

江戸城外濠における流入出機構の解明に向けた基礎的研究

中央大学理工学部	学生会員	○津島	優樹
中央大学理工学部	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

江戸城周辺は古くから地形を活かした人工構造物が存在し、その中の一つである国の史跡江戸城外濠跡(以下、外濠)を次代に継承する事が必要である。都市開発が進み水辺空間の創出、既存水辺空間の水質改善の社会的な要求が高まっているにも関わらず、外濠は親水空間として十分な機能を果たせていないのが現状である。降雨時には合流式下水道からの未処理水の流入による悪臭もたびたび発生している。降雨時の未処理水の濠内への流入機構を明らかにすることは、外濠の水質改善対策を講ずる上で重要である。著者らは都市部閉鎖水域の水質・水理機構を解明することを目的とし、江戸城外濠を一例として降雨時における水位の連続観測と流入量の計算およびそれに対する考察を行った。

2. 江戸城外堀の概要

江戸城外濠は、弁慶濠、市ヶ谷濠、新見附濠、牛込濠からなり、そのうち市ヶ谷濠、新見附濠、牛込濠の3つが図-1に示すように連なっている。(以後それぞれをA濠、B濠、C濠とする。)各濠の水面の面積はA濠で16450m²、B濠で28800m²、C濠で32580m²である。図-1に示すとおり3つの濠にはそれぞれ下水吐口があり、降雨時には合流式下水道の流量が増加することによりオーバーフローした未処理下水が外濠に流入するように設計されている。また下水吐口以外にも水の吐口が存在しており、複雑な流入機構を擁している。

3. 観測結果

図-3に降雨時のA濠、B濠における水位観測結果の時系列データを示す(台風27号:2013年10月25日から28日)。気象庁による観測結果(外堀より東へ約2km地点)より、最大10分間降雨量2.5mm/10min.、累積降雨量51mmであった。A濠最高水位は165.7cm、B濠は124.3cmであり、表-1から水位の変化量は平水時と比べてそれぞれ約15cm、12cm増加し、両濠共に平水時の水深のおよそ1割の上昇がみられた。

4. A濠への流入量計算方法

前節にて示した観測結果を用いて、A濠、B濠における

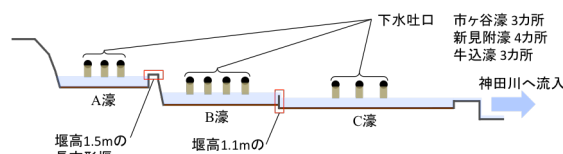
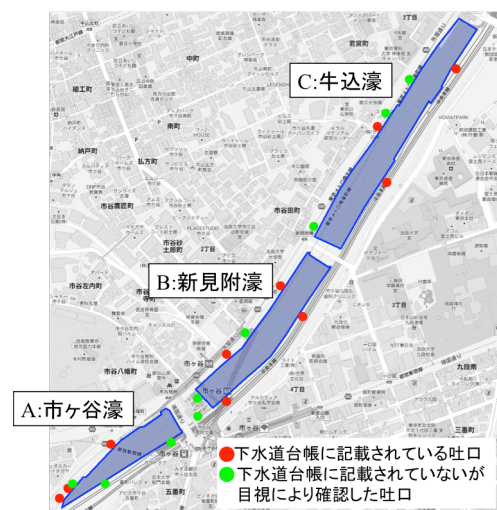


図-1 外濠の概要

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 ²]	16450	28800	32580
平水時の水深[m]	1.5	1.1	1.0

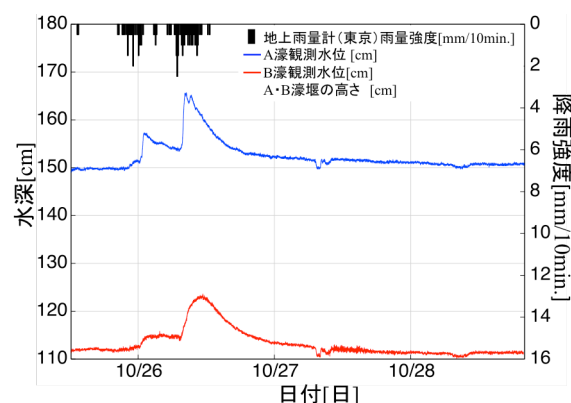


図-2 2013年10月25日から28日までのA濠、B濠における水位観測結果

水の収支を計算する。A濠、B濠における水の保存関係は(1)、(2)式で表す。対象降雨による水位変化による濠の側面の形状変化はなく、各濠の水面の面積は一定とし $A_A=16450\text{m}^2$ 、 $A_B=28800\text{m}^2$ する。

キーワード 江戸城外濠 水位観測

〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部 Tel 03-3817-1805 E-mail:tsushimayuki@civil.chuo-u.ac.jp

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

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

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[m³/s], $Q_{outA}(t)$ を A 濠の堰から越流量[m³/s], $Q_{rA}(t)$ を A 濠の水面に降る雨による流入量[m³/s], $h_A(t)$ を A 濠の水深[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[m³/s], $Q_{outB}(t)$ を B 濠での堰の流量[m³/s], $Q_{rB}(t)$ を B 濠の水面に降る雨による流入量[m³/s], $h_B(t)$ を B 濠の水深[m] とする. 両濠の初期流入量は 0m³/s とする. 両濠の堰での流出量については堰の越流公式である(3)式を用いており, 越流係数 C は実際の堰の形状から A 濠では Govinda-Rao の式である(4)式, B 濠では板谷・手島の式である(5)式を用いた.

$$Q_{out}(t) = C(t) b h_w(t)^{\frac{3}{2}} \quad (3)$$

$$C_A(t) = 1.642(h_w(t)/L)^{0.22} \quad (4)$$

$$C_B(t) = 1.785 + \frac{0.00295}{h_w(t)} + 0.237 \frac{h_w(t)}{W} - 0.248 \sqrt{\frac{(B-b)h_w(t)}{BW}} + 0.034 \sqrt{\frac{B}{W}} \quad (5)$$

流出量に関しては $Q_{out}(t)$ を堰での越流量[m³/s], B を堰幅[m], h_w を越流水深[m], $C_1(t)$, $C_2(t)$ を越流係数[m^{1/2}/s], L を堰長[m], W を堰高[m] とし A 濠の堰高を 1.5m, B 濠の堰高を 1.1m とする. 濠への流入を計算するため(1), (2)式をそれぞれの観測から得られた水位データと降雨データを用いることにより流入量を計算する.

5. 流量計算結果

A 濠では, 流入量の大部分を降雨以外の吐口からの流入が占めていた. それに対し, B 濠の流入量は吐口からの流入は無く, 上流側の A 濠からの越流と降雨に水面への直接降雨による流入によるものであった. A 濠においては総流入量 4496.1m³, 総流出量 4651.4m³, B 濠においては総流入量 5867.9m³, 総流出量 5784.3m³ であった. これらはそれぞれの濠のおよそ体積の 2 割を占める量であった.

6. 降雨強度と水位変化と流入量の関係

図-3 に水位変化が顕著な時間帯の降雨強度, 水位, 流入量を示す. 降雨データは外濠から気象庁東京観測所の地上雨量計と, A 濠にもっとも近い X バンド MP レーダ(以下, レーダ)のデータを用いた. この 2 つの雨量強度データと水位変化を比較すると, レーダによるデータが水位との関係性が高いと考えられる.

6-1. 水位上昇部分

水位上昇は濠への流入量が堰の越流量を上回っていると

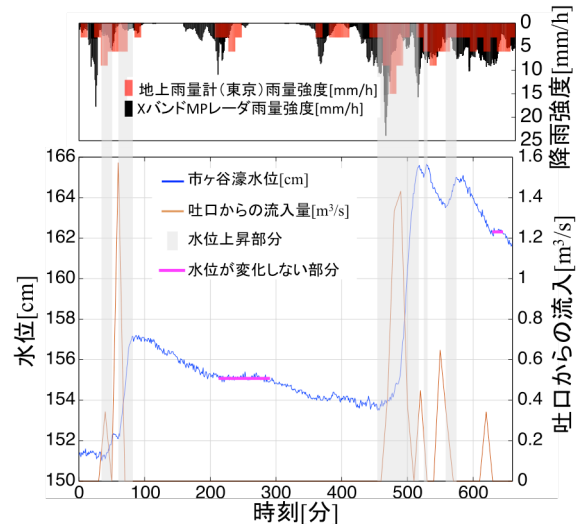


図-3 降雨強度と水位変化と流入量の関係

きに起こる. 図-3 の灰色部分に示すように計 5 回の水位上昇が見られた. 各水位上昇に対応する吐口からの流入が見られた. その中でも最も小さい降雨強度は, およそ 5mm/h であった.

6-2. 水位の変化が無い部分

図-3 の紫線部に水位変化がほぼ無い部分を示す. 水位変化しなくなるのは濠への流入量と堰の越流量が等しいときである. 200 分から 300 分の間では吐口からの流入がないのに対し, 600 分以後の部分では吐口から流入しているという計算結果であった. 200 分から 300 分の間の方が最大降雨強度は大きいことから, 瞬間値よりも累積値が吐口からの流入に寄与していると考えられる.

7. まとめ

本論文は江戸城外濠における流入出機構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) A 濠, B 濠の流入量を計算し, B 濠に比べ上流側の A 濠の方が下水吐口とその他の吐口からの流入により, 水位の上昇量が大きいことを示した.
- 2) 降雨量と水位の関係から, A 濠ではおよそ 5mm/h の降雨により下水とその他の吐口から水が流入することを示した.

参考文献

- 1) 千代田区・新宿区・港区「史跡江戸城外堀跡保存管理書」
- 2) 千代田区安全生活課(2013) 「千代田区の環境」
- 3) 水理公式集 昭和 60 年度版