

江戸城外濠における可動堰導入を想定した栄養塩類濃度の低減効果に関する研究

法政大学大学院 デザイン工学研究科
法政大学大学院 デザイン工学研究科
法政大学 デザイン工学部

○学生員 奥田 悠暉
学生員 小菅 大地
正会員 鈴木 善晴

1. 研究の背景と目的

江戸城外濠（以下、外濠）の水質は近年富栄養化の一途を辿っている。その要因としては外濠が合流式下水道の放流域となっており栄養塩が多く流入していることがある。その影響から外濠の水生生物には汚れた水を好む、鯉やフナが多く生息するようになり、また水面にはアオコが大量に発生し周辺地域に悪臭が漂うようになった。そのような外濠の現状にも関わらず、未だ効果が表れるような目立った取り組みは行われていない。

そこで本研究では、外濠の水質改善を目的として、江戸城外濠における水循環解析モデル（Outercoats of Yedo castle Hydrologic cycle Analysis Model）（以下、OHAM）¹⁾を用いた未処理水流入吐口への可動堰の導入を想定した栄養塩類濃度の低減効果について、可動堰の最適な運用方法の検討、施設導入に伴う水質改善効果の定量的な評価を行った。図-1 に本研究の対象地域の概要、図-2 に雨水吐室の概要を示す。

2. モデルの概要

本研究では、可動堰による水質改善効果を評価するため、OHAM を使用して施設導入に伴う水質変動の推定を行った。このモデルは「放流解析モデル」「水収支解析モデル」「物質収支解析モデル」からなる複合モデルである。放流解析モデルでは、外濠に降った雨と濠への放流の関係を解析する。さらに、ファーストフラッシュ²⁾を考慮するため、雨水による汚濁負荷は降水量に応じて指数関数的に減少するとし、降雨継続時間 120 分以降は雨水由来の汚濁負荷を考慮しないものとしている。水収支解析モデルは濠への流入量と流出量から外濠の水収支を解析する。流入量は下水からの放流量と濠への直接降雨量、上流の濠からの越流量の合計であり、流出量は下流の濠への越流量と蒸発量の合計である。物質収支解析モデルでは上記 2 つのモデルの解析結果を用いて濠内の水質を解析する。物質の移動は水の移動とともに行われると仮定し、その移動量は水の移動量と物質濃度から計算している。

3. 可動堰における導入方法

本研究では、可動堰を導入するにあたり 3 つの方法を検討した。1 つ目は管内の汚濁濃度に応じて堰が可動する方法である。判定値に関しては、TN 流入濃度 1.5 g/m^3 、 2.5 g/m^3 、 3.5 g/m^3 、 4.5 g/m^3 （Case-C1.5～Case-C4.5）と 4 ケースの判定値を設け、その判定値の濃度を超えた場合には堰を設計値の 3 倍の高さで維持し、その判定値の濃度未満ならば、堰を下げて全ての下水が濠に流入するように設定した。

2 つ目は、下水管内流量に応じて堰が可動する方法である。判定値に関しては、図-3 に示すように管内の流量と濃度との相関を取り、近似式を求めて、そこに上記で利用している各 TN 流入濃度の値を係数として与えることにより、各判定値を求め使用した（Case-Q1.5～Case-Q4.5）。堰の可動に関しては、管内の流量が判定値の流量より少ない場合、堰を設計値の 3 倍の高さで維持し、判定値の流量以上の場合は、堰を下げて全ての下水が濠に流入するように設定している。

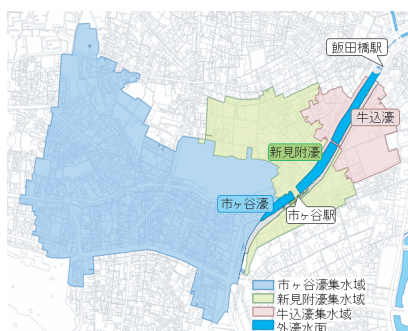


図-1 外濠の概要図

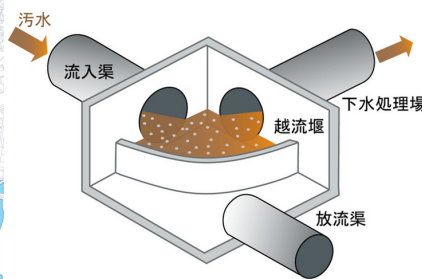


図-2 雨水吐室の概要

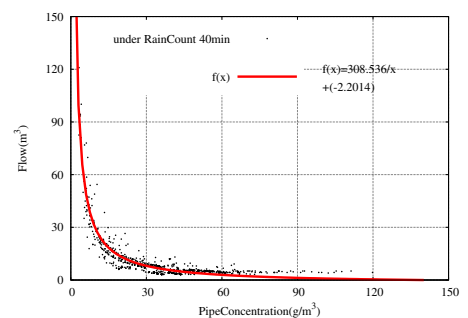


図-3 流量と濃度の相関

キーワード：江戸城外濠，栄養塩，可動堰，CSO

〒162-0843 東京都新宿区市谷町 2-33 法政大学デザイン工学部 都市環境デザイン工学科 TEL 03-5228-1389

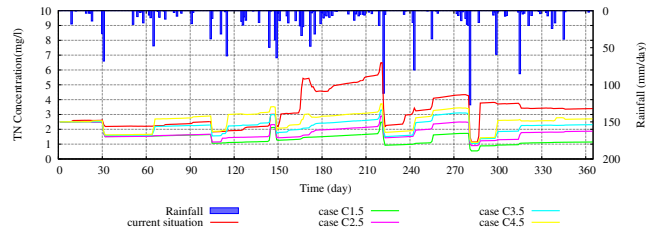


図-4 2009年の気象データによる濃度判定で可動堰を運用した濠内 TN 濃度の時系列変化

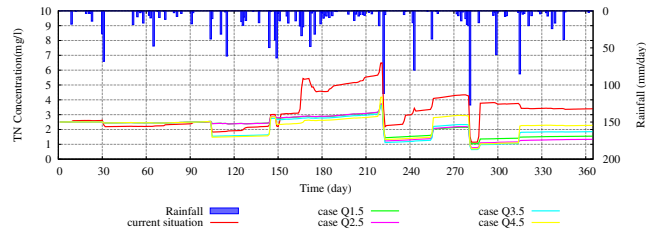


図-5 2009年の気象データによる流量判定で可動堰を運用した濠内 TN 濃度の時系列変化

表-1 各流量判定値別の平均 T-N 濃度 (g/m³) , CSO (× 10⁴m³) , T-N 放流物質量 (× 10⁴g)

Case	現状	C1.5	C2.5	C3.5	C4.5
T-N 濃度 (変化率 %)	3.19 (-)	1.42 (-55.1)	1.77 (-44.5)	2.18 (-31.6)	2.55 (-20.1)
CSO (変化率 %)	143.4 (-)	47.6 (-66.8)	71.0 (-50.5)	94.1 (-34.4)	112.4 (-21.6)
T-N 放流物質量 (変化率 %)	115.3 (-)	39.4 (-65.9)	86.5 (-25.0)	156.4 (+35.7)	229.8 (+99.3)

表-2 各流量判定値別の平均 T-N 濃度 (g/m³) , CSO (× 10⁴m³) , T-N 放流物質量 (× 10⁴g)

Case	現状	Q1.5	Q2.5	Q3.5	Q4.5
T-N 濃度 (変化率 %)	3.19 (-)	2.22 (-30.6)	2.15 (-32.8)	2.10 (-34.4)	2.18 (-31.4)
CSO (変化率 %)	143.4 (-)	12.4 (-91.4)	18.9 (-86.9)	30.6 (-78.7)	39.5 (-72.5)
T-N 放流物質量 (変化率 %)	115.3 (-)	13.5 (-88.3)	18.4 (-84.0)	34.2 (-70.3)	57.4 (-50.2)

3つ目は、降雨強度に応じて堰が可動する方法である。降雨強度と管内の濃度との相関を取り、そこに上記で利用している各 TN 流入濃度の値を係数として与えることにより、各判定値を求め使用した (Case-R1.5~Case-R4.5)。

4. 可動堰導入による水質改善効果

本研究では、2009 年から 2015 年の気象データを元に解析を行った。本稿では 2009 年の気象データを元に下水管内濃度と流量を用いて検討した結果について述べる。図-4 と図-5 はそれぞれ、市ヶ谷濠において管内濃度判定と管内流量判定で可動堰を運用した場合の濠内 T-N 濃度の時系列変化を示しており、また表-1 と表-2 は各判定種類別の平均 T-N 濃度、CSO と T-N 放流物質量の変化率を示している。まず、図-4 の管内濃度で堰を可動させた場合の結果を見ると、全てのケースで濠内において現状のような T-N 濃度の急激な濃度上昇を概ね抑制出来ていることが示された。この現象は図-5 の管内流量で堰を可動させた場合でも同様の結果が示された。このような結果が出た要因は、汚濁負荷の高い初期降雨由来の下水の放流をうまく堰き止めることが出来た事が考えられる。また、図-4 と図-5 より Case-C3.5 (判定値 3.5 g/m³) と Case-C4.5 (判定値 4.5 g/m³)、Case-Q4.5 (判定値 4.5 g/m³) の 3 ケースにおいては現状より高い濃度を示しているところが数箇所確認出来るが、これは他のケースに比べ汚濁負荷の高い下水を濠へ放流させることがあるためである。しかし、その後は汚濁負荷の低い下水を大量に濠へ流入させることが出来、濠水が希釈されたことで、結果的にこれらの 3 ケースでも水質改善効果が得られたと考える。

次に、表-1 と表-2 で示している CSO の値に着目すると、どちらの方法でも全ての Case において CSO の量が減少する結果が得られた。これは、管路や処理場への負荷を高めているのではないかと考えられる。要因としては、全てのケースにおいて判定値の閾値が高すぎたことが考えられる。表-1 と表-2 のそれぞれのケースを見るとこの事例に関しては管路や処理場への負荷が低減され、かつ大きな水質改善効果が得られた Case-C3.5 (判定値 3.5 g/m³) と Case-Q3.5 (判定値 3.5 g/m³) のケースが最も最適な導入方法だと考えられる。

5. まとめと今後の課題

本研究では、「放流解析モデル」「水収支解析モデル」「物質収支解析モデル」からなる OHAM を使用し、未処理水流入吐口への可動堰の導入を想定した栄養塩類濃度の低減効果について可動堰の最適な運用方法の検討、施設導入に伴う水質改善効果の定量的な評価を行った。本稿では濃度判定で堰を可動させる方法と流量判定で堰を可動させる方法の 2 つの方法で比較・検討したが、どちらの方法でも全てのケースにおいて濠内 T-N 濃度は現状より低減させることが出来た。これは概ね希釈効果のある水を濠内に流入させることが出来たためであると考えている。だが、流量判定では濃度判定に比べて CSO の量が全てのケースで少なくなっていることから管路と処理場への負荷を高めていると考えられるため、流量判定で用いた判定値を別の視点から考え直す必要がある。

参考文献

1) 亀田哲平, 鈴木善晴, 植木望加 (2015): 流入汚水の水質変動を考慮した江戸城外濠における水質改善策に関する研究, 水文水資源学会 2014 年度研究発表会, pp.18-19.
2) 日本下水道事業団, 技術開発部: 合流式下水道の問題の実態, pp.11-23, 2001.