

名古屋市合流式下水道雨天時 越流水に関する研究

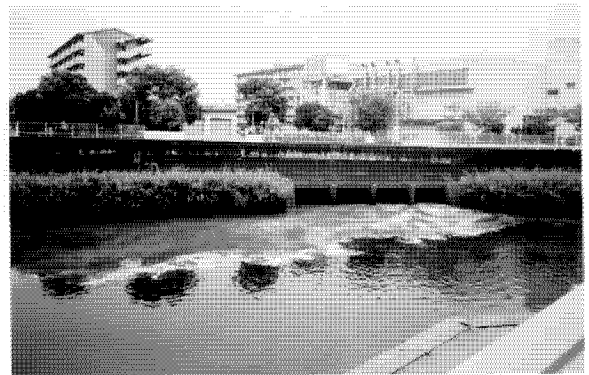
1. 研究目的

合流式下水道の雨水吐き口から放流される雨天時越流水（CSO：Combined Sewer Overflow）は、放流先水域（海域、河川・湖沼など）を汚染し、水環境を悪化させる要因の一つとなっている。また、CSO を起因とする夾雑物や臭気などにより公共衛生、景観上への影響についても懸念されている。

その対策として、平成 15 年度には下水道施行令が改正され、合流式下水道を採用している自治体では、原則として平成 16 年度より 10 年以内に所要の合流改善対策を実施することが義務づけられ、現在、確実な改善対策事業が進められているところである。

しかしながら、CSO 放流先水域に対する改善対策効果の評価・確認については、全国的にも十分に実施されているとは言えず、合流改善事業の市民に対する説明責任を果たすためにも、早急に対応を図る必要がある。

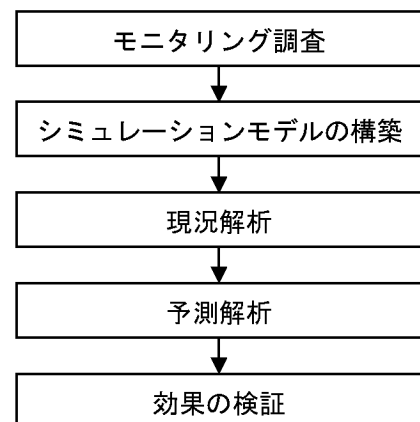
そこで、名古屋市と財団法人下水道新技術推進機構は、平成 16 年度から CSO に含まれる汚濁物質の放流先水域への拡散現象や、合流式下水道改善対策の放流先水域に対する効果を定量的に把握するため、市内 10 河川および名古屋港を対象に、放流先水域の順流河川や感潮河川を対象とした「汚濁物質拡散モデル」の研究と、本モデルを活用した CSO による放流先水域の影響解析を共同で進めている。



写真－1 CSO 放流状況

2. 研究内容

本研究のフローを図－1 に示す。



図－1 研究フロー

モニタリング調査は、名古屋市内の各河川の代表吐き口（雨水吐、雨水ポンプ所）および放流先水域・名古屋港を対象に実施し、現況における CSO の影響を定量的に把握するとともに、汚濁物質拡散モデルの構築に必要な基礎データとする。

シミュレーションモデルの構築は、市内の主要な河川（順流域、感潮域、湛水域）を対象に CSO 流入による汚濁負荷拡散状況を再現するためのモデルを構築する。

現況解析では、シミュレーションモデルを活用し、モニタリング調査結果を用いて現況を再現することでモデルの各種パラメータの同定を行う。また、予測解析では、合流式下水道改善対策を図った場合の汚濁負荷放流状況を予測する。

効果の検証では、現況と予測解析の結果から合流式下水道改善対策の水質改善効果について定量的な評価・把握を行うとともに、これら事業の水質改善効果を市民にわかりやすい評価指標を用いて表現する。

流出入水の量・質、水路形状、温度、塩分濃度に基づく密度分布、底泥からの巻き上げ等の物理的要因や生物学的または化学的要因に大きく左右される。

そこで本研究では、質量保存則から水の連続式と密度偏差式を求め、さらに密度偏差式から求められる水温と水質濃度の収支則に汚濁物質の増減を表す生産消費項や拡散係数で構成した汚濁物質拡散項を加えた数式モデルを構築した。

式-1、式-2、式-3に本モデルの基礎となる流れの連続式、運動量保存則、水質濃度収支則を示す。このうち、水質濃度収支則における生産消費項 R は、底泥からの巻き上げや生物学的または化学的反応による増減を水質項目毎に数値化している。

なお、河川の幅方向（y）に関する各要素の変化は、縦断方向（x）および水深方向（z）と比べて僅かであると判断し、幅方向（y）の要素変化を省略した鉛直二次元モデルとなっている（図-2）。

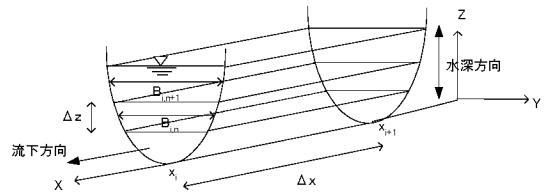


図-2 鉛直二次元モデル

3. 研究結果

3.1 汚濁物質拡散モデル

CSO 放流先水域における汚濁物質の流れの挙動は、

<連続式>

$$|uB|_{X_i}^{X_{i+1}} \Delta Z + |wA|_{Z_n}^{Z_{n+1}} + q_b = 0 \dots \text{式-1}$$

<運動量保存則>

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{1}{A} |uuB|_{X_i}^{X_{i+1}} - \frac{1}{A \cdot \Delta Z} |uwA|_{Z_n}^{Z_{n+1}} - \frac{1}{A \cdot \Delta Z} uq_b - \frac{1}{A} \left| \frac{p}{\rho} B \right|_{X_i}^{X_{i+1}} + \frac{1}{A} |D_{mx} \frac{\partial u}{\partial x} B|_{X_i}^{X_{i+1}} + \frac{1}{A \cdot \Delta Z} |D_{mz} \frac{\partial u}{\partial z} A|_{Z_n}^{Z_{n+1}} \dots \text{式-2}$$

<水質濃度収支則>

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{1}{A} |CuB|_{X_i}^{X_{i+1}} - \frac{1}{A \cdot \Delta Z} |CwA|_{Z_n}^{Z_{n+1}} - \frac{1}{A \cdot \Delta Z} c_b q_b + \frac{1}{A} |D_{cx} \frac{\partial C}{\partial x} B|_{X_i}^{X_{i+1}} + \frac{1}{A \cdot \Delta Z} |D_{cz} \frac{\partial C}{\partial z} A|_{Z_n}^{Z_{n+1}} - \frac{1}{A \cdot \Delta Z} |Cw_o A|_{Z_n}^{Z_{n+1}} + R \dots \text{式-3}$$

u, w: x, z 方向の流速成分, B: セル幅, q_b: 吐口等の横流入量, D_{mx}, D_{my}: x, z 方向の運動量拡散係数, D_{cx}, D_{cz}: x, z 方向の水質拡散係数, A: セルの水平方向断面積, p: 圧力, C: 水質濃度 (BOD, DO, COD, T-N, T-P, 大腸菌群数など), Δz: 水深方向のセル長, w_o: 沈降速度, R: 水質濃度の生産消費項

3.2 モデルを活用した対策効果の確認

合流式下水道改善対策効果の検証は、流域面積約 10.2km² の N 運河を対象に実施した。N 運河は河口が閘門により閉じられているため、湛水域のような状態であるが、現在、運河内の水質浄化を目的として名古屋港の海水を河口のゲートから取り入れ循環させているため、水域内には海水による密度層が形成されている。このような水域の状況を考慮して、N 運河では鉛直二次元モデルを用いて解析を行った。

図-3 に N 運河のモデル概要を示す。

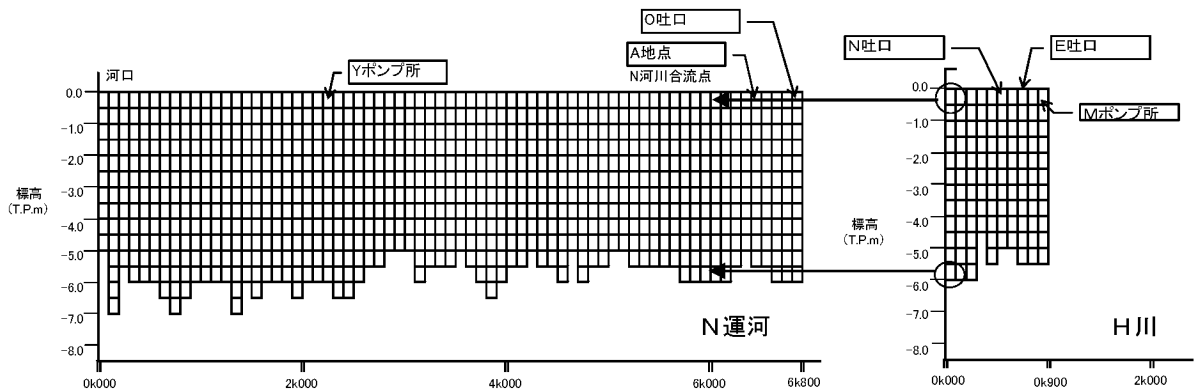


図-3 N 運河のモデル概要

合流式下水道改善施策は、降雨初期に発生する高濃度の CSO を 2mm/ha または、6mm/ha 貯留する滞水施設の設置を想定した。なお、現況解析に用いた各吐き口からの CSO の初期越流水を貯留分カットして予測解析の流入条件とした (表-1)。

表-1 解析条件

	雨天時越流水
現況	直接放流
将来 1	2mm/ha 貯留
将来 2	6mm/ha 貯留

汚濁物質拡散モデルを用いた現況および予測解析 (将来 1, 将来 2) の結果、CSO 発生後の水質濃度の最大値を比較すると、A 地点の表層において、BOD・COD・T-N・T-P が 6mm/ha 貯留により約 3~4 割 (2mm/ha 貯留では約 1 割)、大腸菌群数や糞便性大腸菌群数が約 6 割 (2mm/ha 貯留では約 2 割) 削減される試算結果となった (表-2)。

なお、解析の単位は、縦断方向 (100m)、水深方向 (0.5m)、川幅方向 (35~132m) を 1 セルとし、このセルの集合体によって河川をモデル化した (図-4)。

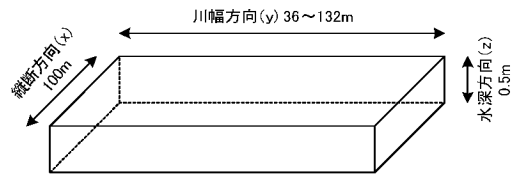


図-4 セルの概念

表-2 CSO 発生後の水質最大値 (A 地点表層)

水質項目	現況解析	予測解析	
		2mm/ha 貯留	6mm/ha 貯留
BOD (mg/l)	28.0	23.8 (15%)	15.1 (46%)
COD (mg/l)	15.4	13.4 (13%)	9.1 (41%)
T-N (mg/l)	4.5	3.8 (14%)	3.0 (33%)
T-P (mg/l)	0.58	0.51 (12%)	0.38 (34%)
大腸菌群数 (個/100ml)	853,000	673,000 (21%)	329,000 (61%)
糞便性大腸菌群数 (個/100ml)	127,000	94,600 (26%)	54,800 (57%)

※解析には雨天時モニタリング調査実施日で得られた降雨を使用 (総降雨量 25mm, 最大降雨強度 6.0mm/hr)
 ※カッコ内は現況に対する削減率

また、計算区間全体の水質濃度分布より、塩分濃度の高い河川水との密度の差から、淡水であるCSOの汚濁は表層部分に高濃度の汚濁が集中し、時間とともに拡散していく傾向が伺えた。

なお、合流改善対策を行った場合は、水質濃度の高い部分が減少し、時間経過後の回復も早くなる傾向が予測された(図-5)。

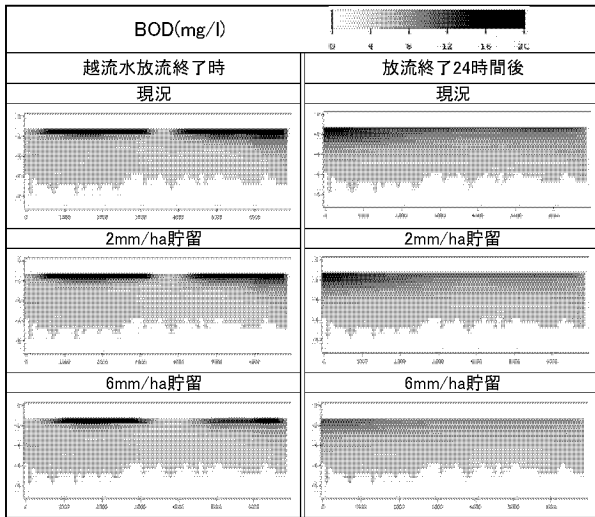


図-5 BOD水質の解析結果(N運河)

3.3 水質評価指標の検討

合流改善対策や高度処理による水質改善効果について、市民にわかりやすい評価指標の検討を行った。検討にあたっては、資料や文献より「水質に関する基準」や「水質項目の濃度による特性」、「身近なものとの濃度との比較」、「魚が棲める水質」、「施策実施により変化する現象」について収集した。

これらの項目を基に、わかりやすさ、適応性、信頼性等について分析し、引用・応用して、市民にわかりやすい水環境に対する評価指標(案)を作成した(表-3)。

評価指標(案)によれば、H川では「利用できない」水が、「散水や水洗便所用水」として利用できる程度に、Y川では「散水や水洗便所用水」としてしか利用できなかった状態から「岸辺の散歩が楽しめる」、「フナ類が生息できる」、「河口域ではフジツボ類が生息できる」となる等、市民が理解しやすい表現により改善効果がわかるよう配慮した。

表-3 BOD評価指標(案)

濃度 (mg/L)	指標	H川*	Y川*	出典
1	良好な自然環境			生活環境の保全に関する環境基準
2	泳げる			生活環境の保全に関する環境基準
3	川に入っでの遊びが楽しめる アユ・モロコが生息できる			名古屋市環境目標値
5	水際での遊びが楽しめる カマツカ・オイカワが生息できる 河口域ではマハゼ、スズキ、ボラが生息できる。			名古屋市環境目標値
8	岸辺の散歩が楽しめる フナ類が生息できる 河口域ではフジツボ類が生息できる		○7.4 ◎7.5	名古屋市環境目標値
10	見て楽しめる(修景用水)			下水処理水再利用技術指針(案)(H3/4)
20	散水用水、水洗便所用水として利用できる	○12.2 ◎16.9	●12.4	下水処理水再利用技術指針(案)(H3/4)
20を超える			●27.0	-

●現状、◎高度処理+簡易処理高度化+2mm貯留、
○高度処理+簡易処理高度化+6mm貯留

*H川は放流終了、放流終了12時間後、1日後、2日後、3日後の平均水質。Y川は放流開始2時間後、6時間後、12時間後の平均水質

4. まとめ

汚濁物質拡散モデルを活用したN運河の予測解析の結果、水質最大値の比較で、合流式下水道改善施設の導入により、BOD・COD・T-N・T-Pが6mm/ha貯留により約3~4割(2mm/ha貯留では約1割)、大腸菌群数や糞便性大腸菌群数が約6割(2mm/ha貯留では約2割)削減されると予測され、モデルの有用性が確認された。今後は、さらに海域も含めた水域のモデル化と解析を行い、合流改善対策による市内合流区域全域を対象とした事業効果の検証を進める予定である。

また、評価指標(案)の検討では、BOD以外の水質項目においては対応できる親しみやすい指標の設定が困難なものもあり、今後とも新たな知見を取り入れ、改善していく必要がある。

●この研究を行ったのは

研究審議役兼研究第一部長
研究第一部副部長
研究第一部研究員

藤木 修
小野田吉恭
秋葉 竜大

●この研究に関するお問い合わせは

研究第一部長
研究第一部副部長
研究第一部研究員

清水 俊昭
小野田吉恭
秋葉 竜大