

江戸城外濠における 出水時の水質変化とその評価

柿沼 太貴^{1*}・山田 正²

¹学生会員 中央大学理工学部研究科都市環境学専攻（〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27）

²フェロー会員 中央大学理工学部都市環境学科（〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27）

* E-mail:kakinuma@civil.chuo-u.ac.jp

江戸城外濠跡(以下、外濠)は都市部では数少ない水と緑を有する重要な場所であるが、アオコやスカムによる悪臭や景観の悪化が問題となっている。外濠において、水質汚濁への最も大きな要因の1つに降雨時における合流式下水道からの下水未処理水の流入がある。外濠の水質状況を知り、具体的水質改善対策を提案するためには、出水による水質への影響を定量的に把握する必要があるため、本研究では出水時における水質観測及び評価を行った。流入量がピークに達する時点では、濃度は低下していることから、降雨初期に高濃度の汚濁負荷があるファーストフラッシュ型の水質ハイドログラフが形成されていることが分かった。また、初期流入時にTN：8.1mg/L、TP：6.71mg/Lの高濃度を示し、平時時における濃度に比べTNは約2倍、TPでは約7倍もの濃度の汚濁水が外濠に流入していることが分かった。

Key Words : Edo Castle Outer Moats, Observation, Combined Sewer Overflow

1. はじめに

外濠は1956年に「江戸城外濠跡」として国指定の史跡に定められ¹⁾、都市部では数少ない水と緑を有する、歴史的、空間的にも重要な場所であるが、外濠はアオコやスカムによる悪臭や景観上の問題が生じている。水質悪化の構造的要因として、降雨が外濠周辺に整備されている合流式下水道の管渠の処理能力を超えた場合、下水未処理水が外濠に放出されていることである。水質状況を知るうえで、水源のほとんどが降雨時における下水未処理水である外濠において、流入水の詳細を知る必要がある。既往の研究において、時間的に密な基礎的水質項目の観測による水質の経時変化調査²⁾や環境用水導入の効果とコスト評価³⁾が行われてきたが、未だ出水時における濠内への流入水質濃度や汚濁負荷量については不明である。以上の背景より、本研究では、外濠における出水時の水質変化を把握することを目的とし、出水時において各水質項目の集中的な観測を行いその評価を行った。

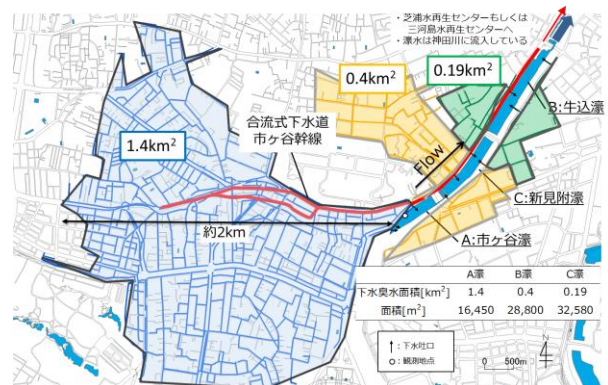


図-1 外濠に繋がる下水幹線が受け持つ集水域図
及び観測地点の位置図

2. 調査方法

(1) 対象地域概要

図-1 に外濠付近の集水域図および観測地点の位置図を示す。外濠は、JR 中央線に沿って四ツ谷駅から飯田橋駅にかけて位置し、上流より市ヶ谷濠、新見附濠、牛込濠（以下 A、B、C 濠）とつながり、神田川へと流入している。A 濠から C 濠まで距離約

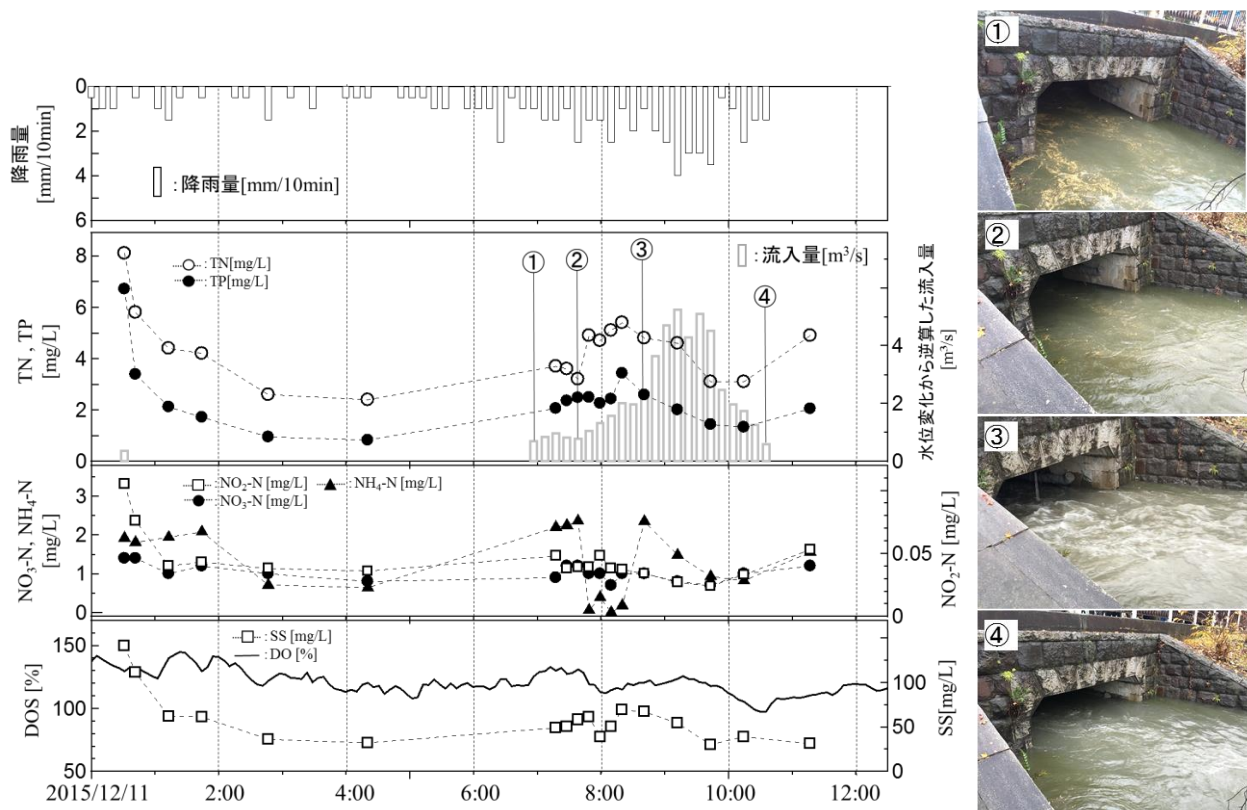


図-2 2015年12月11日の出水時にける TN, TP, NO₃-N, NO₂-N, NH₄-N, SS, DO の観測結果及び各時刻における下水吐口の様子

(流入量がピークに達する時点では、濃度は低下していることから、降雨初期に高濃度の汚濁負荷があるファーストフラッシュ型の水質ハイドログラフが形成されることが分かる。)

1.3km、高低差約 12m である。外濠への下水道等の流入口は目視と文献⁴⁾により 18ヶ所確認できる。その内の計 10ヶ所は合流式下水道の吐き口であった。その他の 8ヶ所の水の吐き口の詳細は不明である。本研究では、最も下水集水面積が広く、汚濁化が進んでいる最上流の A 濠を対象として研究を行った。

(2) 観測方法

出水時の観測は 2015 年 12 月 10 日から 11 日における降雨時に行った。この期間の総降雨量は 57.8mm、最大降雨強度は 26.1 mm/hour である。出水は 11 日 00:30 から 00:36、6:59 から 10:10 の計 2 回、目視で確認した。試水として下水吐口付近においてハイロート採水器を用いて水面近傍で採取し、冷却して持ち帰り、分析を行った。全窒素濃度 (TN) はアルカリ性ペルオキシ二硫酸カリウム分解-クロモトロブ酸法に従い、試料中の全ての窒素形態を硝酸態窒素に分解した後、吸光度計 (DR3900, TOA DKK) を用いて波長 410nm の吸光度を測定し、濃度を算出した。全リン濃度 (TP) はペルオキシ二硫酸カリウム分解-アスコルビン酸還元法に従い、試料中の全てのリン形態をリン酸に分解した後、吸

光光度計を用いて波長 880nm の吸光度を測定し、濃度を算出した。また、図-1 に示す観測地点において、溶存酸素飽和度 (DOS) と水温をロガー内蔵の DO 計 (Dopto Logger, ZEBRA-TECH LTD) を水面から 10cm に設置し 5 分間隔で連続的に観測した。また、DO 計と同地点にロガー・バッテリー内蔵の小型水位計 (ダイバー式水位計, DAIKI) を設置し同期間に 1 分間隔で水位を計測した。気温、降雨量、日射量は外濠から約 1.5km 離れている気象庁 (北の丸公園地点) のデータを用いた。なお、降雨量は 10 分間隔のデータである。

(3) 濠への流出入量計算方法

降雨時の外濠における流入・流出量を明らかにするため、A 濠における水の収支を計算する。濠における水の保存関係は以下の式で表す。

$$\frac{dA_A h_A(t)}{dt} = Q_{inA}(t) - Q_{outA}(h_A(t)) + Q_{rA}(t)$$

壁面が鉛直であり、降雨時の水位変化による濠の水面の面積変化はないと考える。保存式に関して
 $Q_{inA}(t)$: A 濠への吐口からの流入量[m³/s],
 $Q_{outA}(t)$: A 濠の堰から越流量[m³/s], $Q_{rA}(t)$: A 濠の

水面に降る雨による流入量[m³/s], $h_A(t)$: A 濠の水位 [m]とする。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 Govinda-Rao の式⁵⁾を用いた。

3. 観測結果と考察

図-2はそれぞれ降雨量[mm/10min], 水位変化から逆算した流入量[m³/s], TN[mg/L], TP[mg/L], NO₂-N[mg/L], NH₄-N[mg/L], NO₃-N[mg/L], DO S[%], SS[mg/l], の2015年12月11日00:00から12:30までの時系列データを示す。また、①から④時刻における下水吐口の写真を示す。①: 流入が開始し、目視でゴミを確認及び下水臭の発生。②: 流入量が増加し、ゴミは確認できず無臭であった。③: 再びゴミの流入が開始し、下水臭が発生。④: 出水が止まる。

TN, TP, NH₄-N, SSの全てにおいて、未処理水流入開始直後が最も高濃度であった。一度流入が止まった後に、再び流入開始した際には流入量の増加とともに濃度も上昇するが、流入量がピークに達する時点では、濃度は低下している。このことから、降雨初期に高濃度の汚濁負荷があるファーストフラッシュ型の水質ハイドログラフが形成されることが分かる。このことから、降雨初期の放流量をカットする貯留施設などが、合流式下水道による汚濁負荷の改善に有効であるといえる。また、NH₄-Nが急激に減少した理由として、②時刻からゴミや下水臭が発生しなかったことから、流入水のうち雨水の割合が多い水を採水したことが考えられる。DOSに関しては、流入量がピークの時刻から減少し始め約30%減少したが、大きな変動は見られなかった。減少した要因として、NH₄-Nが減少していることから、硝化による化学的酸素消費がや、流入水による濠底に堆積した汚泥の巻き上がりによる酸素消費が考えられる。また、今回の出水における未処理水総流入量は34,440m³であり、A濠の体積が約27,000m³であるから約1.3杯分の流入量であった。

図-3に図-1に示す観測地点において2015年1月から2016年2月までのTN, TPの計17個の時系列データを示す。観測値は平水時におけるデータである。観測結果からそれぞれの年平均値はTNは4.3mg/L, TPは0.78mg/Lであることから、出水時には最大でTNは約2倍, TPは約7倍の濃度の汚濁水が流入していることが分かった。

4. まとめ

本研究は、アオコやスカムによる悪臭や景観上の問題が生じている外濠において、水質汚濁への最も

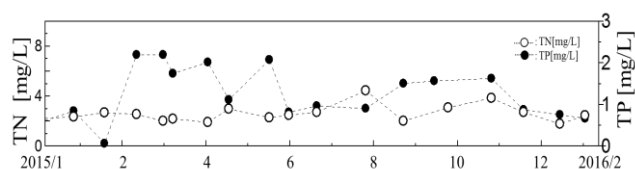


図-3 2015年1月から2016年2月までのTN, TPの平水時における観測結果

(観測期間中のTN, TPの最大値, 最小値, 平均値はTN: 7.3, 0.2, 4.3mg/L, TP: 1.33, 0.60, 0.78mg/Lを示した。)

大きな要因と考えられる、合流式下水道から流入する下水未処理水による水質変化の把握を目的とし、出水時における集中的な観測を行った。以下に得られた結果を示す。

流入量がピークに達する時点では、濃度は低下していることから、降雨初期に高濃度の汚濁負荷があるファーストフラッシュ型の水質ハイドログラフが形成されていることが分かった。初期流入時にTN: 8.1mg/L, TP: 6.71mg/Lの高濃度を示し、平水時における濃度に比べTNは約2倍の値であり、TPでは約7倍もの濃度の汚濁水が外濠に流入していることが分かった。今後は、外濠の問題の1つであるアオコの大量増殖に着目し、出水時における高濃度の汚濁水がアオコの成長に及ぼす影響を明らかにするために長期の観測を行っていく。また、大量の汚濁物質も出水時に流入していることから、濠底には大量の汚濁物質が堆積していることが考えられる。よって、底泥による水質への影響調査も必要である。加えて、本研究で得られたデータを使用し水質生態系モデルを使用し具体的水質改善対策の提案を行っていく。

謝辞: 本研究は中央大学共同研究プロジェクト「横断的学術連携による水辺再生技術と総合的なランドデザインの融合手法の確立に関する研究～外堀通りを事例として～」(代表者, 山田正)の支援を受けて、行われたものである。記して謝意を表す。

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, 2008.
- 2) 柿沼太貴, 銭潮潮, 山田正, 「江戸城外濠における水温・日射量・栄養塩と溶存酸素濃度の関係性に関する考察」, 土木学会第22回地球環境シンポジウム講演集, pp.265-268, 2015.
- 3) 吉岡佐, 栗栖聖, 花木啓祐, 「江戸城外濠の水質改善を目的とした環境用水導入の効果とコスト評価」, 土木学会論文集 G (環境), Vol.68, No.7, III_691-III_702, 2012.
- 4) 東京都下水道局, 電子下水道台帳.
- 5) 水理公式集昭和60年度版, p.p.283-286.