

立命館大学大学院 学生員 今井 洋兵  
立命館大学理工学部 フェロー 江頭 進治  
立命館大学理工学部 正会員 伊藤 隆郭

**1. はじめに** 市街地の氾濫解析においては、建物の密集度や建物に働く流体力など建物の影響、街路、排水路および流砂といった氾濫流に影響を及ぼす様々な要素を考慮する必要がある。これまでの研究成果によると、主として、清水を対象として、建物の影響は、平面的な建物の密集度、もしくは、格子内の建物の粗度係数を考慮することによって評価されてきた<sup>1)-4)</sup>。建物と街路の影響については、様々な手法で取り扱われており、統一的な手法が模索されている。さらに、これらの影響をふまえ、流砂の影響を考慮した計算は殆ど行われていないのが現状である<sup>5),6)</sup>。

そこで、本研究では、氾濫流に影響を及ぼす様々な要素の中でも、特に、流砂の影響を考慮した解析をするために、市街地における洪水・土砂氾濫現象を評価できる氾濫解析モデルの構築を目的とし、その端諸として、氾濫現象を清水流によるものとし、氾濫解析モデルへの建物の影響の導入法について、幾つかの検討を行う。

**2. 建物の影響を考慮したモデルの提案** 市街地における氾濫流の解析を行う際、氾濫水に影響をおよぼすと思われる要素（建物、道路、排水路など）を全て取り入れることは、幾つか行われている。しかし、ここでは、水・土砂の氾濫計算を今後予定しているため、これらの影響をなるべく安易に取り込むことを目的としている。本研究では、建物に着目し、建物の密集度による格子内を出入りする流量補正と、建造物に働く流体力の2つを、氾濫解析モデルに取り入れる。デカルト座標系による平面二次元流れの流水の連続式、運動量保存則は、それぞれ次式のようなものである。なお、流体力の評価においては、支配方程式の構造において検討の余地が残されているものの、植生を有する流れの清水ら<sup>7)</sup>の研究成果を適宜的に用いることにする。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$x: \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial \bar{u}M}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}M}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho} - F_{Dx} \quad (2), \quad y: \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial \bar{u}N}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}N}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho} - F_{Dy} \quad (3)$$

$$\frac{\tau_{bx}}{\rho} = \frac{gn^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}}, \quad \frac{\tau_{by}}{\rho} = \frac{gn^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad (4), \quad F_{Dx} = \frac{1}{2} C_d \lambda u \sqrt{u^2 + v^2}, \quad F_{Dy} = \frac{1}{2} C_d \lambda v \sqrt{u^2 + v^2} \quad (5)$$

ここに、 $h$ ：平均水深、 $H$ ：水位 ( $H = h + z_b$ ,  $z_b$ ：地盤高)、 $g$ ：重力加速度、 $n$ ：Manningの粗度係数、 $M$ および $N$ ： $x$ および $y$ 方向の流量フラックス ( $M = \bar{u}h$ ,  $N = \bar{v}h$ )、 $u$ および $v$ ： $x$ および $y$ 方向の流速成分、 $\beta$ ：建物の占有率、 $C_d$ ：抗力係数、 $\tau_{bx}$ および $\tau_{by}$ ： $x$ および $y$ 方向の河床せん断力、 $F_{Dx}$ および $F_{Dy}$ ： $x$ および $y$ 方向の流体力<sup>7)</sup>である。また、市街地の建物群中を氾濫水が通過する場合、**図-1**に示すように、1格子内に占める建物面積の割合から求まる平均的な通過率の概念を導入し、式(1)中の流量フラックスの補正を行うことにする<sup>1)</sup>。なお、メッシュ中央( $i+1/2, j+1/2$ )で定義した通過率は次式のようなものである。

$$\beta_{i+1/2, j+1/2} = \sqrt{1 - \sum_k A_k / \Delta x \Delta y} \quad (6)$$

ここに、 $A_k$ ：一つの格子に存在する建物の面積である。

**3. モデルの適用性** 高橋ら<sup>1)</sup>による実験結果を用いて、建物の影響の導入法を用いたモデルの適用性を検討する。なお、氾濫水の拡がりに関する実験データは、**図-2**に示すように建物をウレタンブロックで模擬して得られている。詳細は、文献に示されているので参照されたい。

**図-3**は高橋らの実験データであり、氾濫開始から、1.0、2.0および3.0sec後の氾濫水の拡がりを示してい

る．これらの結果によれば，建物・街路の影響により，ほぼ三角形の形状となっている．なお，流れ方向においては，若干，氾濫水の到達が大きい．これは，街路の影響があるものと思われる．

図-4,5は，図-3の実験条件に合わせて，式(1)~(6)を用いた解析結果である．なお，図-4は，式(2)・(3)中の左辺の移流項を省略した線形モデルによって得られたものであり，図-5は移流項を考慮した非線形モデルである．計算においては，建物中の通過率  $\alpha$  を導入したもので，通過率  $\alpha$  と家屋に働く流体力  $F_D$  の影響を考慮したものを行っている．空間差分間隔を  $\Delta x = \Delta y = 5\text{cm}$ ， $\Delta t = 0.0025$ ，ゲートを有する壁は不透過の条件とし，残り3辺は段落ちとしている．計算はスタガードスキームを用いた Leap-Frog 法で行っている．

図-3,4,5を総合して見ると，平面的な拡がりは，非線形モデルに通過率  $\alpha$  および流体力  $F_D$  を考慮した結果が実験データの傾向を概ね再現している．しかしながら，流れ方向における氾濫の先端部の拡がりは，線形モデルの方が実験データを再現できている．ただし，平面的な拡がりはかなり過大に評価されているようである．非線形モデルに通過率  $\alpha$  および，流体力  $F_D$  を考慮すると実験データを概ね説明しているように思われるが，氾濫水における先端の拡がりの影響は，街路によるものと思われ，今後検討する必要がある．

**4. おわりに** 本研究では氾濫解析モデルにおける建物の影響の導入法について幾つかの検討を行った．結果の比較においては，線形・非線形モデルに通過率  $\alpha$ ，流体力  $F_D$  をそれぞれ導入した．実験データとの比較から非線形モデルに通過率  $\alpha$ ，流体力  $F_D$  を導入した結果が再現性が良いものと思われるが，街路の影響があることが示された．今後，模型実験を行うことによりモデルの適用性について検討していく必要がある．また，市街地における氾濫水の拡がりにおいては，非線形モデルを用いる必要があることが明らかになったため，これらを用いた流水・流砂の氾濫について検討を進める予定である．

**参考文献**：1)高橋ら：京都大学防災研究所年報，B-2，pp.431-450，1986，2)平井ら：水工学論文集40，pp.405-412，1996，3)井上ら：水工学論文集43，pp.533-538，1999，4)秋山ら：土木学会論文集705，pp.31-43，2002，5)高橋ら：京都大学防災研究所年報，B-2，pp.733-756，1989，6)川池ら：水工学論文集45，pp.883-888，2001，7)清水ら：水工学論文集39，pp.513-518，1995．

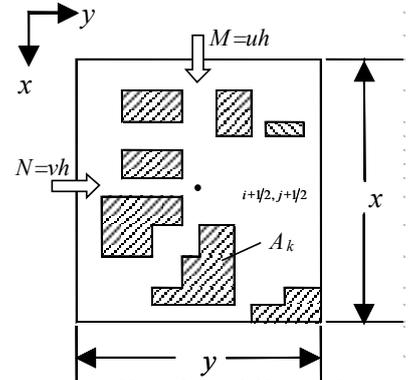


図-1 格子内の建物の取扱い

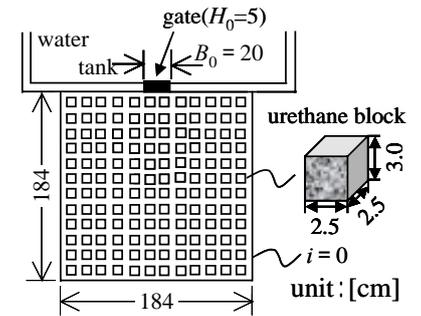


図-2 実験装置 1)

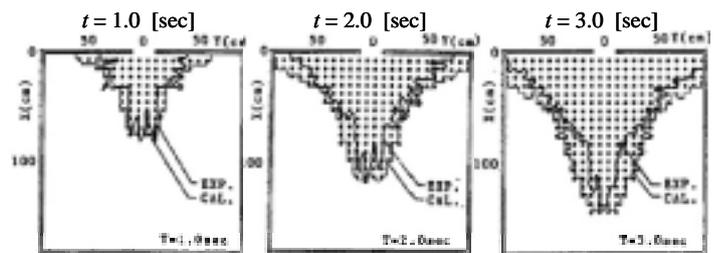


図-3 実験結果 1)

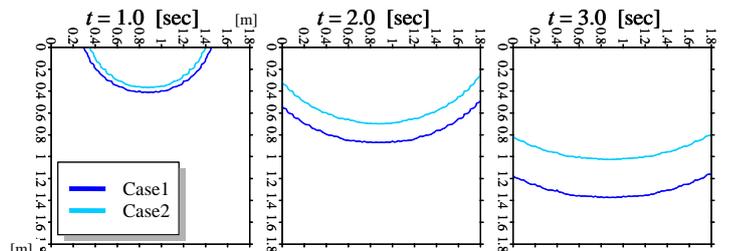


図-4 線形モデルの計算結果

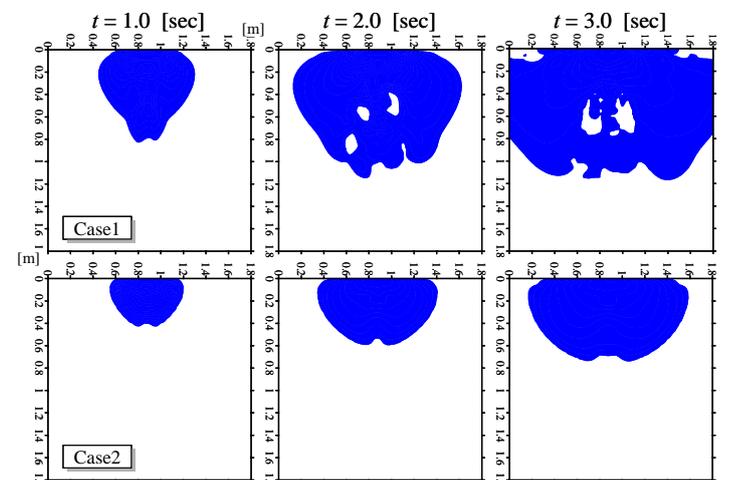


図-5 非線形モデルの計算結果