

都市における内水氾濫シミュレーション

中部復建(株) 正員 ○青 嵩 安弘
 名古屋大学工学部 正員 松林 宇一郎
 名古屋大学工学部 正員 高木 不折

1. まえがき

近年、都市においては豪雨時の内水氾濫による被害が増大している。その原因は下水道の整備水準の低さや中小河川の排水能力が小さいことなどがあげられる。また、かつては水田など水に浸かり易い所が都市化により宅地になったことや、地盤沈下により水害に対して脆弱になっているなど、都市そのものが発展した場所の地形的要因がある。さらに、建物や道路等の不浸透化による流出現象の悪化(ピーク量の増大、早期出現)が考えられている。

本文は、市街化の程度や土地利用状況・微地形データにもとづき、雨水の流出・集中の過程、氾濫の状態(浸水深、浸水時間)を下記の流域を対象にシミュレートするものである。

2. 解析に用いた流域

名古屋市の中心部を流れる山崎川(延長12.5km、面積26.0km²)は、すでに都市化を終えた典型的な市街地河川である。本解析ではその上流部(面積7.5km²)を対象とする。解析地域の土地利用は、細密数値情報(建設省国土地理院において作成された中部圏宅地利利用動向調査:S.557-9)によると、低層住宅用地 39%、道路用地 24%、公共施設用地 13%、商業・業務用地 6.4%となっている。また、庄内川流出試験地報告書(建設省庄内川工事事務所:S.61.3)によれば、山崎川全域での土地利用状況は市街地 91.2%、造成地 0.4%、自然地 8.4%となっている(昭和58年)。流域には合流式下水道が整備されている。その整備水準は現在50mm/hr(5年確率降雨に相当)が対象である。一方、河川(山崎川)も5年確率の改修規模で一次改修を完了している。解析地域の地形は比較的勾配が大きく、標高は15m~50mが中心で一部90m近くに達している。

3. 氾濫解析

都市内の中小河川流域での氾濫の特徴は、大河川のそれと比較して、洪水の発生と氾濫が同一の時空間で起きている点にある(河川の上下流の距離が短く、したがって時間もほぼ同時、また氾濫原が中流にもある)。市街地での氾濫解析においては浸水深の評価が重要である。というのは、都市内の高度に価値が累積した業務地区や住宅地区では10cmの浸水深の差でも被害の程度はかなり違ったものになるためである。市街地では、コンクリート等の耐水建築物や基礎構造がコンクリートで床が高い家屋が多く、浸水が建物の内部まで及ばない。そうした建物の存在を考慮しない解析では、計算水位が実際現象と合わなくなることも予想される。そこで、建物のもつこのような効果を一種の空隙率のような概念“浸水体積率または浸水面積率” λ で表し、現実に生じるであろう浸水深を評価することを試みる。

市街地では下水道の雨水排除能力の評価は重要であるが、下水道の管網をモデルに取り込むことはその細密さから至難である。そこで、本解析では下水道の排水能力や地盤の浸透等による降雨損失量を予め計算し、地表面流出に有効な降雨を与えるものとする。そのために土地利用別の流出率を考え、流出水の集中速度、その場での貯留を粗度係数で代表し、氾濫解析を行なう。

これまで外水氾濫に用いられていた方法¹⁾²⁾を内水氾濫に適用する。氾濫シミュレーションは従来大河川で堤防等が決壊した場合などを想定したものが多かったのに対し、今回の解析では、都市域では土地利用や地盤高が詳細に調べられていることに着目し、現在大きな問題となっている内水氾濫の状況を、その水深、流速等これまでの氾濫解析よりも細かい視点で解析しようとするものである。

解析の基礎方程式として以下のものを用いた。

1) 基礎式

・水深方向に積分した二次元平面流れに関する x, y 方向の運動方程式

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial uM}{\partial x} + \frac{\partial vM}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - g \frac{n^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}}$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial uN}{\partial x} + \frac{\partial vN}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - g \frac{n^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}}$$

・同 連続式

$$\lambda a \frac{\partial h}{\partial t} + \lambda x \frac{\partial M}{\partial x} + \lambda y \frac{\partial N}{\partial y} = r。$$

$M = u \cdot h$; 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

λa ; 平面的に見た浸水体積率

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

・境界条件: (1) 流域界 $M = N = 0$

(2) 河川下流端 $F = Q / \Delta x = f(H)$ Q ; 現況河道の排水能力 H ; 流域の末端水位

(3) 河川格子と一般格子の間では本間の越流公式又は段落ち式

・初期条件: 各フラックスは $M=N=0$ とし、地表面には若干の前降雨を考慮して $h=0.01m$ を与える。

・対象降雨: 流域に一律に与える降雨は30年確率の降雨 ($r_{30}=80mm/hr$; 但し 到達時間が1時間の場合) とする。対象地区までの到達時間が20分程度ならば 平均降雨強度は $r_5=80mm/hr$, $r_{30}=110mm/hr$ となる。この降雨から下水道に排除されたものを差し引いて有効降雨 r_e とする。実際には、整備の終えた下水道でも上記のような到達時間が短く 強度の大きい降雨には対応できていないことがありうるので、ここでは下水道の排水能力として、およそ $30mm/hr$ を上限値と想定した。したがって、 $r_e = ((110-30)/60) \times 20 \approx 30mm/20min$ が地表面流出に有効な降雨となる。但し、地表下の管網に一旦排出されかつ貯留された洪水はやがて河道に流出するので、河道にはそれに見合った水位を与える。

・流出率: 雨水のうち地下に浸透した成分は流出率で考慮する。流出率の数値は、細密数値情報で分類されている17種類の土地利用別に市川らの研究³⁾で用いられている値を採用する。

・粗度係数: 流出率と同様に、従来の研究を参考にして土地利用別に与える。

2) 差分式

・陽解法のひとつである staggered scheme を用いる。

・基礎式の内、各項の評価から運動方程式の左辺第2, 3項 (慣性項) を省略している。

4. 予備計算

対象流域の約1/5の部分で試行して一応の解析結果を得ている。空間差分を、細密数値情報のメッシュデータより $\Delta x = \Delta y = 20m$ 、時間差分を C. F. L の条件式より $\Delta t = 0.15sec$ 程度とした例では、概ね昭和58年9月の浸水被害例と一致した箇所に氾濫水が集まっている。なお、 λ は1としている。

5. 今後の課題

土地利用に関連して定めた流出率や粗度係数の解析に対する効果を検討する。解析は河川格子と一般格子とを同様に取扱い計算の簡略化をはかる。そのためには、水深の大きな格子 (例えば河川) と小さな格子 (降雨のあった直後の地表面) が混在し数値解を発散させるので、差分式中解に影響を与える項の特性を調べる必要がある。また、総降雨量 (流出率を考慮) と浸水深、浸水面積、河川末端の排水量との水収支を検証する。

なお、名古屋市土木局並びに下水道局の各位に資料の協力と助言を得たことを記し、謝意を表します。

(参考文献)

- 1) 岩佐、井上、水鳥: 氾濫水の水利の数値解析法、京大防災研年報 第23号B-2 (昭55.4)
- 2) 高木、原田、服部: 低平地における氾濫シミュレーション、自然災害科学中部地区シンポジウム (昭59)
- 3) 市川 他: メッシュ法の都市河川流域への適用、水利科学 Vol. 28 (1985)