

II-250 床固め工を有する流路工の水面形計算

岐阜大学 正員 中谷 剛

岐阜大学 正員 河村三郎

岐阜大学 正員 水上精栄

1. はじめに

山地河川流路工の計画に際して重要な問題点の一つに跳水現象がある。流路工内で跳水が生ずると、水位が数倍から十数倍に変わり、通常の断面では洪水流を流送できなくなり、溢水し土砂災害や水害の原因となる¹⁾。一般の水面形計算法では、水路内の流れを常流区間と射流区間に分けて計算を進め、射流から常流へ変化する点で跳水が発生するとして水面形を求めている。しかしながら、山地河川流路工内の流れは、流路の断面の広狭や勾配の変化、床固め工等の影響を受けて、射流と常流の混在する変化に富んだ流れである場合が多く、一般の方法では水面形を求めにくい。そこで、本研究では、床固め工を有する山地河川流路工の水面形計算に2段階LAX-WENDROFF法を用い、実験結果との比較からその適用性を検討した。

2. 基礎方程式と差分式

対象とする流路工は長方形断面を有する三面張り直線流路工とする。基礎式は以下に示す連続式と、保存則形に書き直された1次元運動方程式である²⁾。

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

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\left(\frac{P}{b} \right)_b + \frac{Q^2}{A} \right] = gA \left(i - \frac{n^2 Q |Q|}{AR^{4/3}} \right) \quad \cdots (2)$$

上式の差分には、Richtmyerによる2段階LWスキームを利用した³⁾。

$$\text{予測子段階 } U_{i+1/2}^{n+1/2} = \frac{(U_{i+1}^n + U_i^n)}{2} - \frac{\Delta t}{2\Delta x} (E_{i+1/2}^n - E_i^n) + \frac{\Delta t}{2} C_{i+1/2}^{n+1/2} \quad \cdots (3)$$

$$\text{修正子段階 } U_i^{n+1} = U_i^n - \frac{\Delta t}{\Delta x} (E_{i+1/2}^{n+1/2} - E_{i-1/2}^{n+1/2}) + \Delta t C_i^{n+1} \quad \cdots (4)$$

ここに、添え字 n, i は時間及び空間差分格子を、また、 $\Delta t, \Delta x$ は時間及び空間差分間隔を表し、

$$U = \begin{bmatrix} A \\ Q \end{bmatrix}, E = \begin{bmatrix} Q \\ (P/\rho)_b + Q^2/A \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} 0 \\ -gA(i - n^2 Q |Q| / A^2 R^{4/3}) \end{bmatrix} \quad \cdots (5)$$

である。

3. 境界条件

上流端: LWスキームは基本的には三角形スキームであるため、上流端境界は求められない。そこで、一般的によく使われているBOXスキームを採用し、連続式のみを満足させる。

$$\frac{A_{up}^{n+1} - A_{up}^n}{\Delta t} + \frac{A_{up+1}^{n+1} - A_{up+1}^n}{\Delta t} + \frac{Q_{up+1}^{n+1} - Q_{up}^{n+1}}{\Delta x} + \frac{Q_{up+1}^n - Q_{up}^n}{\Delta x} = 0 \quad \cdots (6)$$

ここに、添え字 up は上流側の断面を、 $up+1$ は下流側の計算断面を示す。

床固め工: 床固め工の設置地点では、流れは通常段落ちとなり形状損失が重要となる。そこで、床固め工

の前後でもBOXスキームを採用し、連続式(6)と、水路勾配と摩擦損失を無視し、さらに段落ちの前後に運動量保存則を適用して得られる次式の関係を同時に満足させるながら計算を進める。

$$\left(\frac{P}{\rho}\right)_{u_{p+1}}^{n+1} - \left(\frac{P}{\rho}\right)_{u_p}^{n+1} + \left(\frac{Q^2}{A}\right)_{u_{p+1}}^{n+1} - \left(\frac{Q^2}{A}\right)_{u_p}^{n+1} = \frac{g b \Delta d}{2} (2h_{u_p}^{n+1} + \Delta d) \Delta x \cdots (7)$$

ここに、 b は水路幅、 h_{u_p} は床固め工上の水深、 Δd は段落ち高さである。

4. 実験の概要

図-1に示すような、長さ10m、幅40cm、高さ30cmのアクリル製実験水路内に、6mの床固め工設置区間を設けた。床固め工設置区間の高低差を12cm、水路の元河床勾配を1/50、床固め工間の河床勾配を1/100とした。また、河床には $d_{50}=1.2\text{mm}$ の様な桂砂を塗布した（ $n=0.014$ 程度）。実験は床固め工を1基設置したケースから6基まで設置したケースを行った。複数の床固め工を設置する場合、それぞれの床固め工の間隔は同じとした。

5. 計算例

図-2から図-4に、それぞれ床固め工を1基（段落ち高さ6cm）、3基（段落ち高さ2cm）、6基（段落ち高さ1cm）持つ流路工の場合について、水面形の計算値と実験値の比較を示した。初期条件としては等流水深を与えた。また、下流端には十分な余裕長さを与えた後等流水深となるように条件を与えた。上流端では定常流量を与え、流路工内の流量が定常になるまで計算を繰り返した。図-3、図-4では床固め工上の不連続点で数値的な振動が発生しており、なんらかの平滑化のプロセスを導入する必要があるが、実験値と計算値はよく一致しており、ここで示した計算法は十分実用的であると言えることがわかった。

6. おわりに

本研究では、床固め工を有する山地河川流路工の水面形計算法を示した。ここで採用した2段階LW法は運動量の保存則形を直接差分しているため、跳水のような局所的な不連続現象も計算できるという特徴がある。したがって、特に急勾配水路で問題となる衝撃波を伴う流れにも有効であると考えられるので、ここで示した計算法を2次元流れに拡張することでさらに実用性を高めることができる。

参考文献：1)池谷浩、砂防流路工の計画と実際、全日本建設技術協会 2)伊藤剛、数値計算の応用と基礎、アテネ出版 3)日本機械学会編、流れの数値シミュレーション、コロナ社

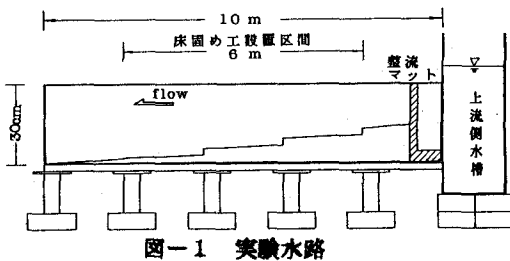


図-1 実験水路

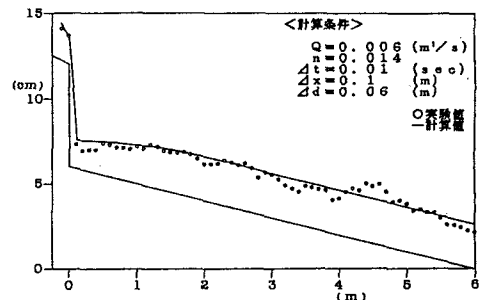


図-2 計算値と実験値の比較（床固め工1基）

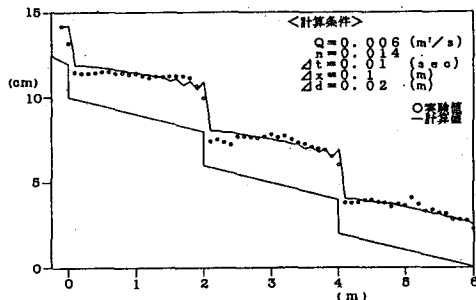


図-3 計算値と実験値の比較（床固め工3基）

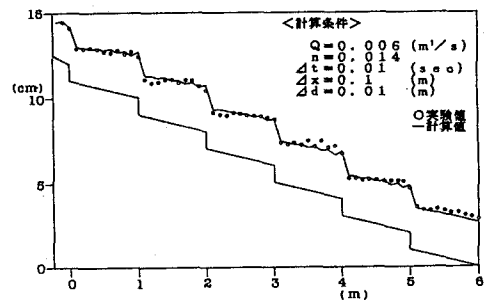


図-4 計算値と実験値の比較（床固め工6基）