

非構造格子を用いた氾濫解析法に関する基礎的研究

中部大学工学部 フェロー・松尾直規

中部大学工学部 正会員 武田 誠

中部大学大学院 非会員 中嶋大次郎

中部大学大学院 非会員 山中威士

1. はじめに 近年、日本各地で毎年のように都市水害が発生している。これに伴い多くの都市で水災対策の再検討が進められているが、詳細な検討を行うためには様々な要因が複雑にからみ合った都市域の氾濫現象を、精度よく予測する解析モデルの開発が必要とされている。

従来のデカルト座標系による氾濫解析の場合、直交格子を用いて氾濫域をモデル化する。しかし、計算格子が大きい場合、都市内小河川、道路、盛土など現実の諸条件を十分に表現することは難しくなる。また、外水氾濫を対象として、別に河川における洪水流を計算する場合、氾濫流量を氾濫解析格子に矛盾なく与えることは難しいものとする。そこで、本研究では任意に形状を設定できる非構造格子を用いた氾濫解析法について検討し、複雑な都市域の氾濫に対する有用かつ高精度な解析手法の構築を目指す。

2. 氾濫解析法 構築する解析モデルは川池らの方法に準じている¹⁾。すなわち、全領域に対してまずデカルト座標軸(x 軸, y 軸)を設定し、この座標系における各方向の流速(u, v)、流量フラックス(M, N)を格子境界(多角形の辺の中点)で、水深(h)は格子の図心で定義する。計算は Leap-Frog 法を用いて陽的に進める。解析に用いる差分式は以下の連続式と運動量方程式である。

$$\frac{h^{n+1} - h^{n-1}}{2\Delta t} + \frac{1}{A} \sum_{l=1}^m \{M_l^n (\Delta y)_l - N_l^n (\Delta x)_l\} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{M_L^{n+2} - M_L^n}{2\Delta t} + M1 + M2 = -g\tilde{h}^{n+1}(\nabla H)_x - \frac{gn^2 \frac{M_L^{n+2} + M_L^n}{2} \sqrt{(u_L^n)^2 + (v_L^n)^2}}{(\tilde{h}^{n+1})^{4/3}} \quad (2)$$

$$\frac{N_L^{n+2} - N_L^n}{2\Delta t} + N1 + N2 = -g\tilde{h}^{n+1}(\nabla H)_y - \frac{gn^2 \frac{N_L^{n+2} + N_L^n}{2} \sqrt{(u_L^n)^2 + (v_L^n)^2}}{(\tilde{h}^{n+1})^{4/3}} \quad (3)$$

ここで M_L, N_L は格子辺 L 上での x および y 方向の流量フラックス、 u_L, v_L は格子辺 L 上での x および y 方向の流速である。 $(\nabla H)_x, (\nabla H)_y$ はそれぞれ格子 i, j 間の水面勾配 ∇H の x, y 方向成分である。 $\tilde{h}$ は格子辺上の水深であり、図心における水深から補間して求める。 $M1, M2$ または $N1, N2$ は、それぞれ

$$M1 + M2 = \frac{1}{A_{cv}} \sum_{l=1}^{m'} \{u_l \tilde{M}_l (\Delta y)_l - (v_l \tilde{M}_l) (\Delta x)_l\}, \quad N1 + N2 = \frac{1}{A_{cv}} \sum_{l=1}^{m'} \{u_l \tilde{N}_l (\Delta y)_l - (v_l \tilde{N}_l) (\Delta x)_l\} \quad (4)$$

のように計算する。ここで、 A_{cv} はコントロールボリューム(辺 L に隣接する二つの格子)の面積、 m' はコントロールボリュームを囲む辺の数、 u_l, v_l は辺 l 上での流速、 $(\Delta x)_l, (\Delta y)_l$ は辺 l の両端の点における x 座標、 y 座標の差である。 $\tilde{M}, \tilde{N}$ は格子の重心上の流量フラックスであり、格子を囲む辺上の流量フラックスから距離と辺の方向余弦を用いて以下のように補間している。なお、式(4)では流速(u_l, v_l)の方向に従って $\tilde{M}, \tilde{N}$ には上流側の補間流量フラックスを用いる。

$$\tilde{M} = \frac{\sum M_l \cos(\phi, n_l) / d_l}{\sum \cos(\phi, n_l) / d_l}, \quad \tilde{N} = \frac{\sum N_l \cos(\psi, n_l) / d_l}{\sum \cos(\psi, n_l) / d_l} \quad (5)$$

キーワード：氾濫解析，非構造格子、数値解析

連絡先：中部大学，〒487-8501，愛知県春日井市松本町 1200，TEL 0568-51-1111，FAX 0568-52-0134

3. 計算条件 対象領域は図1に示す約12km²の範囲である。なお、ここではデカルト座標系による解析モデルとの比較を行うため、100m四方の直交格子を用いた解析も行う。図1の非構造格子も100mを意識しながら設定している。計算領域は高い直立壁で囲まれているものとする。地盤高は図1の赤丸箇所が最も低く(-4m)、設定格子の境界へ行くほど高く(1m)なるように設定した。この地盤高の設定は直交格子と非構造格子の場合ともに同様である。堤防については破堤個所の堤防高を1m、それ以外を3mとした。その他の計算条件として、河川水位を $\eta = 2 \times \sin(\text{time}/(12 \times 3600) \times 2\pi)$ (単位(m), time:時間(秒))で与え、計算期間を6時間、計算時間ステップを5秒とした。粗度係数 $n=0.067$ を用いたデカルト座標系の解析を case A、非構造格子を用い道路の地盤高を20cm低くし、粗度係数を道路0.043、住区0.067とした場合を case B とした。

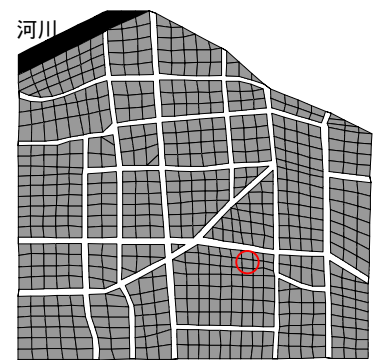


図1 メッシュ分割図

4. 解析結果と考察 case A、B共に、2時間後から5時間後の浸水状況を図3に示す。なお、case Aでは道路を考慮していないため、両者の直接的な比較はできない。case Aとcase Bを比較してみると、浸水域の面的な広がりには大差はないが、case Aでは地盤が低い場所に浸水が面的に広がるのに対し、case Bでは住区より低い市街地道路を流れの先端として浸水していくのがわかる。このことより、case Bでは現実により即した解析が可能であることを示している。

5. おわりに デカルト座標系の氾濫解析は、比較的簡便で入力データの取得が容易であり計算労力や計算時間も少なくて済む。しかし都市域を対象とする場合、氾濫水は主として道路上を流れるので、道路の大きさを格子サイズとしなければならなくなり、河川などの境界条件も矛盾なく設定しにくい。おおまかな浸水状況を知りたい場合には、デカルト座標系で解析を行うのも良いが、氾濫時の避難対策など、より詳細な検討を行うためには非構造格子により任意形状の格子に分割できる氾濫解析法を用いる方がより有用性は高いといえよう。

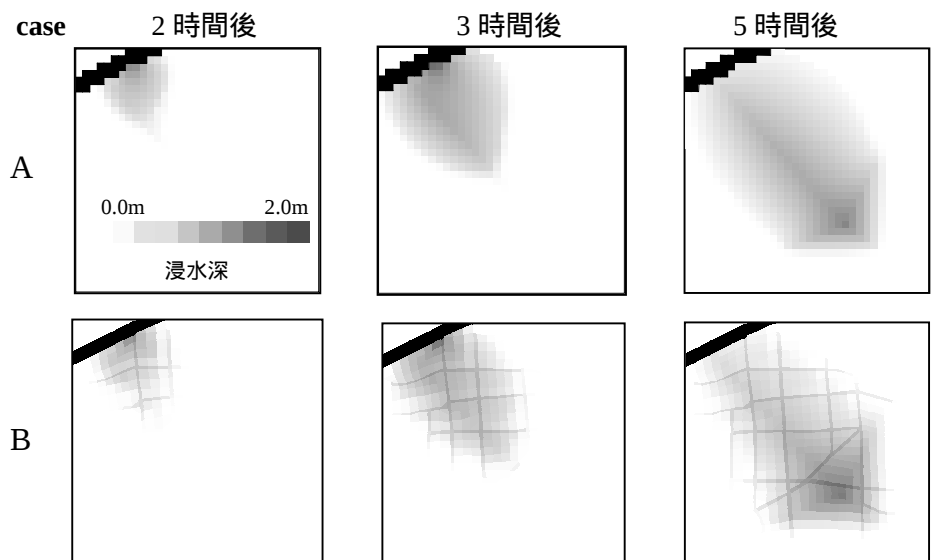


図3 解析結果

本研究での非構造格子による解析は、浸水域についてはデカルト座標系による解析とほぼ大差のない結果をもたらしたが、氾濫水が道路に沿って流れるなどより詳細かつ現実に即した氾濫水の挙動を表現し得る結果を示した。今後本解析モデルを実際の浸水災害に適用し、その適用性・有用性をさらに検証していきたい。

参考文献

- 1) 川池健司・井上和也・戸田圭一：非構造格子の都市氾濫解析への適用，水工学論文集第44巻，pp461-466，2000．
- 2) 川池健司：都市域における氾濫解析法とその耐水性評価への応用に関する研究，京都大学学位論文，2001．