，北海道大学委託研究報告昭和62年度，昭和63年3月

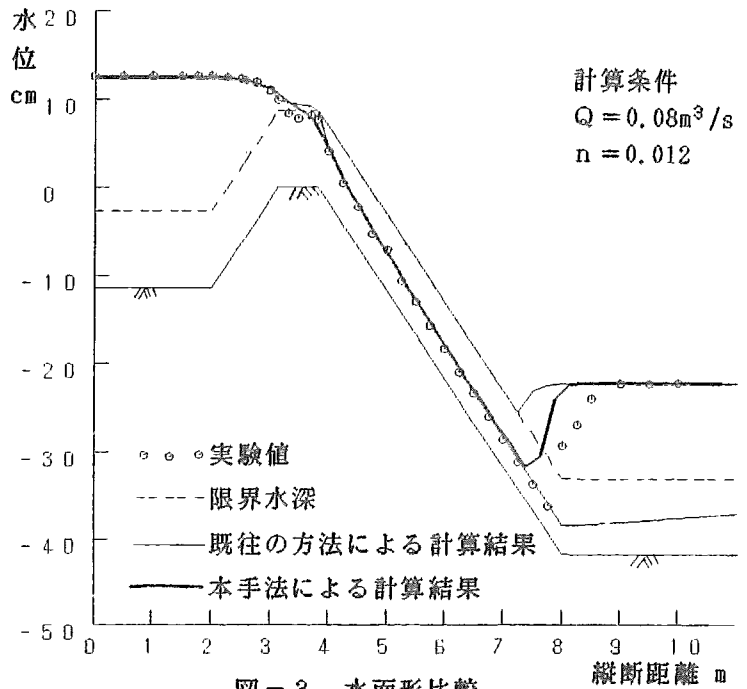


図-3 水面形比較

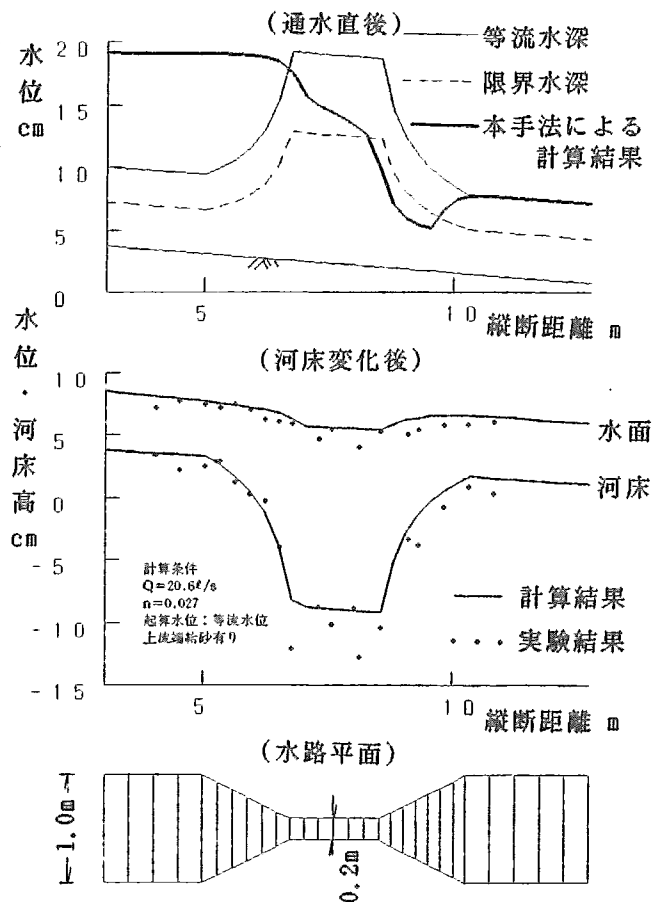


図-4 河床変動計算結果