

都市部の閉鎖性水域における降雨と水位変化の関係に関する研究 ～外濠を例にして～

中央大学大学院 学生会員 ○津島 優樹
中央大学大学院 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¹⁾、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ことが必要である。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)からなり、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。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 2013 年 10 月 25 日から 28 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。降雨データは外濠より東へ約 2km 地点の気象観測所のものであり、最大 10 分間降雨量 2.5mm/10min.、累積降雨量 51mm であった。実測の水位から、観測期間中の 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. 濠への流出入量計算方法

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 濠における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。

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

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

壁面が鉛直であり、対象降雨における水位変化による濠

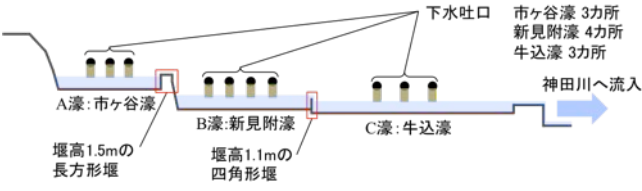


図-1 外濠の概要
表-1 外濠の平水時の水面の面積と水深

	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

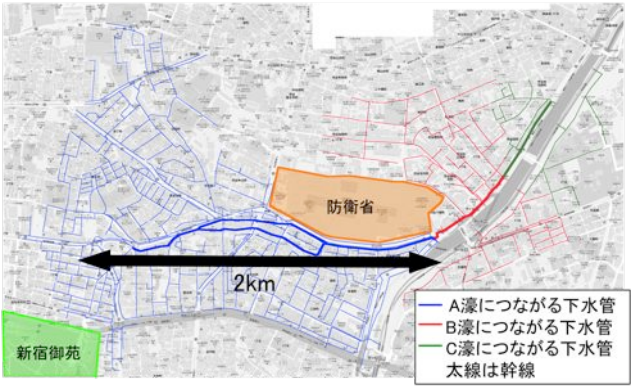


図-2 外濠の下水吐口につながる下水道の管路網

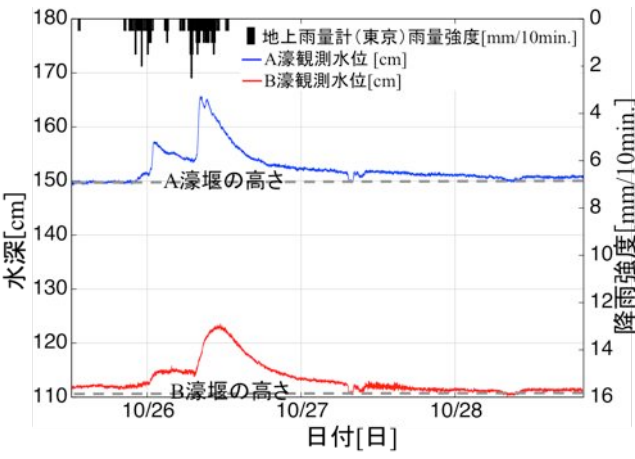


図-3 2013 年 10 月 25 日から 28 日までの A 濠、B 濠における水位観測結果

の水面の面積変化はなく、各濠の水面の面積は $A_A=16450\text{m}^2$ 、 $A_B=28800\text{m}^2$ 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[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], $Q_{inB}(t)$ 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³⁾を用い、B 濠では板谷・手島の式³⁾を用いた。 $Q_{out}(t)$ 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. 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、流入量を示す。横軸は 10 月 25 日 23:40~26 日 10:40 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における 10 分間ごとの降水量と、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。気象庁のデータは外濠から東へ約 2km 離れているのに対し、レーダのデータは外濠上空での降雨強度を示しており、さらに時間分解能も 1 分間と細かく、降雨と水位変化の関係をより詳細に見ることができる。

5-1. 水位上昇期間

図-3 の灰色部分は 1cm 以上水位が上昇した時間帯を示している。50 分から 90 分までをⅠ期間、480 分から 520 分までをⅡ期間、560 分から 580 分までをⅢ期間とする。降雨強度と水位上昇までに要した時間、水位上昇量はそれぞれⅠ期間では、15.6mm/h の 21 分後に 5cm, Ⅱ期間では、23.8mm/h の 13 分後に 13cm, Ⅲ期間では、15.6mm/h の 43 分後に 1.4cm であった。以上の結果より、降雨強度が高いほど、水位上昇するまでの時間が短く上昇量は大きいことを示している。また、図-4 の橙色線より、3 つの期間とも流量計算結果より吐口からの流入があることから、降雨の後に水位が上昇するまでの時間差は、下水集水域に降った雨が下水吐口に到達するまでの時間であると考えられる。降雨強度が高いほど下水の流量が増え、流速も大きくなるため降雨の後の水位上昇までの時間が短くなる。

5-2. 水位変化がない期間

図-3 の紫色部分は流入量と流出量が等しく、水位変化が見られない時間帯を示している。水深が 155cm の状態が、200 分から 280 分までの 80 分間続いている。降雨と水位が一定になっている期間との時間差がない。このことから、11.8mm/h の降雨では下水吐口からの流入よりも、

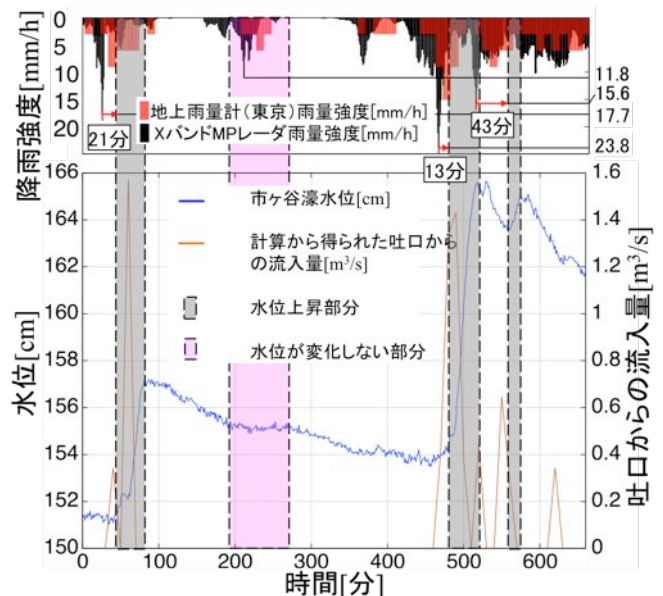


図-4 降雨強度と水位変化と流入量の関係

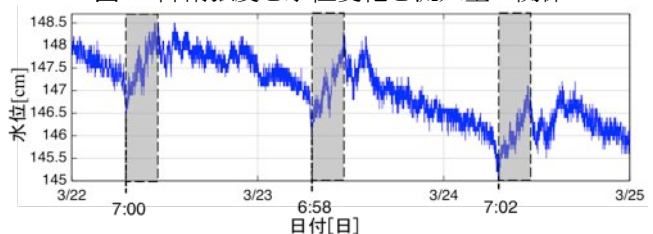


図-5 2014 年 3 月 22 日から 25 日までの A 濠における水位観測結果

水面への直接降雨の影響が大きいと考えられる。

6. 晴天時の水位観測

図-4 に A 濠における 2014 年 3 月 22 日から 25 日までの間の水位観測結果の時系列データを示す。この期間は降雨がなかった。灰色に着色した部分に着目すると、3 日間とも同時刻に水位が上昇していることがわかる。このことから、外濠への水の流入は降雨のみならず、定期的に人の手によって行われている可能性がある。

7. まとめ

本論文は江戸城外濠における降雨と水位変化と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) 降雨の後に水位が上昇するまでの時間差は、下水集水域に降った雨が下水吐口に到達するまでの時間であり、降雨強度が高いほど下水の流量が増え、下水の流速も大きくなるので降雨の後の水位上昇までの時間が短くなる。
- 2) 流入量と流出量が等しくなる時は、吐口からの流入よりも水面への直接降雨の影響が大きい。
- 3) 晴天時は周期的な水位変化が生じており、定期的に外濠へ水が供給されていることを示した。

参考文献

- 1) 千代田区・新宿区・港区「史跡江戸城外濠跡保存管理書」
- 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 p.p 283-286