

神田川流域の洪水流出過程と河川及び下水道施設の連携による豪雨排水の必要性 Storm-waterrunoffprocessoftheriverandseweragefacilities intheKandaRiverBasin andtheimportanceoftheircollaborationasadrainagesystem

土木工学専攻 30号 沼田 麻未

Asami NUMATA

1. はじめに

東京の中心部を流域とする神田川は、流域の都市化とともに図-1のように下水道網が整備され、豪雨が河道及び下水道幹線を通じ短時間で河川へ到達するようになった¹⁾。特に、河川を暗渠化した大規模下水道幹線からの流入は本川洪水流に大きな影響を与えることが考えられる。しかし、豪雨時の下水道管内の流れは急激かつ複雑であり直接観測を行うことが難しいため、流域での下水道から河川への流入流量ハイドログラフを把握できていない。東京都は神田川流域における近年の豪雨への対策として、河川及び下水道施設の整備を行ってきた。具体的には、河川整備として、河道整備、分水路の設置、河道沿い調節池群及び環状七号線地下調節池の整備等が行われた。一方で下水道整備では、豪雨時の下水道から河川への雨水流出量抑制を目的とした雨水貯留管の整備や、河道に面する雨水吐口の断面積縮小等が行われている。このように、神田川流域は複雑な下水道網と複数の豪雨対策施設を有している。豪雨時、地表に到達した雨水は河川施設と下水道施設を通じて移動するため、流域の排水・貯留施設の整備は排水系としての河川と下水道を総合的に捉えて行うことが望ましい。しかし、都市河川の整備は河川と下水道で独立して行われていることが多い。そのため、豪雨時の下水道幹線から河道への雨水流入形態や、河川水位と下水道水位の相互関係から定まる雨水の移動実態が十分に分かっていない。

本研究では河道内の観測水位の時間変化を用い、下水道幹線から河川への流入流量ハイドログラフ、河川及び下水道豪雨対策施設の調節量を見積もり、神田川流域の洪水流出過程と雨水排水機構を明らかにし、これを用いた両施設の連携のあり方について論じる。

2. 神田川の洪水流と大規模下水道幹線から河道への流入流量ハイドログラフの推算

(1) 対象区間と対象洪水

第2章では対象区間を図-2に示す神田川6.0km～14.1kmとし、この区間では河川を暗渠化した下水道である十二社幹線(12.2km)と桃園川幹線(11.1km)が神田川へ流入する。河道に面する吐口は幅3～5m、高さ5～7mであり、吐口の管長高が河床に対して高く設置してあるため、洪水中も河道に両幹線からの流入があると考えられる。対象区間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。

対象洪水は平成22年12月3日の集中豪雨とする。水位は図-2に示すように対象区間内で密に観測されていた。洪水時には田島橋(8.8km)と南小滝橋(10.4km)で流量が観測されており、これらと比較し解析結果を検証する。

(2) 検討方法

解析は、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法を用いる。本解析の境界条件として、神田川の上流境界を和田見橋(14.1km)、下流境界を一休橋(6.1km)の水位時系列観測値とした。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。近年、内田ら²⁾は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。本研究では下水道幹線内の水理データは使用せず、解析値が神田川本川の観測水面形の時間変化を再現できるように、下水道幹線からの流入流量ハイドログラフを推算した。

(3) 解析結果

図-3(a)、(b)に平成22年12月3日洪水上昇期の解析水面形と水位観測値の比較を示す。神田川は急流河川であることや落差工の存在のため射流が発生している箇所がみられるが、概ね解析結果は観測値を再現している。

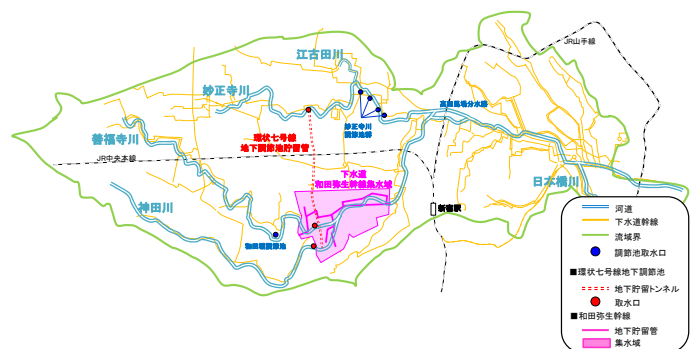


図-1 神田川流域の主要な下水道網と洪水調節施設

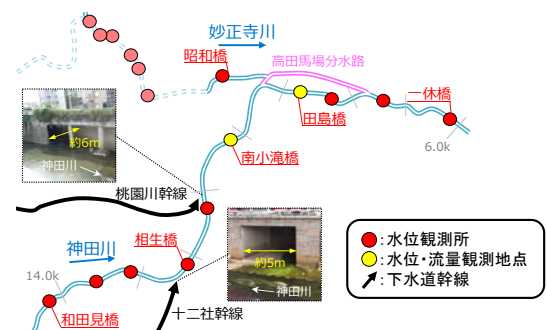


図-2 H22年洪水検討対象区間

図-4には各観測点の解析流量ハイドログラフと、南小滝橋、田島橋、相生橋、末広橋、和田見橋での観測流量値の比較を示す。ピーク付近では田島橋、南小滝橋ともに解析値は観測値を概ね再現できている。解析流量は観測流量を説明しているため、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。本川最大流量は上流の和田見橋が $80 \text{ m}^3/\text{s}$ である一方、下流の一休橋では $260 \text{ m}^3/\text{s}$ に増加する。これは、区間内の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-5には桃園川幹線及び十二社幹線からの解析流入流量ハイドログラフと各流域での降雨分布を示す。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。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 分である。このことは、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-6(a)、(b)には対象洪水時における十二社幹線と桃園川幹線の各集水域の降雨量から求めた観測累積雨量と解析累積流出量の比較を示す。解析累積流出量は両幹線ともに、観測累積雨量の 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累積流出量は概ね妥当な値であるといえる。

3. 神田川流域の排水施設の洪水調節機能の検討

(1) 神田川流域の豪雨排水施設

本章では、図-7に示す神田川 12.5km から 16.4km を対象に流域の豪雨排水施設の洪水調節機能について検討する。対象区間には環七地下調節池取水口(堰長: 63m)が設置されている。環七地下調節池は神田川と 2 支川の地下を横断するように地下貯留トンネルが設置され、三川それぞれの河道沿いに取水口が設けられている。洪水時には基準地点の河道水位に基づきゲートの開閉が行われ、最大で約 54 万 m^3 の貯留が可能である。また、この区間には下水道雨水対策管として、神田川と善福寺川の合流部付近の地下に下水道和田弥生幹線が設置されている。和田弥生幹線は最大貯留量約 15 万 m^3 の巨大な地下雨水貯留管である。河道へ接続する人孔内に貯留管への分水堰が設置されており、豪雨時には人孔内の水位が上昇することで雨水が分水堰を超えて貯留管へ流入する。図-8に河道内の下水道吐口(以下、吐口)と各分水人孔内の分水堰の高さを示す。このように河床に対し吐口及び分水堰の標高は人孔ごとに多様であり、豪雨時の雨水の移動方向は明らかでないのが現状である。

(2) 対象洪水

対象洪水は環七地下調節池において神田川取水口からのみ取水された平成 16 年 10 月洪水とする。洪水時には図-7に示すように縦断的に密に水位が観測され、寿橋(13.7km)では浮子による流量観測が行われている。本洪

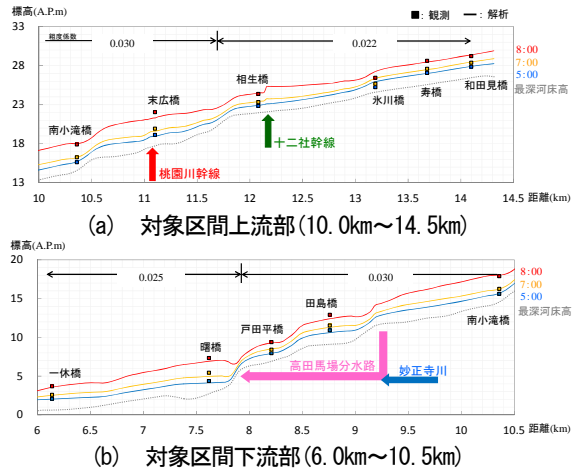


図-3 洪水上昇期の観測水面形と解析水面形の比較 (H2)

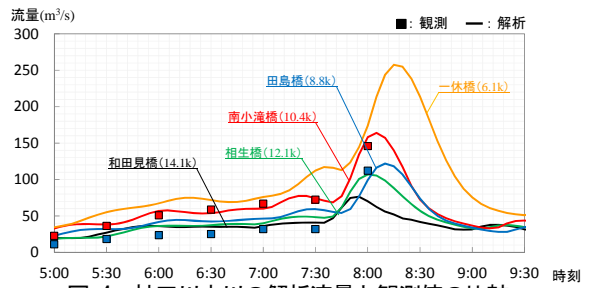


図-4 神田川本川の解析流量と観測値の比較

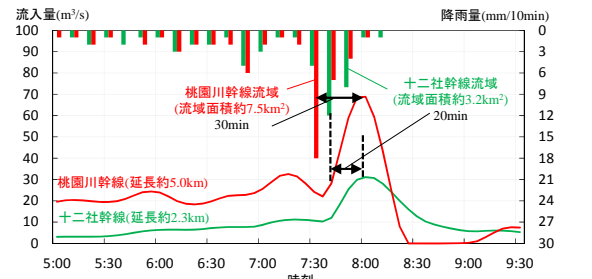


図-5 各下水道幹線からの解析流入量と各流域での降雨分布

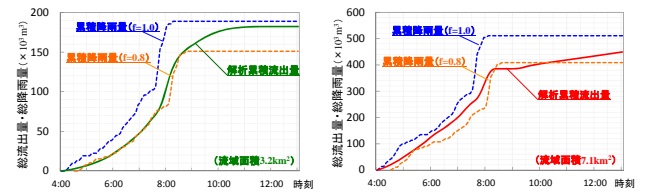


図-6 観測累積降雨量と解析累積流出量の比較

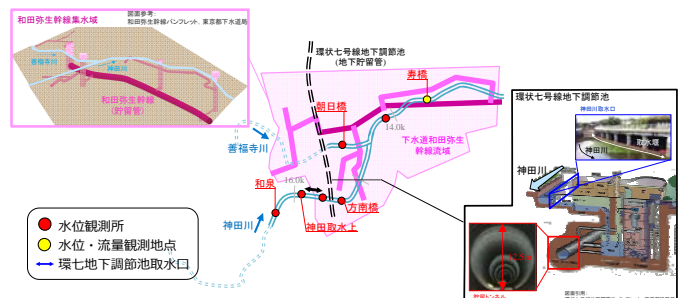


図-7 H16年洪水検討対象区間と豪雨排水施設

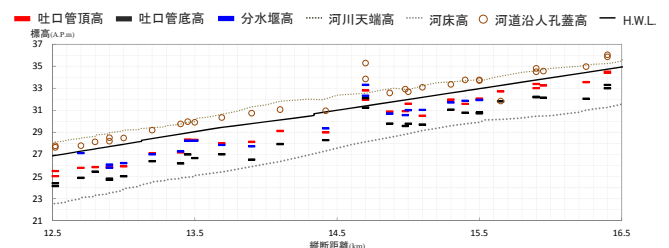


図-8 神田川の河道に面する下水道吐口及び分水堰の高さ

水は二山の洪水であり、二回目のピーク時である 17 時 30 分からの約 3 時間にわたり環七地下調節池への取水が行われた。また、本川における環七地下調節池取水口上下流での流量観測から調節池取水量が算出されている。

(3) 神田川洪水流と環七地下調節池の洪水調節量の算定

第 2 章と同様に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法を用いる。図-7 に示す神田川の上流境界を和泉(16.4km), 下流境界を寿橋(13.7km)の水位時系列観測値とした。善福寺川は本川の解析水面形が観測水面形と一致するように流入流量を調節した。また、越流堰を含む環七地下調節池取水口付近の地形を取り込み、河道と一体的に解析を行うことで取水口付近の流れを再現し、調節池の取水量を算定した。

図-9 に平成 16 年 10 月洪水上昇期の水位観測値と解析水面形を示す。解析値は観測値を概ね再現している。取水開始直後の激しい流れや、取水の影響を受けた堰上流部では解析値と観測値が一致していない点があるが、取水口下流部は概ね再現している。図-10 に神田川の各水位観測点での解析流量ハイドログラフ、本川流量観測値及び高井戸雨量観測所で観測された降雨分布を示す。寿橋での解析値はピーク付近において観測値よりも低い値を示しており、善福寺川からの流入流量算定の精度向上には検討方法の見直しが必要である。一方、環七地下調節池取水口下流の方南橋(15.4km)では解析値は観測値を概ね再現している。方南橋での解析流量は取水時間内で大きく減少しており、環七地下調節池による取水の効果が表れている。図-11 に環七地下調節池の解析と観測の累積貯留量を示す。解析値は観測貯留量よりはやや低めであるが、神田川本川の取水口上下流での流量観測から算出された累積取水量との間に示されており、概ね再現できたと考えられる。対象洪水での総貯留量は実測約 22 万 m³ に対し、解析約 21 万 m³ となった。環七地下調節池の観測貯留量は複雑な構造を有する地下貯留トンネル内の水位観測から算定されている。その影響は取水初期の観測値にも表れており、貯留量の観測精度にも課題があると考えられる。

(4) 和田弥生幹線への流入流量ハイドログラフの推算

対象洪水時は和田弥生幹線の一部が工事中であったため、図-12 に示す集水管及び分水人孔が完成していた区域内の人孔を対象に検討を行う。図-13 に検討に用いるモデルの模式図を示す。本研究では、本章(3)で求めた下水道吐口地点の河道水位ハイドログラフと流域の降雨量を境界条件とし、分水人孔内の水位を算出する。河川と人孔間を流れる流量を Q_s (正:河道から人孔への流入, 負:人孔から河道への流出), 各分水人孔の集水域内に降った雨量から求めた集水流量を Q_r , 貯留管への分水堰の流入流量を Q_o とし、それぞれ式(1) 連続式,(2) 合成合理式,(3) 堰の公式で表す。

貯留管への流入量は、人孔内水位が流出孔上端を超えた

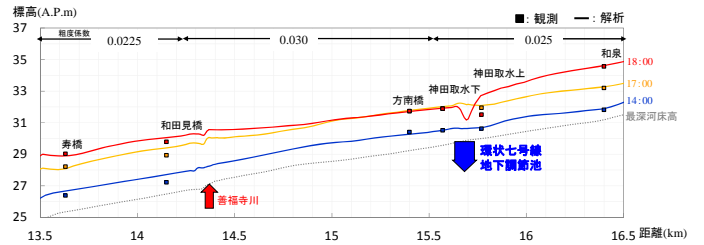


図-9 洪水上昇期の観測水面形と解析水面形の比較 (H16)

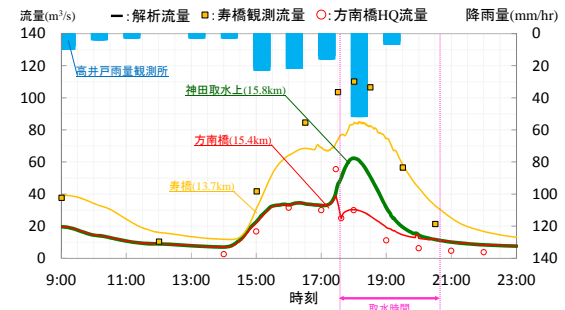


図-10 本川の解析及び観測流量ハイドログラフと降雨分布の比較

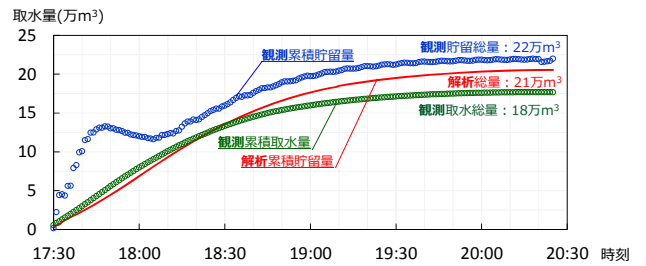


図-11 環状七号線地下調節池の観測累積貯留量と解析累積貯留量

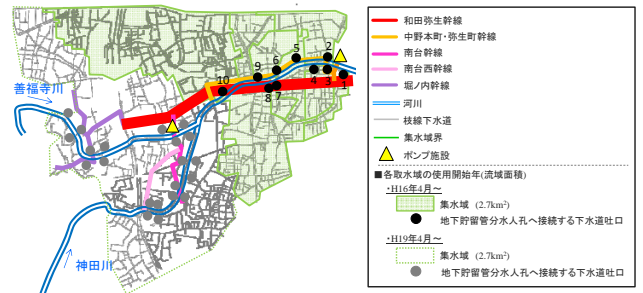


図-12 和田弥生幹線の集水域

$$Q_{s(t)} = v_{s(t)} A_s \quad (1)$$

$$Q_{r(t)} = \frac{1}{3.6} A_r f_r r'_t \quad (2)$$

$$Q_{o(t)} = C_{(t)} B h'^{\frac{3}{2}} \quad (Z_m < Z_o) \quad (3)$$

場合に(4)オリフィス公式を用いる。

$$Q_{o(t)} = \int_{A_g} C \sqrt{2gh_o} dA_g \quad (Z_m \geq Z_o) \quad (4)$$

各分水人孔の集水域は下水道台帳³⁾を参考に図-12 のように設定した。算出した各流量を(5)式のように分水人孔

$$Z_{m(t+\Delta t)} = Z_{m(t)} + \frac{(Q_{s(t)} - Q_{o(t)} + Q_{r(t)}) \Delta t}{A_m} \quad (5)$$

の底面積で除することで、分水人孔内の水位 Z_m を概算する。ここで、検討に用いた諸元は、 v_s : 下水道管内流速, A_s : 下水道管断面積, A_r : 集水面積, f_r : 流出係数(0.8), r'_t : 到達時間内降雨強度, C : 流量係数, B : 堰幅, h' : 越流水深, A_g : 流出孔断面積, h_o : 流出孔の中心から人孔内水面までの高さである。人孔は他の人孔と汚水管で

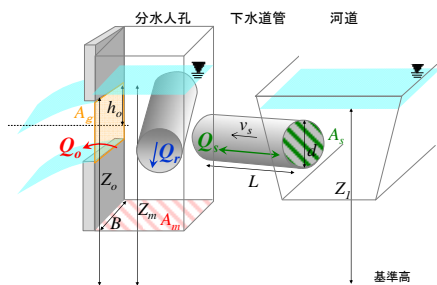


図-13 河道と分水人孔の模式図

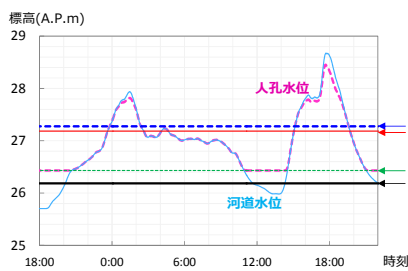


図-14 神田川の観測水位と分水人孔内の計算水位

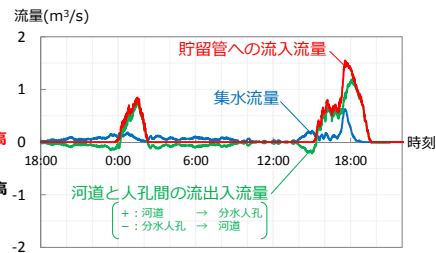


図-15 分水人孔内の計算流入流出量

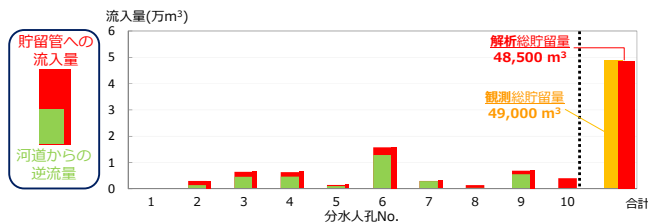


図-16 各分水人孔から地下貯留管への総流入量

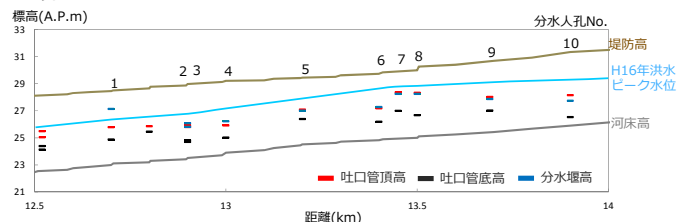


図-17 分水堰高と河道における対象洪水のピーク水面形

連結するが、河道と接続する管径と比較するとごく細いため考慮しない。

ここでは、図-12の6番人孔での計算結果を示す。図-14に神田川洪水観測水位と分水人孔内の計算水位、図-15に計算で求めた人孔内の各流入流出量を示す。人孔内の分水堰高に達する前は河川水位と人孔水位はほぼ同じ水位となり、人孔から河道への流れが発生する。一方、人孔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人孔水位と河川水位に水頭差が生じ、流れも河道から人孔へと変化する。地下貯留管への流入流量は、河道から人孔への流入流量及び集水流量が重なり合い、ピーク時には約 $1.5\text{m}^3/\text{s}$ となる。図-16に各分水人孔から地下貯留管への総流入量を示す。計算合計量は観測量を再現し、本洪水では約4万9千 m^3 の貯留を行った。各分水人孔について、赤色が分水人孔から貯留管への計算流入量、緑色が貯留管への流入量中の河道からの逆流量を示す。流出量は各人孔によってそれぞれ異なり、分水堰高及び下水道吐口高と河道水位の高さ関係に依存すると考えられる。現在東京都は河川水位とともに分水人孔内の水位観測を時空間的に行っている。今後は各人孔内で観測された水位との比較検討を行う必要がある。

4. 河川及び下水道施設の連携による豪雨排水のあり方

第2章では、洪水時、大規模下水道幹線から河道への流入が本川流量に対し大きな影響を与えることを明らかにし、第3章で、河川洪水調節池取水量及び雨水貯留管貯留量を算定した。H16年10月洪水では、それぞれ環七地下調節池約21万 m^3 、和田弥生幹線約5万 m^3 の調節量であった。洪水時は上流域での大規模下水道幹線から河川への流入が神田川の洪水流を構成し、河道水位が上昇する。河道水位が下水道吐口に達した時点から、人孔内水位は河道水位に依存するようになる。さらに河道水位が貯留管への分水堰高に達すると、上昇した河道水位が和田弥生幹線への雨水流入を助長する。一方で、環七地下調節池の取水開始後は河道水位が大きく下降するため、

和田弥生幹線への流入流量に影響を与える。洪水時は河川施設と下水道施設が互いに影響するため、各施設が有機的に連携して排水を行うための豪雨の移動実態を明らかにし、これに基づく総合計画を立てることによって、流域の治水安全度を高めることが今後の重要課題である。

5. 結論

- 1) 時空間的に密に観測された本川水面形の時間変化を用い神田川の洪水流を再現することで、観測が困難な大規模下水道幹線から本川への流入流量ハイドログラフを求めた。下水道幹線からの流入流量は本川流量ハイドログラフに対し影響を与える。
- 2) 同様に、神田川本川の水面形の時間変化を用い、環七地下調節池への取水量を推算した。解析から求めた調節池の取水量は観測貯留量を概ね説明できた。
- 3) 神田川の時空間水位と降雨量分布を用い、分水人孔と河道間の流入流出量及び地下貯留管への流入流量の推算が可能であることを示した。計算結果より、貯留管への流入流量は洪水水位が高いときに河道から人孔への流入の影響が大きく、河道の水が人孔へ流入することで分水人孔内の水位が上昇し、貯留管への流入を助長していることが明らかとなった。
- 4) 洪水時は、河川施設と下水道施設が複雑に影響しあう。そのため、流域の水災害軽減のためには豪雨時の雨水の移動実態を明らかにし、河川と下水道が連携して流域の排水を行うことが重要である。

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) 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.
- 3) 東京都下水道局: 下水道台帳.