

II-13 低平地への津波・洪水氾濫の数値計算モデル

徳島大学大学院

学生会員 ○高橋 賢司

徳島大学大学院

学生会員 白原 康史

徳島大学大学院

正会員 岡部 健士

1.はじめに 地震津波や河川洪水の氾濫挙動を数値計算する手法として種々の2次元不定流計算モデルの適用が一般化している。そして、とくにデカルト座標系に基づく計算法については、水理公式集および同例題集¹⁾において計算アルゴリズムや現地への適用法が解説されているとともに、内陸型の平地への河川洪水氾濫については公開された計算コードもある²⁾。本研究では、そのコードを沿海部に位置するとともに、感潮河川網を有する低平地にも適用できるように汎用化するとともに若干の高度化を行った。

2.数値計算モデル

2-1 基礎式と離散化 水平なデカルト座標系を (x, y) 、時間を t として流水の運動方程式と連続式を(1)~(3)のように記述する。抵抗項は(4)のように表す。ここに、 M および N はそれぞれ x, y 方向の流量フラックス、 u および v : x および y 方向の流速、 h :水深、 H :水位、 g :重力加速度、 ρ :密度である。

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} uM + \frac{\partial}{\partial y} vM = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho} \quad \text{-----(1)}$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} uN + \frac{\partial}{\partial y} vN = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho} \quad \text{-----(2)}$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad \text{-----(3)}$$

$$\tau_{bx \text{ or } y} = gn^2(u \text{ or } v) \sqrt{u^2 + v^2} / h^{1/3} \quad \text{-----(4)}$$

離散化は、空間的には従属変数を

staggered 状に配置(定義点を図-1に示す)し、時間的には leap-frog 法を用いて行う。

2-2 モデルの汎用化 既往のモデルは計算対象領域の周辺を閉境界としているが、本モデルでは閉境界か、開境界かを自由に選択できるように汎用化している。開境界の場合の境界条件としては水位の時系列変化を与えることにし、境界面での流量フラックスは境界面に垂直なもののみ有効とし、連続式に基づいて計算するものとした。例えば $(1, j)$ を開境界とした場合の流量フラックスは次のように求める。

$$M_{1,j}^{n+2} = M_{2,j}^{n+2} + M_{2,j}^n - M_{1,j}^n + \Delta x(h_{1,j}^{n+3} - h_{1,j}^{n+1}) / 2\Delta t \quad \text{-----(5)}, \quad N_{1,j}^{n+2} = 0 \quad \text{-----(6)}$$

2-3 モデルの高度化

i 移流項の離散化: 既往のモデルでは移流項に一次精度の風上差分を適用している。しかし、より高精度な解を得るため、移流項に二次精度の風上差分を適用することにした。移流項 $\partial(uM)/\partial x$ に一次精度の風上差分あるいは二次精度の風上差分を適用した場合の離散化式は下記のようなのである。

<一次精度の風上差分>

$$\frac{\partial}{\partial x} uM = \frac{uM_{i,j} - uM_{i-1,j}}{\Delta x} : u(i, j) > 0 \quad \text{-----(7)}, \quad \frac{\partial}{\partial x} uM = \frac{uM_{i+1,j} - uM_{i,j}}{\Delta x} : u(i, j) < 0 \quad \text{-----(8)}$$

<二次精度の風上差分>

$$\frac{\partial}{\partial x} uM = \frac{3 \cdot uM_{i,j} - 4 \cdot uM_{i-1,j} + uM_{i-2,j}}{\Delta x} : u(i, j) > 0 \quad \text{-----(9)}$$

$$\frac{\partial}{\partial x} uM = \frac{-3 \cdot uM_{i,j} - 4 \cdot uM_{i+1,j} + uM_{i+2,j}}{\Delta x} : u(i, j) < 0 \quad \text{-----(10)}$$

ii 段落ち部の流れ: 段落ち部では、限界水深 h_c により流量フラックス q が規定される。しかし、既往のモデルでは比水頭 E を求める過程で速度水頭が無視されている。本モデルでは E を求める際に速度水頭を考慮

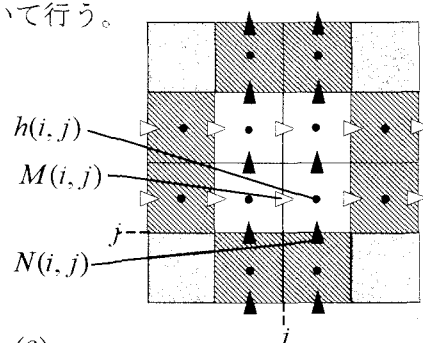


図-1 メッシュ図

して求めるモデルへと高度化を行う。例えば図-2において1次元流れで、cd断面が段落ちであった場合を想定する。 $h(i, j)$ における流速を uv 、 uv の x 方向成分を u' 、 y 方向成分 v' とする接近流の流向を考慮して速度水頭は(11)のように表される。また、 $h(i, j)$ における比水頭 E は(12)のように表される。(12)より限界水深および流量フラックスは(13)および(14)となる。

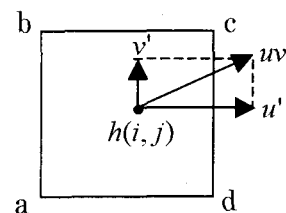


図-2 $h(i, j)$ における流速

$$\text{速度水頭} = (uv * |u'|) / 2g \text{ -----(11), } E = h(i, j) + (uv * |u'|) / 2g \text{ -----(12)}$$

$$h_c = 2/3 \{ h(i, j) + (uv * |u'|) / 2g \} \text{ -----(13)}$$

$$q = [2/3 \{ h(i, j) + (uv * |u'|) / 2g \}]^{3/2} \sqrt{g} \text{ -----(14)}$$

3. 徳島市市街地でのテスト計算 2.で構築したモデルを用いて、徳島市市街地でのテスト計算を行った。計算条件を次に示す。

- ・ 家屋の流れへの影響は考慮しない。
- ・ 粗度は陸域で0.050、水域で0.025として一様に与える。
- ・ 初期水位は平均海面を想定し0.0とする。
- ・ 河口での水位が図-3のように変動する。
- ・ 図-4-A(水門)、図-4-B(護岸)からの流入を想定する。

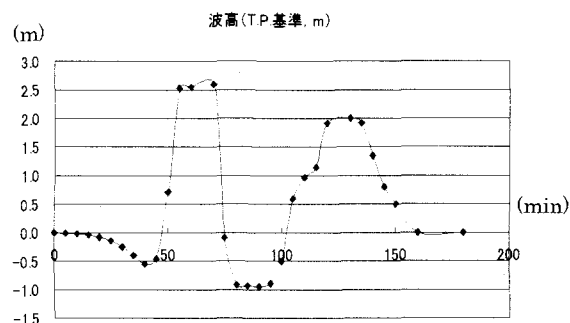


図-3 ③計算に用いた水位変化データ

図-4は計算開始後70分における流速ベクトルと水深コンター図である。

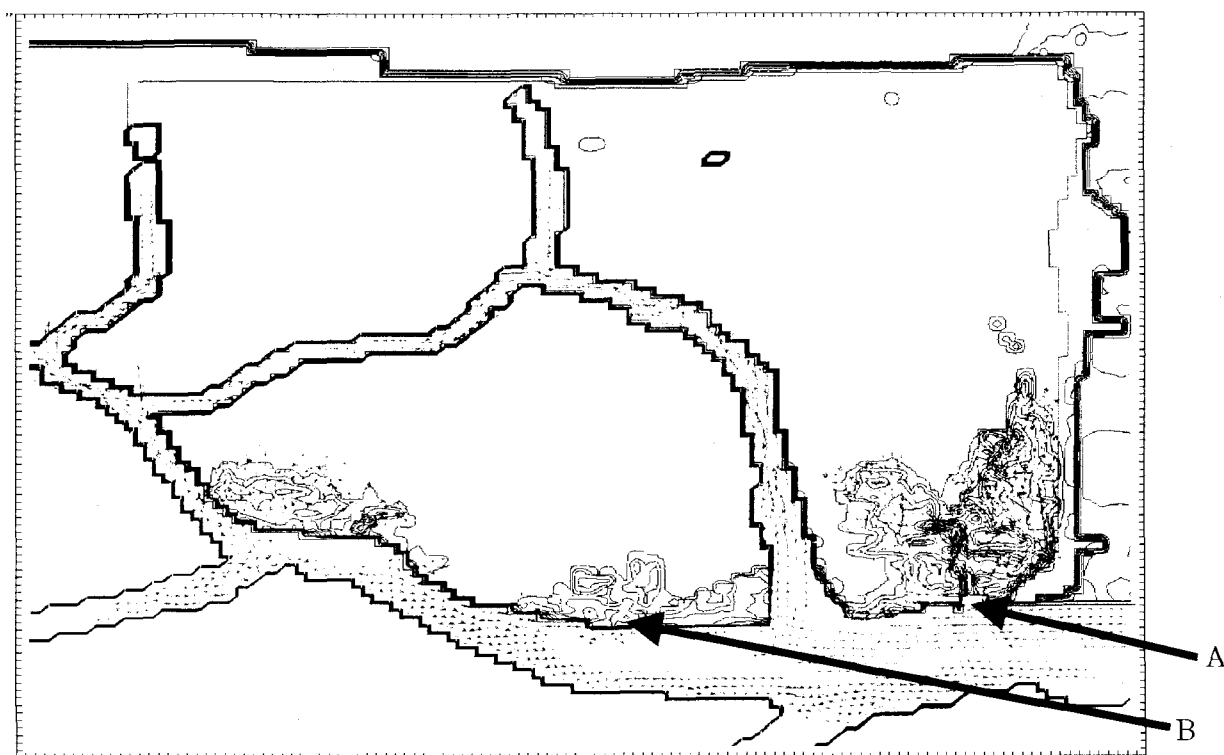


図-4 70分後の氾濫状況

4. 結論 計算領域周辺閉境界かあるいは開境界に自由に設定できるモデルへ改変することにより既往のモデルの汎用化を行った。また、段落ち部を理論的なモデルに変更するとともに、移流項に二次精度の風上差分の適用を行い、既往のモデルの高度化を行った。

参考文献 1) 土木学会：平成11年度版水理公式集・例題集(1998) 2) 土木学会水理委員会基礎水理部会：水工学における計算機利用の講習会講義集(1999) 3) 大宅祥弘：平成14年度徳島大学建設工学科卒業論文、瀬戸内海の津波侵入特性に関する基礎的研究