

# 30. 地物データGISを利用した 雨水管路網の構築手法について

天口 英雄<sup>1\*</sup>・河村 明<sup>1</sup>

<sup>1</sup>首都大学東京都市環境学部都市基盤環境学科（〒192-0397東京都八王子市南大沢1-1）

\* E-mail: amaguchi@tmu.ac.jp

本研究は、高度な地物データGISを用いて雨水管路網を推定する手法について検討したものである。ポリゴン型の街区情報から道路ネットワークを作成し、この配置を雨水管路網として設定し、先ず河道への吐出点から上流側に向かって管路勾配を、その後は上流側から下流側に向かって管路直径を設定している。本手法を神田川上流域に適用して実雨水管路網とのデータ特性を比較することにより本手法の評価を行った。本手法を用いることでTSRモデルなどによって個別建物浸水解析のためのモデルデータ生成が容易になると考えられるとともに手作業において課題とされていた労力の軽減および時間短縮が期待できる。

**Key Words** : TSR モデル, 地物データGIS, 建物浸水解析, 道路ネットワーク, 雨水管路網

## 1. はじめに

都市流域における洪水流出および浸水シミュレーションにおいては、直接流出量の算定、地表面流出および河道流に加え、雨水・下水道管路を考慮した流れの解析が欠かせない。都市流域を対象とした解析モデルデータを作成する場合、直接流出の算定には土地利用データ、地表面流出および氾濫計算には地盤高データ、雨水・下水道管路流には雨水管路網データを用いている。地表面流出・浸水状況を解析するための格子形状は都市構造の表現方法により様々な形式が提案<sup>1)</sup>されており、地表面に関する情報（地盤高情報、道路・街区・建物等の情報）は、基盤地図情報<sup>2)</sup>として公開されているデータを用いることが可能である。一方で雨水管路網データは、自治体より入手してモデル構築することが前提となっていることが多く、このデータを入手することが困難である場合には、解析手法を分布型洪水流出モデルから集中型流出モデルに変更せざるを得ない。

地表面の流れの解析では、擬似的に地盤高情報を基に流れの方向を決定する手法が用いられているが、これと同様に既存の地盤高、道路および建物などのGISデータを活用して対象流域の雨水管路網を推定することが可能となれば、自治体より雨水管路網データが得られない場合でも、分布型洪水流出モデル

による解析が可能となる。

そこで本研究では、著者らが提案するポリゴン型の土地利用地物要素<sup>3)</sup>を用いて雨水管路網を構築する手法を開発し、実際の雨水管路網データとのデータ特性を検討することにより、その有用性を評価する。

## 2. 雨水管路網の構築手法

### (1) 雨水管路網を推定するためのデータについて

雨水管路網の構築に必要なデータは、地表面の土地利用をポリゴン形式で表現したGISデータで、属性には土地利用（種別は河道、道路など）、地盤高および面積が必要である。また、排水区が複数ある場合には個々に排水区および放流管路の指定が必要である。本研究での排水区の設定は、河川への放流管が橋付近に集中している特徴を考慮し、橋に接続する道路を境界とする方針とした。

### (2) 雨水管路網データの構築手順

図-1 は提案する雨水管路網の構築手順である。管渠ルートの設定には、管渠が道路に埋設されている状況、河川への雨水排水は橋梁付近で行われている状況などを勘案し、道路ネットワークを用いる。すなわち、雨水管路網の構築ステップは、以下のようになる。

- ① 道路ネットワークの作成および排水区の設定
- ② 自然流下を考慮した管路高の設定

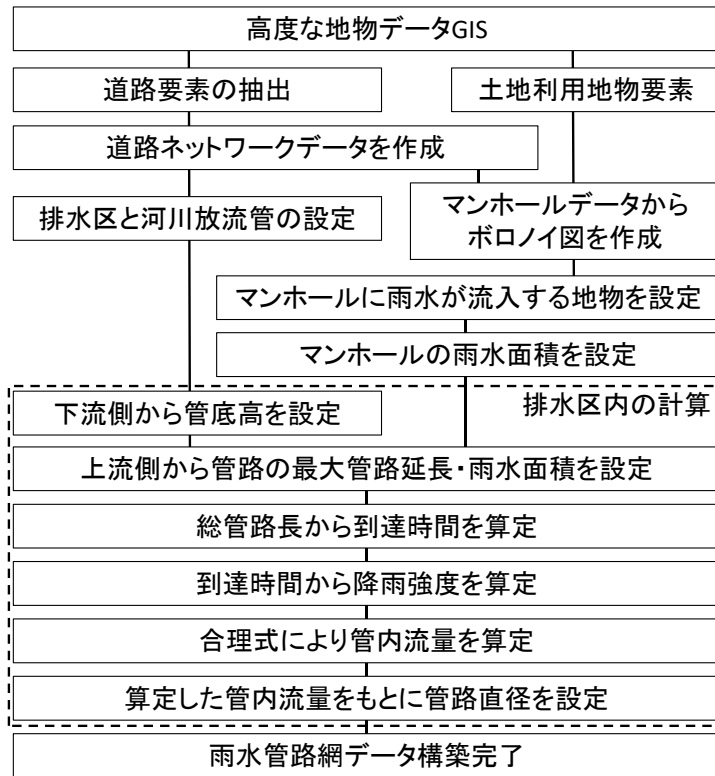


図-1 雨水管路網の構築手順

### ③ 計画雨水量の算定と管路直径の設定

#### a) 道路ネットワークと初期雨水管路網の作成

まず、高度な地物データ GIS から道路要素を抽出して道路ネットワークを作成する。道路ネットワークの作成には、直進性が高く、道路幅の狭い道路の作成が可能で、道路幅の情報も付加することができる手法<sup>4)</sup>を用いる。高度な地物データ GIS から道路ポリゴンを抽出し、これをポリライン型に変換して入力データとすれば、この手法により道路の交点にはポイント型、そして、これらを連結するポリライン型として構成する道路ネットワークが出力される。道路ネットワークを雨水管路網として利用するには、ポイント型をマンホール、ポリライン型を管路として設定する。一般的な雨水流出解析モデルでは、雨水がマンホールを介して地表面と雨水管路とを出入りするため、本研究ではマンホールの間隔が 50 m 以下となるように設定した。すなわち初期道路ネットワークにおいて、マンホール間距離が 50 m 以上の場合にはその距離に応じて管路を等分し、新たにマンホールを追加する。最後に、雨水管路網の排水区毎への分離、河川への放流管の追加、マンホールの地盤高設定を行い、これを初期雨水管路網とする。

#### b) 管定高の設定

排水区では、初期雨水管路網に対し、設定した放流管路から自然排水できるように、上流側に向かって管路の勾配を設定していく。まず、河川への放流管の管底高を河床高+ $dh_s$  m とし、管路長と初期勾配  $s_s$  を用いて、上流側の管底高を設定するととも

に、この値をマンホールの底高とする。次いで、そのマンホールに接続している管路数を確認し、2つの場合には、上流側の管路の管底高をマンホール底高とし、前述のような方法で上流の管底高を設定する。ここで、マンホールに管路が3つ以上、すなわちマンホールの上流側に2つ以上の管路が接続している場合には、管路に接続する上流側マンホールの地盤高を確認して、地盤高の最も低い管路から管底高を設定する。そして、同様の手順で管路選択および管底高を設定しながら、最上流地点まで優先的に完了させる。その後は最下流地点から、管底高が未設定の管路を出発地点として上記手順を繰り返す。また、既に管路上流側のマンホールの底高が設定してある場合には、この管路は利用しないので初期雨水管路網データから削除する。

#### c) 管路直径の設定

##### ① 計算方法

管路直径の設定根拠となる管路流量は、一般的に下水道計画で用いられている合理式を用いる。

$$Q_p = \frac{1}{360} CIA \quad (1)$$

ここに、 $Q_p$  : 計画流量 ( $m^3/s$ )、 $C$  : 流出係数、 $I$  : 降雨強度 ( $mm/h$ )、 $A$  : 排水面積 ( $ha$ ) である。

流出係数は浸透特性に応じた土地利用毎の流出係数と面積から加重平均により算定する。

$$C = \frac{\sum_i^m C_i A_i}{\sum_i^m A_i} \quad (2)$$

ここに、 $C_i$  : 土地利用毎の流出係数、 $A_i$  : 土地利用毎の合計面積 ( $ha$ )、 $m$  : 土地利用種別数である。

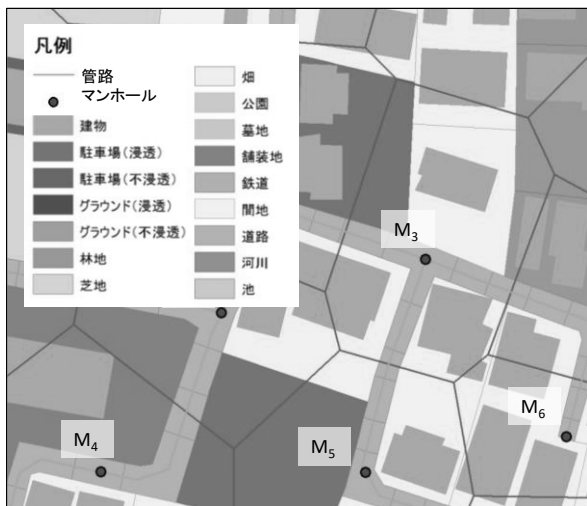


図-2 マンホール排水区の設定

本研究では東京都における工種ごとの流出係数<sup>5)</sup>として、道路を0.9, 建物を0.95, その他を0.35と設定した。

降雨強度 $I$ の算定は各自治体により定められた算定式を用いて行っている。本研究では、東京都で用いられている次式の降雨強度式<sup>5)</sup>を用いる。

$$I = \frac{5000}{t + 40} \quad (3)$$

ここに、 $t$ : 到達時間[ $\text{min}$ ]であり、到達時間は流集時間と流下時間の和で求められる。

設定した流出係数 $C$ , 降雨強度 $I$ , 排水面積 $A$ を用いて計画流量 $Q_p$ を求め、この流量を流すことができる円形断面を次式により設定する。

$$Q_p = \frac{\pi D^2}{4} v \quad (4)$$

ここで、 $D$ : 管路直径( $\text{m}$ ),  $v$ : 管内流速( $\text{m/s}$ )である。この際の管内流速の算定はマンシングの式を用いて行う。

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} I_s^{1/2} \quad (5)$$

ここで、 $v$ : 管内流速( $\text{m/s}$ ),  $n$ : 粗度係数,  $R$ : 径深( $\text{m}$ ),  $I_s$ : 管路勾配である。本研究では、粗度係数は、下水道管路として一般に用いられている値0.013<sup>9)</sup>を設定する。

## ② 設定方法

排水面積および流出係数は、マンホール地点上流での合計値を設定する。先ず図-2に示すように、マンホールを母点としたティーセン分割図を作成し、地表面地物重心点によりマンホール排水区を定め、この排水区の土地利用種別毎の合計面積( $A_i$ )およびそれに対応する流出係数( $C_i$ )を設定する。

流下時間および降雨強度の設定に必要なマンホール地点の最大管路延長および累計 $CA$ は、上流端マンホールから開始し、下流側のマンホールに管路長および $CA$ を加える。下流側に2つ以上の管路がある場合には、 $CA$ を複数の分流先の管路へ分配する。

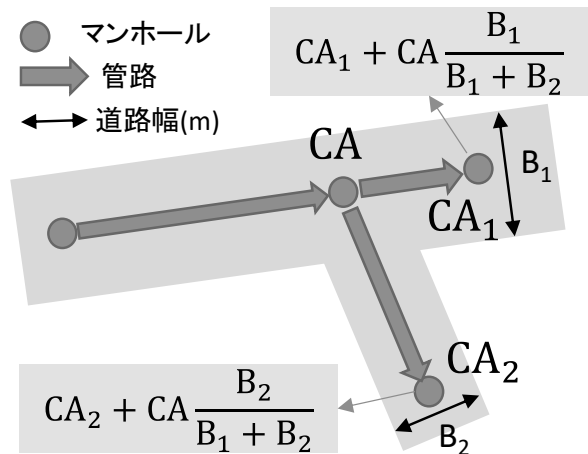


図-3 分流時の $CA$ の計算

分配方法は分流先の管路が位置する道路の幅を用いて $CA$ 値を按分する(図-3)。

流達時間は、上流側の最大管路延長を管内平均速度( $1.2 \text{ m/s}$ )で除した値(流下時間)に最上流部マンホールへの流集時間(5分)を合計したものを、全てのマンホールに設定する。

マンホール毎に設定された降雨強度、流出係数および排水面積を用いて、式(1)により計画流量を計算し、これをマンホール地点下流側管路の流量とする。管路直径は、計画流量を用いて式(4)および式(5)を満たす値を求め、これより大きな規格品の値を設定する。

## 3. 神田川上流域の概要

### (1) 流域の概要

神田川は、三鷹市の井の頭池にその源を発し、途中善福寺川と妙正寺川を合流して隅田川に流入する東京都内の代表的な都市河川である。本研究では、井の頭池から善福寺川合流点までの神田川上流域(流域面積約 $11.8 \text{ km}^2$ , 流路延長約 $9 \text{ km}$ )を設定した。

対象流域の下水道は合流式で整備されており、汚水は下水道幹線により下水道処理場に送水されている。図-4 a)は、東京都1/2500地形図より構築した神田川上流域の高度な地物データGISを示したものである。地表面の全要素数は104,342, 建物, 道路, 緑地, 舗装地の流域面積に対する面積率はそれぞれ29%, 16%, 9%および3%である。図-4b)は、実際の雨水管路網の現況図である。雨水管路網のGISデータは、マンホールをポイント型, 管路をポリライン型で表しており、神田川上流域ではマンホール数9,632, 管路数9,904となっている。

### (2) 既存雨水管路網データの分析

本研究では、地表面の情報から雨水管路の情報を予測する必要があるため、管路勾配・マンホール深さと地形特性との関連について検討を行う。

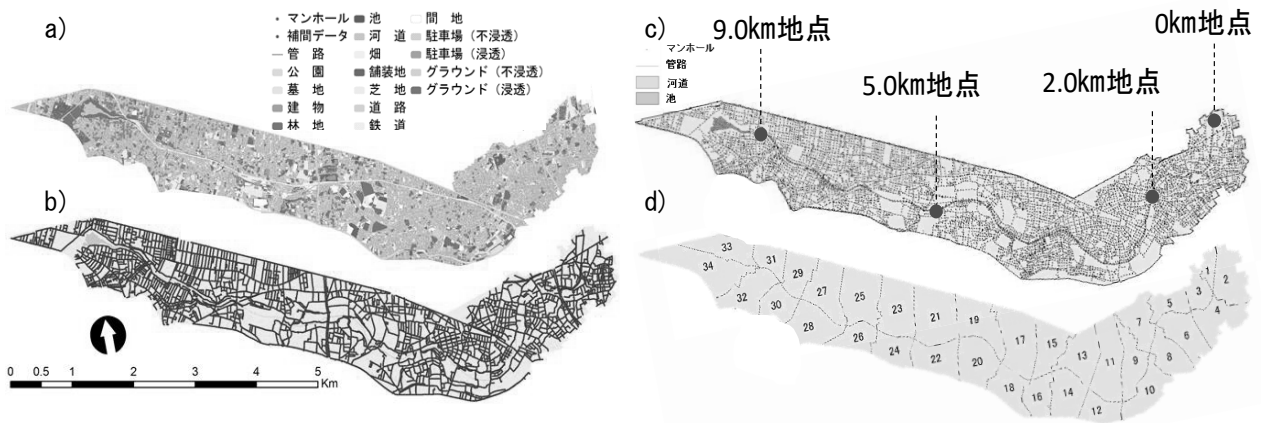


図-4 地図データ, a) 神田川上流域の土地利用地物要素, b) 雨水管路網の現況, c) 本研究で作成した道路ネットワークデータ, d) 排水区の設定

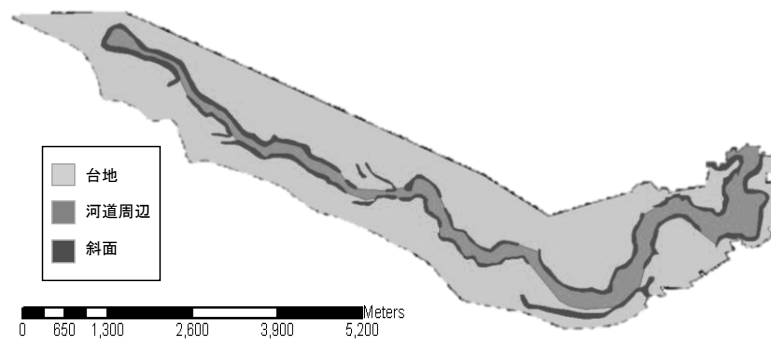


図-5 神田川上流域の地形区分<sup>7)</sup>

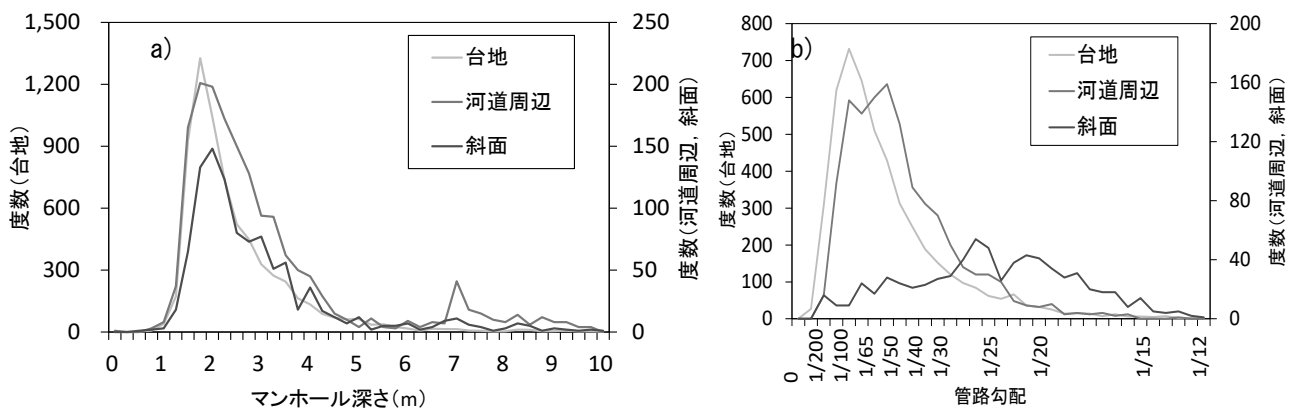


図-6 a) マンホール深さ, b) 管路勾配

流域内の雨水管路網の埋設状況を把握するために、マンホールの深さおよび管路の勾配特性を分析した。マンホール深さは、これに接続する管路の最低標高値を求め、地盤高との差を設定した。流域を図-5のように台地、河道周辺および斜面に地形を3分類し、地形毎にマンホール深さと水平面を基準とした管路勾配のヒストグラムを作成した(図-6)。台地のサンプル数は多いので、河道周辺と斜面と異なるスケールで示した。ヒストグラムの階級幅は、マンホール深さを0.1m、管路勾配を1/400と設定した。

マンホールの深さは、地形の違いによらず概ね同様の傾向がみられ、流域全体の平均値は2.61m、標準偏差は2.06で、マンホール深さは0.6mから4.6mの間に多く分布していることが分かる。次いで管

路勾配は、斜面とそれ以外の地形で異なる傾向がみられたため、斜面の平均値は1/26、標準偏差は1/56で、台地部と河道沿いを累計した平均値1/57、標準偏差1/74よりも急勾配となっている。すなわち管路勾配は斜面勾配に依存しているものと考えられ、斜面では1/18~1/50、斜面以外では1/34~1/274に分布している。

上記の実雨水管路のデータ特性を参考に、地盤高と管底高との差(深度)が一定の範囲に収まらない場合には、1mから5mの深さに管底高を設定することとした。

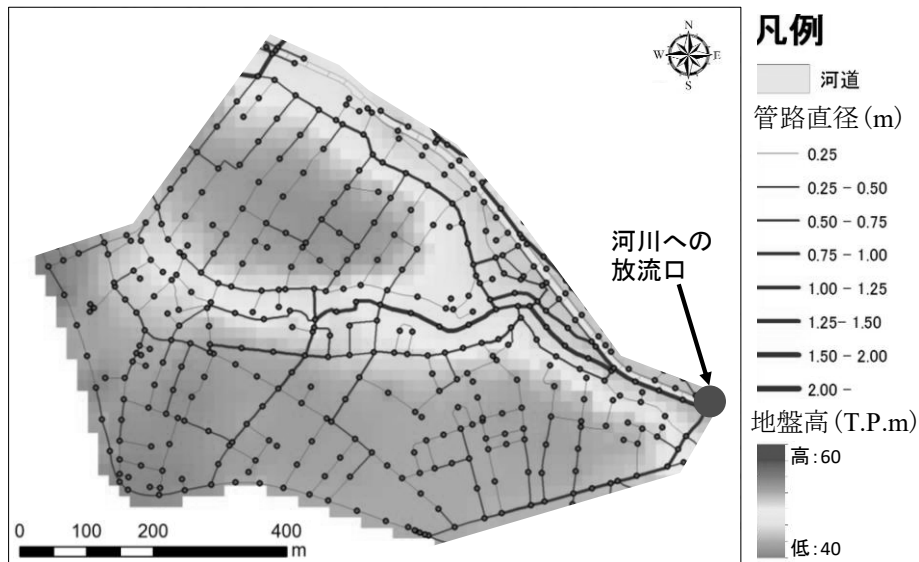


図-7 構築データの地盤高と管路直径の空間分布

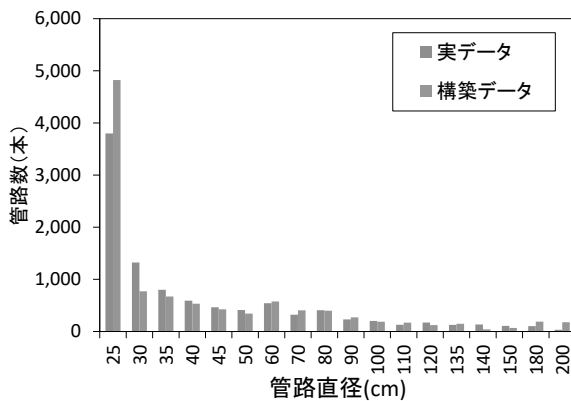


図-8 管路直径度数分布の比較

表-1 構築データの概要

	構築データ	実データ
マンホール数	8,857 個	9,632 個
管路数	10,671 本	9,904 本
総管路延長	344,674m	268,641m
総管路容量	103,289m <sup>3</sup>	69,636m <sup>3</sup>

#### 4. 対象流域への適用

##### (1) 設定条件

図-4c) は神田川上流域の道路ポリゴンデータから道路ネットワークを作成したものである。前項の手順により、図-4c) の排水区毎に雨水管路網データを作成した。管路縦断特性を設定するパラメータは、河川への放流管の管底高は現状を参考に河床高+0.5 m を設定した。管路の基準勾配の初期値  $s_0$  は台地部での最頻値に近い 1/100 として設定した。管路勾配は、個々の管底高が設定される時に、土被りを考慮して補正されるため、これよりも急勾配の値が設定されるものと考えた。

##### (2) 雨水管路網の構築

構築した神田川上流域における雨水管路網データは、マンホール数 8,857 個、管路数 10,671 本、総管路延長 344,674 m、総管路容量 103,289 m<sup>3</sup>であった。表-1は本研究において構築した雨水管路網データ（以下、構築データ）の概要を実雨水管路網データ（以下、実データ）と比較した表である。構築データは実データに比べ、マンホール数は少ないものの、管路数、総管延長、総管路容量において値が大きい結果となった。実データの雨水管路網は概ね樹枝状のネットワークとなっており、マンホール数と管路数に大きな違いは見られない。これに対し、構築データの雨水管路網は網目状のネットワークになっているため、マンホール数に比べて管路数が多くなっている。また、実データでは樹枝状のネットワークのため全ての道路の下に管路は埋設されていないことに対して、構築データでは全ての道路の下に管路が埋設されていると仮定して雨水管路網を作成している。このことから実データに比べて、構築データの総管延長と総管路容量は大きくなっている。

図-7 は、図-4d) の排水区番号 28 について、管底高と管路直径について図示したものである。管底高は地形に沿うように設定されており、管路直径は河川への放流管に近づくほど大きくなっている。また、マンホールの深さは、河道から離れ、標高が高い場所に位置する管路ほど管路の管底が深い傾向がみられた。本手法では地形の影響を受けつつ、設定した排水区ごとに雨水が河川へ放流する雨水管路網データが構築できたことがわかった。

図-8は、構築データと実データの比較を行うため、管路直径ごとの管路数分布を示したものである。管路数分布は概ね同様の傾向がみられるが、構築デー

タは管路直径の大きい2.0 mの管路数が多い。下流側の計画降雨時のピーク流量が実データよりも過大に算定されている可能性があり、実データ設計からの都市化の進行により、不浸透面積率の増大による影響が反映されているものと考えられる。

## 5. むすび

本研究は、高度な地物データ GIS を用いて雨水管路網を構築する手法を開発し、本手法を神田川上流域に適用したものである。構築した雨水管路網データに対して、実雨水管路網データとの物理特性値を比較検討し、また、洪水流出解析による流出特性を検討することにより、提案した手法の有効性について評価を行った。

実雨水管路網データは樹枝状で、構築データは網目状の特性を持つネットワーク形状の違いから、実データはマンホール数と管路数に違いがあまりみられなかったことに対し構築データではマンホール数に比べて管路数が多い結果となった。また、本手法は道路ネットワークを雨水管路網としているので、実際に管路が埋設していない道路にも管路が存在するので、構築データは総管路延長と総管路容量が共に多い結果となった。

今後は他の河川流域への適用、洪水浸水解析への

適応などを行い、適用性評価をさらに進めていく予定である。

**謝辞：**本研究を遂行するにあたって科学研究費基盤研究(C)、代表：天口英雄、課題番号：19K04622)の補助を受けました。ここに記して深謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 天口英雄, 椿涼太: 浸水被害予測技術の現状と課題, 河川技術論文集, pp.425-430, 2015.
- 2) 国土地理院: 基盤地図情報ダウンロードサービス, <https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php> (アクセス日 2019/3/25)
- 3) 天口英雄, 河村明, 高崎忠勝: 地物データGISを用いた新たな地物指向分布型都市洪水流出解析モデルの提案, 土木学会論文集, Vol.63, No.3, pp.206-223, 2007.
- 4) 田内裕人, 天口英雄, 河村明, 古賀達也, 萩原陽一: 都市域の道路形状特性に着目した新たな道路ネットワークデータの自動構築手法, 土木学会論文集F3(土木情報学), Vol.70, No.2, pp. I\_115-I\_122, 2014.
- 5) 東京都下水道サービス株式会社: 管渠再構築の手引き, p.126-127, 2005.
- 6) 田中修司: 下水道管渠学, 環境新聞社, pp.29-36, 2001.
- 7) 国土地理院: 土地条件図, 東京西部および吉祥寺, 2011.