

II-66

一般座標系を用いた名取川河口流出流の数値解析

東北大学大学院 学生員 ○糸永 宣昭

東北大学大学院 正 員 田中 仁

1. はじめに

数値シミュレーションによって河川の平面流況を把握する際、導流堤などの構造物を有する河口では計算格子間隔を十分に小さくとる必要があるが、格子の設定法に関して詳細な検討を行った例は無い。そこで本研究では宮城県・名取川を対象として数値計算に用いる格子形状（特に河口導流堤の差分近似精度）に着目し、正方格子¹⁾を用いた数値計算結果との比較・検討、ならびに流路形状の表現能力を向上させるという目的から一般座標系（BFC）²⁾を用いた数値計算を行う。

2. 数値計算手法および条件

正方格子および境界適合格子を用いた名取川河口における流れの数値計算が行われた。計算時間は定常状態に至るまでの3時間である。基礎式は浅水方程式であり、これをLeap-Frog差分法によって解いた。計算条件を表1に示す。

表1 計算条件

Case	格子形状	格子数	計算時間間隔(s)
Case1	15m 正方格子	69×145	0.8
Case2	7.5m 正方格子	137×289	0.4
Case3	BFC	91×97	0.1

境界条件は以下の通りである。

計算領域上流端 一定流量 924.1m³/s

計算領域下流端 一定潮位 T.P. 0.41m

（1986年出水時実測データを適用）

デカルト座標系(x,y)で表示される連続式と運動方程式を一般座標系(ξ,η)に変形した以下の式を解いてBFCでの計算を行った。

【連続式】

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{h}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{Uh}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{Vh}{J} \right) = 0$$

【運動方程式】

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{M}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{UM}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{VM}{J} \right) = -gh \left(\frac{\xi_x}{J} \frac{\partial z_s}{\partial \xi} + \frac{\eta_x}{J} \frac{\partial z_s}{\partial \eta} \right) - \frac{\tau_{ox}}{\rho J}$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{N}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{UN}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{VN}{J} \right) = -gh \left(\frac{\xi_y}{J} \frac{\partial z_s}{\partial \xi} + \frac{\eta_y}{J} \frac{\partial z_s}{\partial \eta} \right) - \frac{\tau_{oy}}{\rho J}$$

ここで、(M,N):x,y方向の流量フラックス、z_s:水位

(ξ_x, η_x, ξ_y, η_y):変換のメトリックス、h:水深

J:座標変換のヤコビアン、U,V流速ベクトルの反変成分、g:重力加速度である。

図1にBFCの計算格子図を示す。

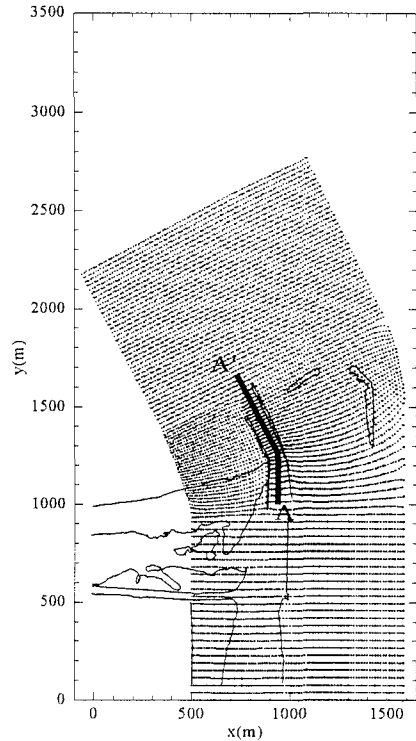


図1 BFC計算格子図

3. 計算結果

図2に導流堤内中央部（図1中の太線）における各caseの水位分布図を示す。

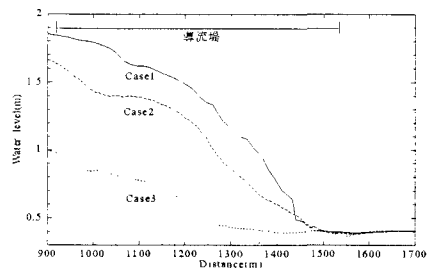


図2 導流堤内中央部水位分布図（A-A'断面）

この図より、導流堤内の水位は Case1, Case2, Case3 の順で大きくなっていることが分かる。この傾向は特に $y=1250\text{m} \sim 1450\text{m}$ の位置（導流堤最狭部、湾曲部）で顕著である。その後、導流堤先端部（ $y=1500\text{m}$ 付近）以降は各 case の水位分布に差異はない。次に、図 3 ～図 5 に 3 case の導流堤内水位分布図を示す。

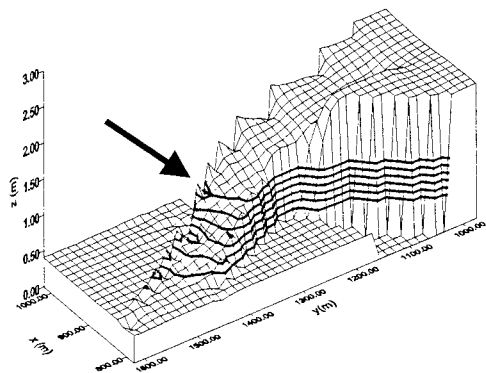


図 3 導流堤内水位分布図 (Case1)

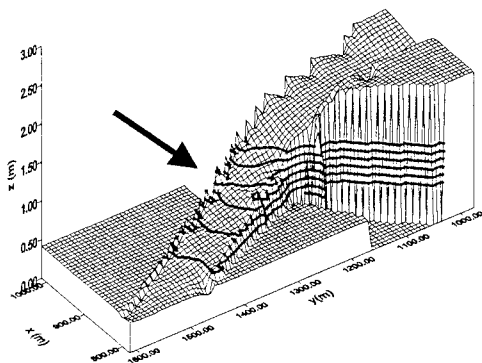


図 4 導流堤内水位分布図 (Case2)

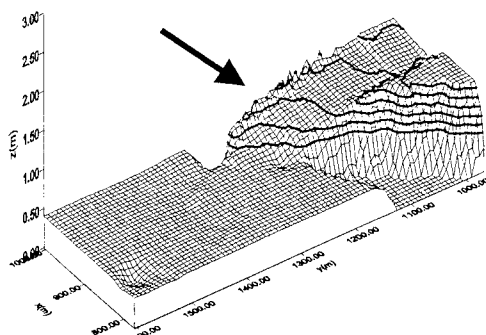


図 5 導流堤内水位分布図 (Case3)

図 3 ～図 5 中の太線は水位の等高線（斜面方向に向かって T.P. 0.5m ～ T.P. 1.0m）を表している。これらを見ると Case1, Case2, Case3 の順で等高線間隔が密になっており、図 2 と同様の結果となっていることが分かる。また、導流堤近傍（図中の矢印記号）に注目すると、図 3, 図 4 ではメッシュの隅角部において水位がせきあげられているが、図 5 ではこのような水位のせきあげは生じていない。また、全体的に見て Case1, Case2, Case3 の順で水位が高くなっている。

4. 考察

図 2 で、 $y=1250\text{m} \sim 1450\text{m}$ （導流堤最狭部、湾曲部）の位置において 3 case の水位分布に大きな差異が見られたのは、数値計算上での流路形状の表現能力の違いによるものと考えられる。本来、湾曲した形状を持つ導流堤を正方格子で表現すると、角張った形でしか表現できない。正方格子間隔を小さくすれば精度良く表現することは可能ではあるが、計算時間の増大につながる。ところが BFC の場合、流路表現能力が正方格子のそれと比べて高いので、表 1 に示したような少ない格子数でも精度良く数値計算を行うことができる。次に、図 3 ～図 5 についてであるが、正方格子の計算のみ導流堤隅角部で水位のせきあげ現象が生じた。これも、上で述べたように流路形状の表現能力が原因であると考えられる。このせきあげ現象のために、河川水が河川上流から沖方向にスムーズに流れていくことができず、ひいては導流堤内全体の水位増大をもたらしたものと考えられる。

5. おわりに

定常状態の条件下で BFC を用いた計算結果と、正方格子を用いた計算結果を比較することによって、導流堤内の水位分布に差異が見られることを確認した。また、正方格子の計算では、導流堤近傍で水位のせきあげ現象が生じることが分かった。

謝辞：貴重な資料を提供して頂いた国土交通省仙台工事事務所に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 桑原直樹・田中 仁・佐藤勝弘・首藤伸夫：洪水時における河口地形変化の数値計算，海岸工学論文集，第 42 巻，pp.596-600, 1995.
- 2) 長田信寿・細田 尚・村本嘉雄：河岸侵食を伴う河道変動の特性とその数値解析法に関する研究，土木学会論文集，No.621/II-47, pp.23-40, 1999.