

豪雨時における神田川への大規模下水道幹線 からの流入流量ハイドログラフの推算

STUDY ON DISCHARGE HYDROGRAPH FROM LARGE-SCALE SEWERAGE
DURING HEAVY RAINFALL IN THE KANDA RIVER SYSTEM

沼田麻未¹・福岡捷二²・入澤昭芳³

Asami NUMATA, Shoji FUKUOKA and Akiyoshi IRISAWA

¹学生会員 中央大学大学院 理工学研究科 土木工学専攻 (〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27)

²フェロー Ph.D 工博 中央大学研究開発機構教授 (〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27)

³東京都建設局河川部計画課 (〒163-8001 東京都新宿区西新宿2-8-1)

The Kanda River flows through densely urbanized area. Therefore, the Kanda River basin has large-scale sewerage systems and many flood-control reservoirs along the river. The inflow discharge hydrograph from sewerage into river influences flood hydrograph of the Kanda River, but its volume is unknown. So, estimating the inflow discharge hydrograph from sewerage into the Kanda River is important for river managements.

We applied the two-dimensional analysis of flood flow using time series of observed surface profiles in Kanda River. As a result, the calculation method provides good results for evaluation of inflow discharge hydrograph from sewerage. It is found that the discharge ratio of main stream to sewerage discharge is 5:2 at the confluence of Jyuniso trunk line and 3:2 at the confluence of Momozonogawa trunk line.

Key Words: urban river, flood flow, sewerage system, inflow discharge hydrograph from sewerage, Kanda River, time series of observed water surface profiles, runoff coefficient

1. 序論

近年、局所的な集中豪雨や台風等が多発している。台地部での都市型洪水の特徴として、下水道幹線等からの流出が中小河川の流出・氾濫形態に大きく影響していると言われている¹⁾。人口及び資産の集中する東京の代表的な都市河川である神田川流域²⁾では、都市化に伴い複数の下水道幹線が整備されてきた。そのため、豪雨時には多量の雨水が河道及び下水道幹線を通じて短時間で神田川へ到達するようになった³⁾。その結果、神田川の水位は短時間で急激に上昇するようになり、氾濫等による被害が懸念されている。現在神田川では数カ所で流量観測が行われている。しかし、地下調節池や河川沿い調節池等の流量調節施設が多く、また、複数の下水道幹線から神田川への流入があることから、これらの調節量や流入流量を正しく把握する必要がある。しかし急激な流入をする下水道幹線からの豪雨時の流入流量ハイドログラフを直接下水道内で観測することは困難である。下水道からの流入が洪水の伝わり方を複雑にしており、神田川

の治水計画を立てる上での課題になっている。さらに、各下水道幹線からの流入流量は神田川の洪水波形を変えるほどの量であることから、神田川の河道計画・管理のみならず、流域のまちづくり及び都市排水システム等の整備を行う上で流入流量ハイドログラフの見積もりは重要である。

谷岡ら³⁾は、雨量・水位データを用い、都市中小河川スケールでの降雨とその流出の線形的な関係から、強度の異なる洪水において、合理式により時々刻々の流出流量を求め、本川流量ハイドログラフを算出するモデルを提案した。しかし、下水道幹線及び支川からの流入流量ハイドログラフの検討に課題が残されていた。近年、福岡⁴⁾によって流量観測に比べて観測誤差が少ない観測水位の時系列データを用い、非定常平面二次元洪水流解析を行うことにより、任意の断面における流量ハイドログラフを精度よく推算することが可能となり、多くの河川で実用化されている。また、この考え方を応用することで、氾濫流量ハイドログラフ⁵⁾や、支川及びポンプ排水による横流入量⁶⁾等が推算可能であることが示されている。しかし、これらの研究は比較的洪水継続時間の長い



図-1 神田川流域の下水道幹線網
(東京都下水道計画図より)

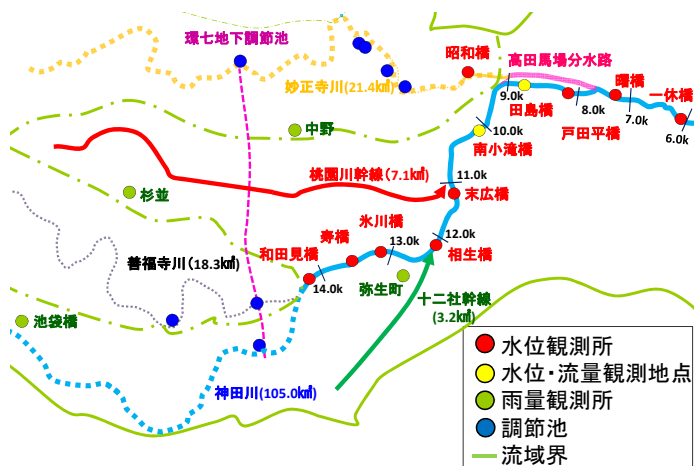


図-2 対象区間

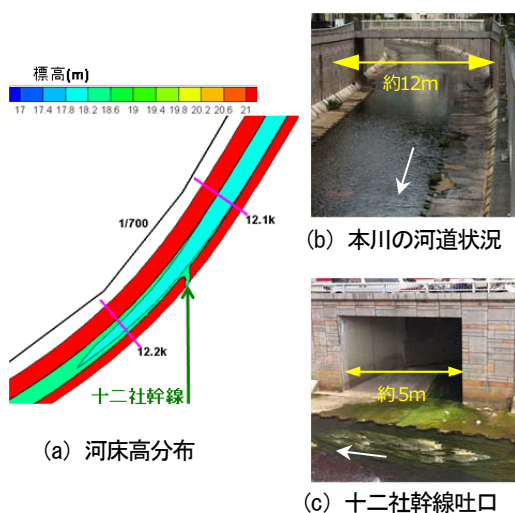


図-3 十二社幹線付近の地形

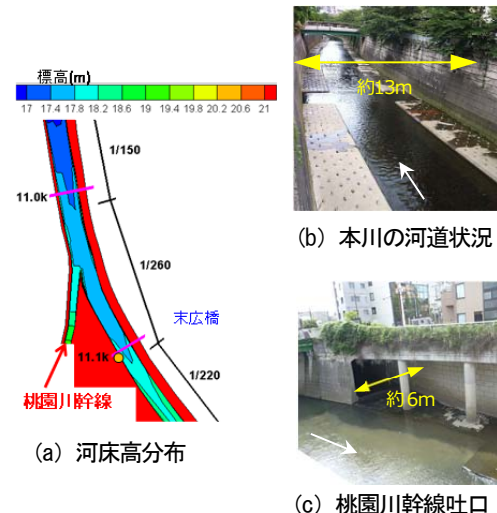


図-4 桃園川幹線付近の地形

大河川を中心に行われており、洪水流の非定常性が顕著であり、かつ、下水道幹線からの流入流量の多い都市中小河川での下水道からの流入流量の評価については検討されていない。

本研究では、平成22年12月に発生した洪水を対象として、神田川本川で観測された水面形の時間変化に基づき、非定常平面二次元洪水流解析から合流、分流を伴い、かつ段落ち部等を有する神田川本川について流量ハイドログラフと各下水道幹線からの流入流量ハイドログラフの推定を行う。

2. 神田川流域の特徴と流入する下水道幹線

(1) 神田川の地形

神田川は流路延長約24km、流域面積約105km²の東京都が管理する河川である。東京都三鷹市にある井の頭池を水源とし、杉並区、中野区、新宿区等といった市街地及び住宅地を流下する。支川である善福寺川及び妙正寺川との合流後、下流で日本橋川を分派したのち隅田川に流入する。図-1に神田川流域の下水道幹線網を示す。神

田川流域にはこのように多くの下水道幹線が整備されている。近年、水害が多発していた神田川上中流域で治水安全度向上のため、環状七号線地下調節池や高田馬場分水路の設置及び河積の拡大等により、洪水被害の軽減が図られてきた。

神田川は、洪積層でできた武蔵野台地に挟まれた谷地を流下しており、河床勾配が急な箇所が至る所に見られる。このような勾配変化地点は段丘等による地形的なものや、洪水時の流速低減を目的とした落差工によるものである。

(2) 神田川の河道特性及び流入する下水道幹線の概要

本研究では、神田川の6kmから14kmを対象に検討する。この区間の神田川の河道特性及び流入する主な下水道幹線について述べる。

図-2に対象区間で流入する支川及び主要な下水道幹線を示す。この区間では、12.1km付近に十二社幹線（流域面積3.2km²）、11.0km付近に桃園川幹線（流域面積7.1km²）が流入する。その下流9.2km付近で高田馬場分水路に分流し、妙正寺川（流域面積21.4km²）流入後の分水路が7.8km付近で神田川に合流する。



図-5 高田馬場分水路構造

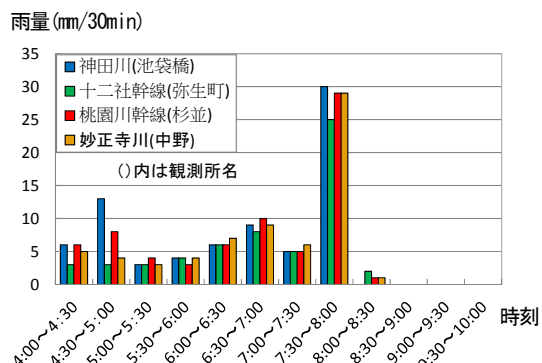


図-6 各観測所での雨量分布

図-3(a)～(c)には 12.1km付近に流入する十二社幹線吐口と周辺の河道状況を示す。川幅は、本川が約12mに対して十二社幹線の幅は約5mである。十二社幹線合流点付近の河道は、河床勾配が約1/700で、河床はコンクリート張りの構造となっている。図-4(a)～(c)は、11.0km付近に流入する桃園川幹線吐口と周辺の河道状況を示す。桃園川幹線の幅は約6mであり、本川の川幅約13mに対して半分程度の大きさを有する。この付近の神田川の河床勾配は1/150～1/260と、十二社幹線の吐口付近に比べると急であるため、図-4(b)の写真に示すように、河床のコンクリート上に石が張られ、流速低減が図られている。

対象区間の神田川河道は、縦断的に川幅10～20mのほぼ長方形断面となっている。図-5(a)、(b)に高田馬場分水路呑口と吐口を示す。図のように、神田川 9.2km付近では本川から高田馬場分水路へ分流する。分水路設置以前は現在の分水路呑口下流で妙正寺川が直接神田川へ流入しており、さらに土地利用の制限から本川下流の川幅拡幅が困難であった。そのため、洪水時における下流での流下能力不足解消の目的で高田馬場分水路が設置され、大きな効果を発揮している。分水路の幅は呑口付近で約6mであり、洪水時には神田川から分水路へと洪水が流入する構造となっている。分水路は妙正寺川と合流し、7.8km付近で再び神田川へ流入する。川幅は本川約14mに対し、妙正寺川が合流した後の分水路の幅は約13mであり、神田川本川とほぼ同じ幅で流入する。また、神田川本川は高田馬場分水路との合流点上流で局所的に1/55

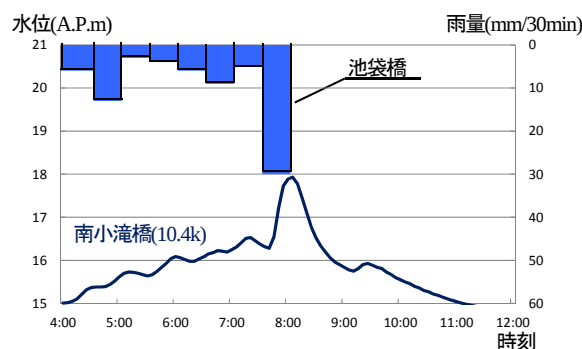


図-7 南小滝橋観測所における観測水位

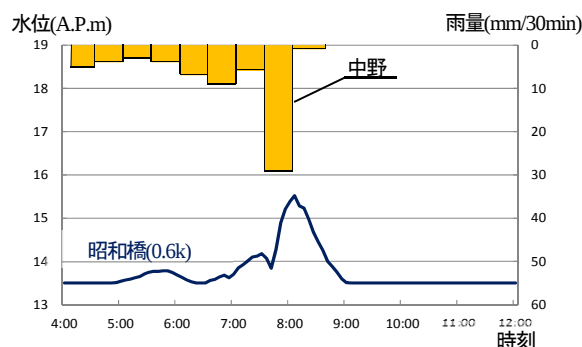


図-8 昭和橋観測所における観測水位

と急勾配になっている。

3. 対象洪水と観測体制

(1) 平成22年12月3日洪水の雨量分布

対象洪水は、平成22年12月3日の集中豪雨によるものとした。図-2に本検討区間の主な雨量観測所位置を示す。雨量は、神田川本川上流部では池袋橋観測所、十二社幹線流域では弥生町観測所、桃園川幹線流域では杉並観測所、また、妙正寺川流域では中野観測所で観測されている。

図-6に対象洪水時の各観測所での雨量分布を示す。各観測所での雨量分布は、大きく変わらないことが分かる。また、降雨は7時半から8時の間に集中している。

(2) 対象区間内での水位観測及び流量観測

図-2に本研究の対象区間とした神田川6km～14km区間の水位観測所及び流量観測地点位置を示す。検討区間内では和田見橋(14.1km)、寿橋(13.7km)、氷川橋(13.2km)、相生橋(12.1km)、末広橋(11.1km)、南小滝橋(10.4km)、田島橋(8.8km)、戸田平橋(8.2km)、曙橋(7.6km)、一休橋(6.1km)、また、妙正寺川は昭和橋(0.6km)で水位観測が行われている。観測所は約500m～1kmごとに配置されており、縦断的に密に水位が観測されている。水位観測は圧力式水位計及び音波式水位計で行われている。図-7は神田川の水位観測値を代表して南小滝橋観測所(10.4km)

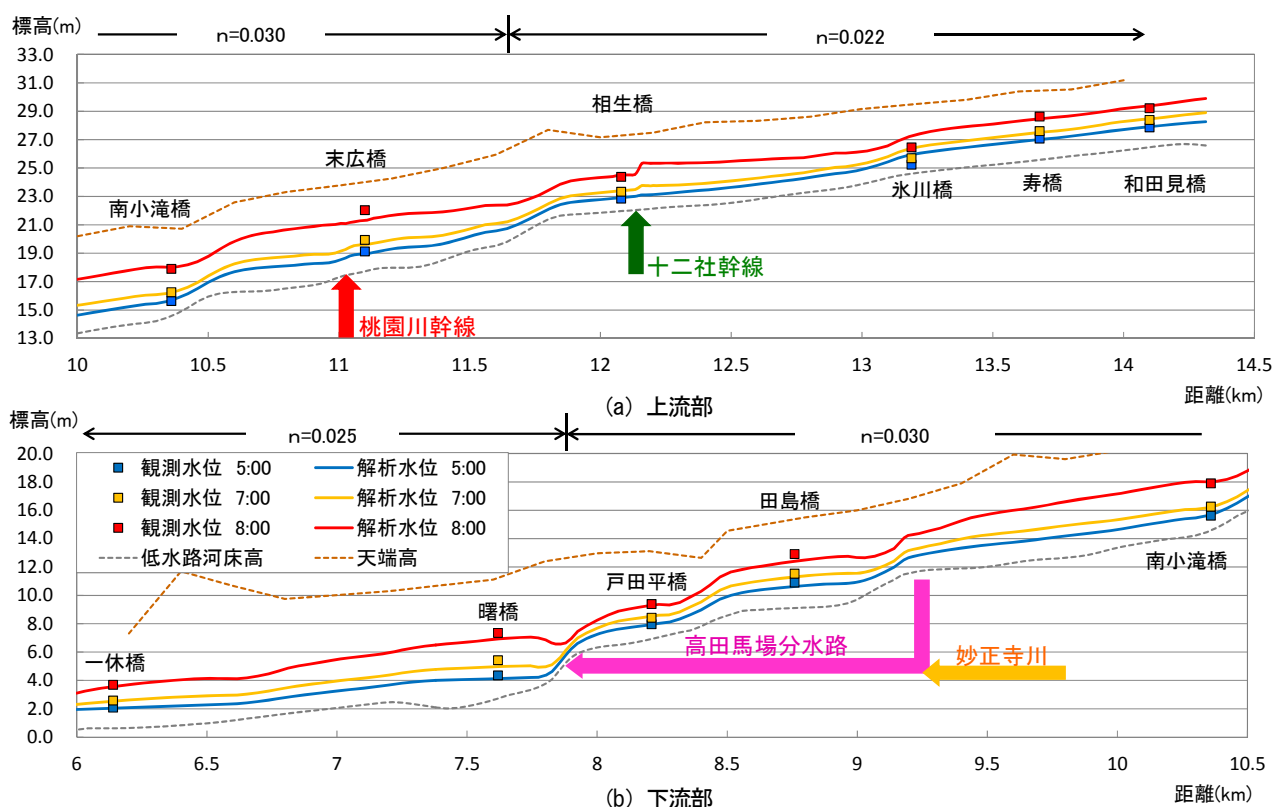


図-9 洪水上昇期の観測水面形と解析水面形の比較

の1分毎の観測水位を示す。洪水継続時間は約9時間である。本洪水の水位ピークは8時頃に表れており、洪水波形の特徴として洪水ピーク付近において神田川の水位は約15分から30分ほどの短時間で急激に上昇し、その後同程度の時間で急激に低下する。

図-8に妙正寺川の水位観測値を代表して昭和橋(0.6km)の1分毎の観測水位を示す。妙正寺川でも8時頃に水位ピークを迎え、神田川と同様な波形をしている。水位ハイドログラフと雨量分布を比較すると、各流域での雨量ピークと水位ピークの時間にはほとんど差がなく、各流域に降った雨水が短時間で神田川に到達することが見て取れる。

図-2に示すように、平成22年12月3日洪水では浮子による流量観測が南小滝橋(10.4km)、田島橋(8.8km)の2か所で行われた。南小滝橋(10.4km)での観測による最大流量は145.8m³/s、田島橋(8.8km)では112.2m³/sである。二つの観測所の間では高田馬場分水路への流出があるため、南小滝橋(10.4km)よりも田島橋(8.8km)では観測流量が減少している。流量観測値は30分ごとに測られたものであるため、図-7、図-8に示した水位波形にあるように洪水流は短時間で急激に変化し、30分ごとの観測データでは実際の最大流量を捉えることは難しいと考えられる。また、水位観測点に比べ観測点が少ない、この情報からのみでは下水道幹線からどの程度の流入量があるのかについて十分把握することができない。

以下では、多地点で観測された水位の時系列データを用い、非定常平面二次元解析を実行し、流れ場を解くこ

とによって、神田川本川の流量ハイドログラフ及び各下水道幹線からの流入流量ハイドログラフを求める。

4. 下水道幹線から神田川への流入量の検討

(1) 解析方法

下水道幹線内は豪雨時、高速流で流れるため水位を観測することが困難であり、十分な水位データが得られない。そのため、本研究では、下水道幹線内の水理データは使用せず、神田川本川の水位時系列データを用い非定常平面二次元洪水解析法を適用することで、下水道幹線からの流入流量ハイドログラフを推算する。近年、内田ら⁹⁾、竹村ら⁷⁾はそれぞれ緩流河川と急流河川において、本川の観測水位時系列データを用い、水位データの不十分な支川からの流入量ハイドログラフの推定が可能であることを示している。本研究では、神田川本川において、下水道幹線ごとに吐口近辺の水位観測点を目標観測所と定め、それぞれ観測された各時間の水位観測値に解析水位が一致するように水面形を計算することにより、下水道幹線からの流入量ハイドログラフを求めた。

(2) 解析条件

前章で述べたように、対象区間では水位観測が10地点、流量観測が2地点で行われている。また、妙正寺川では、神田川本川に最も近い観測点として昭和橋(0.6km)で水位観測が行われている。上下流の境界条件として、神田

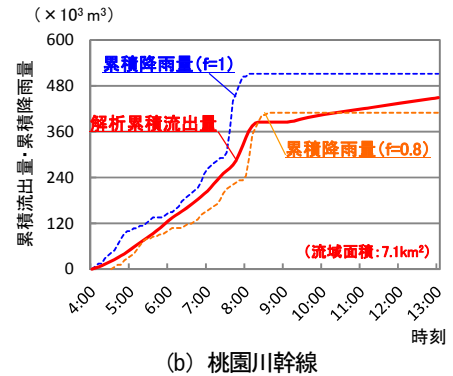
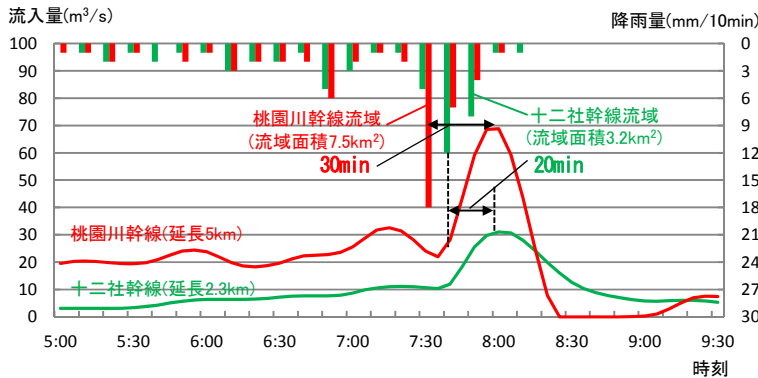
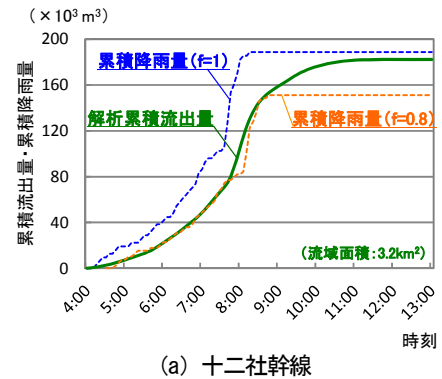
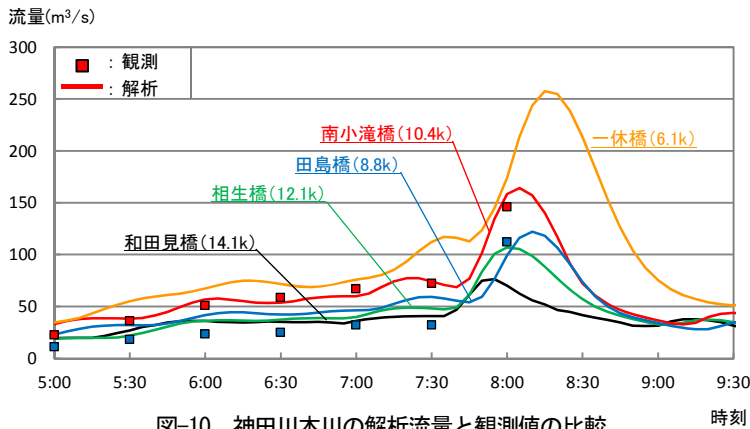


図-13 観測累積降雨量と解析累積流出量の比較

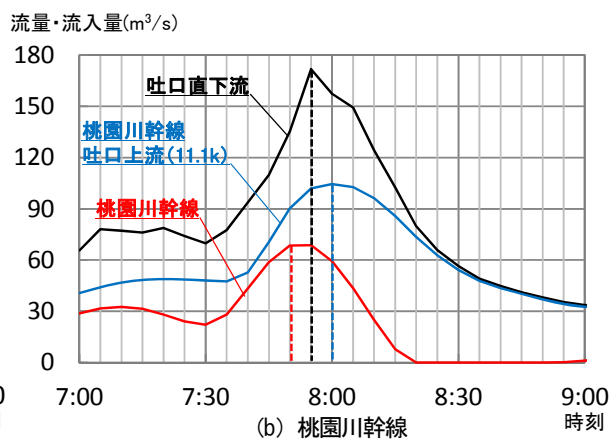
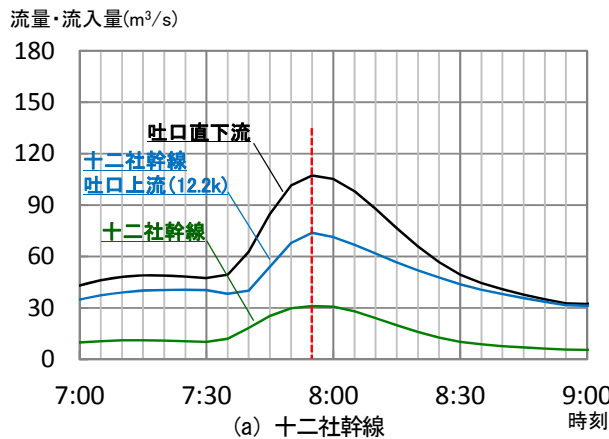


図-12 各下水道幹線からの流入流量とその近郊の本川流量の比較

川の上流端境界条件を和田見橋(14.1km)、下流端境界条件を一休橋(6.1km)の水位時系列観測値、妙正寺川は昭和橋(0.6km)の水位時系列観測値を上流端境界条件とする。各下水道幹線からの流入流量は、十二社幹線は吐口下流の相生橋(12.1km)、桃園川幹線は吐口下流の南小滝橋(10.4km)地点の各観測水位に解析水位が一致するように決定し求める。

(3) 解析結果

図-9(a)、(b)に平成22年12月3日洪水の上昇期の解析水面形と水位観測値の比較を示す。図-9(a)は上流部(10km～14.5km)、図-9(b)は下流部(6k～10.5km)を示している。図に示すように、神田川は急流河川であることや

落差工が存在するため、7.8km等で射流が発生している箇所がみられるが、解析結果は概ね観測値を再現できている。

観測水面形の時間変化を再現するように決定した粗度係数を図-9に示す。決定した粗度係数は、図-3(b)及び図-4(b)に示すように、中流域では河床に石が張り付いてあるため0.030と大きめの値となっている。また、妙正寺川の対象とした区間はコンクリート断面であり、神田川と比較して凹凸等が少ないため、0.012とした。水面形の時間変化を用いた本解析法では、粗度係数の値を河道の特性に応じた狭い幅の中で考えることができることから、下水道幹線からの非定常性の高い流入流量の影響が強く現れた本川水面形の時間変化を再現することで、

流入流量の適切な算出が可能である。

図-10には各観測点の解析流量ハイドログラフと、南小滝橋(10.4km)、田島橋(8.8km)での観測流量ハイドログラフの比較を示す。水位が低い時間帯では田島橋(8.8km)の解析流量は観測値よりやや大きめであるが、ピーク付近では南小滝橋(10.4km)、田島橋(8.8km)ともに解析値は観測値を概ね再現できている。このように、解析流量は観測流量を説明できているため、与えた粗度係数を用いて算定した下水道幹線からの流入流量ハイドログラフは妥当な値であると考えている。また、神田川本川の流量は上下流で大きく異なることが分かる。最大流量は上流の和田見橋(14.1km)で $80 \text{ m}^3/\text{s}$ であるのに対し、下流の一休橋(6.1km)では $260 \text{ m}^3/\text{s}$ まで増加する。これは、区間内に存在する複数の下水道幹線からの流入により、流下に伴い流量が大きく増加するためである。

図-11には解析により得られた桃園川幹線及び十二社幹線からの流入流量ハイドログラフと各流域での降雨分布の比較を示す。洪水ピーク時には桃園川幹線から約 $70 \text{ m}^3/\text{s}$ 、十二社幹線から約 $30 \text{ m}^3/\text{s}$ の流入があることが分かる。また、降雨ピークと流入ピークの時間差は桃園川幹線では約30分であるのに対し、十二社幹線では約20分となっている。これは、桃園川幹線は流路延長が約5km、流域面積が約 7.5 km^2 に対し、十二社幹線は流路延長約2.3km、流域面積約 3.2 km^2 と流域面積、流路延長ともに桃園川幹線と比べ小さいためである。

図-12(a)、(b)に各下水道幹線からの解析流入流量と吐口上下流の本川解析流量の比較を示す。図-12(a)には十二社幹線からの流入流量と、下水道幹線吐口上下流の本川流量を示す。洪水ピーク時、本川流量と十二社幹線からの流入流量の比は約5:2である。本洪水では、神田川の流量ピークと十二社幹線からの流入ピークがほぼ同時刻であるため、下流でのピーク流量も同時刻である。

図-12(b)には桃園川幹線からの流入流量と、下水道幹線吐口上下流の本川流量を示す。桃園川幹線の場合は、本川流量ピークと桃園川幹線からの流入ピークの時間に約10分の差がある。そのため、吐口下流での最大流量は、桃園川幹線からの流入ピーク時刻と吐口上流の本川ピーク時刻との間に表れている。吐口下流の流量ピーク時刻において、本川流量と桃園川幹線の流入流量の比は約3:2である。このことから、十二社幹線及び桃園川幹線から本川への流入流量の影響が大きいことが分かる。

図-13(a)、(b)には十二社幹線と桃園川幹線における対象洪水時の各流域の累積雨量と各幹線からの累積流出量の比較を示す。ここで、解析累積流出量は解析より得られた各下水道幹線からの流出量の時間積分値である。また、累積雨量は図-2に示した各流域の雨量観測所における観測雨量に流域面積と流出係数 f を乗じたものである。下水道計画では流出係数 f に0.8が用いられているため、 $f=1$ のケースと合わせて示している。図より、解析累積流出量は両幹線ともに、累積雨量の8割から10割

の間に示されており、下水道幹線からの解析累積流出量は概ね妥当な値であるといえる。

神田川にはここで対象とした規模の大きい十二社幹線、桃園川幹線以外に中小規模の下水道が多数流入しており、神田川の洪水波形の変形を引き起こしている。これらを見積もることにより、神田川地下調節池や河川沿い調節池の洪水調節に与える効果を評価し、適切な治水計画につなげるとともに、都市における下水道幹線の排水系統の検討や、水防災を考えたまちづくりのあり方の検討を進めることを考えている。

5. 結論

- 1) 直接観測が困難な豪雨時の大規模幹線下水道から神田川への流入流量ハイドログラフは、神田川に適切に配置された水位計により観測される水面形の時間変化を用い、求めることができる。具体的には、平成22年12月3日洪水を対象として、神田川本川で観測された水面形の時間変化を用いた非定常平面二次元洪水解析を行い、神田川の下水道幹線群からの流入流量ハイドログラフを明らかにした。求めた下水道幹線流入量の妥当性は、流域に降った雨の総流出量から確認された。
- 2) 洪水ピーク時の本川流量と下水道幹線からの流入流量は、十二社幹線では5:2、桃園川幹線では3:2であり、下水道幹線からの流入流量が本川に対し大きな影響を与えることを明らかにした。

参考文献

- 1) 谷岡 康，福岡捷二：都市中小河川・下水道の連携した治水計画—台地部既成市街地を対象として—，土木学会論文集，No.733/II-63，pp.21-35，2003。
- 2) 荒川水系神田川流域河川整備計画：東京都，2010。
- 3) 谷岡 康：都市中小河川流域における降雨と洪水流出の特性に関する研究，博士論文(広島大学)，1998。
- 4) 福岡捷二：洪水の水理と河道の設計法，森北出版，2005。
- 5) 安部友則，福岡捷二，塚本洋祐：破堤による氾濫流量ハイドログラフ計算法の構築と河川への適用方法の研究，土木学会論文集B，Vol.65，No.3，pp.166-178，2009。
- 6) 内田龍彦，濱邊竜一，福岡捷二：低平地河川におけるポンプ排水が洪水流に与える影響評価—水面形時系列観測データを用いた非定常二次元流解析の活用，水文・水資源学会誌，vol.25，No.4，pp.201-213，2012。
- 7) 竹村吉晴，福岡捷二：洪水流の流量と水位ハイドログラフの変形・伝播に及ぼす河道構造の影響—山間狭隘河道を対象として，土木学会論文集B1(水工学)，Vol.68，No.1，pp.35-54，2012。