

神田川流域における河川及び下水道施設による 豪雨排水・調節機構に関する研究

STUDY ON FLOOD CONTROL BY RIVER AND SEWERAGE FACILITIES AGAINST HEAVY RAINFALLS IN THE KANDA RIVER BASIN

宮崎 達文¹・福岡 捷二²・中井 隆亮³・神田 浩幸⁴
Tatsufumi MIYAZAKI, Shoji FUKUOKA, Takaaki NAKAI and Hiroyuki KANDA

¹正会員 東日本旅客鉄道株式会社 (〒151-0053 東京都渋谷区代々木2-2-2)

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正会員 東京都第三建設事務所工事第二課 (〒164-0001 東京都中野区中野4-8-1)

⁴非会員 東京都下水道局流域下水道本部技術部設計課 (〒190-0022 東京都立川市錦町1-7-26)

The Kanda River which flows through densely urbanized area has many flood-control facilities and sewerage systems. But sufficient understanding is not made how heavy rainfall waters move in the basin and flood-control facilities work during floods. However, it is difficult to observe moving waters of heavy rainfalls. In this paper, we conducted the two-dimensional analysis of flood flow using time series of observed water surface profiles in the Kanda River. As a result, the calculation model for 2013 flood provided good evaluation of inflow discharge hydrographs from sewerages and flood storage volume in the Loop Road No.7 Underground Regulating Reservoir and Wada Yayoi Trunk Sewer. It is found that flood storage volumes of sewer facilities depend on river water levels during a flood. To design a comprehensive drainage plan for urbanized areas, movement mechanism of heavy rainfall waters in drainage areas and appropriate integration of both river and sewers systems must be conducted.

Key Words : *urban river, flood flow, sewerage system, water drainage, Kanda River Basin, Wada Yayoi Trunk Sewer, observed water surface profiles*

1. 序論

近年、都市域では気候変動やヒートアイランド現象の進行により局所的な集中豪雨や台風性豪雨が多発している。人口や資産が集中する東京の中心部を流下する神田川には、複数の支川や複雑な下水道網から短時間に豪雨が河川へと集中するため、豪雨による都市型水害の危険性が高まっている。特に、河川を暗渠化した下水道幹線から河川へ多くの流入があり、本川洪水流況に大きな影響を与えることが知られている¹⁾。近年では、下水道氾濫の兆候を精度よく検知するために、水位計測機能を備えたセンサーのマンホール内への設置が始められている。しかし、水位計を広域へ設置することは困難であることや、豪雨時の下水道の流れは急激かつ複雑であり、流況を直接観測から明らかにすることは容易ではない。沼田ら²⁾は、神田川本川の観測水面形の時間変化を用いた非定常平面二次元洪水流解析により洪水時の本川水面形を再現するように下水道幹線や支川からの流入流量ハイド

ログラフを算出しており、豪雨流出に対する河川と下水道水位の密接な関係を示している。また、関根ら³⁾は、神田川流域を対象に複雑な下水道網をモデル化し、都市の浸水危険度の評価を行っている。

これまで神田川流域では、豪雨災害対策として河道改修や地下調節池、河道沿いの洪水調節池の整備等の河川整備と、豪雨時における下水道から河川への雨水流出量抑制のための雨水貯留管の整備等の下水道整備が行われてきた。これらの豪雨対策施設の整備後は浸水被害が減少している⁴⁾。しかし、神田川流域では河川と下水道施設は近接して存在しており、地表に到達した雨水は両施設を通じて移動するため、流域の豪雨対策施設の整備は、河川と下水道で一体的に行うことが望ましい。しかし現状は、両者の連携が必ずしも十分でないことや、下水道管内の水流の直接観測が容易でないことから、豪雨時の雨水の時空間的な移動実態が十分把握出来ておらず、どの施設がどのような効果を発揮しているか、各施設の役割と施設間の相互関係は十分明らかになっていない。沼田ら⁵⁾は、神田川本川上流域の12.5 km～16.4kmの区間で

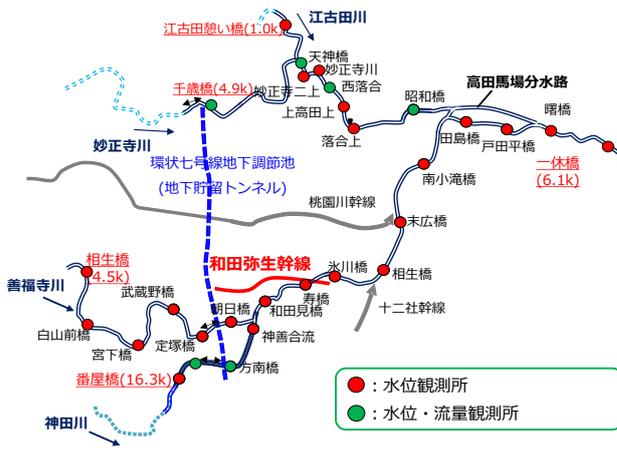


図-1 神田川対象区間

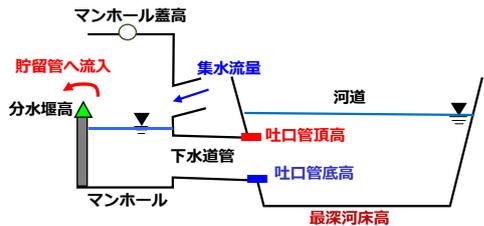


図-3 地下貯留管へ繋がるマンホールの模式図

平成16年10月洪水時の時空間観測水位を用いた平面二次元洪水解析と観測降雨量分布を用い、河川調節池と雨水貯留管への流入流量の推算を行い、河川水位と下水道水位の複雑な関連性を示した。しかし、近年の頻発する都市の豪雨災害に対応するためには、河川と下水道による雨水排水と洪水調節施設の調節量を一体的に把握し、雨水の移動形態を明らかにすることが必要である。

本論文では、神田川本川と善福寺川、妙正寺川、江古田川の各支川を含んだ複雑な河道システムを有する神田川流域の河道と下水道を一体的に表現できる数値解析モデルを構築する。これを用い、河道流量、観測が困難な下水道幹線から河道への流入流量、河川及び下水道豪雨対策施設の調節量を見積もり、神田川流域における豪雨の移動・調節機構を明らかにすることを目的とする。

2. 検討対象区間の概要

(1) 対象区間における河川・下水道豪雨対策施設

本研究では、図-1に示す神田川6.0～16.5km、善福寺川0.0～4.7km、妙正寺川0.0～5.2km、江古田川0.0～1.5kmの神田川流域のおよそ6割の区間を対象に検討する。この区間では、河川豪雨対策施設として、環状七号線地下調節池(以下、環七地下調節池)と、善福寺川と妙正寺川、江古田川に8つの調節池が設置されている。豪雨時、環七地下調節池(最大貯留量約54万 m^3)は神田川・善福寺川・妙正寺川の河道沿いに設けられた固定堰と、調節池内の可動堰のゲート操作により取水量を調節している。

また、図-2に示すように、環七地下調節池の近傍の地



図-2 和田弥生幹線流域図

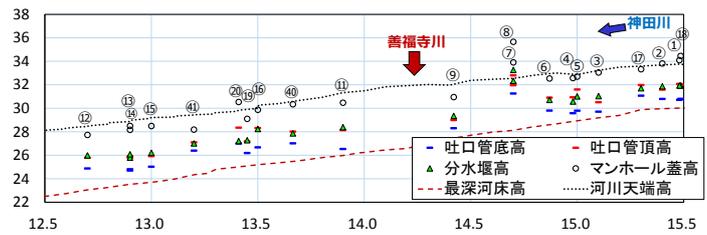


図-4 神田川の河道に面する下水道吐口及び分水堰の高さ

下には、最大総貯留量約15万 m^3 (各集水管を含む)の巨大な地下雨水貯留管である下水道和田弥生幹線が設置されている。図-2の丸で示す地点には、下水道和田弥生幹線へと繋がり、河道に吐口を持つマンホールが設置されている。図-3にこのマンホールの模式図を示す。マンホール内部には、下水道網により集められてきた雨水を、河道と地下貯留管へ分ける分水堰があり、豪雨時にマンホール内の水位が分水堰高を超えることで地下貯留管へと流入する。図-4は各マンホールの分水堰高と河道における下水道吐口(以下、吐口)の高さ、図-3は図-4に用いられている記号の凡例を示す。各高さは、東京都下水道局下水道台帳と特殊人孔(マンホール)構造図から作成している。河床に対する各吐口及び分水堰の高さはマンホールごとに異なり、各マンホールから貯留管への流入流量はこれまで把握出来ていない。

本検討では神田川流域のこれらの河川と下水道の豪雨対策施設の機能と相互の連携について論じる。また、環七地下調節池取水口より下流には、河川を暗渠化した大規模下水道幹線である十二社幹線と桃園川幹線があり、これらの幹線より雨水が神田川本川に流入する。さらに下流で神田川は高田馬場分水路に分流し、妙正寺川と合流後に再び本川と合流する。本検討では、このような調節池による取水や支川及び幹線からの流入、分水路による分合流など複雑な河道システムを有する神田川の洪水流況を再現出来るモデルを構築する。

(2) 対象洪水と観測体制

対象洪水は平成25年10月15～16日の台風26号洪水である。本洪水時には、神田川と善福寺川の両取水口から環

七地下調節池へ約3時間にわたり取水が行われ、また妙正寺川から上高田調節池への取水が行われた。和田弥生幹線流域では、図-2に示す全ての区域のマンホール・管路が運用され、それらのマンホール(神田川21個、善福寺川9個)のうち、図-2の緑色の丸で示す5個(神田川4個、善福寺川1個)のマンホール内で水位と流速の観測が行われた。一方、河道では、図-1に示すように神田川流域全体で縦断的に密に水位観測が行われ、流量観測は、神田川では環七地下調節池取水口上下流で、妙正寺川では江古田川合流前の千歳橋(4.9km)と江古田川合流後の天神橋(3.1km)、西落合橋(2.4km)、昭和橋(0.6km)で行われた。

3. 解析方法及び解析条件

(1) 洪水解析方法及境界条件

本検討では、神田川本川及び支川で観測された水面形の時間変化を用いて図-1に示す河道内を非定常平面二次元洪水解析法⁹⁾により計算した。計算格子は、おおよそ1~5mの幅で作成している。

解析の境界条件として神田川では上流を番屋橋(16.3km)、下流を一休橋(6.1km)、善福寺川では上流を相生橋(4.5km)、妙正寺川では上流を千歳橋(4.9km)、江古田川では上流を江古田憩い橋(1.0km)の水位観測値をそれぞれ用いた。下水道幹線からの流出量は、中小河川の流出形態に大きく影響しているが、豪雨時の下水道幹線内の流れは速く、水位等の直接観測が困難である。本検討では、十二社幹線と桃園川幹線から神田川への流入流量は、各下水道幹線吐口の下流側にある神田川本川の観測水位に解析水位が一致するように算定している⁴⁾。また、河川沿いの各調節池の取水量は、越流堰を含む調節池取水口付近の地形を取り込み、河川と調節池を一体的に解くことで取水口付近の流況を再現し、各調節池の取水量を算定した。また、環七地下調節池への流入量は、洪水時の可動堰の操作記録を用いて、取水解析より算定した。

(2) 和田弥生幹線への取水量推算の検討方法

図-5に本検討で用いるモデルの模式図と計算式を示す。貯留管和田弥生幹線への取水計算⁹⁾には、洪水解析で求められる河道吐口前面の解析水位と流域の観測降雨量を用いて行う。下水道から河川への流入流出量を吐口前面の河道水位に考慮することで、河川と下水道を一体的に計算し、各マンホールから貯留管への取水量を算定している。河川とマンホール間の管内流速 v_s (マンホールから河道への流出の場合にはマイナスとなる)は、河川水位とマンホールの水位が、各吐口の管頂高以上の場合には管路流れとして一般化されたベルヌーイの式を用い、各吐口の管頂高より低い場合には開水路流れとしてマニ

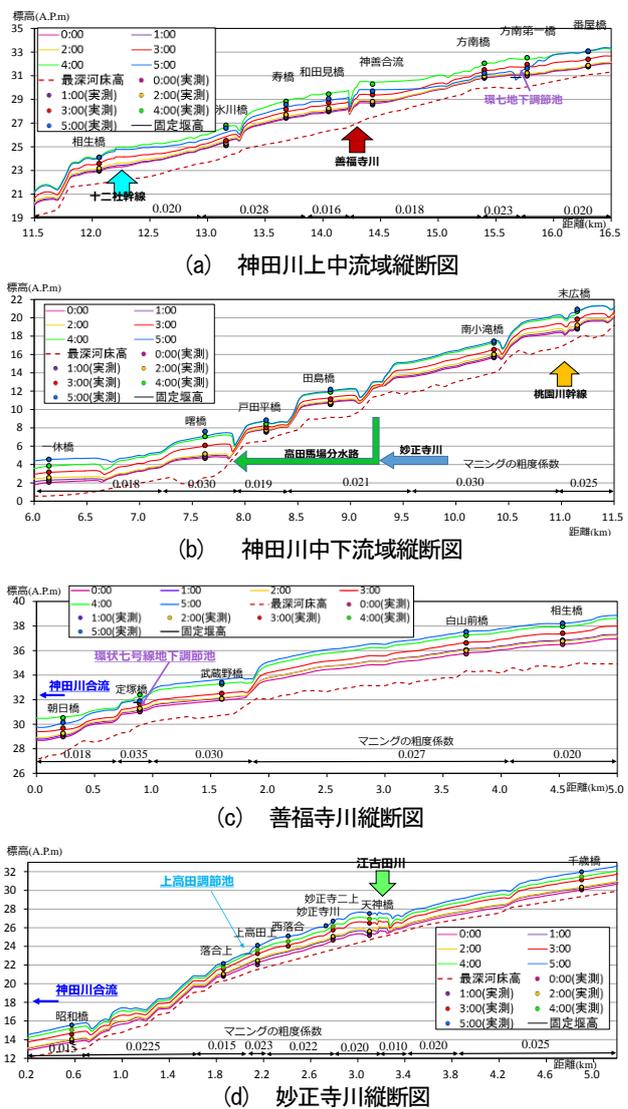
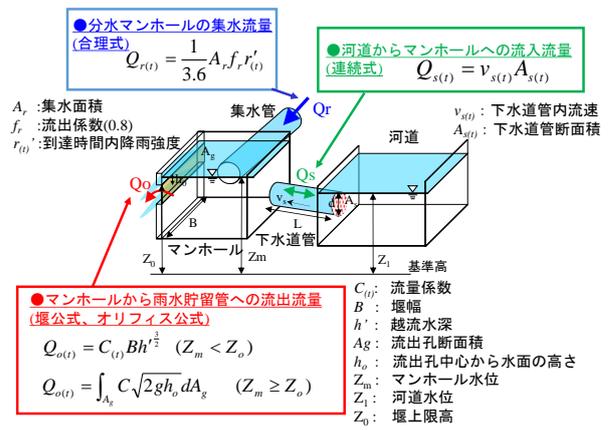


図-6 平成25年10月洪水観測水位と解析水面形 (上昇期)

ング式を用い、流入流出量 Q_s は連続式により求めている。また、図-2に示す和田弥生幹線へと繋がるマンホールの集水域は東京都の下水道台帳のデータに基づき設定し、集水域内に降った雨水が図-2に示すマンホールへ集まる

とし、合理式により集水流量 Q_c を計算している。貯留管への流入流量 Q_0 の計算には、マンホール内の水位に応じて、堰の公式とオリフィス公式を用いている。マンホール内の水位 Z_m は、算出した各流量の総和をマンホールの底面積で除することで算定する。

4. 解析結果

(1) 河川洪水流と各洪水調節池の洪水調節量の算定

図-6(a), (b), (c), (d)は平成25年10月の神田川流域の各河川の洪水上昇期の水位観測値と解析水面形を示す。本検討では、河道断面形や河床粗度要素の縦断変化、河床の段差等洪水流に及ぼす河道の抵抗変化を粗度係数の

変化で考慮しており、河道内の観測水位の時空間変化を適切に再現している。出水規模が異なる神田川洪水についても、本検討の粗度係数に近い粗度係数値²⁵⁾を示している。神田川本川では図-6(a), (b)に示すように、4:00~5:00の間で環七地下調節池への取水により水位低下と、その下流で流入する善福寺川や十二社幹線・桃園川幹線の合流により再び水位が逆転する現象が再現されるなど、解析値は観測水面形を良く説明している。さらに下流では高田馬場分水路による分流や、妙正寺川合流後の高田馬場分水路の合流による神田川の水位上昇が解析結果に表れている。図-6(c)に善福寺川の解析結果を示しており、こちらも環七地下調節池の取水による水位低下を再現するなど、解析値は観測水面形を良好に再現出来ている。図-6(d)に示す妙正寺川では、急勾配である江古田川からの合流や、上高田調節池による取水を再現出来る

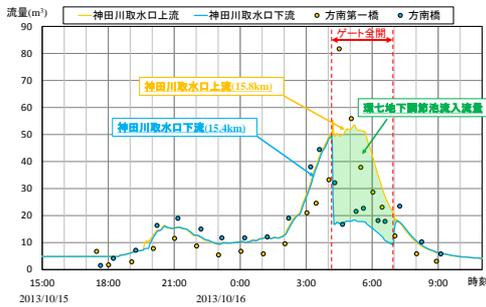


図-7 神田川本川の観測流量と解析流量ハイドログラフ

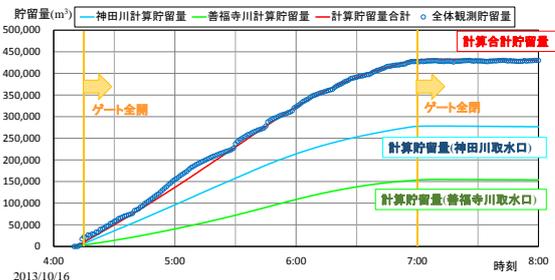


図-8 環状七号線地下調節池の観測貯留量と解析貯留量

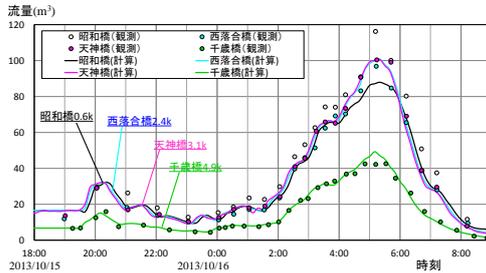


図-9 妙正寺川の観測流量と解析流量ハイドログラフ

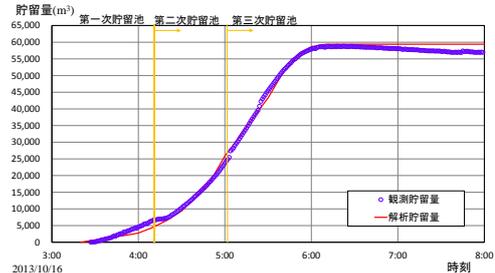
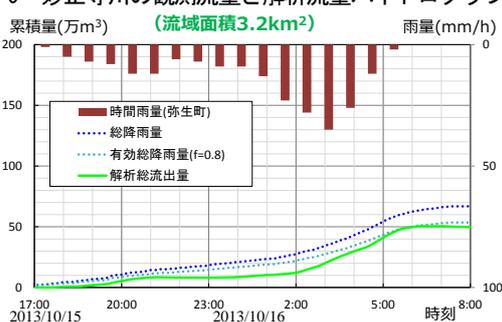
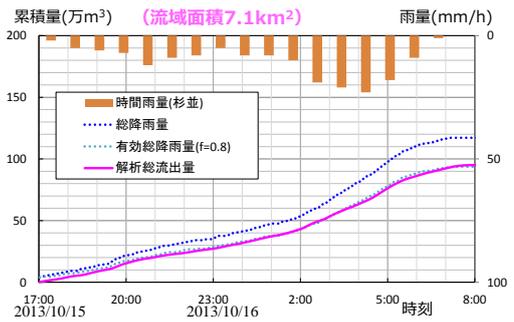


図-10 上高田調節池の観測貯留量と解析貯留量

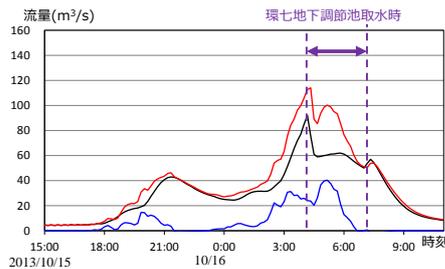


(a) 十二社幹線

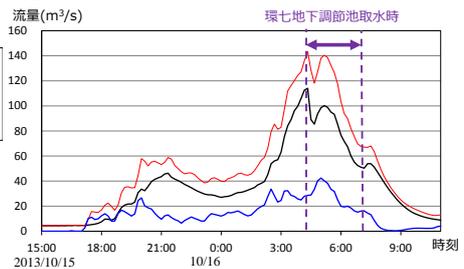


(b) 桃園川幹線

図-11 十二社幹線・桃園川幹線からの解析総流出量と有効総降雨雨量



(a) 十二社幹線



(b) 桃園川幹線

図-12 十二社幹線・桃園川幹線からの流入流量と合流前後の本川流量ハイドログラフ

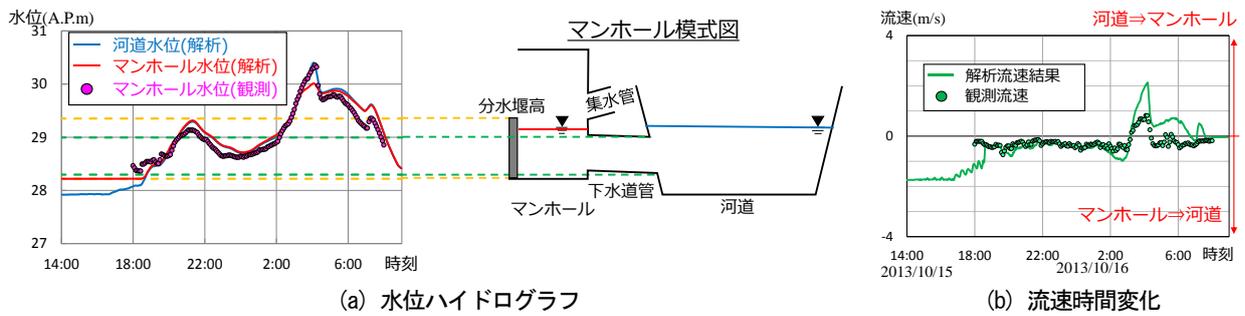


図-13 マンホール⑨での解析結果と観測値

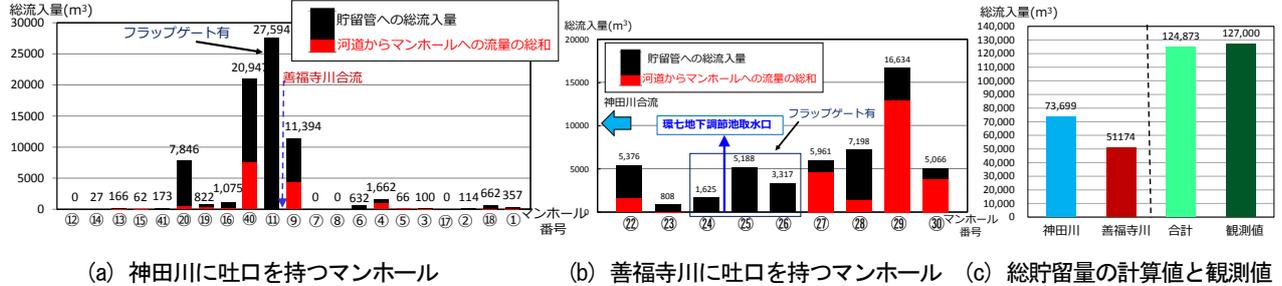


図-14 和田弥生幹線への総流入量と河道から各マンホールへの総流入量

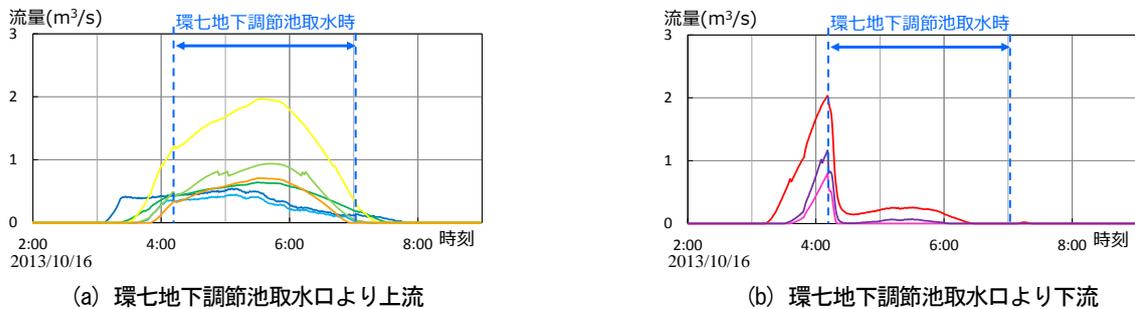


図-15 善福寺川に吐口を持つマンホールから和田弥生幹線への流入流量ハイドログラフ

など、江古田川合流後の観測水位を解析水面形が良好に再現出来ている。

図-7に神田川本川における環七地下調節池取水口上下流の流量観測値と解析流量ハイドログラフの比較を示す。環七地下調節池への取水開始前の時間から、取水口上下流の観測値の間に差が見られる⁷⁾。しかし、解析値は合流前後の観測値の間に入っており、概ね再現出来ていると考えられる。また、取水口下流の方南橋(15.4km)での解析流量は取水時間内で大きく減少しており、環七地下調節池(15.7km)による取水の効果が表れている。図-8に神田川と善福寺川取水口から環七地下調節池への流入量解析と観測の総貯留量を比較して示す。解析総貯留量は、観測総貯留量の時間変化を良く再現している。本洪水では環七地下調節池の容量54万m³のうち、約8割にあたる量が貯留され、神田川取水口と善福寺川取水口からおおよそ3:2の割合で流入があったことが解析結果から推算される。図-9に妙正寺川各地点の流量観測値と解析流量ハイドログラフを示す。解析は各地点での観測流量ハイドログラフを再現出来ている。妙正寺川では、江古田川合流後の天神橋(3.1km)でピーク流量が千歳橋(4.9km)よりも大きく増大している。図-10に上高田調節池の解析と観測の総貯留量の比較を示す。解析結果は観測の総貯留

量をよく再現している。上高田調節池は、環七地下調節池への取水開始時間より早い時間から取水を開始しており、容量160,000 m³のおよそ4割にあたる量の貯留により、取水口下流側の流量低減に効果があったと推定される。

(2) 大規模下水道幹線から河川への流入流量と本川流量ハイドログラフに及ぼす影響結果

図-11(a), (b)に十二社幹線と桃園川幹線から神田川への解析総流出量を有効総降雨量との関係で示す。10月15日21時~16日2時の時間帯には十二社幹線からの流出量が少なく、観測総降雨量の8割より小さい解析総流出量を示している。しかし、両幹線が解析総流出量は観測総降雨量のおよそ8~10割の間に示されており、解析から求めた下水道幹線からの総流出量は概ね妥当な値であると判断出来る。図-12には十二社幹線と桃園川幹線からの流入流量ハイドログラフと幹線下水道合流前後の水位観測点での本川解析流量ハイドログラフの関係を示す。環七地下調節池取水時間帯に地下調節池の3.5km, 4.5km下流で流入する十二社幹線、桃園川幹線から多くの流入量がある。このことは、環七地下調節池は神田川下流の流量を大きく減少させることにより、神田川治水に効果的に機能したことが分かる。

(3) 和田弥生幹線への流入流量ハイドログラフの推算

図-13(a), (b)にH25年10月洪水時に水位と流速の観測が行われたマンホール⑨(図-2)での水位と流速の計算結果の比較を示す。マンホール内の解析水位ハイドログラフは観測水位を概ね再現している。また、流速の解析結果は観測値で見られる流れの向きの変化を捉えるなど説明出来ている。水位・流速観測が行われた他のマンホールも同様に解析結果が観測値を再現出来た。また、図-13(a), (b)からマンホール内の水位が分水堰高に達する前は、河川水位とマンホール水位はほぼ一致し、流れはマンホールから河道に向いていることが分かる。一方、マンホール内の水位が分水堰高に達すると地下貯留管への流入が開始するため、河川水位よりも低くなり、流れも河道からマンホールへと変化し、地下貯留管への流入を助長する。図-14(a), (b)の黒色でマンホールから地下貯留管への総流入量、赤色で河道からマンホールへの流入量の総和を示す。マンホールの番号は図-2、図-4と一致させている。図-14(a)に示す神田川に吐口がある善福寺川合流部付近のマンホール⑨、⑩は、善福寺川合流により河道水位が高くなるため河道からマンホールへの流入量が多く、貯留管への流入量も多い。図-14(b)に示す善福寺川に吐口を持つマンホールのうち、環七地下調節池取水口より上流に吐口を持つマンホール(⑮～⑳)では、河道水位が高いことから河道からマンホールへの流入量が多く、貯留管への流入量も多い。図-14(c)に本洪水での総貯留量の計算値と観測値を示す。本洪水では容量150,000m³のうち約8割の127,000m³の調節量があり、計算値は観測値を概ね再現している。解析結果は、マンホール内の観測水位や流速をほぼ説明出来ていることや、全体の貯留量も再現していることから妥当な解析値であるといえる。図-15(a), (b)に善福寺川に吐口を持つマンホールから地下貯留管への流入流量ハイドログラフを示す。図-15(a)に示すように、環七地下調節池取水口より上流側に吐口を持つマンホールは、環七地下調節池取水開始時間より前から地下貯留管へ流入し始め、環七地下調節池取水中も、流入流量は増加し続けている。しかし、図-15(b)に示す取水口より下流側のマンホールからの流入流量は、環七地下調節池の取水時間帯に急激に減少している。このことから、各マンホールから下水道貯留管への流入量は河川水位との関係性が高く、河川沿いの調節池による取水の影響を強く受けていることが分かる。対象豪雨の最大時間降雨量は40mmと計画の時間降雨量50mmに対しては弱い豪雨であったが、河川と下水道の両施設に、最大貯留量の8割の流入があり、両施設は適切に調節出来ていたことが明らかである。しかし、更に規模の大きい豪雨が発生した場合には、両施設が適切に機能するかは分からない。各マンホールの堰高と環七地下調節池のゲート開放時間を一体的に考えるなど、河川と下水道施設の適切な連携を図り、効率的な豪雨対策を行っていく必要がある。

5. 結論

本研究では、平成25年10月洪水を対象として、神田川流域における下水道幹線からの流入流量や河川及び下水道豪雨対策施設の調節量について検討を行った。以下に主要な結論を示す。

- 1) 本検討では神田川流域における本川・支川の観測水面形を再現した洪水流解析と、河川と下水道貯留管へ繋がるマンホールの計算を一体的に行う事で、下水道幹線から河川への流入流量、マンホールと河道間の流出入流量、河川及び下水道豪雨対策施設の調節量の推算が可能であることを示した。
- 2) 下水道幹線から河川への流入や、河川から洪水調節池への流入は本川水位・流量ハイドログラフの変形に大きな影響を与えている。観測水面形を用いた解析は複雑な河道システムの洪水水理現象を適切に説明出来ることを示した。
- 3) 環七地下調節池の取水時には取水口下流側のマンホールから和田弥生幹線への流入量が減少すること等から、マンホールから貯留管への流入量には河川水位が強く関係し、河川水位及び河川沿いの調節池による取水の影響を受けている。流域の豪雨災害軽減のためには、河川と下水道が適切な連携計画の下に流域の豪雨排水を行うことが重要であることを示した。

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) 沼田麻未，福岡捷二，入澤昭芳：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，土木学会論文集 B1(水工学)，Vol69，No.4，I_799-I_804，2013.2。
- 3) 関根正人，浅井晃一：神田川流域を対象とした豪雨による浸水・氾濫に関する数値予測，土木学会論文集 B1(水工学)，Vol.71，No.4，I_1429-1434，2015。
- 4) 東京都建設局河川部ホームページ，過去の災害記録。
- 5) 沼田麻未，福岡捷二，持田智彦，中井 隆亮：神田川流域における河川及び下水道施設による台風性豪雨の排水機構と相互の関係に関する研究，河川技術論文集，第 20 巻，pp.431-436，2014。
- 6) 福岡捷二：洪水の水理と河道の設計法，森北出版，2005。
- 7) 小作好明，大澤健二：平成 25 年の河川流量観測について，東京都土木技術支援・人材育成センター平成 26 年度年報，pp.243-246，2014。

(2016. 4. 4受付)