

階段工周辺流れの CIP 法による数値シミュレーション

神戸大学都市安全研究センター 正会員 藤田 一郎
 神戸大学大学院自然科学研究科 学生員 小澤 純
 神戸大学大学院自然科学研究科 学生員 長浜 弘典

1.はじめに

都市河川には親水性を確保するための水理構造物が数多く見られる。そのうち、河岸側岸に設置された階段工やスロープなどは、閉鎖的な都市河川に人が水に親しむための空間を創出した。しかしながらこのような階段工が洪水時の流水抵抗に及ぼす影響等は十分な検討が行われていない。そこで、本研究ではこのような側岸凹部が存在する場合の、開水路流れに対して、CIP 法¹⁾による平面 2 次元モデルを用いた数値解析を行い、主に水面形について実験値との比較を行った。

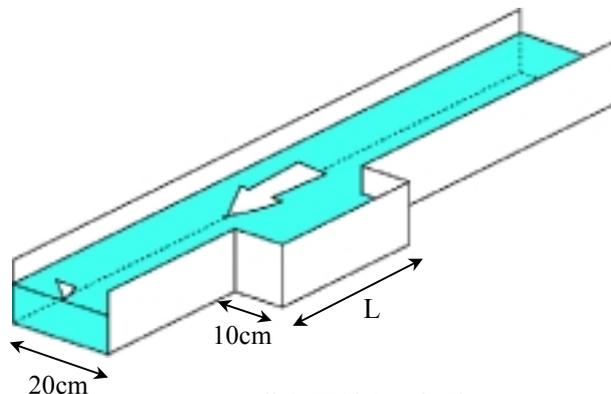


図 1 階段工付近の概略図

2.実験概要および計算条件

図 1 に実験で用いた階段工の概略図を示す。実験には幅 30cm、長さ 7.5m の可変勾配型循環式直線水路を使用し、そこに主流幅が 20cm、階段工奥行きが 10cm となるように階段工を設置した。この形状およびアスペクト比は実際に神戸市内における設置例を参考にしている。本実験では、L=50cm と L=150 の 2 ケースにおいて、下流端から 50cm 間隔で横断方向に 3 点もしくは 4 点ずつ水深を計測した。計算条件は、実験条件と等しく設定している。表 1 に実験および計算条件を示す。

表 1 実験・計算条件

流量 $Q(l^3/s)$	10
下流端水深 $h(cm)$	8.5
動粘性係数 (m^2/s)	1.0×10^{-6}
水路床勾配 I	1/500
時間ステップ $\Delta t(s)$	0.001
格子サイズ $\Delta x(m)$	0.025
格子サイズ $\Delta y(m)$	0.005
マンニングの粗度係数 n	0.0094

3.基礎方程式

本研究では以下のように非保存形で表示した浅水流方程式を用いた。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} = -h \frac{\partial u}{\partial x} - h \frac{\partial v}{\partial y} \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial h}{\partial x} + g \sin \theta - S_{fx} + \frac{1}{h} \frac{\partial (-\overline{u^2}h)}{\partial x} + \frac{1}{h} \frac{\partial (-\overline{u'v'h})}{\partial y} + \frac{v}{h} \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(h \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right] \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial h}{\partial y} - S_{fy} + \frac{1}{h} \frac{\partial (-\overline{u'v'h})}{\partial x} + \frac{1}{h} \frac{\partial (-\overline{v^2}h)}{\partial y} + \frac{u}{h} \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(h \frac{\partial v}{\partial y} \right) \right] \quad (3)$$

$$-\overline{u'_i v'_j} = D_h \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} k \delta_{ij} \quad (D_h = \alpha h u_*) \quad (4)$$

ここで、 u, v : x, y 方向の流速成分、 h : 水深、 ν : 動粘性係数、 k : 水深平均乱れエネルギー、 α : 係数、 u_* : 摩擦速度である。数値解法には Yabe¹⁾らの方法を用いた。即ち、この方程式を非移流項と移流項に分け、CIP 法は移流項にのみ適用した。メッシュ形状にはスタガードメッシュ系を使用し、人工粘性を非移流項ステップの水深に加えた。なお、抵抗則にはマンニング則を用いた。

4.数値解析結果の考察と実験結果との比較

本研究では水面形の再現性を重視して数値計算を行った。河川側岸に凹部を有する流れでは、乱流拡散係数による

キーワード：都市河川，階段工，CIP，数値解析，水面形状
 連絡先：〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 Tel.078-803-6439, Fax.078-803-6394

って凹部への流入量が異なることが予想され、結果的に水面形に違いがでてくるとされる。一般的な開水路流の計算では式(4)中の $\alpha = \kappa/6$ とおく場合が多いが、図2(a)に示すように水面形の再現性は不十分であった。

そこで、 α の値を変化させて数値計算を行い、実験値との比較を行った。図2(b)には $\alpha = 0.3$ とした場合の計算値を示すが、実験値をほぼ再現できている。この値は木村ら²⁾のモデルによるものと一致している。図3は $L=50$ のときの水深分布である。 $L=150\text{cm}$ のときと比較して水面形の起伏が小さくなっている。図4は水路中央水深の実験値と計算値を示したものである。階段工流出部分で実験値のほうが若干高くなっているが、そのほかはおおむね一致している。図5には数値計算による流速ベクトル分布を示す。この図から再付着点は流出部から70cm程度にあり、若干発達した後急縮流的な流れとなっていることがわかる。

今後は、アスペクト比を多様に変えた場合のシミュレーションを行い、階段工の流水抵抗に関する一般的な特性を明らかにしていく予定である。

参考文献

- 1) T. Yabe, T. Aoki: A universal solver for hyperbolic equations by cubic-polynomial interpolation II. Two- and three-dimensional solvers, Computational Physics Communications, 66 (1991) 233-243.
- 2) 木村一郎, 細田 尚, 側岸に死水域を有する開水路流れの非定常解析, ながれ, 12 (1993) 399-408.

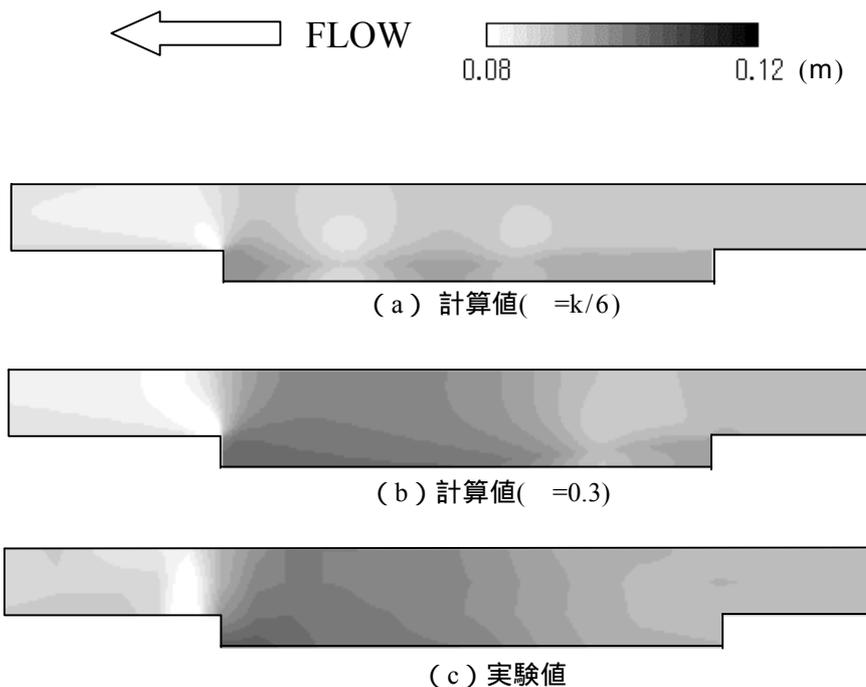


図2 水深分布 (L=150cm)



図3 水深分布 (L=50cm)

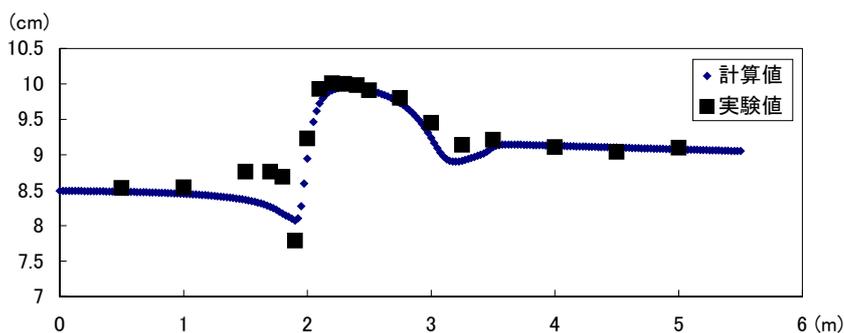


図4 横断方向中心点の水深分布 (L=150cm)



図5 数値計算による流速ベクトル分布(L=150cm)