

1 研究背景

河川の流れをコンピュータによる解析で再現することは、大規模な河川整備を行なう際には必要不可欠なことである。しかし、実際の河川では障害物に流れが衝突する際にエネルギー損失が起き、これが原因となり実際の現象と解析の結果に誤差が生じる。特に、急勾配河川における高速流場では障害物による水位上昇が激しく、また、障害物周辺では複雑な水理現象を呈するため実現象と解析結果との誤差が大きくなる。このため、河川の流れを正確に再現するには構造物周辺の流れの計算に高い精度を求められる。

2 研究目的

本研究では、急勾配水路における構造物周辺の流れを精度良く再現できる数値解析モデルを構築することを目的とし、模型による実験、そしてその結果をもとにした解析モデルの改善を試みた。

3 数値解析法の概要

1) 基礎式

二次元浅水流方程式は、 U を保存量ベクトル、 E 、 F をそれぞれ x と y 方向の流速ベクトルおよび、 S を発生項・消滅項ベクトルとすると式(1)で表わされる。

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial E}{\partial x} + \frac{\partial F}{\partial y} + S = 0 \quad (1)$$

2) 有限体積法

図 1 に示すように、計算領域を分割した微小な三角形領域をセルとし、そのセルを検査体積 Ω_i とすると、基礎式は式(2)のようになる。

$$\frac{\partial}{\partial t}(U_i S_i) + \oint_{\partial\Omega_i} (G \cdot n) dL + \int_{\Omega_i} S dS = 0 \quad (2)$$

時間積分に Euler の陽解法を適用し、セル境界線を流

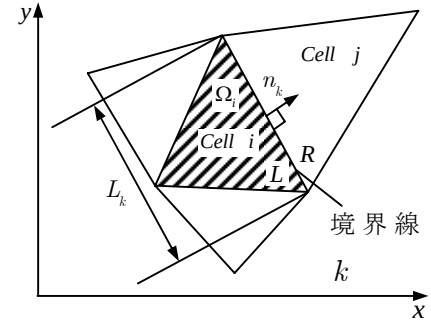


図 1 検査体積 Ω_i

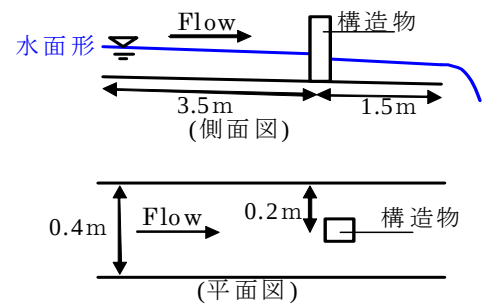


図 2 実験水路模式図

出入する流束ベクトルを数値流束で表すと、式(2)の 1 次精度平面 2 次元浅水流数値モデルは式(3)となる。

$$U_i^{t+1} = U_i^t - \Delta t \left[\frac{1}{S_i} \sum_{k=1}^3 \left(L_k (G_k^* \cdot n_k) \right) + S_i \right] \quad (3)$$

次に、式(2)をセルの境界ごとに適用すると式(4)のようになる。

$$G_k^* \cdot n_k = \frac{1}{2} \left\{ (G_R + G_L) \cdot n_k - \sum_{j=1}^3 \left(e^j \left| \tilde{D}_n^j \right| \tilde{\alpha}^j \right)_k \right\}$$

4 実験概要

実験では図 2 に示す全長 5m、幅 0.4m、勾配 1/100 の急勾配水路の上流から 3.5m の位置に構造物を設置して模型実験を行った。構造物は図 3 に示す角柱、円柱、橋脚の 1 種類で行った。角柱は流量 70、

50,30 ℓ/s の3ケース, 円柱と橋脚はそれぞれ50 ℓ/s の1 ケースずつ実験を行った. 角柱と円柱には一面に小孔を開け, チューブを介してマノメータに接続して水圧分布を計測した.

5 解析

1)概要

上記実験装置での流れを非構造格子の数値解析モデルで再現する. メッシュの構造物付近の拡大図を示す. 構造物周辺では複雑な流れになるため, その部分は特に細かくメッシュを切っている. 初期水深は0.05m, 初期流量は0 ℓ/s あり, 計算回数10000回までに徐々に流量を設定値に近づける

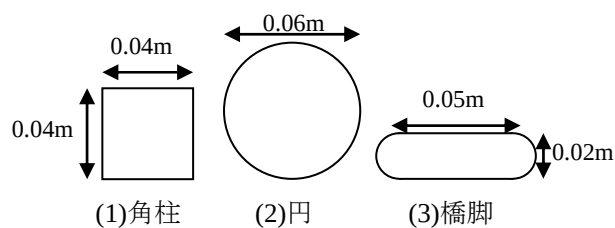


図3 構造物の平面形状

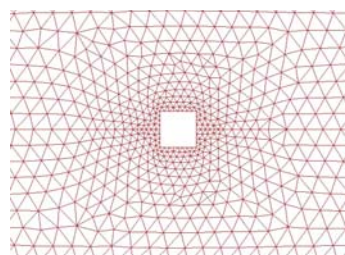


図4 メッシュ拡大図

2)補正法

図5に構造物に上流側から作用する水圧分布を示す. 補正なしの解析では, 基礎式(1)の計算で圧力項を静水圧分布から求めた全水圧 P_1 で計算する. 本研究では, 計測した水圧から実際の全水圧 P_2 を求め, 計測した水深から P_1 を求める. そして, P_2 と P_1 の比から求めた補正係数を基礎式(1)の h に乗じることでより圧力を補正する. 補正は構造物前面, 後面に接するメッシュのみに行う.

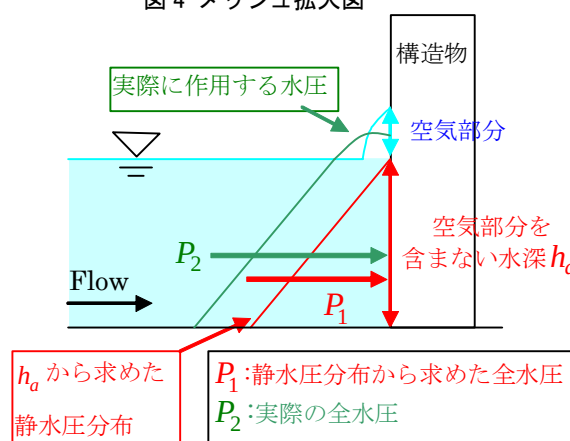


図5 構造物に作用する圧力

6 実験結果と解析結果の比較検討

1)角柱

図6に70(ℓ/s)での実験, 解析の角柱周辺の水深を示す. 障害物より上流部の水位は, 補正を施さな

70(ℓ/s)

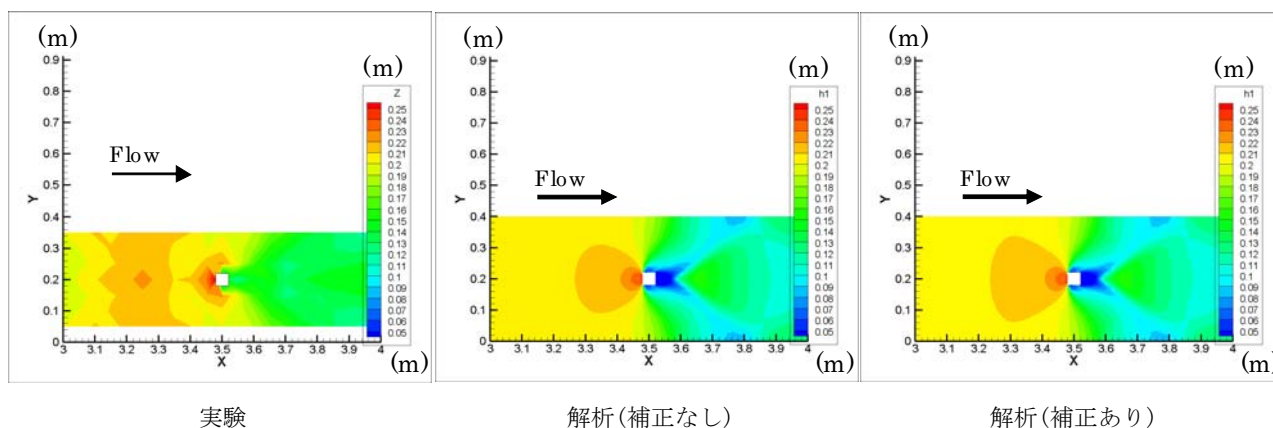
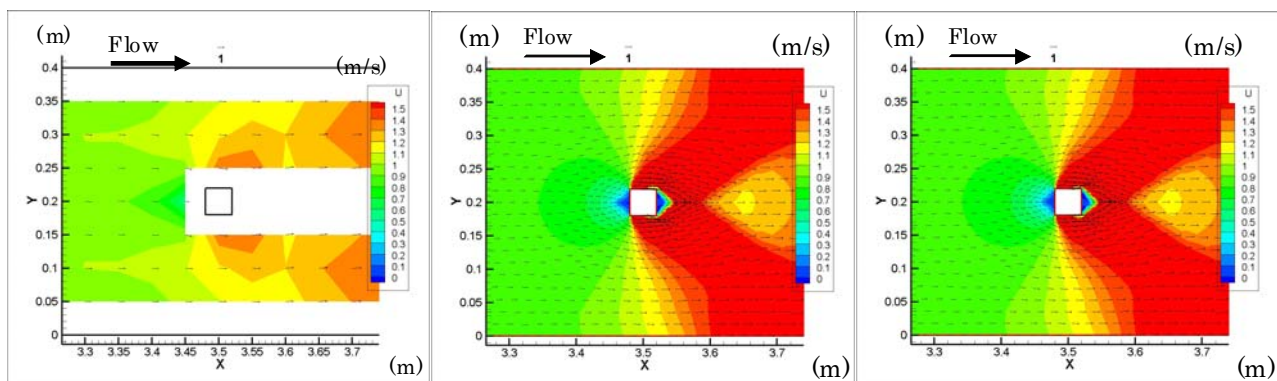


図6 70(ℓ/s)角柱周辺の水位



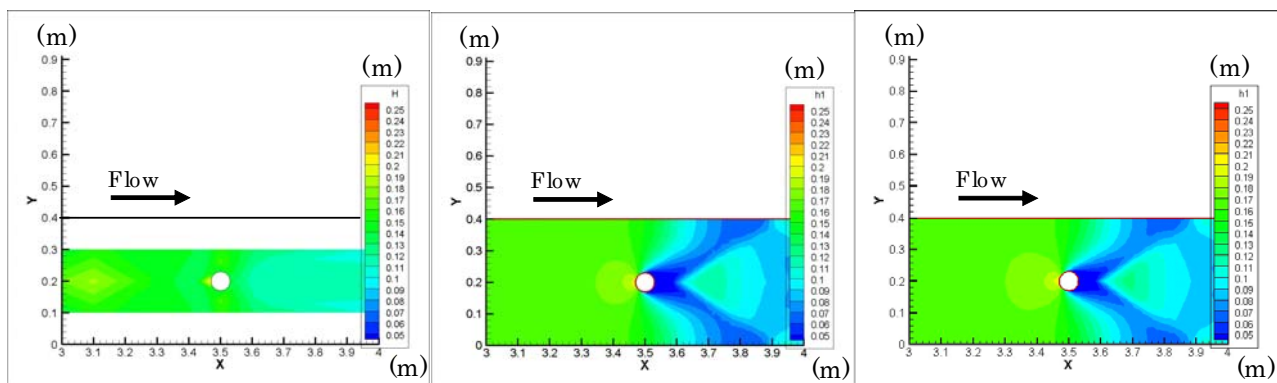
実験

解析(補正なし)

解析(補正あり)

図7 70(ℓ/s)角柱周辺の流速

50(ℓ/s)



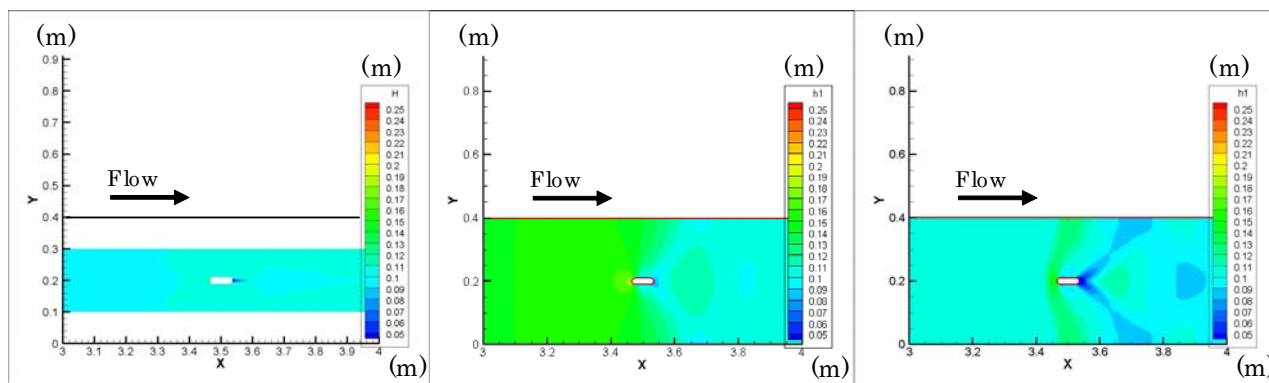
実験

解析(補正なし)

解析(補正あり)

図8 円柱周辺の水深

50(ℓ/s)



実験

解析(補正なし)

解析(補正あり)

図9 橋脚周辺の水深

い場合においても実験値をある程度再現できる結果が得られた。しかし、障害物より下流の水深は、実験値よりかなり小さくなり、補正の効果もほとんど見られなかった。図 7 では流速を示している。角柱下流側全体的にわたって、解析結果の流速が大きくなっている。

2) 円柱

図 8 に流量 $50(\ell/s)$ での円柱周辺の水深を示す。構造物上流部の水深は、再現性は高いが、障害物より下流の水深は実験値よりかなり低くなっている。

3) 橋脚

図 9 に流量 $50(\ell/s)$ での橋脚周辺の水深を示す。補正なしの解析では橋脚上流の水深が高くなっている。補正を行うことによって、上流部の水深が低くなり、実際の現象に近づいた。

4) 補正の考察

図 10 で角柱 $70(\ell/s)$,図 11 で円柱 $50(\ell/s)$, 図 12 で橋脚 $50(\ell/s)$ での水路中央部での水面形を示す。この中で補正の効果が高く現れているのは橋脚の解析結果である。実験では上流側での跳水は発生することなく橋脚部分に流れが衝突し、水が跳ね上がる。しかし補正なしの解析では上流部に跳水が発生し、水深が実験値よりも大きくなる原因になっている。補正によって跳水の発生しなくなり、水深が実験値に近くなった。このことから本実験の圧力補正は、構造物より上流部に跳水が起こらない流れを再現する場合に有効である。

7 結論

本研究で取り上げた補正法は、構造物より上流部に跳水が起こらない流れを再現する場合に有効である。しかし構造物より下流の流れは実際の現象よりも水深が低くなり、構造物背面の補正の効果も見られなかった。構造物下流の流れの再現性を高めるためには、構造物背面の補正法を今後更に検討する必要がある。また、補正係数も汎用性を高めるための検討が必要である。

参考文献

- 秋山壽一郎,重枝未玲,浦勝(2002):非構造格子を用いた有限体積法に基づく 1 次および 2 次精度平面 2 次元洪水流数値モデル,土木学会論文集,No.705/II-59,pp.31-43
- 佐賀孝徳, 今本雅恵, 渡辺勝利(2002):せん断流中における円柱後流の三次元構造に関する研究, 土木学会論文集, 第 46 卷
- 木村一郎, 細田尚(1999):非線形 $k-\varepsilon$ モデルによる角柱周辺

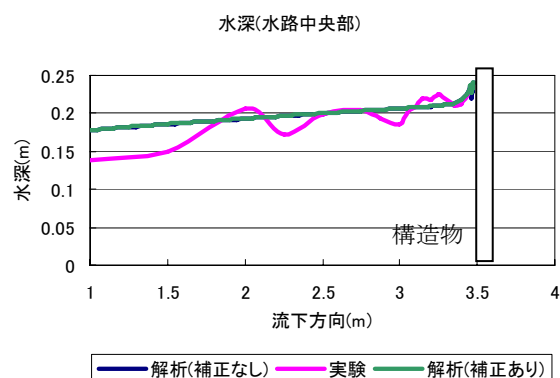


図 10 角柱 $70(\ell/s)$ 水路中央部の水面形

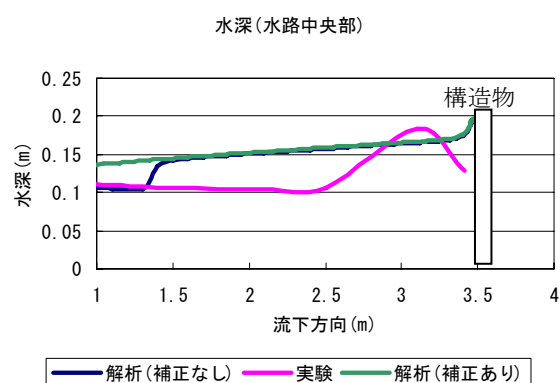


図 11 円柱 $50(\ell/s)$ 水路中央部の水面形

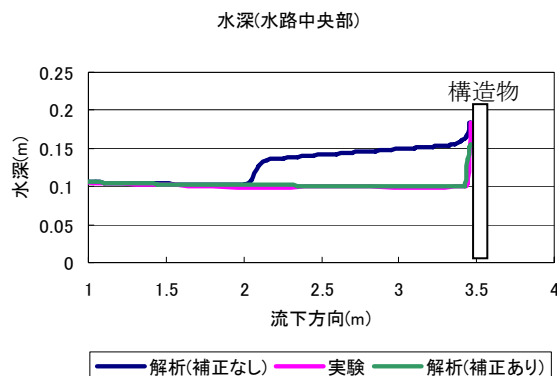


図 12 橋脚 $50(\ell/s)$ 水路中央部の水面形

流れの 3 次元解析, 土木学会論文集, 第 43 卷

中山慶介, 堀川康志, 三上卓也(1999)射流上におかれた円注周辺の流れの解析, 土木学会論文集, 第 43 卷