

江戸城外濠における水質シミュレーションモデルの改良と水質改善策の検討

法政大学大学院デザイン工学研究科 ○学生員 岩田 峻
法政大学デザイン工学部 正会員 鈴木 善晴

1. 研究の背景と目的

高度経済成長期において、江戸城外濠周辺の下水道網を整備する際、安価で工期の短い合流式が積極的に採用されてきた。合流式下水道は、降雨時に下水管内の水量が一定以上になると、その超過分の未処理水が公共用水域へ排水される仕組みである。この未処理水は合流式下水道雨天時越流水（Combined Sewer Overflow：CSO）と呼ばれ、夏季の植物プランクトンの異常増殖による「アオコ」の発生を招いており、周辺環境に景観障害や悪臭などの悪影響を与えている。そこで本研究では、先行研究により構築された水質シミュレーションモデルである水循環解析モデル OHAM（Outer moats of Yedo castle Hydrologic cycle Analysis Model）¹⁾と生態系モデル²⁾を用いて、江戸城外濠における水質改善策の評価を行った。

2. 江戸城外濠およびモデルの概要

本研究の対象地域である江戸城外濠（以下、外濠）は、上流から市ヶ谷濠、新見附濠、牛込濠の3つで構成されている。外濠の雨水吐口10箇所に繋がる下水管網が雨水を集める範囲（集水域）を図-1に示す。同図に示すように市ヶ谷濠は濠の水面面積が小さい割に集水面積は大きく、全体の約70%を占めている。このため他の濠と比べCSOによる汚濁負荷が大きく、水質の悪化が顕著である。そこで本研究では、市ヶ谷濠を対象として解析を行った。次に本研究で使用した水質シミュレーションモデルを概説する。

(1) 水循環解析モデル OHAM

水循環解析モデル OHAM（以下、OHAM）は、CSOの流入量及びCSO内物質量を計算し、外濠の水質変動を推定するモデルであり、「放流解析モデル」「水収支解析モデル」「物質収支解析モデル」から構成される。以下、放流解析モデルを中心に概説する。

放流解析モデルでは気象庁から得られた降雨データを入力し、外濠へ排出されるCSO諸量を計算している。下水管内の汚濁物質の計算には、各流入経路に設定した汚濁負荷量と平常時汚水量を用いている。汚濁負荷にはファーストフラッシュを考慮しており、雨水による汚濁負荷は降雨継続時間に応じて指数関数的に減少するとし、降雨継続時間120分以降は路上堆積物による汚濁負荷は考慮しないものとしている。平常時汚水量は一人一日あたりの汚水量原単位を用い、町丁目ごとの昼夜人口によって計算している。水収支解析モデルでは流入量から外濠の水収支を解き、任意の時刻における濠内の貯水量を計算する。

物質収支解析モデルでは二つのモデルの解析結果を用いて濠内の物質量を算出する。

このようにOHAMにおいても水質計算は可能であるが、より詳細な計算を行うために、本研究では次に述べるモデルを用いて解析を行うこととした。

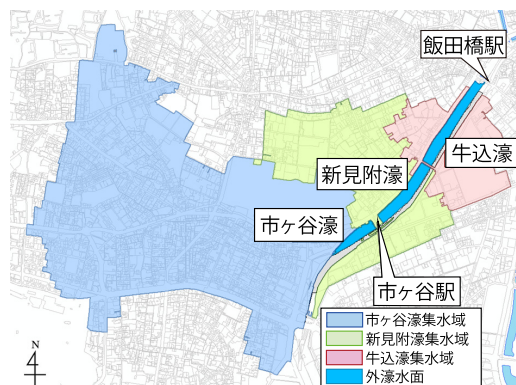


図-1 外濠とその集水域の概要図

(2) 生態系モデル

生態系モデルの概念図を図-2に示す。各層が水理現象にともなう体積収支に応じて伸縮、上下移動するLagrange型の鉛直一次元モデルである。DYRESM（Dynamic Reservoir Simulation Model）を基本にして、他貯水池を対象に道奥³⁾らが独自にコード化したものを、さらにパラメータやプログラムの一部を変更し、外濠を対象に使用している。モデルは「水理モデル」と「水質モデル」から構成されている。

水理モデルは、各層の容積・熱エネルギー・乱流エネルギー収支が、DYRESMに基づいて定式化されている。考慮されている主な水理現象は、鉛直混合、風応力、河川流入、水面熱収支などである。

水質モデルは化学的、生物学的な反応による水質の生産・消費を考慮している。解析可能な水質項目はChl-aや無機態・有機態の窒素・リン、溶存酸素濃度などを含む計14項目であり、植物プランクトンは藍藻類のみ考慮している。

以上2つの水質シミュレーションモデルを用いて解析を行う。OHAMによって得られるCSO流入量、CSO水質濃度などを入力データとして生態系モデルへ与えることで、濠内のChl-a濃度や栄養塩類濃度の変動を解析する。

3. 水質シミュレーションモデルの改良

(1) 改良点

CSO流入量やCSO水質濃度などの入力データの与え方を1日間隔から1時間間隔に変更し、それに伴い両モデル内の一部を書き換えた。

道奥らの研究で使用されていたモデルは貯水池を対象としたものであった。入力データの与え方としては、1日間隔のデータを、設定された計算ステップ（1時間間隔）に線形補間や平均化をしていた。しかし、本研究の対象である外濠は、CSOを主な取水源としており、数日晴天が続いた後に降雨により数時間CSOが流入するといったことが多い。このような条件で入力データの変換を行うと、実現象からかけ離れた流入状態となってしまう可能性がある。

Key Words: 江戸城外濠, アオコ, CSO, 水質改善策, 水質シミュレーションモデル

〒162-0843 東京都新宿区市谷田町 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 & FAX: 03-5228-1389

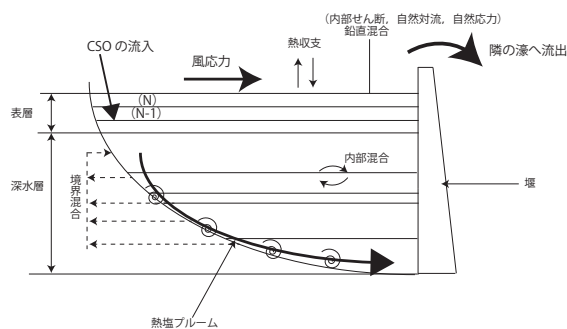


図-2 生態系モデル

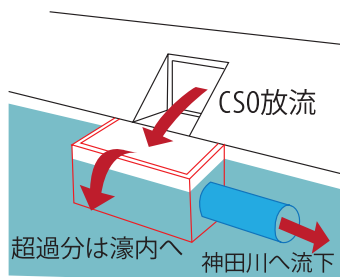


図-4 外濠保全水路の吐口

以上を踏まえ、このような変換を行わないようモデル内の一部を変更し、OHAM から得られた 1 時間間隔のデータを、生態系モデルに与えることができるように改良した。

(2) 改良前後における解析結果の比較と考察

2013 年の市ヶ谷濠における Chl-a 濃度の変動について、改良前後を比較した図を図-3 に示す。赤線がモデル改良前、青線が改良後である。図-3 より、濃度の変動する様子が大きく変化した。この理由は、CSO の流入量や流入の継続時間、その時刻における CSO の水質濃度が、改良前後で大きく異なるためであると考えられる。

以上から、入力データの与え方を 1 時間間隔に変更したことで、より実現象に近い条件における濠への CSO 流入が再現可能になったといえる。

4. 水質改善策の評価

(1) 外濠保全水路の概要と設定

外濠保全水路の概要図を図-4 に示す。導水管を繋げた「升」を各吐口の外部に設置し、升へ入った CSO を下流の神田川へ排水させる仕組みである。降雨初期の CSO（水量が少なく高濃度）は流下させ、降雨後期の CSO（水量が多く低濃度）は升から溢れさせることで、濠内濃度を希釈する効果が期待される。このため、どの程度の大きさの升を、各吐口へ設置すべきか検討する必要がある。しかし、吐口ごとに集水域が異なるため、放流される CSO の量も大きく異なる。そこで既往研究では OHAM を用いて、過去 6 年間における吐口ごとの 1 分間あたりの最大 CSO 放流量を、OHAM の放流解析モデルを用いて計算し、この値に対して 5～30 % の間で升ごとの流下能力を設定した。例として、最大 CSO 放流量=149 m^3/min の吐口で 5 % と設定した場合、 $149 \times 0.05 = 3.275 m^3/min$ が升の流下能力となり、この値を超過した分だけが外濠へ流入する。

以上を踏まえ、升の大きさ（流下能力）の目安となる、5～30 % の間で外濠保全水路の評価を行った。

(2) 解析結果と考察・評価

2016 年の市ヶ谷濠における Chl-a 濃度の変動について、外濠保全水路の導入前後を比較した図を図-5 に示す。黒線

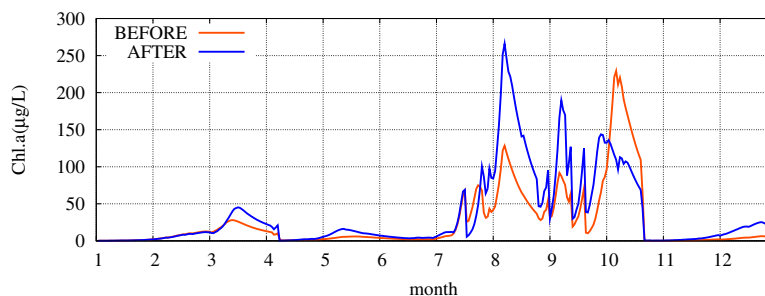


図-3 市ヶ谷濠における Chl-a 濃度の変動（改良前後、2013 年）

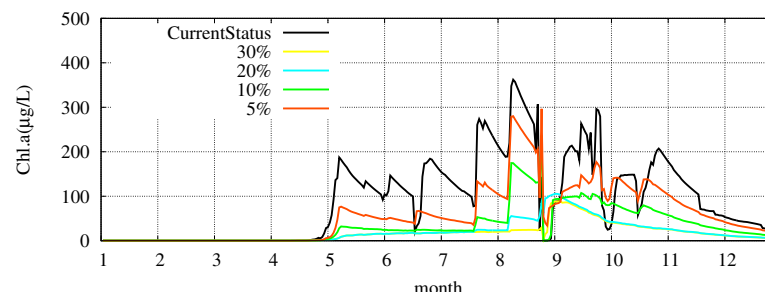


図-5 市ヶ谷濠における Chl-a 濃度の変動（外濠保全水路、2016 年）

が導入前（現状）その他が導入後であり、升の大きさ（流下能力の大きさ）は黄線が最も大きく、赤線が最も小さい。図-5 より、8 月後半の Chl-a 濃度が急低下した時期においては、20 % よりも 10 %、5 % のような小さい升のほうが低減効果があることがわかる。この理由は、強い雨の場合、雨水により十分に希釈された CSO が大量に放流されることから、より小さい升ほど清浄な CSO が多く濠へ溢流したためである。ただし通年では、20 % や 30 % のような、より升が大きく濠への CSO 流入を抑える条件ほど、Chl-a 濃度の上昇を抑える傾向にあることがわかる。

以上から、外濠保全水路の有効性について、Chl-a 濃度の低減効果は期待できるが、升の大きさを決定する際、升を小さくすることで起こる溢流を狙うよりも、升を大きくすることで CSO の流入を防ぐほうが、より低減効果が現れると考えられる。

5. まとめと今後の課題

本研究では水質シミュレーションモデルの改良を行い、水質改善策の評価を行った。モデルの改良により解析の再現性が向上した。市ヶ谷濠において、外濠保全水路による水質改善の効果が期待された。また、吐口に設置する升を小さくすることで起こる溢流を狙うよりも、升を大きくして CSO の流入を防ぐほうが、より低減効果が現れる結果となった。

今後の課題としては、計算可能な植物プランクトン種の追加、他の水質改善策を単用・併用した場合について検討、新見附・牛込濠も解析することが必要である。

参考文献

- 1) 亀田哲平、鈴木善晴、植木望加：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 年度研究発表会要旨集、pp186-187、2014。
- 2) 小谷英之：貯水池における中層の貧酸素化と曝気による水質改善施策の検討、神戸大学、修士論文、2006。
- 3) 道奥康治・小谷英之・小林秀典：中層貧酸素化の軽減を目的とした貯水池曝気施設の計画、水工学論文集、第 51 巻、2007。