

降雨時の下水未処理水流入が日本橋川の水質変動に与える影響

中央大学大学院 学生会員 陳 珊瑚
 中央大学 正会員 大平 一典
 中央大学 フェロー会員 山田 正

1. はじめに

日本橋地域は「日本の顔」として長い歴史を持ち、世界でも有名な場所である。近年、日本橋地域の活性化と新たな魅力を創造するプロジェクト「日本橋再生計画」を展開している。

しかし、日本橋川は日本橋地域の最も重要な一部分であるにもかかわらず、悪臭の発生やスカムの浮遊、夏場を中心にアオコの発生など様々な水質の問題が存在している。現地調査より、上流水処理場からの放流や底泥の巻き上げや外堀からの流入など原因がある¹⁾。魅力がある水辺空間形成のためには河川水質の改善は非常に重要なことである。

本研究では降雨時下水越流水からの汚濁物質の流入による水質変動の解明を目的として現地観測及び降雨時溶存酸素濃度の変化に対する再現計算を行った。

2. 研究対象概要

日本橋川は神田川の支流であり、小石川橋で神田川から分流し、千代田区及び中央区を流れ、隅田川に注ぐ延長約4.8kmの一級河川であり、ほぼ全流路に渡って首都高速道路の高架下を流れている。全区間が東京湾の潮汐の影響を受ける感潮域となっている。

図-1に示す日本橋川の全排水面積は約4km²であり、全て市街地である。下水道は合流式で整備されており、雨水の流入により下水の流量が管路の能力を超えると河川に未処理水を放流する仕組みとなっている。

3. 降雨時における溶存酸素飽和度の変動

出水時における水質の変動を解明するため、現場観測を行った。図-2と図-3に日本橋川西河岸橋地点(河口から5.5km)における溶存酸素飽和度、潮位、降雨強度の時系列を示す。

溶存酸素飽和度の挙動を見ると、変動は三つのパターンを分けられる。1)中規模降雨(最大降雨強度 10mm/h)後に全層で溶存酸素飽和度が0%近くまで急激に低下した。2)大規模降雨(最大降雨強度 16mm/h)後に溶存酸素飽和度が80%近くまで全層で急激に上昇した。3)小規模降雨(最大降雨強度 5mm/h)後にほとんど溶存酸素飽和度の変動がなかった。

溶存酸素飽和度が急激に低下した要因として二つ考えられる。一つ目は中野水再生センターおよび落合水再生センターから一時放流水及び下水道からの越流水の合流式下水道からの未処理水には有機物が多く含まれる。



図-1 日本橋川排水域及び観測地点.

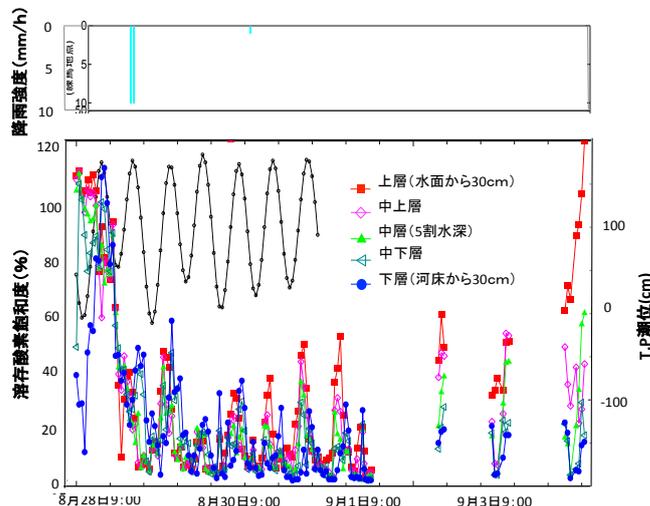


図-2 中規模降雨後に溶存酸素飽和度の変動.

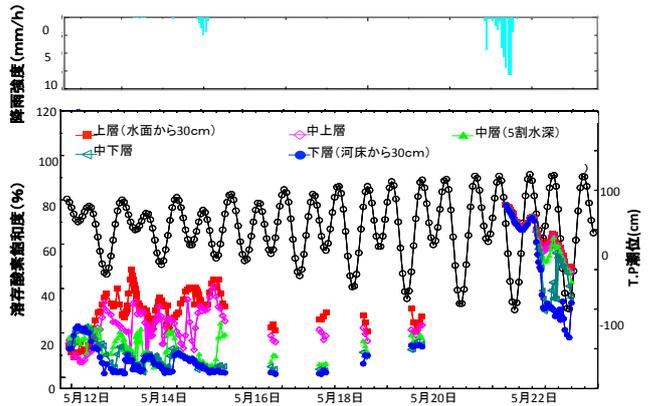


図-3 小規模降雨・大規模降雨後に溶存酸素飽和度の変動.

センターからの一時放流水及び下水道からの越流水の合流式下水道からの未処理水には有機物が多く含まれる。

そのため、一時処理水や越流水に含まれる有機物などが日本橋川で沈殿し、急激に酸化されたため溶存酸素飽和度が低下した可能性が考えられる。二つ目は底泥の巻上げによる酸素消費である。出水により流速が上昇し、その下部の底泥から懸濁物質が巻上げられることにより酸化が生じた可能性が考えられる。

4. 中規模降雨時溶存酸素濃度の変化に対する再現計算

1) 計算条件

中規模降雨時における溶存酸素濃度低下現象の原因を解明することを目的として再現計算を行った。水理計算および濃度拡散については(1),(2),(3)式を用いた。

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\alpha \frac{Q^2}{A})}{\partial x} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{n^2 g Q |Q|}{AR^{4/3}} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial(AC)}{\partial t} + \frac{\partial(QC)}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \left(AD \frac{\partial C}{\partial x} \right) = -AKC + C_2 \cdot q \quad (3)$$

ここに Q : 流量 [m^3/s], A : 通水面積 [m^2], q : 側方流入 [m^3/s], R : 径深 [m], α : 補正係数, h : 水位 [m], n : 粗度係数, C : 濃度 [mg/l], D : 拡散係数 [m^2/s], K : 線形減衰係数 [$1/s$], C_2 : 生成/吸収濃度 [mg/l]である。

また、本研究で底泥の BOD 及び水中の BOD を区別して計算することを考慮し、酸素過程に(4)式を用いた。

$$\frac{dDO}{dt} = K_2(C_s(t) - C(t)) - K_d \cdot BOD_d \cdot \theta_d^{(T-20)} - K_s \cdot BOD_s \cdot \theta_s^{(T-20)} - K_b \cdot BOD_b \cdot \theta_b^{(T-20)} - R_{20} \cdot \theta_2^{(T-20)} + P - B \quad (4)$$

ここに K_2 : 再曝気係数 [$1/day$], C_s : 溶存酸素飽和量 [mg/l], BOD_d : 溶存態 BOD 濃度 [mg/l], BOD_s : 浮遊態 BOD 濃度 [mg/l], BOD_b : 底泥中の堆積態 BOD 濃度 [mg/l], K_d : 溶存有機物分解率 [$1/day$], K_s : 浮遊有機物分解率 [$1/day$], K_b : 堆積有機物分解率 [$1/day$], $\theta_d, \theta_s, \theta_b$: それぞれ形態 BOD の温度補正係数, R_{20} : 水生生物の呼吸速度 [$gO_2/m^2/day$], P : 生物呼吸による酸素生産速度 [$gO_2/m^2/day$], B : 底泥による酸素消費速度 [$gO_2/m^2/day$]である。下水幹線内における流量は式(5),(6),(7)に示す準線形貯留型モデルを用いて計算した。

$$Q(t) = \sum \{A_i \times q_i(t)\} / 3.6 + Q_b(t) \quad (5)$$

$$q(t+1) = \{r_c(t+1) \cdot \Delta t + q(t) \cdot (K - 0.5 \cdot \Delta t)\} / (K + 0.5 \cdot \Delta t) \quad (6)$$

$$K = 1/90 \cdot C \cdot A^{0.22} \quad (7)$$

ここに流域面積 $A=4.5km^2$, 基底流量 $Q_b=0m^3/s$, 有効降雨定数 (市街地): 一次流出率 $f_1=0.9$, 飽和雨量

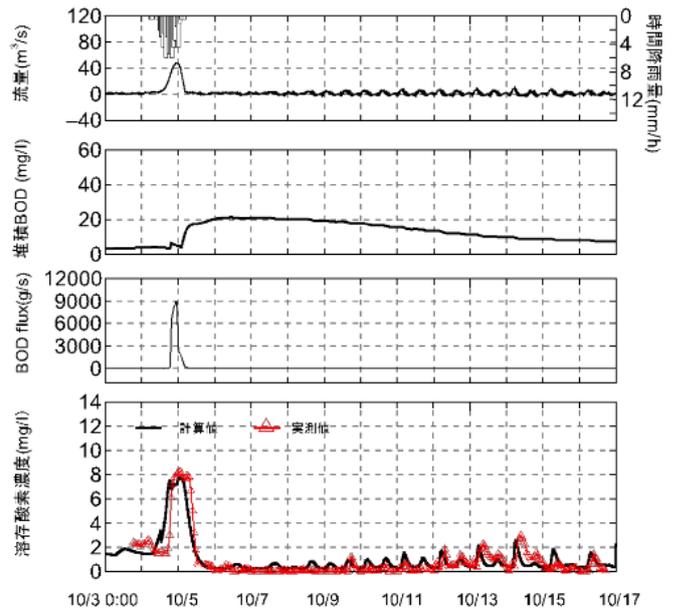


図-4 中規模降雨時における溶存酸素濃度、 BOD flux 及び堆積 BOD の変化の計算結果

$R_{sa}=55mm$, 土地利用係数 $C=50$ である。

また、流入量が $50m^3/s$ を超え、ピーク流量に至るまでをファーストフラッシュと定義し、流入する BOD 濃度を $200mg/l$ とした。ピーク流量から $50m^3/s$ を下まわるまでの BOD 濃度を $50mg/l$ とした。

2) 計算結果

最大降雨強度 $6mm/h$, 継続時間 19 時間の降雨が発生したときの解析結果を図-4 に示す。図より計算値は実測値をよく表現しており、降雨後一時に再曝気のため、溶存酸素濃度が上昇した。その後、下水道からの未処理水に含まれる有機物等が日本橋川で堆積し、長期間に渡り酸素を消費している可能性を示す。

5. まとめ

- 1) 東京都下水道台帳及び下水道局の資料から日本橋川の下水集水域面積を求め、約 $4km^2$ であることが分かった。
- 2) 未処理水に含まれる有機物が微生物により酸化分解される時、水中における酸素の消費量は増えることを考えられた計算値は実測値をよく表現しており、下水道から未処理水の流入による溶存酸素濃度への影響が分かった。

6. 参考文献

- 1) 山角康樹, 浅見龍一, 山田正, 井上智夫: 都市河川感潮域における水質の変動特性に関する現地観測, 土木学会水工学論文集, Vol55, s-1669, 2011
- 2) 呉修一, 渡邊暁人, 多田直人, 山田正: 都市河川感潮域における水質の空間分布特性に関する現地観測, 水工学論文集, 第 52 巻, pp.1105-1110