

都市部閉鎖性水域における降雨強度と未処理水流入量の関係に関する研究 ～外濠を例にして～

中央大学大学院理工学研究科 学生会員 ○津島 優樹  
 中央大学大学院理工学研究科 学生会員 柿沼 太貴  
 中央大学理工学部 正会員 大平 一典  
 中央大学理工学部 フェロー会員 山田 正

1. 緒言

高度経済成長の時代を経て、都市部における水辺空間は減少してきたなか、江戸城外濠(以下、外濠)は、江戸時代から約400年の歴史を持っており<sup>1)</sup>、今や都市部における貴重な水辺空間となっている。しかし、外濠には降雨時に合流式下水道から未処理水が流入するため、悪臭やごみの浮遊が発生している。この問題への対策を講じるためには、降雨と未処理水の流入状況の関係を明らかにする必要がある。著者らは濠内への流入状況を明らかにすることを目的とし、水位の連続観測、流入・流出量の計算、水位変化と降雨強度の関係についての考察を行った。

2. 外堀の概要

外濠は市ヶ谷濠、新見附濠、牛込濠(以後それぞれをA濠、B濠、C濠とする)の3つの濠が、図-1に示すように連なっている。各濠の水面の面積および平水時の水深は表-1に示す。C濠からは神田川へ流入しており、水質の悪化を招いている<sup>2)</sup>。3つの濠にはそれぞれ下水吐口があり、図-2に示すように管路網が広がっている。降雨時には合流式下水道よりオーバーフローした未処理水が外濠に流入する。また下水吐口以外にも下水台帳に記載の無い吐口が存在しており、複雑な流入機構を有している。

3. 降雨時における観測結果

図-3にA濠、B濠における2014年9月10日から11日までの間の降雨及び水位観測結果の時系列データを示す。XバンドMPレーダ(以下、レーダ)のデータを用いている。最大降雨強度61.5 mm/h、累積降雨量25.42 mmであった。水位の変化量は表-1に示す平水時と比べてそれぞれ平水時の水深のおよそ5割の上昇がみられた。

4. 濠への流入・流出量の算方法

降雨時の外濠における複雑な水の出入り機構を明らかにするため、前章で示した観測結果を用いて、A濠、B濠、C濠における水の収支を計算する。それぞれの濠における水の保存関係は(1)、(2)、(3)式で表す。

壁面が鉛直であり、降雨による水位変化での濠の水

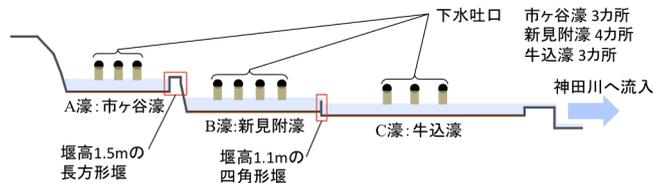


図-1 外濠の概要.

表-1 外濠の平水時の水面の面積と水深.

	市ヶ谷濠	新見附濠	牛込濠
水面の面積[m <sup>2</sup> ]	16450	28800	32580
平水時の水深[m]	1.5	1.1	1.0

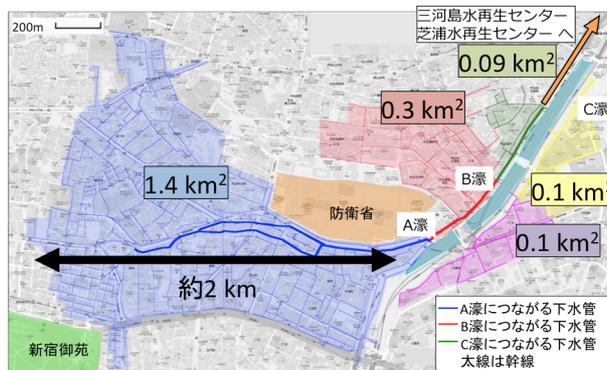


図-2 外濠の下水吐口につながる下水道の管路網.

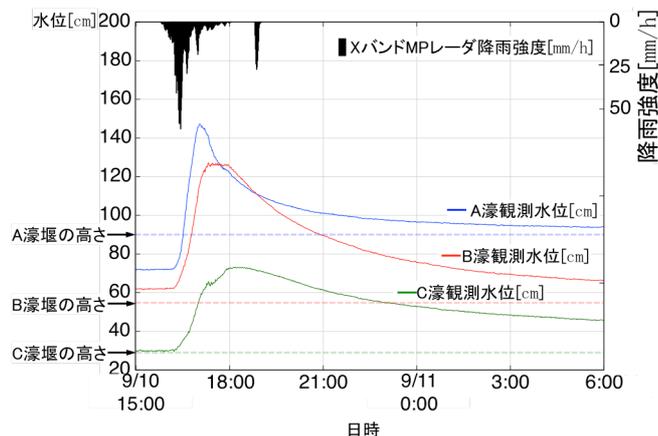


図-3 2014年9月10日から11日までのA濠、B濠、C濠における水位観測結果.

$$A_A \frac{dh_A(t)}{dt} = Q_{inA}(h_A(t)) - Q_{out}(h_A(t)) + Q_{rA} \quad (1)$$

$$A_B \frac{dh_B(t)}{dt} = Q_{inB}(h_B(t)) - Q_{outB}(h_B(t)) + Q_{rB}(t) + Q_{outA}(h_A(t)) \quad (2)$$

$$A_C \frac{dh_C(t)}{dt} = Q_{inC}(h_C(t)) - Q_{outC}(h_C(t)) + Q_{rC}(t) + Q_{outB}(h_B(t)) \quad (3)$$

面の面積変化はなく、各濠の水面の面積は  $A_A=16450 \text{ m}^2$ ,  $A_B=28800 \text{ m}^2$ ,  $A_C=32580 \text{ m}^2$  とする。

A 濠の保存式に関しては  $Q_{inA}(t)$  を A 濠への吐口からの流入量  $[\text{m}^3/\text{s}]$ ,  $Q_{outA}(t)$  を A 濠の堰から越流量  $[\text{m}^3/\text{s}]$ ,  $Q_{rA}(t)$  を A 濠の水面に降る雨による流入量  $[\text{m}^3/\text{s}]$ ,  $h_A(t)$  を A 濠の水深  $[\text{m}]$  とする。B 濠の保存式は  $Q_{inB}(t)$  を B 濠への吐口からの流入量  $[\text{m}^3/\text{s}]$ ,  $Q_{outB}(t)$  を B 濠での堰の流量  $[\text{m}^3/\text{s}]$ ,  $Q_{rB}(t)$  を B 濠の水面に降る雨による流入量  $[\text{m}^3/\text{s}]$ ,  $h_B(t)$  を B 濠の水深  $[\text{m}]$  とする。C 濠の保存式は  $Q_{inC}(t)$  を C 濠への吐口からの流入量  $[\text{m}^3/\text{s}]$ ,  $Q_{outC}(t)$  を C 濠での堰の流量  $[\text{m}^3/\text{s}]$ ,  $Q_{rC}(t)$  を C 濠の水面に降る雨による流入量  $[\text{m}^3/\text{s}]$ ,  $h_C(t)$  を C 濠の水深  $[\text{m}]$  とする。両濠の堰での流出量については堰の越流公式を用いており、越流係数  $C$  は実際の堰の形状から A 濠, C 濠では Govinda-Rao の式を用い、B 濠では板谷・手島の式<sup>3)</sup>を用いた。

**5. 降雨強度と水位変化と流入量の関係**

本章では降雨と水位変化の関係を詳細に調べた。図-4に観測結果より水位変化が顕著な時間帯の降雨強度、水位変化、流入・流出量を示す。横軸は9月10日15:50～19:10を示す。

**5-1. 水位上昇期間**

10 mm/h 以下の雨が 25 分間降り続いた後に、18.5 mm/h の降雨強度の雨が降った時点から 3 つの濠が同時に水位上昇し始めた。水位上昇のピークは図-4より A 濠, B 濠, C 濠の順に訪れており、最も強い降雨強度を示した時刻から水位がピークになるまでのそれぞれの時間はおよそ 40 分, 60 分 110 分であった。

**5-2. 水位下降期間**

水位の下降期間に着目すると、40 mm/h の以上の強度を含む雨が 10 分間にわたり降っているが、その間においては 3 つの濠すべてにおいて水位は下降し続けていた。このことより、未処理水の流入には降雨強度に加え、降雨の継続時間も関係していることがわかる。

**6. 水位変化と吐口での流量、流入量の関係**

図-2において青色で示した下水集水域の下水道幹線の、A 濠最上流部の吐口への接続部分における流量を、準線形貯留型モデルを用いて計算した。図-5に降雨強度と水位変化、水位変化から逆算した流入量との関係を示す。管内の吐口接続部分での流量が 3.5 mm/h を越えれば A 濠の水位が上昇している。また、水位変化から逆算した流入量と比較すると、管内の流量のおよそ 3 割が外濠へ流入し、7 割が管内を流れていくことが分かる。

**7. まとめ**

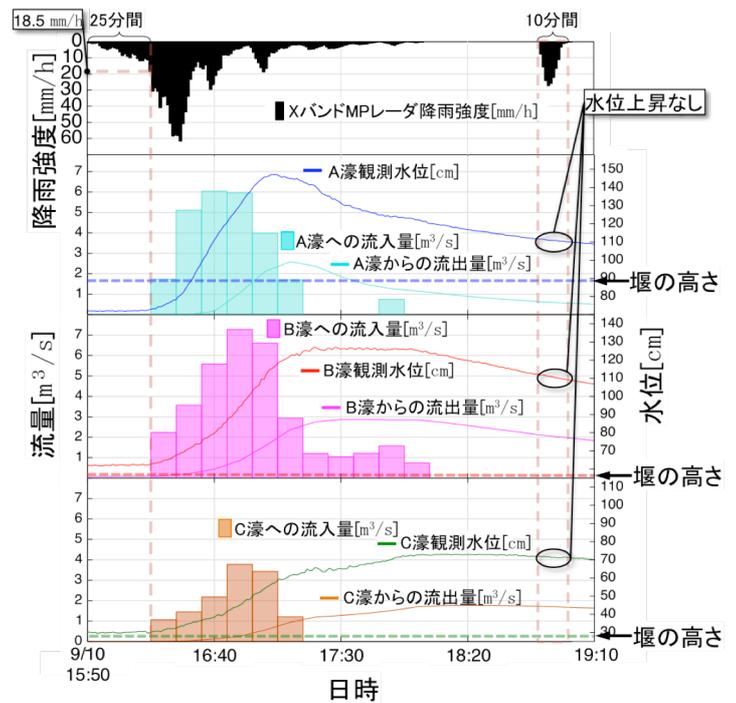


図-4 降雨強度と水位変化と流入流出量の関係。

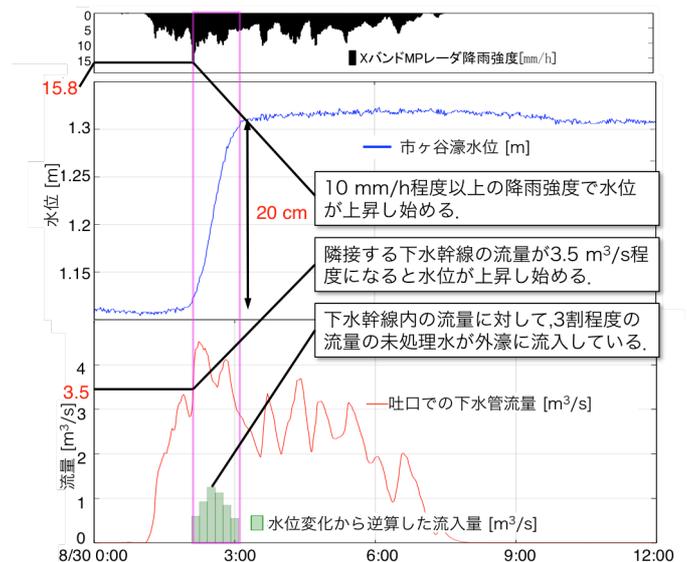


図-5 降雨強度と A 濠の水位変化、吐口での流量、逆算した流入量の関係。

本論文は江戸城外濠における降雨強度と未処理水流入量の関係を明らかにすることを目的としている。以下に得られた知見を示す。

- 1) 未処理水の流入には降雨強度に加え、降雨の継続時間も関係している。
- 2) 未処理水流入時、管内の流量のおよそ 3 割が外濠へ流入し、7 割が管内を流れていく。

**参考文献**

- 1) 千代田区・新宿区・港区「史跡江戸城外濠跡保存管理書」
- 2) 櫻井一貴: 都市河川感潮域における溶存酸素濃度の変動に関する研究～外濠・神田川・日本橋川を例として～, 中央大学大学院理工学研究科土木工学専攻, 河川・水文研究室 2013 年度修士論文
- 3) 水理公式集 昭和60年度版 p.p 283-286.