

密集市街地氾濫シミュレーションモデルによる氾濫被害軽減対策の研究

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

1.はじめに 我国の大都市の多くは河川の氾濫区域に位置し、ひとたび河川が破堤氾濫すれば甚大な被害を及ぼす恐れがある。しかしもし破堤氾濫が生じた場合でも壊滅的被害はもはや許されず、被害を最小限に抑える危機管理対策が強く求められている。有効な危機管理対策を立案するためには高精度の氾濫予測に基づき検討することが重要である。本研究の目的は密集市街地における氾濫流の挙動を予測することの出来る一般性の高い氾濫シミュレーションモデルを構築し、これを用いた被害軽減策を研究するものである。

2.氾濫シミュレーションモデル 基礎方程式を右に示す。氾濫流の解析には二次元浅水流の基礎方程式を用い、座標系は従来の直交直線座標系に代わり任意の曲線に座標を定めることのできる一般曲線座標系を採用する。これによって道路網、二線堤、水路、家屋等を考慮し、精度の高いモデル化を可能にしている。また家屋に働く流体力項を付加している。抗力、揚力は物体周囲の圧力分布から定まるもので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のない項である。しかし、二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とから、流体力をモデル化し、これを基礎式に付加している。流体力は著者ら¹⁾の行った流体力計測実験において適用性の確かめられている、基礎式に示す家屋前後の水深を用いる方法によって算定する。この方法では曖昧な係数を用いることなく、計算から得られる水深のみにより様々な配置の家屋について抗力を算定できるものである。

3.実験結果と計算結果の比較 実際の市街地を再現した氾濫模型実験²⁾にこの氾濫シミュレーションモデルを適用し数値解析モデルの再現性を検討する。計算メッシュは幹線道路に沿ってη軸をとり家屋、道路に沿って分割すると共に、家屋間の流れを出来るだけ正確に表すため家屋間では細かくメッシュ分割している。また家屋はメッシュ自体の地盤高を高くすることにより不透過の流下阻害物として表している。境界条件は流入条件として上流端より一定流量(実験流量)を流量フラックスで設定し、下流端は流下方向に流速が変化しない条件(∂v/∂η=0)を設定している。ほぼ定常状態になるまで繰り返し計算をしている。図-1に実験結果と計算結果の平均水位縦断形の比較を、図-2に流速ベクトルの比較を示す。水面形、

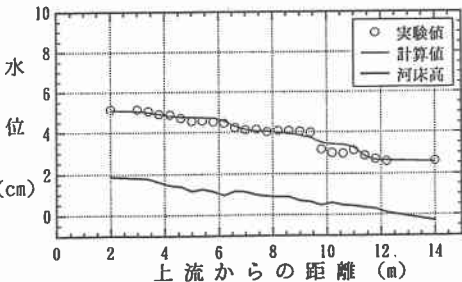


図-1 平均水位縦断形の比較

連続式

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

ξ方向運動式

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

η方向運動式

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

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^x：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(=ξ_xη_y-ξ_yη_x)、ε：水平渦動粘性係数、F^x、F^y：流体力のx,y成分、

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

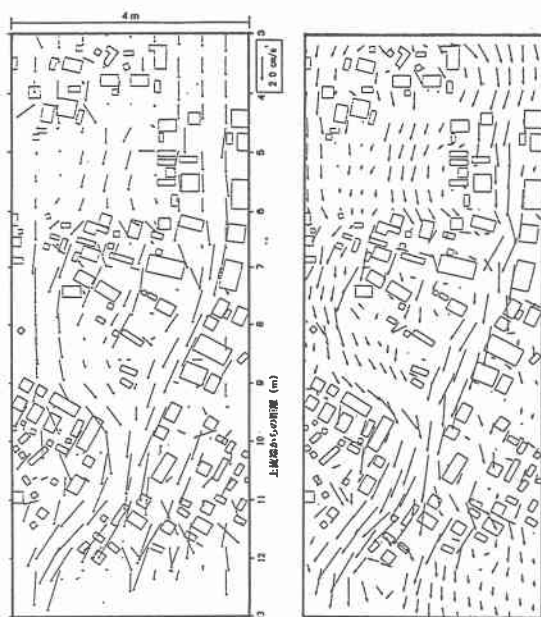
B：家屋の主流方向に対する投影幅、α'：運動量補正係数(=1)、A'：抗力の作用する計算メッシュ面積
h₁：家屋前面の水深、h₂：家屋後面の水深、
ξ_x=∂ξ/∂x、ξ_y=∂ξ/∂y、η_x=∂η/∂x、η_y=∂η/∂y

$$u = \frac{1}{J} (\eta_y u^x - \xi_y u^\eta), v = \frac{1}{J} (-\eta_x u^x + \xi_x u^\eta)$$

流速ベクトルとともに計算結果は実験結果を良好に再現している。

4.被害軽減策の事例検討 検討対象とした M 市は東西を大河川に囲まれた閉鎖性の低平地であり、氾濫域内には水路網が発達し、その流末には放水路、 $150\text{m}^3/\text{s}$ のポンプが設置されている。この氾濫域の特性を生かし氾濫水誘導・排除対策を検討する。この対策は水路網を利用して氾濫水を放水路まで誘導し、流末のポンプで河川に排水することにより氾濫域の浸水深を軽減させるものである。図-3 に対策なしの場合の最大浸水深分布を示す。想定した破堤箇所は最も大きな浸水が生じる▲地点である。水路沿いの低地地域で2階(2.5m)以上の大きな浸水が生じて危険な区域がある。図-4に現況の $150\text{m}^3/\text{s}$ ポンプを利用して排水を行った場合の浸水深の低下効果を示す。破堤流入ボリュームに対してポンプの規模が小さいため効果は小さい。このポンプは本来河道の洪水を排水するための施設であり、危機管理を想定したものではないため規模が不足する。そこで、さらに危機管理に利用するためポンプ規模を $300\text{m}^3/\text{s}$ に増強した。これにより図-5、図-6に示すように2階以上の浸水区域が無くなり2階へ避難すれば最低限の安全性が確保できることになる。被害軽減のための施設は危機管理を想定した整備が重要である。

参考文献 1)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. 2)福岡, 川島: 市街地氾濫流の挙動と危機回避策, 氾濫原危機管理国際ワークショップ論文集, 1996.



(1)実験結果 (2)計算結果
図-2 流速ベクトルの比較



図-3 最大浸水深分布
(対策なし)



図-5 最大浸水深分布
(ポンプ $300\text{m}^3/\text{s}$ 増強)

最大浸水深(m)	
□	0.01以上 ~ 0.5 未満
▤	0.5 以上 ~ 1.5 未満
▥	1.5 以上 ~ 2.5 未満
■	2.5 以上 ~

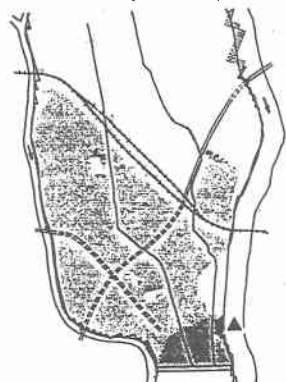


図-4 浸水深軽減効果
(ポンプ現況 $150\text{m}^3/\text{s}$)



図-6 浸水深軽減効果
(ポンプ $300\text{m}^3/\text{s}$ 増強)

浸水深低下量(m)	
□	0.01以上 ~ 0.2 未満
▤	0.2 以上 ~ 0.4 未満
■	0.4 以上 ~