

市街地氾濫流の実験と解析

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 〇横山 洋

1. 序論

多くの都市は河川沿いに位置しており、河川が破堤すれば甚大な被害を受けることになる。しかし破堤を完全に防ぐことは不可能である。そこで河川施設の整備とともに破堤時の被害軽減対策が重要であり、その検討には市街地氾濫流の数値シミュレーションモデルによる解析は有効な方法である。既往の密集市街地氾濫流解析¹⁾では家屋群は等価粗度係数により表現してきた。しかし等価粗度係数による表現は家屋群を底面摩擦に置き換えたものであり、個々の家屋の配置および抵抗を適切に表現できていないという問題点が含まれている。

本研究の目的は密集市街地モデルを用いて氾濫流の機構を調べるとともに、多様な家屋配置のある市街地の氾濫流について、個々の家屋の配列、抵抗を取り込むことにより精度の高い解析モデルを作成することである。

2. 密集市街地モデルによる実験

2-1. 実験方法

実験は典型的な住宅地をモデル化して水路上に配置し、その上に通水して行った。写真1は密集市街地モデルの配置の一例である。モデルは小型及び大型の2種類の家屋模型により構成されている。モデル内の家屋模型の間隔を変化させることにより、家屋間隔及び家屋密集度の違いによる流れの変化を検討した。実験水路は勾配 1/2000、幅 2.2 m で家屋模型は 5 m の区間に配置した。モデル内の水位、流速を詳細に測定することにより密集市街地の氾濫流の特性を調べた。

2-2. 実験結果と考察

図1は家屋間隔を変えたときの縦断水位である。家屋間隔が広く家屋密集度の低い場合が case 1、家屋間隔が狭く家屋密集度が高い場合が case 2 である。いずれの流量においても case 1 の水位は case 2 に比べ大きくなっている。これは一般に家屋の後ろでは渦が形成され、これが抵抗となるが、家屋間隔が大きい場合渦が十分発達し個々の家屋が抵抗として作用するのに対し、家屋間隔が小さい場合流速の小さい渦の中に家屋が入り個々の家屋の抵抗が小さくなるためである。図2は横断面流速分布について示したものである。case 1、case 2 いずれも家屋間での流速は大きく、特に水路中央の幹線道路で最大となっている。一方、家屋の後ろでは渦が発生するため流速は極めて小さくなっている。これは密集市街地では流れは街路に集中して流れることを示している。実験結果より密集市街地氾濫流は家屋の配置及び抵抗に大きく影響されることがわかる。

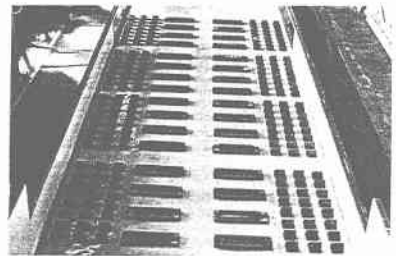


写真1 実験施設

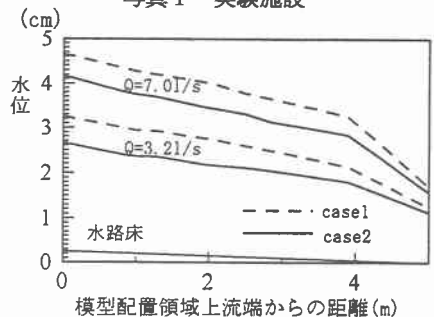
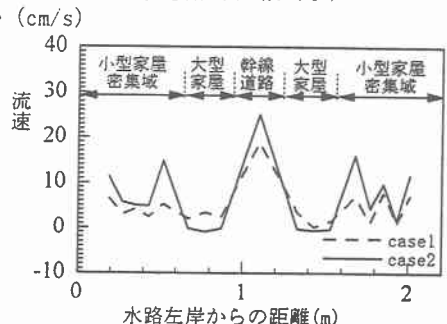


図1 実験結果、縦断水位

図2 実験結果、横断面流速分布
(模型配置区間上流端より 3.9m)

3. 密集市街地氾濫流数値解析

市街地氾濫流解析では家屋群の表現方法が解析精度及び一般性に大きく影響する。そこで本解析ではより一般性のある家屋群の評価方法として個々の家屋の配列および抵抗を取り入れる。すなわち、家屋の配列は家屋壁面を通して流入はしないことにより、家屋の抵抗は個々の家屋の及ぼす流体力（抗力、揚力）により表現する。これらのことを考慮した氾濫流の基礎方程式は次のとおりである。座標系は一般曲線座標系を用いた。

$$\text{連続式: } \frac{\partial h}{\partial t} \frac{1}{J} + \frac{\partial u^{\xi} h}{\partial \xi} \frac{1}{J} + \frac{\partial u^{\eta} h}{\partial \eta} \frac{1}{J} = 0$$

$$\xi \text{ 方向運動式: } \frac{\partial u^{\xi} h}{\partial t} \frac{1}{J^2} + \frac{\partial (u^{\xi})^2 h}{\partial \xi} \frac{1}{J^2} + \frac{\partial u^{\xi} u^{\eta} h}{\partial \eta} \frac{1}{J^2} - \frac{h}{J} u^{\xi} \left(u^{\xi} \frac{\partial \xi_x}{\partial \xi} + u^{\eta} \frac{\partial \xi_x}{\partial \eta} \right) - \frac{h}{J} u^{\eta} \left(u^{\xi} \frac{\partial \xi_y}{\partial \xi} + u^{\eta} \frac{\partial \xi_y}{\partial \eta} \right) + \frac{gh}{J} \left(\alpha \frac{\partial H}{\partial \xi} + \beta \frac{\partial H}{\partial \eta} \right) + \frac{gn^2 u^{\xi}}{J^2 h^{1/3}} \left\{ (u^{\xi})^2 + (u^{\eta})^2 \right\}^{1/2} - \frac{\varepsilon}{J} \left\{ \xi_x \left(\alpha \frac{\partial^2 u^{\xi} h}{\partial \xi^2} + 2\beta \frac{\partial^2 u^{\xi} h}{\partial \xi \partial \eta} + \gamma \frac{\partial^2 u^{\xi} h}{\partial \eta^2} \right) + \xi_y \left(\alpha \frac{\partial^2 u^{\eta} h}{\partial \xi^2} + 2\beta \frac{\partial^2 u^{\eta} h}{\partial \xi \partial \eta} + \gamma \frac{\partial^2 u^{\eta} h}{\partial \eta^2} \right) \right\} - \frac{1}{J^2} (\xi_x F_x + \xi_y F_y) = 0$$

$$\eta \text{ 方向運動式: } \frac{\partial u^{\eta} h}{\partial t} \frac{1}{J^2} + \frac{\partial u^{\xi} u^{\eta} h}{\partial \xi} \frac{1}{J^2} + \frac{\partial (u^{\eta})^2 h}{\partial \eta} \frac{1}{J^2} - \frac{h}{J} u^{\xi} \left(u^{\xi} \frac{\partial \eta_x}{\partial \xi} + u^{\eta} \frac{\partial \eta_x}{\partial \eta} \right) - \frac{h}{J} u^{\eta} \left(u^{\xi} \frac{\partial \eta_y}{\partial \xi} + u^{\eta} \frac{\partial \eta_y}{\partial \eta} \right) + \frac{gh}{J} \left(\beta \frac{\partial H}{\partial \xi} + \gamma \frac{\partial H}{\partial \eta} \right) + \frac{gn^2 u^{\eta}}{J^2 h^{1/3}} \left\{ (u^{\xi})^2 + (u^{\eta})^2 \right\}^{1/2} - \frac{\varepsilon}{J} \left\{ \eta_x \left(\alpha \frac{\partial^2 u^{\xi} h}{\partial \xi^2} + 2\beta \frac{\partial^2 u^{\xi} h}{\partial \xi \partial \eta} + \gamma \frac{\partial^2 u^{\xi} h}{\partial \eta^2} \right) + \eta_y \left(\alpha \frac{\partial^2 u^{\eta} h}{\partial \xi^2} + 2\beta \frac{\partial^2 u^{\eta} h}{\partial \xi \partial \eta} + \gamma \frac{\partial^2 u^{\eta} h}{\partial \eta^2} \right) \right\} - \frac{1}{J^2} (\eta_x F_x + \eta_y F_y) = 0$$

今回の解析では流体力は抗力のみ考慮し、拡散は主流の法線方向についてのみ考慮した。

次にモデル実験の結果と解析結果を比較する。図3は縦断水位である。解析による水位は家屋数の少ないcase1で実験値より低く、家屋数の多いcase2で実験値より高くなっているなどの若干の不一致はあるものの、解析は概ね実験における水位変化を表現し得ている。図4は横断面流速分布の比較である。家屋間の街路で流速は大きく、家屋の後ろで流速は極めて小さくなるという実験値を解析値はよく表現できている。

4. 結論及び課題

(1) 密集市街地モデル実験より、家屋群の流れは家屋の配置及び抵抗が大きく影響することがわかった。

(2) 家屋の配置及び抵抗を考慮した市街地氾濫流解析モデルは実験の流れを概ね表現し得ている。

今後の課題としては、次の点があげられる。解析では抗力係数、壁面摩擦係数ともに定数で与えている。しかし、これらの係数は実際には各家屋ごとに異なるものであり、また流れの場とともに変化するものである。また渦動粘性係数は摩擦速度と水深に比例するものとして評価しているが、家屋間隔により渦の形態が異なることより、家屋間隔も考慮する必要があると考えられる。これらの係数の評価の曖昧さが解析精度に影響していることが考えられる。抗力係数、揚力係数については家屋群に作用する流体力を実測し、密集家屋群内の家屋に作用する流体力の特性を調べるとともにその結果を計算に取り入れることが必要である。

参考文献

1) 福岡ら：密集市街地に関する研究、土木学会論文集 N o 491 / II-27, pp51~pp60, 1994.5

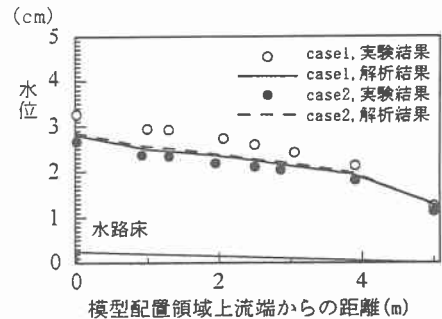


図3 縦断水位の解析値と実験値の比較

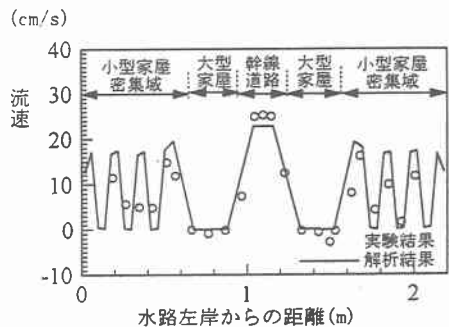


図4 横断面流速分布の解析値と実験値の比較
(模型配置区間上流端より3.9m)