

水路の流れを考慮した氾濫シミュレーション

東北大学工学部 学生員 ○宮城 昌和
 東北大学大学院 正会員 風間 聡
 東北大学大学院 フェロー 沢本 正樹

1. はじめに

近年、集中降雨が頻発し、内水氾濫に伴う被害が全国各地で認められる。1999年の福岡水害、2000年の東海豪雨災害は、その事例に該当し、ダム、堤防等のハード対策の限界を示唆する被害が認められている。以上の経緯より、2002年に水防法が改正され、洪水に対するソフト面の対策が提言されている。また、高度社会化に伴いリアルタイムな情報が必要とされている。しかし、水路、下水道を含んだ領域における従来の氾濫シミュレーションは、氾濫モデルと水路モデルの2つのモデルを用いているため、計算時間が長くなるという欠点があった。そこで、本研究は、水路や下水道の粗度係数を流況から推定することにより、水路の流れを氾濫モデルに組み込んだ洪水氾濫シミュレーションモデルを開発した。このことにより、モデルは1つとなり、計算時間は短縮される。内水氾濫履歴が多く、水路網の発達している仙台東部域にモデルを適用し、実現象と検証しながら構築した。

2. 氾濫モデル

氾濫流モデルは、家屋などの抵抗を考慮した二次元不定流¹⁾を用いた。式は(1)から(4)に示す。

連続方程式

$$\gamma \frac{\partial D}{\partial t} + \frac{\partial \gamma M}{\partial x} + \frac{\partial \gamma N}{\partial y} = 0 \quad \text{-----}(1)$$

運動方程式

(x方向) :

$$\lambda \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{MN}{D} \right) + \gamma g D \frac{\partial (D+h)}{\partial x} + \gamma g n^2 \frac{M \sqrt{M^2 + N^2}}{D^{7/3}} + \frac{1}{2} \frac{(1-\gamma)}{B} C_D \frac{M \sqrt{M^2 + N^2}}{D} = 0 \quad \text{-----}(2)$$

(y方向) :

$$\lambda \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{N^2}{D} \right) + \gamma g D \frac{\partial (D+h)}{\partial y} + \gamma g n^2 \frac{N \sqrt{M^2 + N^2}}{D^{7/3}} + \frac{1}{2} \frac{(1-\gamma)}{B} C_D \frac{N \sqrt{M^2 + N^2}}{D} = 0 \quad \text{-----}(3)$$

$$\lambda = \gamma + (1-\gamma)C_M \quad \text{-----}(4)$$

ここで、 x : 東向きの座標、 y : 北向きの座標、 t : 時間、 D : 水深、 h : 標高、 M 、 N : x 、 y 方向の単位幅流量、 g : 重力加速度、 n : マニングの粗度係数、 $(1-\gamma)$: 家屋占有率、 B : 家屋の平均寸法、 C_M : 家屋の付加質量係数、 C_D : 家屋の抗力係数である。家屋は正方形と想定して $C_M = 0.2$ 、 $C_D = 1.0$ とした。 n 、 γ 、 B は土地利用に応じて値を変化させた。

3. 氾濫モデルにおける粗度係数の検討

粗度係数は、流体と壁面間の摩擦を示すパラメータである。氾濫流への重要な要素で、土地利用条件毎に値が異なる。この機構をふまえてモデルに組み込んだ。水深が 0.2m 未満の場合、地表の起伏に強く起因するため粗度係数は 1.0 として、水深が 0.5m 以上の場合、土地利用による値とした。水深が 0.2m 以上 0.5m 未満の場合、1.0 から土地利用に対応する値まで線形に変化するとした。その変化を図 1 に示す。ここで、 n' は土地利用による粗度係数である。

本研究では水路の流れを粗度係数により反映させる。解析を 50m 空間解像度で行うため、実水路をモデル流路で表現している。実水路とモデル流路の断面図をそれぞれ図 2、図 3 に示す。モデル流路において実水路の流れを表現するために、モデル流路における粗度係数に実水路の容量、粗度係数、水深を組み込む。モデル流路における流量と実水路における流量を整合させ

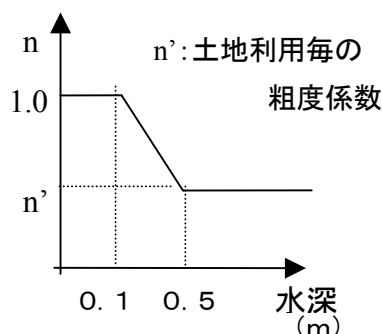


図 1 水深変化による粗度変化

ることにより、モデル流路での粗度係数 n_0 を導く。こ

こで、Mannig の式を使用した。

----(5)

$$\underbrace{(\Delta x - b)D \times \frac{1}{n_2} \left(\frac{(\Delta x - b)D}{\Delta x - b} \right)^{\frac{2}{3}}}_{\text{水路以外}} + \underbrace{b(D+h) \times \frac{1}{n_1} \left(\frac{b(D+h)}{b+2h} \right)^{\frac{2}{3}}}_{\text{水路}} = \underbrace{\Delta x D \times \frac{1}{n_0} \left(\frac{\Delta x D}{\Delta x + 2h} \right)^{\frac{2}{3}}}_{\text{モデル流路}}$$

これを n_0 について解く。

$$n_0 = \frac{(\Delta x D')^{\frac{5}{3}}}{\left(\Delta x + 2 \frac{bh}{\Delta x} \right) \left[\frac{1}{n_1} (\Delta x - b) \left(D' - \frac{bh}{\Delta x} \right)^{\frac{5}{3}} + \frac{1}{n} \frac{b \left(D' - \frac{bh}{\Delta x} + h \right)^{\frac{5}{3}}}{(b+2h)^{\frac{2}{3}}} \right]} \quad \text{----(6)}$$

ここで、 n_0 はモデル流路の粗度係数、 n_1 は実水路の粗度係数、 n_2 は水路以外の粗度係数、 b は水路幅、 h は水路深さ、 D は水路の外の水深、 D' はモデル流路における水深、 Δx は 1 メッシュの大きさである。 n_0 は時間ステップ毎に求められる。

4. 結果および検証

開発した氾濫モデルを用いて、平成 14 年 7 月 11 日の仙台東部地域の氾濫計算を行った結果を図 4 に示す。図 5 は観測による浸水区域を示す。解析結果と実績を比較すると海浜付近の貞山運河周辺に浸水域が広がる傾向は同様であり、概ね結果は再現できていると評価できる。浸水区域は観測において大雑把であるが、計算結果において詳細に示された。また、浸水時の水深が計測された井土地区における水路と解析結果の比較検証を行った。検証結果は図 6 に示す。水深の立ち上がりは観測値と同調し、ピーク水深も概ね一致した結果を得た。しかし、ピーク水深以降の減少に関しては、再現できなかった。この誤差の原因は、人為的な水門操作が影響していると考えられる。実際、内水位が外水位より大きい場合に内水位が急激に減少

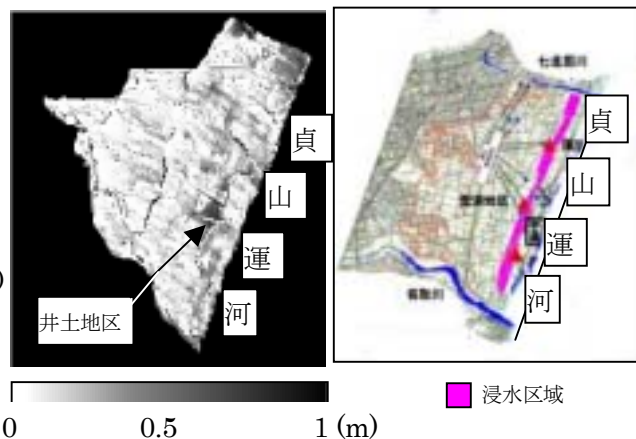


図 4 解析結果

図 5 観測による浸水区域

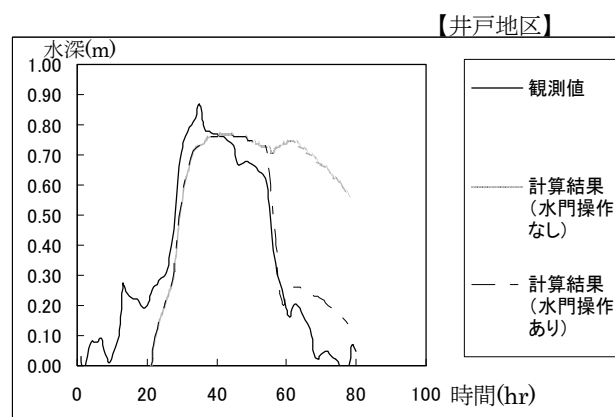


図 6 水位比較検討グラフ

していることが認識された。このことは、水門を開門することにより、内水を外水に排水したということを示している。

水門操作の実績は残っていないため、内水位が外水位より大きい場合に水門操作を行ったとして計算を行った。57 時間から水門を開けたとした。水門を開けた場合、内水位と外水位差より等流公式を用いて排水される流量を導いた。結果は図 6 に示す。ピーク以降の水深減少は再現できた。

5. まとめ

水路の流れを氾濫解析モデルに組み込むことにより計算時間を短縮して、かつ高精度に実現現象を再現できた。ただし、流出低減現象に寄与する水門操作は考慮されているが、水門操作を行う判断は明確ではないため、そのことをモデルに組み込むことにより実用性のあるモデルを構築することが今後の課題である。

参考文献：1) 風間聡・長尾昌朋・武藤裕則・多田毅：土地利用を考慮した氾濫水理解析と予測，河川懇談会共同研究，平成 15 年

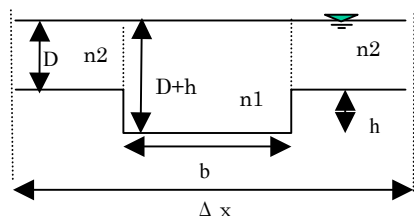


図 2 実水路

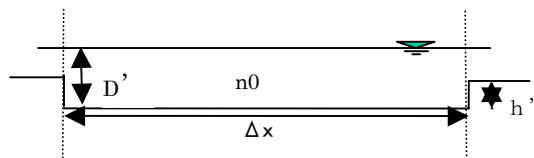


図 3 モデル流路