

II-1

一般座標系を用いた密集市街地氾濫流の数値シミュレーション

J R 東日本 正員 松永宜夫
 東京工業大学工学部 正員 福岡捷二
 同上 正員 渡辺明英
 東京建設コンサルタント 正員 川島幹雄

1. はじめに

密集市街地において、洪水氾濫が発生すれば甚大な被害を生じることになる。したがって、川に沿った市街地では破堤氾濫を念頭においた街づくりや避難計画を検討することが望まれる。そのためには、建物群と道路網で特徴づけられた密集市街地での氾濫流の挙動を、精度良く予測する必要がある。本研究では、密集市街地の氾濫水が道路上を集中して流れる¹⁾ことから、任意の線形を有する道路網を的確に解析に取り入れることのできる一般座標系を用いた数値シミュレーションモデルを開発し、これを模型実験結果²⁾と比較し、モデルの妥当性について検討を行った。

2. 数値シミュレーション方法

一般座標系(ξ - η 系)で表された二次元浅水流の運動方程式及び連続式は、式(1)～(3)である。ここでは、計算を簡略化するために、流れの水平混合については流れの法線方向(m 方向)のみの拡散を考慮し、流速差によって生じるせん断応力を式(4)の形で表した。これを Staggard Form で差分化する。時間項は前進差分、移流項は風上差分、他は中央差分とした。図-1は、実験及び解析で対象とした領域及び計算格子を示す。氾濫流の到達時間を精度良く求めるためには、氾濫現象を支配する道路網の大きさをメッシュサイズの基本とする必要がある。一般座標系を導入することにより、直交格子の場合に比べ、流れに対して合理的な格子となり、また格子数を約1/3程度に減ずることが可能となった。氾濫領域の粗度係数は、家屋の面積率に応じて表-1に示す様に与えた³⁾。境界条件は上流で流量、模型端で水位を与えた。

〔運動方程式〕

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{u^F h}{J^2} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{u^F \rho h}{J^2} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{u^F u^{\eta} h}{J^2} \right) - \frac{h}{J} \left[u_x \left\{ u^F \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{\xi_x}{J} \right) + u^{\eta} \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{\xi_x}{J} \right) \right\} + u_y \left\{ u^F \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{\xi_y}{J} \right) + u^{\eta} \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{\xi_y}{J} \right) \right\} \right] = - \frac{g H}{J} \left\{ \alpha \frac{\partial H}{\partial \xi} + \beta \frac{\partial H}{\partial \eta} \right\} - \frac{g n^2 \bar{u}}{J^2 H^{1/3}} u^F - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau}{\partial m} \frac{h}{J^2} \frac{u^F}{u} \cdots \cdots (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{u^{\eta} h}{J^2} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{u^F u^{\eta} h}{J^2} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{u^{\eta} \rho h}{J^2} \right) - \frac{h}{J} \left[u_x \left\{ u^F \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{\eta_x}{J} \right) + u^{\eta} \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{\eta_x}{J} \right) \right\} + u_y \left\{ u^F \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{\eta_y}{J} \right) + u^{\eta} \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{\eta_y}{J} \right) \right\} \right] = - \frac{g H}{J} \left\{ \beta \frac{\partial H}{\partial \xi} + \gamma \frac{\partial H}{\partial \eta} \right\} - \frac{g n^2 \bar{u}}{J^2 H^{1/3}} u^{\eta} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau}{\partial m} \frac{h}{J^2} \frac{u^{\eta}}{u} \cdots \cdots (2)$$

〔連続式〕

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{h}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{u^F h}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{u^{\eta} h}{J} \right) \cdots \cdots (3)$$

〔せん断力〕

$$\frac{\partial \tau}{\partial m} = - \frac{u^{\eta}}{u} \left(\alpha \frac{\partial \tau}{\partial \xi} + \beta \frac{\partial \tau}{\partial \eta} \right) + \frac{u^F}{u} \left(\beta \frac{\partial \tau}{\partial \xi} + \gamma \frac{\partial \tau}{\partial \eta} \right), \quad \frac{\tau}{\rho} = f |du| du \quad (4)$$

〔変数変換及び変換係数〕

$$u_x = \frac{1}{J} (\eta_y u^F - \xi_y u^{\eta}), \quad u_y = \frac{1}{J} (-\eta_x u^F - \xi_x u^{\eta}), \quad \bar{u} = (u_x^2 + u_y^2)^{1/2}$$

$$u^F, u^{\eta} : \xi-\eta \text{ 座標系の反変流速ベクトル, } J : \text{ヤコビアン, } H : \text{水位}$$

$$\xi_x = \frac{\partial \xi}{\partial x}, \quad \xi_y = \frac{\partial \xi}{\partial y}, \quad \eta_x = \frac{\partial \eta}{\partial x}, \quad \eta_y = \frac{\partial \eta}{\partial y}$$

$$\alpha = \frac{1}{J} (\xi_x^2 + \xi_y^2), \quad \beta = \frac{1}{J} (\xi_x \eta_x + \xi_y \eta_y), \quad \gamma = \frac{1}{J} (\eta_x^2 + \eta_y^2)$$

想定破堤点

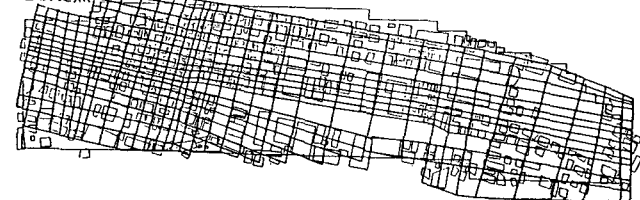


図-1 対象領域と計算格子

3. 解析結果と考察

図-2, 3に、流速ベクトルと水位コンターの計算結果と実験結果²⁾を示す。これより、流れは道路上に集中して、約3m/sの流速となっていることが分かる。実験と計算の流速ベクトルは全体的に一致している。図-3から、計算の水位コンターは、実験のコンターのパターン、値ともに良く説明できている。図-4は、

表-1 計算に用いた粗度係数 n

家屋面積(%)	模型粗度係数	現地粗度係数
道路	0.020	0.043
0~20	0.026	0.056
20~50	0.040	0.084
50~80	0.047	0.096
80以上	1.000	1.000

実験及び計算で得られた各時間における洪水流の先端位置を示す。氾濫水は道路を先行して流下する。道路に沿った計算格子を取ることで、洪水の先端位置を精度良く予測できている。以上の事から本数値シミュレーションモデルを用いて、市街地における氾濫水の挙動を推定できることが分かった。

次に図-5に示す大きな領域（流下距離2.4km）について検討した結果を述べる。白い格子は道路網を、他の領域は密集市街地を示す。図中の想定破堤点から氾濫水が市街地に流入した75分後の水深分布と流速ベクトルを図-6, 7に示す。図-6から、洪水流は先端の移動速度は約0.5m/sである。また、水深は1m程度であり、避難できない場合は2階に上れば安全と考えられる。図-7から、道路上で3~4m/sの大きな流速が生じている。これは、地盤勾配が平均1/150と大きいためである。したがって、これらの道路を通して避難することは危険であり、避難する場合には、まず、氾濫水が流れてこない地盤の高い安全な方向へ移動して、次に避難場所に向かうことが望ましい。

（参考文献）

- 1) 福岡, 松永: 水工学論文集第36巻, pp. 311, 1992
- 2) 前内, 福岡, 松永: 第47回年講概要集, pp. 132, 1992
- 3) 松永, 福岡, 前内: 第47回年講概要集, pp. 462, 1992

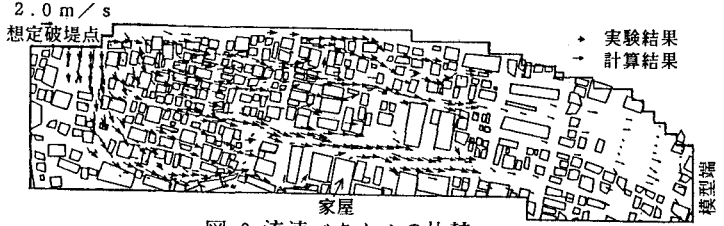


図-2 流速ベクトルの比較

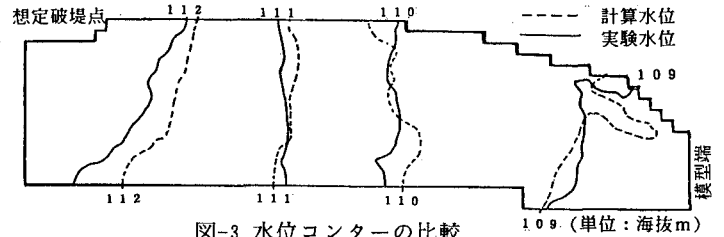


図-3 水位コンターの比較

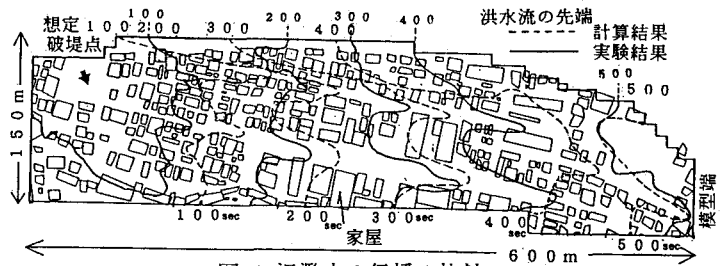


図-4 氾濫水の伝播の比較

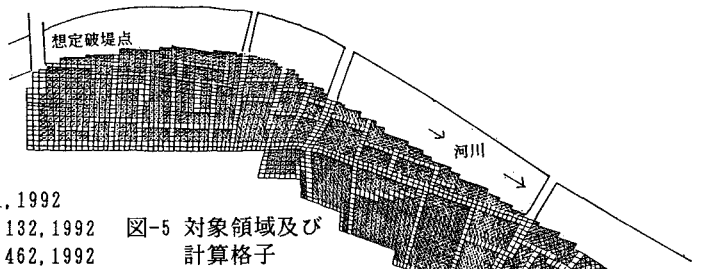


図-5 対象領域及び計算格子

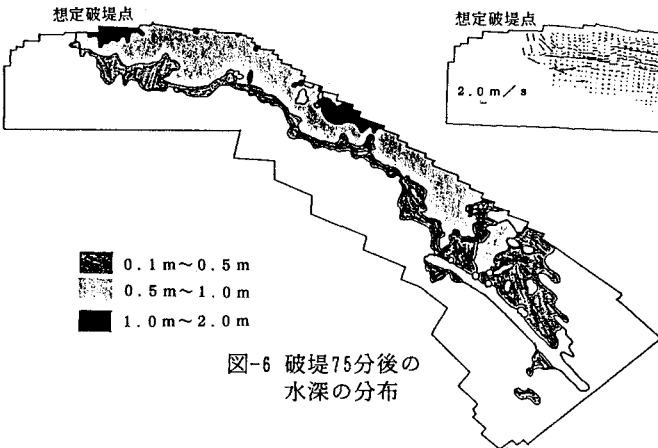


図-6 破堤75分後の水深の分布

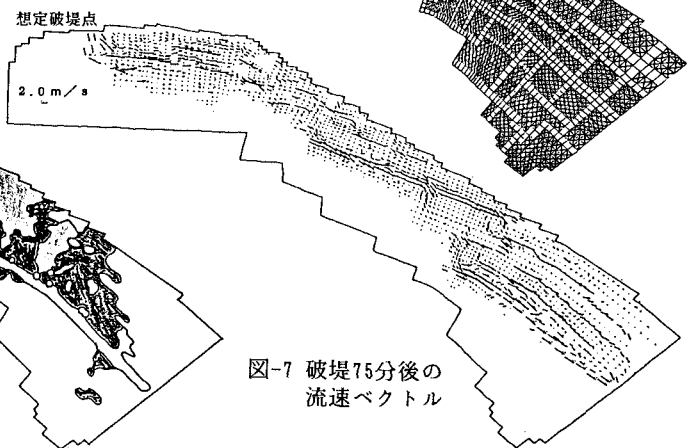


図-7 破堤75分後の流速ベクトル