

TVD-MacCormack法による河床変動計算

岐阜大学工学部 正 員 河村三郎

岐阜大学工学部 正 員 中谷 剛

岐阜大学大学院 学生員 前田哲史

日立造船 澤田良二

1. はじめに

従来, 常流, あるいは射流のみを対象とした流れの河床変動計算法は, 1次元流れや単純な法線形状の2次元流れについては確立されている。しかし, 常流・射流の混在する複雑な流れを対象とする場合, 常流区間と射流区間に分けて計算を進める既往の方法では, 十分対応できない。そこで, 本研究では跳水や衝撃波を伴う流れの計算に有効だと考えられる衝撃波獲得法の1つであるMacCormack法を基にしたTVDスキーム¹⁾を, 常・射流混在流の水面形計算法に適用し, さらに1次元と2次元河床変動計算にこの計算法を応用しようとするものである。

2. 支配方程式

使用する流水の連続式と運動方程式は,
(連続式)

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

(運動方程式)

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{P}{\rho} + \frac{Q^2}{A} \right) = gA \left(i - \frac{n^2 Q |Q|}{A^2 R^{4/3}} \right) \quad (2)$$

である。ここに, i : 水路床勾配, A : 流積, R : 径深, n : Manningの粗度係数である。

流砂の連続式は,

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{1}{(1-\lambda)B} \cdot \frac{\partial (q_B \cdot B)}{\partial x} = 0 \quad (3)$$

ここに, λ : 砂礫の空隙率, q_B : 全流砂量, z : 河床高, である。

3. 1次元河床変動計算の数値実験

流砂の連続式をLax法, Delft Hydraulic Laboratory Method(DHL法), MacCormack法の3種類のスキーム²⁾を用いて1次元解析法で, 初期河床が安定河床勾配へと変化していく様子の数値実験を行なった。また, 流砂量はMeyer-Peter-Müllerの式を用いて求めた。計算結果と実験結果をFig.1に, 計算に使用した条件をTable 1に示す。これらの計算結果によると, 1次元解析法では下流端直前での局所的な河床低下量を正確には再現できないため下流端付近の河床高の実験値と計算値には若干の差がみられるが,

DHL法とMacCormack法では下流端での影響が少ない上流側では実験値とよく一致した。Lax法は河床高を評価する点の前後の河床高だけで評価するため, 河床の平坦化が早く進行する。15分後, 1時間後の河床を比較すると, 下流端直前での局所的な河床低下の影響が速やかに上流側に伝わり, 実際の河床低下より計算結果の方が低くかつ, 早く収束する傾向を示して計算精度が悪かった。

4. 2次元河床変動計算の数値実験

移動床に床固め工が設置されている場合の床固め工下流部の河床変動計算を2次元に拡張して行った。その結果をFig.2~Fig.3に示す。ここで, Fig.3はFig.2の水路中央部の計算結果と実験結果である。また, 計算条件をTable.2に示す。床固め工直下流部の局所洗掘を除けば, 計算値と実験値とで若干の差はあるものの安定河床勾配は一致している。計算方法としては, 時間分割法を用い, 現段階では計算を簡単にするため側壁をslip条件で行った。その結果, 横断方向の流速成分がほとんどないような計算では, 1次元の結果を横断方向に並べたような結果になっている。

5. おわりに

本研究では, 水面形計算にTVD-MacCormack法を用い, 流砂の連続式は3種類の差分スキームを用いて河床変動計算を試みた。その結果, TVD-MacCormack法は常流・射流の区別なく計算を安定に行えることができ, その有用性が確認できた。1次元河床変動計算では, 1次元解析法であるため局所的な河床変動の再現ができなかったが, 全体的な河床変動特性を知ることができることが確認できた。また, 今回行った2次元河床変動計算では, 現段階では計算を簡単にするために側壁の影響などを考慮せず計算を行ったが, 今後このような条件を加えて計算を行うことにより, 1次元解析では得られなかった情報が2次元解析の結果から得ることが可能になると考えられる。

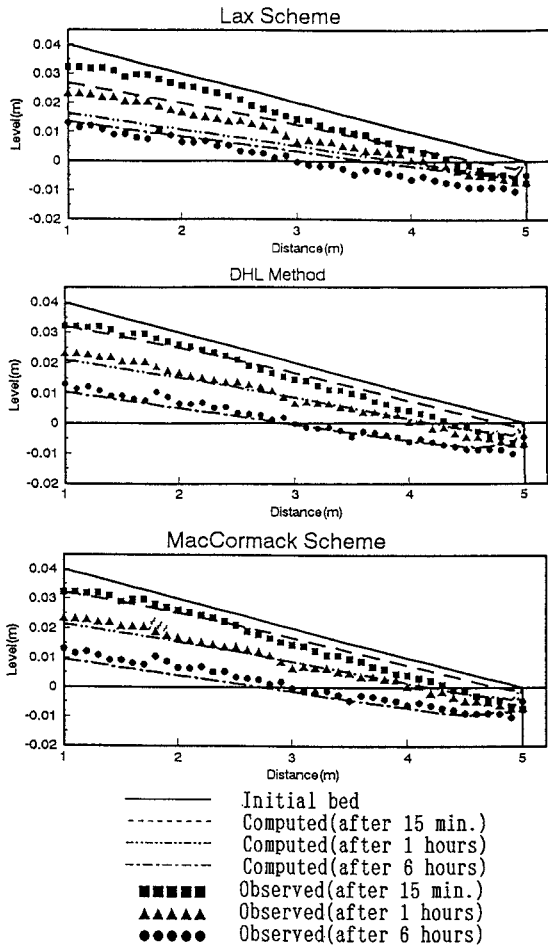


Fig.1 Computation of the bed-variation

Table 1 Conditions of computation

Width of channel	B=0.05[m]
Length of channel	L=5.0[m]
Discharge of channel	Q=0.964[l/s]
Slope of channel	i=1/100
Diameter of sand (d_{50})	$d_{50}=1.80$ [mm]
Diameter of sand (d_{90})	$d_{90}=2.50$ [mm]
Specific gravity of sand	$\sigma=2.629$
Roughness coefficient	$n=0.0113$
Spatial difference	$\Delta x=0.1$ [m]
Time difference for flow	$\Delta t=0.01$ [s]
Time difference for bed variation	$\Delta t=0.5$ [s]
Relaxation coefficient	$\alpha=0.04$

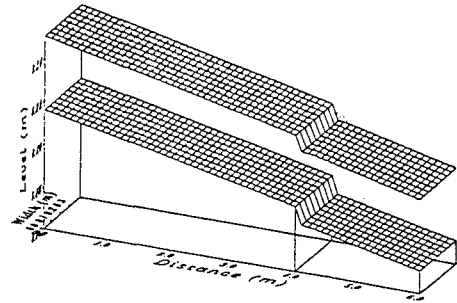


Fig.2 Computation of the bed-variation with the consolidation works

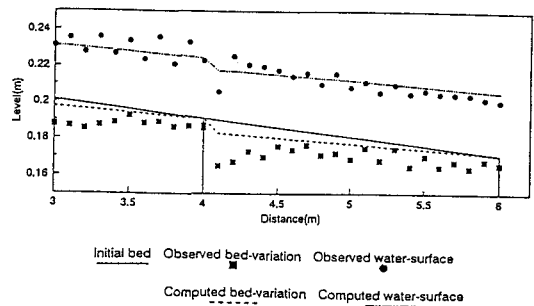


Fig.3 Computation of the bed-variation with the consolidation works (The center of a channel)

Table 2 Conditions of computation

Width of channel	B=0.40[m]
Length of channel	L=6.0[m]
Discharge of channel	Q=8.00[l/s]
Slope of channel	$i_x=1/100$ $i_y=0$
Diameter of sand (d_{50})	$d_{50}=3.33$ [mm]
Diameter of sand (d_{90})	$d_{90}=6.40$ [mm]
Specific gravity of sand	$\sigma=2.610$
Spatial difference	$\Delta x=0.1$ [m] $\Delta y=0.05$ [m]

参考文献 1)Harten A. : High Resolution Schemes for Hyperbolic Conservation Laws, J. of Comp. Physics, 49, pp.357-393, 1983.
2)河村,中谷,澤田,前田 : TVD-MacCormack法による1次元河床変動計算, 岐阜大学工学部研究報告 第43号, 1993.