

格子内の地盤高特性を考慮した氾濫解析法に関する基礎的研究

中部大学工学部 学生会員○小寺大輔
 中部大学工学部 福手正敏
 中部大学工学部 正会員 武田 誠
 中部大学工学部 フェロー 松尾直規

1. はじめに

近年、多くの都市で水災が発生しており、平成 18 年には 7 月に九州南部で甚大な被害を受けた。水災対策の検討、検証は氾濫解析が広く使用されており、これまでに多くの研究者により氾濫解析法の精度向上について検討が行われてきた。しかし、従来の解析法では、詳細な都市構造を表現する場合、細かいスケールの格子を用いなければならず、計算時間が多大となる。リアルタイム予測などの社会的要請に応えるための工学的な観点からは、計算時間を要せずにできるだけ精度の高い氾濫解析法が望まれる。そこで本研究では、新たな試みとして、格子内の地盤高特性を考慮した氾濫解析法について検討する。

2. 従来の氾濫解析法

現在、広く普及している氾濫解析法には、支配方程式として以下の浅水方程式が用いられる。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial uM}{\partial x} + \frac{\partial vM}{\partial y} = \\ -gh \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon_x \frac{\partial M}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial M}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{bx}}{\rho} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial uN}{\partial x} + \frac{\partial vN}{\partial y} = \\ -gh \frac{\partial H}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon_x \frac{\partial N}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial N}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{by}}{\rho} \end{aligned} \quad (3)$$

ここで、 u, v はそれぞれ x, y 方向の流速、 h は水深、 M, N は x, y 方向のフラックス ($M = uh, N = vh$)、 H は水位、 τ_{bx}, τ_{by} は x, y 方向の底面のせん断応力、 ρ は水の密度、 g は重力加速度、 $\varepsilon_x, \varepsilon_y$ は x, y 方向の渦動粘性係数、 x, y は平面座標、 t は時間である。

従来の解析法では、(1)式のように水深が未知量となっており、これをそのまま離散化すれば、格子内の一様水深を前提として平均水深を求めることとなる。また、運動方程式も単位幅流量を未知量としており、辺一様に流れることを前提としている。このようなモデル化は格子スケールが十分に小さい場合は実際の氾濫水の動きを表現しているであろうが、

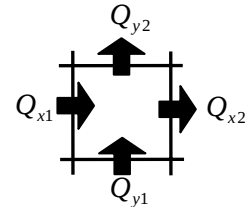


図 1 未知量の設定位

格子スケールが十分に小さく採れない場合には、実際と異なる水理現象を解くこととなる。

3. 提案する氾濫解析法(h-VA 氾濫解析法)

ここでは以下の仮定を設ける。

1) 格子内に流入した水は格子内の地盤高の低い方へ瞬時に流れるとし、未知量は水深ではなく水量(体積)とする。

2) 運動方程式において、移流項、粘性項が大きく影響を与えず、省略できると仮定し、流量を未知量として表現する。

以上のことを考慮し、用いる方程式を以下に示す。

$$\frac{\partial V}{\partial t} = (Q_{x1} - Q_{x2}) + (Q_{y1} - Q_{y2}) \quad (4)$$

$$\frac{\partial Q_x}{\partial t} = -gA_x \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{gn^2 Q_x \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}} \quad (5)$$

$$\frac{\partial Q_y}{\partial t} = -gA_y \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{gn^2 Q_y \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}} \quad (6)$$

ここで、 V は格子内の水量、 $Q_{x1}, Q_{x2}, Q_{y1}, Q_{y2}$ は図 1 示される x, y 方向の流量、 A_x, A_y はそれぞれ Q_x, Q_y が定義されている箇所の x, y 方向の流水断面積、 H は水位である。

本解析の手順として、解析を行う前にそれぞれの格子内に存在する詳細な地盤高データを用いて、各格子および断面内の最低地盤高を基準とした $h-V$ 曲線、 $h-A_x$ 曲線、 $h-A_y$ 曲線を作成する。計算開始後には(4)式により、各格子の水量が求まり、 $h-V$ 曲線を用いてその格子内水量に対応する水深(最低地盤高の水深)を求め、各格子の水位を計算する。格子内の水位から Q_x, Q_y 定義位置の水位を求め、その断面の最低地盤高を差し引くことで断面内の最大水深

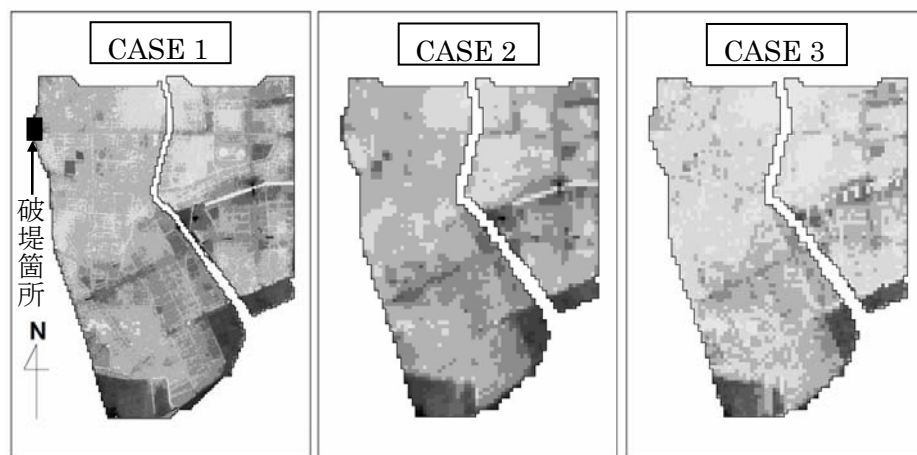


図2 地盤高図

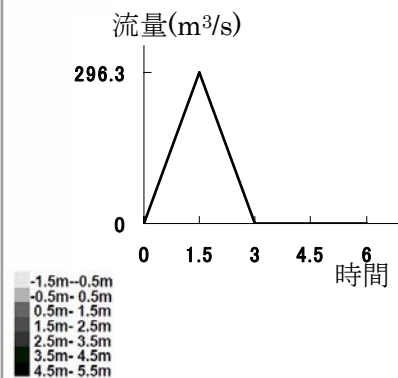


図3 破堤箇所の流入流量

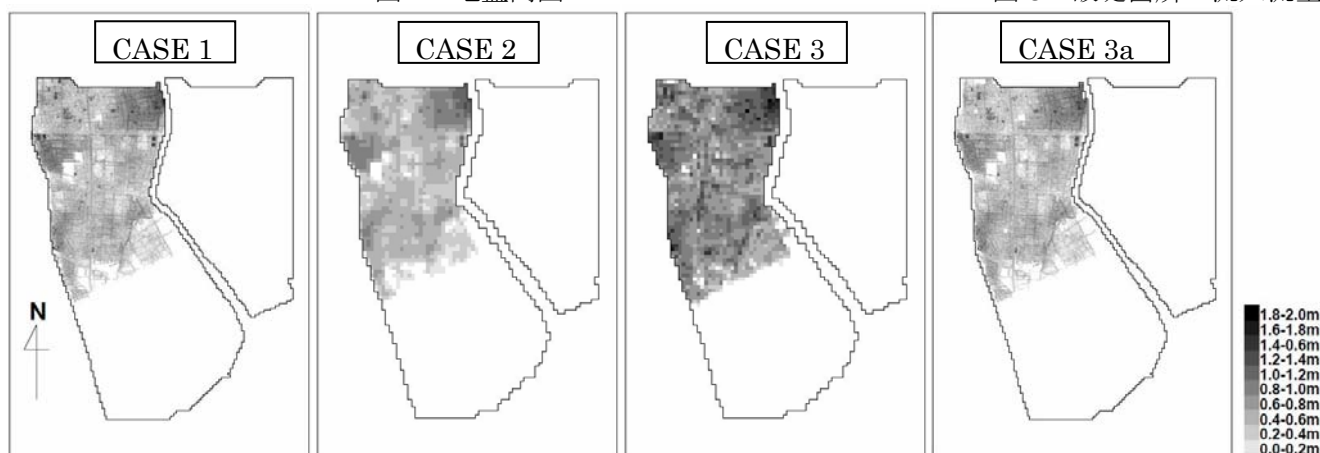


図4 最大浸水深図

を求める. $h-A_x$ 曲線, $h-A_y$ 曲線を用いて, その水深に対応する流水面積を求める. (5)式, (6)式によって流量を求め, (4)式の計算へと繰り返される.

4. 計算領域及び計算条件

2m 毎の地盤データを用い, 10m×10m 格子データ(400 個×600 個, 平均地盤高)を用いた従来モデル(CASE 1), 50m×50m 格子データ(80 個×120 個, 平均地盤高)を用いた従来モデル(CASE 2), 50m×50m の格子データ(80 個×120 個, 格子内最低地盤高)を用いた h-VA 氾濫解析法(CASE 3)の比較を行う. 図2に用いた地盤高を示す. 計算条件として図2の CASE 1 に示す破堤箇所に, 図3に示した流量を設定し, 6 時間後までを計算した.

5. 解析結果及び考察

図4に最大浸水深の分布を示す. 本図の CASE 2 は CASE 1 と同様の結果を示していることから, 本計算条件の場合, 50m スケールの平均的な取り扱いでも十分に水理現象を表現できることが示されたが, 小さな道路に沿った流れなどは表現されていない. 図4の CASE 3 は, 得られた水深の分布であり, 格子内の最大水深を表記していることから, CASE 1

との直接的な比較はできない. そこで, 格子内の水位を一定とみなし, 得られた水位から地盤高を差し引くことで, CASE 1 の格子に対応する水深を算出し図化したものが CASE 3a である. CASE 3a の結果は CASE 1 と同様の浸水状況を示しており, さらに CASE 2 では表現できなかった小さな道路に沿った流れも再現できている. また, 本計算条件の場合, 市販の PC (NEC Express5800 Pentium(R)4 CPU 3.80GHz)を用いて計算した結果, CASE 1 は 2 時間 40 分, CASE 2 は 5 分, CASE 3 は 10 分を要した. したがって, 計算時間の短縮という面からも h-VA 氾濫解析法の有用性が伺える.

6. おわりに

本研究では, 従来の氾濫解析法の問題点を示し, 簡便さと精度を併せ持つ新しい氾濫解析法を提示した. 本計算モデルは, 格子をひとつのポンドとみなし, 格子内の $h-V$ 曲線, 流量定義位置における $h-A_x$ 曲線, $h-A_y$ 曲線を取り扱うことに特徴がある. 現在, 多くの計算条件の下で h-VA 氾濫解析法の妥当性の検討を行っており, 発表時にはその内容もあわせて示す予定である.