

広島大学大学院 学生員 横山洋 広島大学工学部 正員 福岡捷二
(株)東京建設コンサルタント 正員 川島幹雄 広島大学大学院 学生員 水口雅教

1.はじめに

日本の大都市の多くは河川沿いに位置しており、ひとたび氾濫が生じれば都市に甚大な被害が生じる。氾濫被害軽減策の1つとして効果的な避難計画及び災害に強い都市計画の策定があり、それにあたり高精度の氾濫シミュレーションは極めて有効な手段である。既往の氾濫計算モデルでは家屋の抵抗は一般的な方法である等価粗度¹⁾あるいは抗力係数²⁾を用いて表現してきた。しかし市街地氾濫流解析においてこれらの係数を決定するには曖昧な要素が多いことが問題であった。本研究は福岡ら³⁾により提案された家屋前後の水位を用いる抗力算定方法により流れに対する家屋抵抗を表現し、氾濫モデルの計算の容易性と精度の向上を目的としている。

2.流体力測定実験

氾濫計算モデル構築に先立ち、密集家屋群内の家屋に作用する流体力を測定した。その結果家屋に作用する抗力Dは下式(1)に示す家屋前後の水深の2乗差に比例する。

$$D = \frac{1}{2} \rho g \alpha' (h_1^2 - h_2^2) b \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここに、 ρ ：水の密度、 h_1 ：家屋前面の水深、 h_2 ：家屋後面の水深、 b ：家屋幅、 α' ：圧力補正係数

図-1 は様々な家屋配置において式(1)で $\alpha'=1$ とした計算値と実測抗力の関係を示したものである。実測抗

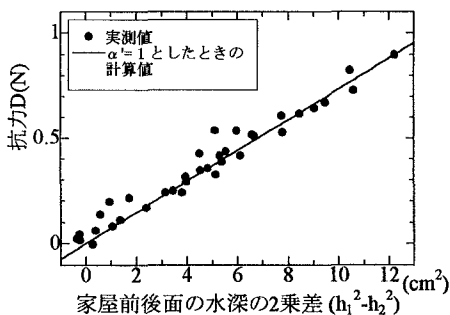


図-1 抗力と水深の2乗差の関係

連続式

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial u^{\xi} h}{\partial \xi} + \frac{\partial u^{\eta} h}{\partial \eta} = 0$$

ξ 方向運動式

$$\begin{aligned} & \frac{\partial u^{\xi} h}{\partial t} + \frac{\partial (u^{\xi})^2 h}{\partial \xi} + \frac{\partial u^{\xi} u^{\eta} h}{\partial \eta} \\ & - \frac{h}{J} u^{\xi} \left(u^{\xi} \frac{\partial \xi_x}{\partial \xi} + u^{\eta} \frac{\partial \xi_x}{\partial \eta} \right) - \frac{h}{J} u^{\eta} \left(u^{\xi} \frac{\partial \xi_y}{\partial \xi} + u^{\eta} \frac{\partial \xi_y}{\partial \eta} \right) \\ & + \frac{gh}{J} \left(\alpha \frac{\partial H}{\partial \xi} + \beta \frac{\partial H}{\partial \eta} \right) + \frac{gn^2 u^{\xi}}{J^2 h^{1/3}} \left\{ (u^{\xi})^2 + (u^{\eta})^2 \right\}^{1/2} \\ & - \frac{\varepsilon}{J} \left\{ \xi_x \left(\alpha \frac{\partial^2 u^{\xi} h}{\partial \xi^2} + 2\beta \frac{\partial^2 u^{\xi} h}{\partial \xi \partial \eta} + \gamma \frac{\partial^2 u^{\xi} h}{\partial \eta^2} \right) \right. \\ & \left. + \xi_y \left(\alpha \frac{\partial^2 u^{\eta} h}{\partial \xi^2} + 2\beta \frac{\partial^2 u^{\eta} h}{\partial \xi \partial \eta} + \gamma \frac{\partial^2 u^{\eta} h}{\partial \eta^2} \right) \right\} \\ & - \frac{1}{J^2} (\xi_x F_x + \xi_y F_y) = 0 \quad \dots\dots\dots(2) \end{aligned}$$

η 方向運動式

$$\begin{aligned} & \frac{\partial u^{\eta} h}{\partial t} + \frac{\partial u^{\xi} u^{\eta} h}{\partial \xi} + \frac{\partial (u^{\eta})^2 h}{\partial \eta} \\ & - \frac{h}{J} u^{\xi} \left(u^{\xi} \frac{\partial \eta_x}{\partial \xi} + u^{\eta} \frac{\partial \eta_x}{\partial \eta} \right) - \frac{h}{J} u^{\eta} \left(u^{\xi} \frac{\partial \eta_y}{\partial \xi} + u^{\eta} \frac{\partial \eta_y}{\partial \eta} \right) \\ & + \frac{gh}{J} \left(\beta \frac{\partial H}{\partial \xi} + \gamma \frac{\partial H}{\partial \eta} \right) + \frac{gn^2 u^{\eta}}{J^2 h^{1/3}} \left\{ (u^{\xi})^2 + (u^{\eta})^2 \right\}^{1/2} \\ & - \frac{\varepsilon}{J} \left\{ \eta_x \left(\alpha \frac{\partial^2 u^{\xi} h}{\partial \xi^2} + 2\beta \frac{\partial^2 u^{\xi} h}{\partial \xi \partial \eta} + \gamma \frac{\partial^2 u^{\xi} h}{\partial \eta^2} \right) \right. \\ & \left. + \eta_y \left(\alpha \frac{\partial^2 u^{\eta} h}{\partial \xi^2} + 2\beta \frac{\partial^2 u^{\eta} h}{\partial \xi \partial \eta} + \gamma \frac{\partial^2 u^{\eta} h}{\partial \eta^2} \right) \right\} \\ & - \frac{1}{J^2} (\eta_x F_x + \eta_y F_y) = 0 \quad \dots\dots\dots(3) \end{aligned}$$

ここに、 h ：水深、 H ：水位($=h+z$ 、 z ：地盤高)

u ： x 方向流速、 v ： y 方向流速、 u^{ξ} ： ξ 方向流速、

u^{η} ： η 方向流速、 n ：粗度係数、 J ：変換のヤコビアン($=\xi_x \eta_y - \xi_y \eta_x$)、 ε ：水平渦動粘性係数、

F^x 、 F^y ：流体力の x, y 成分、

$$F^x = -\frac{1}{2} \rho g (h_1^2 - h_2^2) \frac{B}{A'} \frac{u}{\sqrt{u^2 + v^2}}$$

$$F^y = -\frac{1}{2} \rho g (h_1^2 - h_2^2) \frac{B}{A'} \frac{v}{\sqrt{u^2 + v^2}} \quad \dots\dots\dots(4)$$

B ：家屋の主流方向に対する投影幅、 A' ：抗力の作用する計算メッシュ面積、 h_1 ：家屋前面の水深、 h_2 ：家屋後面の水深、

$\xi_x = \partial \xi / \partial x$ 、 $\xi_y = \partial \xi / \partial y$ 、 $\eta_x = \partial \eta / \partial x$ 、 $\eta_y = \partial \eta / \partial y$

$$u = \frac{1}{J} (\eta_x u^{\xi} - \xi_y u^{\eta}), \quad v = \frac{1}{J} (-\eta_x u^{\xi} + \xi_y u^{\eta}) \quad \dots\dots\dots(5)$$

キーワード：氾濫流、密集市街地、流体力、浅水流方程式、数値解析

連絡先：広島大学工学部第四類 〒739 広島県東広島市鏡山 1-4-1 Tel 0824(24)7821

力と計算値はほぼ一致している。このことは家屋が完全水没しない場合、家屋近傍では静水圧分布とみなすことが可能であることを示している。氾濫流では多くの場合家屋は完全水没することではなく、式(1)は家屋配置により変化する抗力係数あるいは等価粗度を用いるよりも様々な配置の家屋に作用する流体力の正確な評価を可能にする。

3. 氾濫シミュレーションモデル

基礎方程式を左ページに示す。計算には2次元浅水流方程式を用い、座標系は任意の曲線形状を表現できる一般座標系を採用することにより、直交座標系に比べ街路及び家屋をより高精度で表現することが可能である。幹線道路に沿って η 軸をとり、家屋、街路に沿ってメッシュ分割を行う。家屋間は流れをできる限り正確に表現するためにメッシュ分割をさらに細かくしている。家屋は不透過の流下障害物として表現している。また式(2)、(3)に示すように流体力項を付加することにより家屋抵抗を考慮している。流体力は本来物体周囲の圧力分布により物体に働く力であり、圧力分布を厳密に求めることができれば、基礎式に付加する必要はない項である。しかし本研究で用いている2次元浅水流モデルでは物体周囲の圧力分布を解くことは不可能である。このため流れが家屋から受ける流体力をモデル化し、これを基礎式に付加している。流体力は前章で示した家屋前後の水深を用いる方法により式(4)で算定する。この方法は計算から得られた水深のみにより様々な配置の家屋について抗力を算定し、氾濫流を計算できるという利点を有している。境界条件として上流端で実験流量を、下流端で流下方向に流速が変化しない条件($\partial v / \partial \eta = 0$)を設定しており、ほぼ定常状態になるまで繰り返し計算を行っている。

4. 実験結果と計算結果の比較

実際の市街地を再現した模型実験と計算結果を比較する。図-2は平均水位縦断面形について示している。計算値は実験値をほぼ良好に再現できている。図-3は流速ベクトルを示している。実験結果をみると、幹線道路や空き地では流速が大きくなっており、一方家屋密集域では流速は極めて小さくなっている。また流れは幹線道路に集中している一方、家屋間も相当流れている。計算値はこのような模型実験でみられる傾向をよく再現できている。

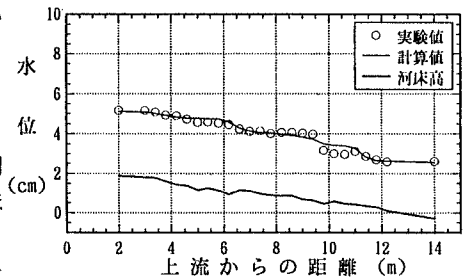


図-2 平均水位縦断面形の比較

5. 結論

本研究で構築した氾濫シミュレーションモデルは密集市街地での流れを精度よく再現することが可能である。今後は水没、非水没家屋が混在する氾濫域でのより高精度の氾濫シミュレーションモデルの構築を行う。

参考文献

- 1) 例えば福岡, 川島, 松永, 前内: 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, 1994.5
- 2) 例えば佐藤, 今村, 首藤: 洪水氾濫の数値計算及び家屋被害について, 水工学論文集第33巻, 1989
- 3) 福岡, 川島, 横山, 水口: 家屋群に作用する氾濫流の流体力に関する実験的研究, 水工学論文集第41巻, 1997

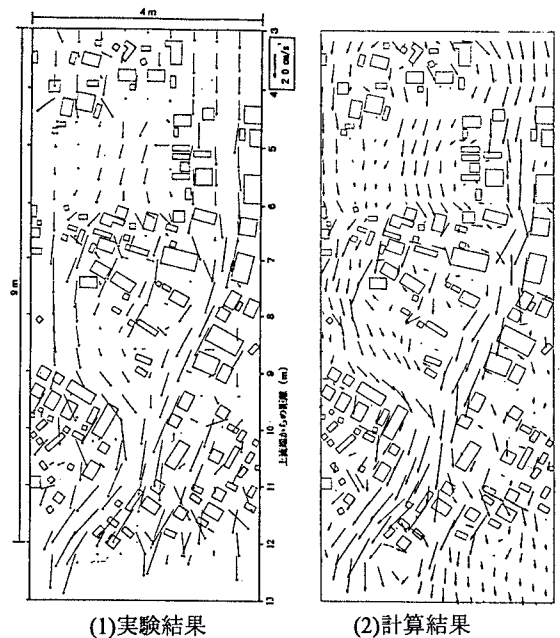


図-3 流速ベクトルの比較