

## 2004年足羽川洪水事例による氾濫シミュレーションの精度検証

(株)日立製作所 中央研究所 正会員 山口 悟史  
 (株)日立製作所 中央研究所 岩村 一昭

## 1. はじめに

氾濫シミュレーションでは、シミュレーション結果は計算格子サイズにより変化する。本研究は、計算格子サイズと氾濫シミュレーションの再現精度との関係を定量的に明らかにすることを目的とする。まず、1) シミュレーションの再現精度を評価する指標を提案する。続いて、2) 過去の水害事例との比較によるシミュレーション結果を評価する。この結果に基づき、3) 高い精度を実現する計算格子サイズを考察する。

## 2. 精度評価指標の提案

水害の現地調査では浸水域と浸水深が計測されることが多い。そこで、これらのデータを用いてシミュレーション結果と現実との一致を定量的に評価する指標を提案する。

浸水域による評価指標として、浸水域の見逃し率と空振り率とを提案する。図1に示すように、見逃し(false negative)領域を実際には浸水したがシミュレーションで浸水しないとされた領域とする。また、空振り(false positive)領域を実際には浸水しなかったがシミュレーションで浸水するとされた領域とする。以下の式で見逃し率 $R_{fn}$ と空振り率 $R_{fp}$ を定義する。

$$R_{fn} = S_{fn} / S_{site} \quad (1)$$

$$R_{fp} = S_{fp} / S_{site} \quad (2)$$

ただし、 $S_{fn}$ は見逃した領域の面積、 $S_{fp}$ は空振りした領域の面積、 $S_{site}$ は実際に浸水した面積である。

浸水深による評価指標として、以下の式で定義されるシミュレーションの浸水深のバイアス(bias)とRMSE(2乗平均平方根誤差; root mean square error)を用いる。

$$\text{err}(i) = D_{sim}(i) - D_{site}(i) \quad (3)$$

$$\text{bias} = \frac{1}{num} \sum_i \text{err}(i) \quad (4)$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{num} \sum_i \text{err}(i)^2} \quad (5)$$

ただし、 $D_{sim}(i)$ 、 $D_{site}(i)$ 、 $\text{err}(i)$ : それぞれ観測地点*i*におけるシミュレーションの浸水深、現地調査の浸水深、シミュレーションの浸水深の誤差、 $num$ : 対象とする計測データの地点数であ

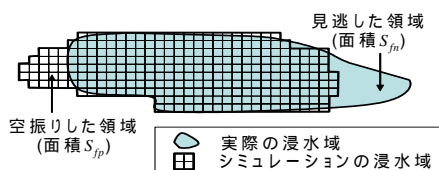


図1: 見逃した領域、空振りした領域の説明図

る。シミュレーション結果が現地調査とよく一致するほどバイアス、RMSEとも0に近づく。

## 3. 精度評価実験

## 3.1 実験方法

氾濫シミュレーションの研究では、数値発散を防ぐため浅水方程式の空間をスタガードグリッドで、時間をリーブフログ法で離散化した数値モデルが広く用いられている。また、計算格子は一辺10 m~250 m程度の正方形の計算格子が用いられている。浅水方程式を式(7)~(9)に示す。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = q \quad (7)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{gn^2}{h^{3/2}} M \sqrt{u^2 + v^2} \quad (8)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{gn^2}{h^{3/2}} N \sqrt{u^2 + v^2} \quad (9)$$

ただし、 $h$ : 水深、 $H$ : 水位、 $M$ 、 $N$ : それぞれ*x*、*y*方向の流量フラックス、 $u$ 、 $v$ : それぞれ*x*、*y*方向の流速、 $g$ : 重力加速度、 $n$ : マニングの粗度、 $q$ : 破堤箇所などからの流入量である。

実験ではこの数値モデルを用い、一辺10 m、25 m、50 m、100 m、150 m、300 mの6種類の正方形の計算格子によるシミュレーションの精度を評価した。それぞれのシミュレーション結果と2004年7月18日の福井水害の現地調査データとを比較し精度評価指標を求めた。

## 3.2 シミュレーションに用いたデータ

地形データとして、航空レーザスキャナにより計測された5 mメッシュ標高データを用いた。このデータには建物など地物の高さが除去された地盤の高さが格納されている。計算格子には、格子内の標高データの平均値を代入した。

粗度として全域に $0.084 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ を与えた。この値は福岡ら[1]の模型実験で計測された、格子内の家屋面積が全体の20~50%の場合の粗度に相当する。

この水害では破堤箇所からの流入量の74%が湛し残りはポンプなどで排水されたと推定されている[2]。そこで、流入量時系列[2]の0.74倍の流入量を破堤箇所に与えた。

暗渠を通じて外水が流入した箇所を再現するため、暗渠の最大流量の水が入り口から出口に向けて流下するとした。対象とした暗渠は1箇所、最大流量は $12.3 \text{ m}^3/\text{s}$ であった。

キーワード: 氾濫シミュレーション, 精度検証, 足羽川

連絡先: 〒185-8601 東京都国分寺市東恋ヶ窪 1-280 (株)日立製作所中央研究所 TEL: 042-323-1111

### 3.3 検証に用いた現地調査データ

浸水域データとして、水害時および水害後の現地調査、住民への聞き取り調査、水害直後の空中写真に基づいて山本[3]が推定した浸水域を用いた。

浸水深として、山本[3]が水害発生後 3~11 日に 146 地点で計測した浸水深を用いた。彼らは測量機器を用いて、すでに標高が計測されている地点においてその地点と周囲の浸水痕跡との比高を測定した。彼らは計測精度を、比高の計測に関して ±3 cm、既存の標高点に関して ±10 cm としている。

### 4. 結果と考察

図 2、図 3 に計算格子サイズ 10 m のシミュレーション結果と現地調査の比較を示す。浸水深の見逃し率 9%、空振り率 13%、浸水深のバイアス 4 cm、RMSE 28 cm であった。

図 4、図 5 に計算格子サイズによる精度評価指標の変化を示す。計算格子サイズが 50 m 以下の場合、計算格子サイズの変化に対する RMSE の変化が 50 m より大きい場合と比較して小さい。同様の傾向が浸水域見逃し率にも見られる。

地形のレーザ計測は、盛土などにより細かい空間スケールで地形が変化する都市の地表面を高精度に計測する。この高精度の地形データを 50m よりも細かい計算格子で表現したため、氾濫流に影響を与える地形が再現できたと考えられる。

### 5. 結論

氾濫シミュレーションの精度評価方法を提案し、その評価方法を用いて計算格子サイズごとの精度を計測した。

- 1) 氾濫シミュレーションの浸水域の精度を見逃し率と空振り率で、浸水深の精度をバイアスと 2 乗平均平方根誤差 (RMSE) で評価する方法を提案した。
- 2) 氾濫シミュレーションは 2004 年福井水害における浸水域を見逃し率 9%、空振り率 13% で、浸水深をバイアス 3 cm、RMSE 28 cm で再現した。
- 3) レーザ計測地形データと 50 m より細かい計算格子を用いると高精度な氾濫シミュレーションが期待できる。

### 謝辞

国土交通省近畿地方整備局福井国道河川事務所よりレーザ測量標高データを提供頂いた。ここに記し感謝の意を表す。

### 参考文献

[1] 福岡捷二, 川島幹雄, 松永宜夫, 前内永敏: 密集市街地の氾濫流に関する研究, 土木学会論文集, No. 491/II-27, pp.51-66, 1994.  
 [2] 福井豪雨足羽川洪水災害調査対策検討会: 足羽川洪水災害調査対策検討報告書, 福井県土木部河川課ウェブサイト, 2005.  
 [3] 山本博文, 平成 16 年福島豪雨における福井市街足羽川左岸および鯖江市河和田地区における浸水被害について, 平成 16 年度科学研究費補助金研究報告書, 2005.

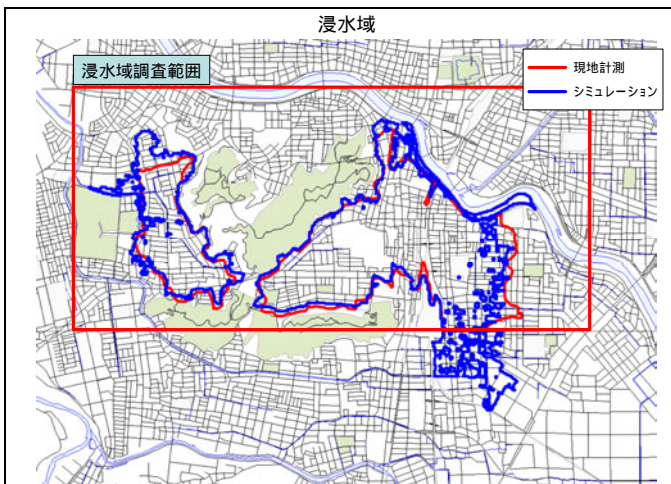


図 2: シミュレーション結果と現地調査の浸水域についての比較

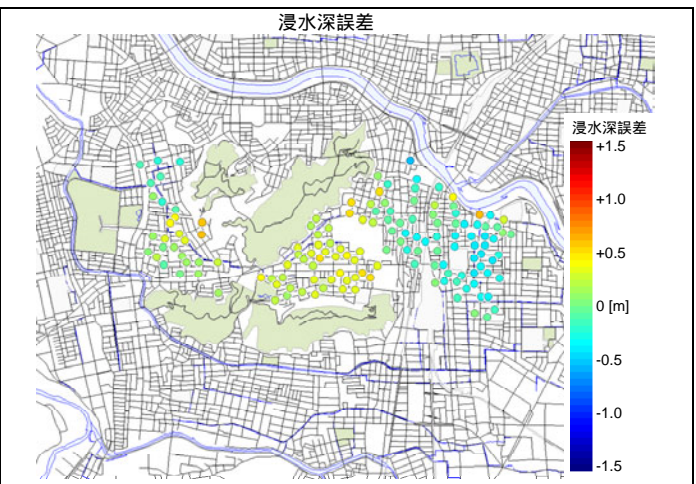


図 3: シミュレーション結果と現地調査の浸水深についての比較

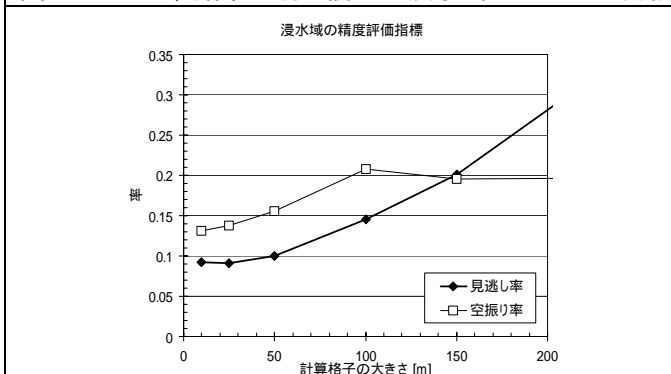


図 4: 計算格子サイズと浸水域の再現精度の関係

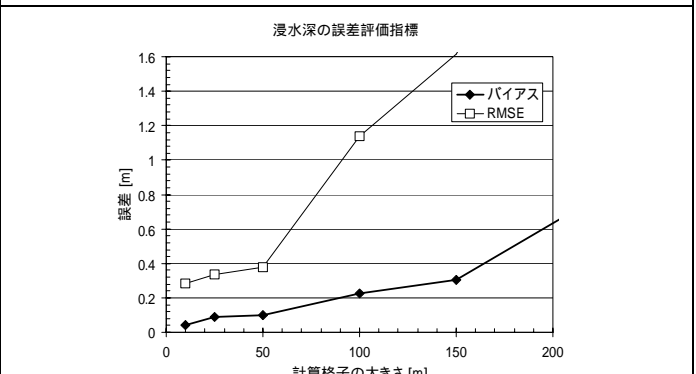


図 5: 計算格子サイズと浸水深の再現精度の関係