

流出・氾濫ハイブリッドモデルについて

名古屋大学工学部 正 員 松林宇一郎
 名古屋大学工学部 学生員 〇平野 貴康
 名古屋大学大学院 学生員 古田 直
 名古屋大学工学部 正 員 高木 不折

1. 序論

近年、都市においては内水氾濫による被害は重要な問題となっている。その原因は下水道や中小河川の整備の立ち遅れや、水田遊水池等の宅地化による不浸透域の増加にある。そのような背景のもとに、青島らは、都市化が高度に進んでいる名古屋市東北部の山崎川上流を対象として、2次元平面流れの基礎式に基づいて氾濫解析を行っている。その際、都市域の細かい地形変化を考慮するため、細密数値情報を用いて小さなメッシュに分割して計算している。ところがメッシュの大きさ $(\Delta x, \Delta y)$ と Δt との間に成立すべき安定条件式(C.F.L条件; $\min(\Delta x, \Delta y)/\Delta t \geq \sqrt{2gh_{max}}$)から Δt を小さく取らなければならない、計算量が膨大なものになってしまう。一方で実際には流域内のどのような領域で大きな浸水が生ずるのかは定性的に知られている場合が多く、流域全体を解析するのではなく、着目した限られた範囲のみを対象とした解析法を構築することが、工学的にはより重要と考えられる。その際、その境界をどのように扱うかが大きな問題となってくる。本研究では、このような観点からそれらの取り扱いについて検討をする。

2. 氾濫域の解析

山崎川上流域の浸水実績図(図-1)から分かるように、浸水の生ずる地域はかなり明瞭に区別できる。このように氾濫が生じると予想される範囲については、水深方向に積分した2次元平面流れに関する x, y 方向の運動方程式、および連続式にもとづいて数値解析する。

・運動方程式

$$\frac{\partial M}{\partial h} + \frac{\partial u M}{\partial x} + \frac{\partial v M}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - g \frac{n^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad (x \text{ 方向}) \quad (1)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial u N}{\partial x} + \frac{\partial v N}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - g \frac{n^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad (y \text{ 方向}) \quad (2)$$

・連続式

$$\lambda_a \frac{\partial h}{\partial t} + \lambda_x \frac{\partial M}{\partial x} + \lambda_y \frac{\partial N}{\partial y} = r_e \quad (3)$$

$M = u \cdot h$; x 方向の流量フラックス

h ; 水深

$N = v \cdot h$; y 方向の流量フラックス

$H = h + z$; 水位(z ; 地盤の標高)

r_e ; 流出に有効な降雨

n ; マニングの粗度係数

λ_a ; 平面的に見た浸水水体積率

$\lambda_x \lambda_y$; x, y 方向に垂直な鉛直面で見た浸水面積率

実際の計算は、差分法のうちの陽解法の1つである Staggered Scheme を用いた。この方法は、 (M, N) と h を $\Delta t/2$ 間隔で(1), (2), および(3)式を交互に用いて計算するが、前者では h として $\Delta t/2$ 前の値を用い、後者では M と N としてやはり前の値を用いている。

3. 氾濫域の初期条件、境界条件

(1) 初期条件; 初期状態は浸水のない状態をとるので、通常の解析と同様、 M, N, h は次のように与える。

(a) フラックスは $M=N=0$ とする (b) 水深 h は若干の前降雨を考慮して与える。

(2) 境界条件; 境界条件としては M, N, h を与える必要があるが2.で述べたStaggered Schemeの性質から、本質的に重要な M, N または h を与えればよいことになる。また、境界条件は対象地域の特性によっていく

つかの場合が想定される。以下、代表的なものを説明する。

(a) 盛土形式の鉄道、道路、堤防、等が境界となる場合； この場合は通常の解析と同様に境界に垂直な方向の流量フラックスがゼロという条件で与えられる。

(b) 無堤の河川が境界となる場合； 河川の容量が大きく、河川水位が地盤より低い状態では本間の越流公式などにより流量フラックスを計算できる。一方、上流からの流出による河川水位の溢水氾濫が問題となる場合には河川を境界とはできないので、河川を含んだ広い地域を解析領域としなければならない。

(c) (a), (b) のような明瞭な境界がないところ（一般部）で境界を設ける場合； 流れがKinematicで一方向的である境界については、上流部からの流出を流出解析により計算し、それを境界に振り分け流量フラックス q を設定する。水深については、その流入形態を等流近似することにより

$$h = (q \cdot n / \sqrt{I})^{3/5} \quad (4) \quad \text{で与える。}$$

下流側で一般部という境界は流れが常流である場合が多く、下流端条件設定が困難である。この場合には対象流域を (a), (b) の境界まで広げることが望ましいが、それが出来ない場合には、近似的取扱として水位とフラックスの経験的な関係を見だし適用することが考えられる。

4. 上流域からの流入量の計算

(b) の境界からの流入量の計算として今回は都市流域の流出解析でしばしば用いられる修正 R. R. L 法を用いる。まず、不浸透面積率（図-2）を求める。そして、不浸透面積率に応じて実降雨より損失を差し引いて有効降雨を求める。一方、懸案地点までの等到達時間域の面積を求める。これらによって有効降雨を単位図法的に合成して流入ハイドログラフ（I）を算出する。実際の流出はこうした移流による変換だけでなく貯留効果による変換があり、R. R. L 法では流入ハイドログラフを連続式(5)式と S-Q 関係(6)式によって変換し、流出ハイドログラフ（Q）を求める。

$$dS/dt = I - Q \quad (5) \quad S = KQ^P \quad (6)$$

5. 今後の課題

以上、境界条件の設定と上流からの流入の取扱いを示したが、実際には名古屋市南部のような平坦地もあり、どうしても解析領域が大きくなる地域もある。こうした地域の工学的な近似としての境界条件はどのように設定したらよいか今後検討を進めたい。

（参考文献）

- 1) 青島，松林，高木；都市における内水氾濫シミュレーション
- 2) 白石；R. R. L 法の都市・自然流域への適用性について

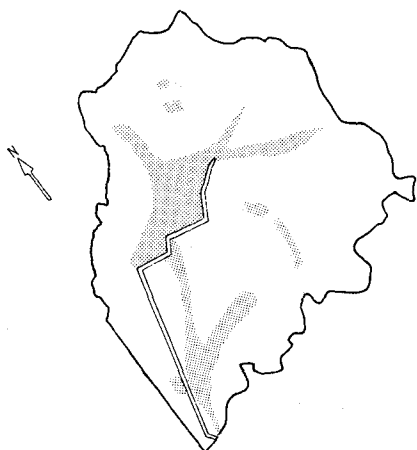


図-1 浸水実績図

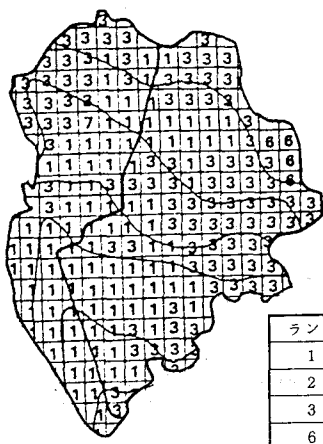


図-2 不浸透面積率図

ランク	不浸透面積率 (%)
1	5.0
2	4.5
3	3.5
6	1.5