

都市流域における土地利用形態及び集水域の違いが流出解析に与える影響

中央大学大学院 学生員 赤羽 祐也
 中央大学理工学部 学生員 此島 健男子
 中央大学大学院 学生員 呉 修一
 中央大学理工学部 フェロー会員 山田 正

1. はじめに

流域の都市化により降雨に対する洪水流出量の応答が早くピーク値が増大するという都市流域特有の特性がある。都市化の進行とともに治水対策も進められてきたが、集中豪雨の増加により、都市流域における洪水被害は増大している。近年、都市域における内水氾濫の被害が顕著であり、都市中小河川の洪水対策が急務である。実際に、近年10年間で東京のような都市域においては外水等の内水以外による被害額が1割以下で、内水氾濫の被害額の割合が9割以上となり、内水氾濫の被害が重大である。また、平成17年7月の水防法の改正により、洪水ハザードマップの作成が各自治体で作成することが法律で義務とされた。そのハザードマップに必要な浸水想定区域図を作成するにあたって、迅速に流出モデルを構築することが求められる。また、都市域というのは比較的平坦な土地が多く、山地流域のように落水線を引くから集水区界を作成することは困難である。都市域のマンホール毎の集水域の取り扱いには地形・道路を考慮した分割もしくは幾何学的に分割する方法を用いているのが現状である。著者らは従来から降雨流出機構の解明を目的とし、物理過程に基づく洪水予測手法の構築を行っている。本研究では、精度を保ち早く簡易的にインプットデータを入力するモデルの作成に着目し、流域データに必要な分割される各流域の集水面積及び土地利用分類比率の取り扱いの違いが洪水流出特性に与える影響を評価した。

2. 対象流域の概要

対象流域の管路網平面図を図-1に示す。流域面積は約1.2km²と比較的小規模な流域である。マンホール数は145である。対象流域における土地利用分類は市役所が独自に28分類の土地利用形態を調査して集計した土地利用分類データが存在する。それをモ

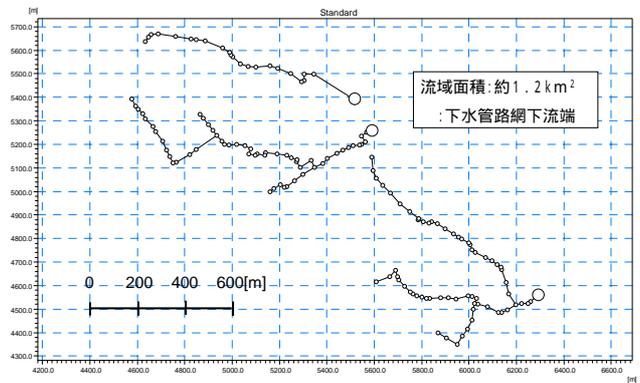


図-1 対象流域下水管路網平面図

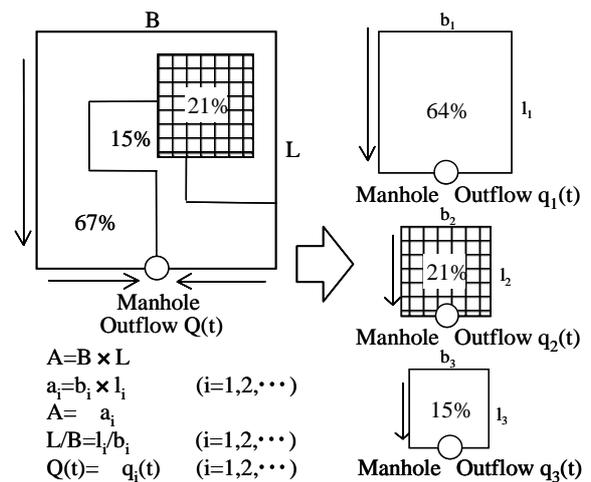


図-2 土地利用形態を考慮した地表面流出解析手法の概念図

〔 集水域を土地利用形態毎の小集水域に分割し、各小集水域における流出量の総和を集水域全体の流出量とする。 〕

デルに入力するために5種類の土地利用分類に再分類した(表-2)。主に独立住宅・集合住宅と道路用地が多く、典型的な都市域である。ここで、屋根と道路の土地利用分類比率の和を不透水面積率と定義する。対象流域において、不透水面積率は建蔽率60%を考慮した排水区平均値で56%であった。

3. 流出解析モデルの構造

地表面流出計算は有効降雨を算出し、連続式及びマンニング式で解いている。管路内の不定流計算には

キーワード 都市流域, 集水域, 土地利用形態, 流出解析

連絡先 〒112-8551 東京文京区春日1-13-27 中央大学大学院 TEL:03-3817-1805 E-mail: akabane@civil.chuo-u.ac.jp

表-1 各土地利用形態における，湿潤，地表面貯留，浸透と地表面粗度係数

	不浸透域		浸透域		
	斜屋根	平地	裸地	草地	樹林地
湿潤損失量[mm]	5.0E-5	5.0E-5	5.0E-5	5.0E-5	5.0E-5
地表面貯留量[mm]		6.0E-4	1.0E-3	1.0E-3	2.0E-3
初期浸透損失量[mm/s]			1.0E-6	1.0E-5	2.0E-5
最終浸透損失量[mm/s]			5.0E-7	1.0E-6	5.0E-6
土壌特性パラメータ[1/s]			1.5E-3	1.5E-3	1.5E-3
地表面粗度係数[m ^{-1/3} s]	0.0125	0.0143	0.0333	0.0333	0.0833

連続式及び不定流の基本式（サン・ヴナン式）を用いており，水位計算点と流量計算点を交互に配置して差分化し，陰解法で解いている．また本研究における土地利用分類毎の各損失量等及びマンシングの粗度係数の値は表-1のような各損失量及びマンシングの粗度係数の値を用い解析を行った．

(1) Kinematic Wave 法を用いた地表面流出計算

Kinematic Wave 法の地表面流出量の算出は開水路の流れとして計算し，重力と摩擦力のみを考える．流域の斜面長や勾配を決定し，時々刻々の流出量は有効流域面積と実降雨からそれぞれの水文損失量を差し引いた有効降雨量により支配される．有効降雨量の算出式は式(1)である．

$$R_{eff}(t) = R(t) - Q_E(t) - Q_w(t) - Q_I(t) - Q_S(t) \quad (1)$$

ここで， $R_{eff}(t)$:有効降雨量[mm/s]， $R(t)$:降雨量[mm/s]， $Q_E(t)$:蒸発損失量[mm/s]， $Q_w(t)$:湿潤損失量[mm]， $Q_I(t)$:浸透損失量[mm/s]， $Q_S(t)$:地表面貯留量[mm]である． Q_w とは地表面が浸透流，地表面流ともに生じない初期湿潤状態での損失量である．各河道に流入する地表面流出量は式(2)，(3)により求められる．

$$Q(t) = \frac{1}{n} \cdot B \cdot I^2 \cdot y^3 \quad (2)$$

$$R_{eff}(t) \cdot A - Q(t) = \frac{dy}{dt} \cdot A \quad (3)$$

ここで， $Q(t)$:流出量[m³/s]， n :地表面粗度係数[m^{-1/3}s]， B :集水域幅[m]， I :地表面勾配， y :水深[m]， A :各小流域面積[ha]である．計算に必要な各種パラメータを表-1に示す．本モデルの土地利用形態の分類の違いは，有効降雨量を算定するとき用いる蒸発損失量，浸透損失量，地表面損失量の値及び地表面粗度係数の値の違いで表現した．ここでは，地表面の土地利用形態を 住宅家屋の傾斜屋根， アスファルト道路の平地， 公園やグラウンド・歩道等の裸地， 丈

表-2 28分類した土地利用分類及び再分類した土地利用分類

No.	土地利用分類	再分類した土地利用分類
1	官公庁施設	屋根
2	教育文化施設	屋根
3	厚生医療施設	屋根
4	供給処理施設	屋根
5	事務所建築物	屋根
6	専用商業施設	屋根
7	住商併用建物	屋根
8	宿泊・遊興施設	屋根
9	スポーツ・興行施設	屋根
10	独立住宅	屋根
11	集合住宅	屋根
12	専用工業	屋根
13	住居併用工場	屋根
14	倉庫・運輸施設	屋根
15	農林漁業施設	屋根
16	屋外利用地・仮設建物	屋根
17	その他	-
18	公園、運動場等	裸地
19	未利用地等	裸地
20	道路	道路
21	鉄道・港湾等	裸地
22	田	裸地
23	畑	裸地
24	樹園地	樹林地
25	採草放牧地	草地
26	水面・河川・水路	屋根
27	原野	草地
28	森林	樹林地

の低い植生地である草地， 丈の高い植生地である樹林地に代表される浸透域の5つのカテゴリーに大別している．計算上では，ある一つの集水域において複数の地表面カテゴリーを有する場合には，各カテゴリーの集水域面積は小さく流達時間は短い仮定の下にその集水域の平面形状と相似な関係を保存するように，各面積率からそれぞれの面積，集水域長，集水域幅を計算し，それぞれ個別にマンホールへの



図-3 地形・道路を考慮した分割の集水域平面図



図-4 幾何学的に分割した(ティーセン分割)集水域平面図

流出量を計算し、それらを足し合わせて集水域全体からの流出量を計算した。図-2 にその手法の概念図を示す。

(2) 下水管路流計算

下水管を流れる不定流計算において、境界条件として入力する地表面からのマンホールへの流入量は、前節の地表面流出計算で算出された各集水域でのマンホールへの地表面流出量である。本解析の基礎方程式は、サン・ヴナン方程式である。式(4)、(5)は一次元不定流計算の基礎式であり、それぞれ連続式、運動量保存式を示している。

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right)}{\partial x} + gA \frac{\partial y}{\partial x} + gAI_f = gAI_0 \quad (5)$$

ここで、 Q :流量[m³/s]、 A :断面積[m²]、 y :水位[m]、 g :重力加速度[m/s²]、 x :流下方向の座標、 α :運動量補正係数、 t :時間[s]、 I_0 :水路床勾配、 I_f :損失水頭勾配である。水位計算点と流量計算点を交互に配置する、スタッガート法で差分化し、陰解法6点アボットスキームによって解いている。

4. マンホール集水域及び土地利用形態の取り扱い

本研究におけるモデルの地表面における流出解析を行う際には、流域データとしてマンホール集水域毎の土地利用分類比率及び集水域毎の流域斜面長、地表面勾配のデータを入力する。そこで、市街化により土地利用形態が変化、複雑化する都市域においては詳細な土地利用に関するデータが必要となっ

くる。また、現在では衛星画像を用いた細密数値情報(土地利用に関するデータ(国土交通省国土地理院作成)などが入手可能である。その詳細な土地利用データを流出モデルに組み込む際に、次のステップとして土地利用データの精度が流出計算にどの程度影響を与えるかを検討する必要もある。そこで、本研究ではマンホール毎の集水域の分割の取り扱い、またその分割に対する土地利用分類比率の算出の違いが降雨流出計算にどの程度影響を与えるのかを評価するため、マンホール毎の集水域の分割を物理的に地形・道路を考慮して詳細に分割した方法と幾何学的に分割(ティーセン分割)した方法の2通りの分割方法を考えた。対象流域における物理的に地形・道路を考慮した分割の集水域及び幾何学的に分割した集水域を図-3、4に示す。マンホール集水域毎の地表面勾配は対象流域が都市域で平坦な土地ということから1/1000を流域一様に与えた。また、マンホール集水域毎の流域斜面長はマンホールの受け持つ集水面積が小さいことから、集水域形状を正方形と仮定し、流域斜面長はその正方形の形状の流域の1辺の長さとして与えた。

地形を考慮して分割した集水面積と幾何学的にティーセン分割した集水面積を比較すると、地形を考慮した分割の最大の集水面積は約8.1[ha]で、ティーセン分割した最大の集水面積は約6.3[ha]となった。また、同じマンホール箇所の地形を考慮した分割とティーセン分割した集水面積の最大の差は約0.8[ha]であった。

詳細な物理過程に基づくマンホール集水域の分割方法は地形・道路を考慮して分割する方法である。下水管路網のような比較的集水面積が小さく、降雨の流達時間が短い集水域の取り扱いにおいては幾何学的に集水域を分割して算出した集水面積及び集水区界における土地利用分類比率をインプットデータとしたときにどの程度降雨流出計算に影響を与えるかをシミュレーションにより比較を行った。その流出計算結果を次章に示す。

また、今回の計算では総降雨量 21.7[mm]、ピーク降雨強度 2.2[mm/10min]の仮想的な降雨を用いており、下水管路網末端の吐き口における下流端境界条件は自由流出条件を設定している。

5. 降雨流出計算結果

集水域の分割方法及び土地利用形態の取り扱いの違いによる流出計算結果である下水管路網下流端の流量ハイドログラフを図-5に示す。集水域の分割方法及び土地利用分類比率の取り扱いの違いを3通りの組み合わせで計算を行った。Case1では、集水域を図-3のように地形を考慮して分割し、その集水域で区切られる集水面積を与えた。土地利用データは集水域毎に土地利用分類画像を重ね合わせ、集水域毎に土地利用分類比率を算出し入力した。Case2では、図-4のような幾何学的にティーセン分割で集水域を分割し集水面積を与えた。土地利用データに関しては、ティーセン分割した集水域毎の土地利用分類比率を算出し入力した。Case3では、ティーセン分割した集水面積を与え、土地利用分類比率は排水区全体の平均値を流域一様に与えた。

Case1及び2,3の流量ハイドログラフの結果は波形・ピーク値ともほぼ一致する結果であることがわかる。また、Case1及び2,3の洪水流出特性を比較すると、いずれのCaseも流出率は0.82で一致した。これは集水域の分割方法は異なるが、流域面積は同じだからである。ピーク流量をピーク降雨強度で除することから算出される比をとった流出係数はCase1では0.75であり、Case2及びCase3においては0.76といずれのCaseについてもほぼ同じ値であった。ピーク降雨強度の時刻から下水管路網下流端においてピーク流量が到達するまでの時間とした到達時間はいずれのCaseも約5[min]であった。これらの結果より、今回検討した対象流域のような比較的小さい

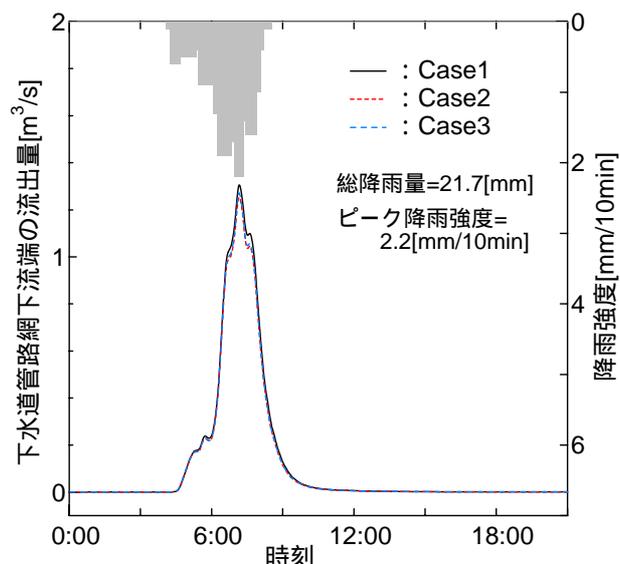


図-5 集水域の分割方法及び土地利用形態の取り扱いの違いによる流出計算結果

Case1：地形を考慮し分割した集水域に土地利用分類比率を与えた場合 Case2：ティーセン分割した集水域に土地利用分類比率を与えた場合 Case3：ティーセン分割した集水域に排水区平均値の土地利用分類比率を一様に与えた場合

集水面積を有する流域においては、集水域の分割を幾何学的に分割して流出計算した結果と地形を考慮して分割したものとを比べても洪水流出特性に大きな差異はみられないことがわかった。

6. まとめ

今回対象とした流域のような比較的面積の小さい集水域に関して、マンホール集水域毎の土地利用分類は地形を考慮した分割と幾何学的（ティーセン分割）に分割して入力した計算結果の両者に大きな差異が見られなかった。この結果より、比較的集水面積の小さい都市域の流出計算にインプットする集水域毎の土地利用分類はマンホールの座標と流域界データから作成することができる幾何学的に分割したインプットデータを入力して十分に精度のある流出計算を表現することが可能であることがわかった。

参考文献

- (1) 土屋修一、土肥学、海野修司、山田正：管路網水理解析による都市洪水流出特性に関する研究、水工学論文集第46巻、pp.259-264,2002.
- (2) 虫明巧臣、石崎勝義、吉野文雄、山口高志：水環境の保全と再生、山海堂、1987
- (3) 小澤剛、赤羽祐也、劉金双、山田正：都市域における流出率の推定、第33回関東支部技術研究発表会、II-1-14,2006.