

(58) 冬季における堀川の水質変化に関する 現地観測と数値解析

武田 誠^{1*}・日置 梓²・遠山 智³・松尾直規¹

¹中部大学工学部都市建設工学科 (〒487-8501愛知県春日井市松本町1200)

²岐阜大学大学院工学研究科博士前期課程 (〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸1-1)

³コンピュータロン株式会社 (〒390-0811 長野県松本市中央1-4-20 日本生命松本駅前ビル6階)

* E-mail: mtakeda@isc.chubu.ac.jp

本研究は、名古屋市の中心部を流れる堀川を対象に、現地観測および数値解析を用いて水質変化の特性を検討したものである。平成17年8月から12月の現地観測により、濁度、DO、クロロフィルaの平均的な空間分布特性とそれぞれの関連が示され、名古屋市が行っている曝気装置の効果や影響範囲、中川運河からの導水の影響を受けた松重橋付近のDO値の上昇などの実態も明らかとなった。特に、冬季（11月15日から12月3日）にDO値の増加がみられ、中川運河からの導水が強く関与していることが推察された。また、冬季の水質変化を対象に、数値解析による再現計算を行い妥当な結果が得られた。各種境界条件を変更した解析結果から、堀川の水質変化は中川運河からの導水の影響を強く受けることが示された。

Key Words: Hori River, Water quality change, DO, Observation, Numerical analysis

1. はじめに

堀川は名古屋城築城において掘削された川であり、当時は運河としての機能を有し、岸辺も非常に賑わっていたと報告されている¹⁾。その後、いくつかの改修を重ね、現状では堀川上流を流れる黒川と猿投橋から下流の堀川として都市河川の形態を維持している。下流では新堀川と合流しており、その下流で名古屋港へ注いでいる。堀川の代表的な問題として水質汚濁や悪臭が挙げられるが、その要因として、次の4つが挙げられる。1) 自己流量が存在せず、庄内川から導水が行われているものの、その値はわずか0.3m³/secである。また、堀川流域からは、下水道処理水が流入し、これが堀川の淡水流入として支配的である。2) 堀川流域は合流式下水道であるため、ある一定以上の降雨(2mm/hと言われている)があれば、雨水吐から多量の雨水および未処理の汚水が流入し、汚濁負荷を増大させる。3) 堀川の下流は名古屋港とつながっており、河口から上流の猿投橋までは感潮河川である。したがって、夏季には名古屋港の劣悪な海水の影響を多大に受けることがある。4) これまでの負荷量の蓄積および底層の嫌気化により底泥がヘドロ化している。それにより金属類や悪臭物質の溶出が生じ、水質悪化の

一因となっている。

現在、堀川を対象に「流域管理と地域計画の連携方策に関わる共同研究」が進められており、著者らもそのグループに属している。本研究は、上述した共同研究グループの議論・検討の基礎資料となる堀川の流れと水質変化特性の把握を行ったものであり、特に、平成17年冬季における堀川の水質変化に与える中川運河からの導水の影響について考察している。

2. 現地観測の概要

主な観測場所は上流から順に、中橋、錦橋、納屋橋、天王崎橋、新洲崎橋、松重橋、住吉橋、大瀬子橋である。観測装置として多項目水質計(クロロテック(アレック電子社製)、WQC-24(東亜DKK社製))と流速計(AEM1-D、アレック電子社製)を使用した。測定項目は、水深、水温、塩分、電気伝導度、濁度、pH、DO、クロロフィルaである。観測日は8月6日(大潮)、9月27日(小潮)、10月18、19、20日(大潮)、10月24日(小潮)、10月31日(大潮)、11月15日(大潮)、11月24日(小潮)、12月3日(大潮)であり、主に早朝から夕方まで、満潮、上げ潮最大、干潮、下げ潮最

大を考慮して観測した。水質観測は最下流の大瀬子橋では水面下50cmの点から1m毎に観測し、あわせて河床から50cm上でも観測した。その他の橋では水面下50cm(表層)と河床から50cm(底層)とその中間点(中層)の3点で測定した。流速観測は水面下50cmと河床から50cmの2点で測定した。観測期間中には、納屋橋下流にDO改善のための曝気装置が設置されており、平成17年4月から稼働している。また、松重ポンプから中川運河の水が日量5~6万m³程度(平常時)導水されている。

本報では、得られた観測データから、濁度およびクロロフィルaとDOの平均的な空間分布および水質項目の相互の関係と、冬季の水質変化に焦点を絞って検討する。

3. 水質の平均的な空間分布と相互関連

観測により得られた濁度、クロロフィルaおよびDOの算術平均値を求め図-2に、同様に流速の算術平均値を求め図-3に示す。濁度の空間分布は、住吉橋~新洲崎橋付近で比較的值が高くなっていることがわかる。この付近では、表層あるいは底層の流速も大きくなっており、その影響を受けているものと考えられる。また、大潮時に比べると、小潮時の方が濁度が高くなっていた。特に、住吉橋、松重橋、新洲崎橋の中層、底層で濁度の上昇が見られたことから、中川運河からの導水の影響が現れているものと考えられる。つぎに、クロロフィルaの空間分布から、住吉橋や松重橋などの流れの速い場所では、クロロフィルaの値が減少していることが分かる。さらに、DOの空間分布から、松重橋や納屋橋で値が増加していることが分かる。松重橋は、中川運河からの導水の影響を強く受けていることが考えられ、納屋橋は、その下流に設置されている曝気装置の影響が考えられる。ただし、本図から曝気装置の影響は、その上下流に位置する納屋橋および新洲崎橋に見られるものの、堀川全域において大きな影響を与えていないことが分かる。

本報では主にDOに着目して検討していることから、DOが他の水質項目とどのような関係を示しているのかを検討した。また、水温と塩分の影響によりDO飽和値が変化することを考慮し、DO飽和度に換算して各水質項目との比較を行った。図-4にDO飽和度と濁度、DO飽和度とクロロフィルaの相関図をそれぞれ示す。DO飽和度と濁度の関係は、夏季には濁度が高くなるとDOが低下する傾向が見られる。これは、底泥の巻き上げによって、水中に有機物が浮遊し濁度が大きくなるが、その場合、有機物の分解作用により水中の酸素が消費されることが考えられ、これがDO飽和度と濁度の負の関係の要因と考えられる。また、冬季は夏季と同様に若干負の

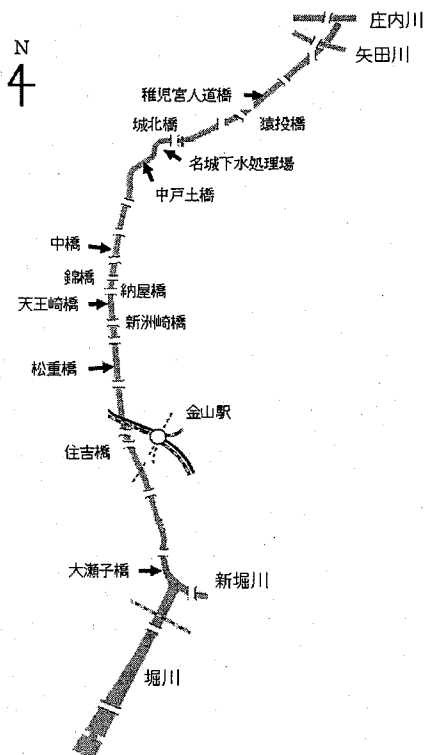


図-1 堀川の概要

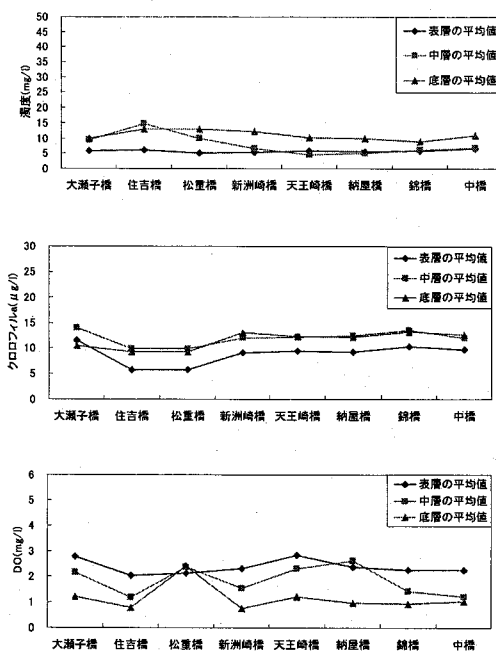


図-2 平均的な水質の空間分布

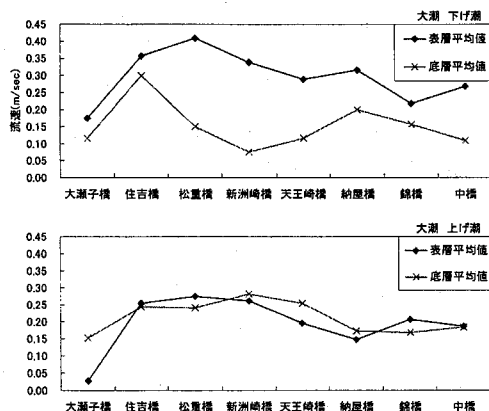


図3 流速の空間分布（上げ潮の場合）

関係が見られるものの、その関係は強いものではなく、DO飽和度とその他の水質項目とが強い関係であることが考えられる。DO飽和度とクロロフィルaの関係は、夏季は強い正の関係であるが、冬季は明瞭な関係がみられない。これは、夏季の高水温状態により水中に漂う植物プランクトンの生物活動が活発化することで、光合成による酸素の生成が増大することが関係しており、水温の低い冬季では日中においても生物活動が活発化せず、光合成による酸素生成が明瞭に見られないためであろう。

4. 平成17年冬季の水質変化

図-5に平成17年11月15日と平成12月3日のDO、濁度、クロロフィルaの空間分布を示す。本図から、11月15日から12月3日にかけての堀川の水質が明らかに変化していることが分かる。まず、DO値は、水温および塩分によって大きく変化することが知られている。そこで、同時に観測された水温、塩分を用いてDO飽和度を求めた。得られた値を表-1に示す。本表から、DO飽和値には大きな変化がないに関わらず、飽和度の方は大きな違いが見られる。したがって、12月3日の高いDOは、水温と塩分により定められるDO飽和値が変化したことによるものではない。図-6に11月15日と12月3日のDO飽和度と濁度、DO飽和度と水温の相関図を示す。本図より、DO飽和度と濁度には弱い負の相関が見られ、12月3日は、濁度が小さくなったことによりDO飽和度が大きくなったとも考えられる。しかしながら、両者の相関は小さく、この時のDO飽和度の上昇は濁度の低下と関係が無いとみられる。つぎに、DO飽和度と水温の相関を見ると、水温が18℃より高い11月15日の場合はDO飽和度が低く、一方、18℃より低い場合はDO飽和度が高くなっている

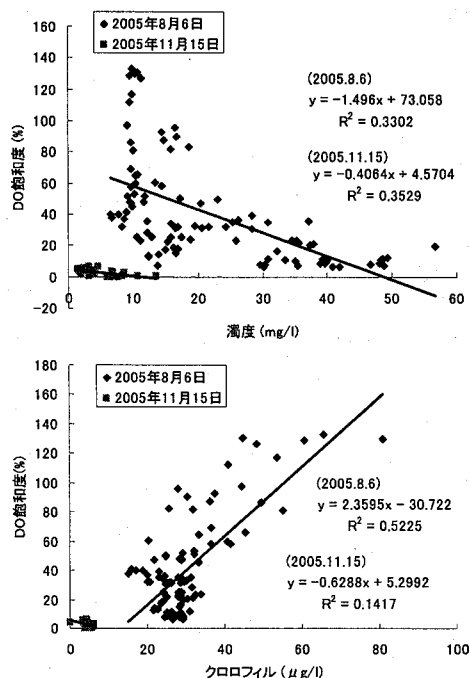


図4 DO飽和度と濁度、クロロフィルaの関係

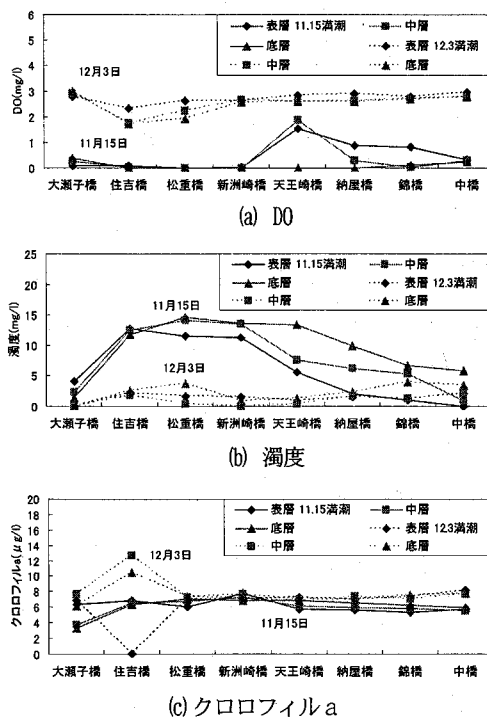


図-5 11月15日と12月3日の観測結果

が、後者の関係は、水中の酸素消費の低下によるものではなく、DOの高い中川運河の水(高塩分、低水温)が堀川

表-1 DO飽和値と飽和度

	11月15日			12月3日		
	平均値	最大値	最小値	平均値	最大値	最小値
DO飽和値	8.25	9.21	7.45	8.74	9.61	7.91
DO飽和度	6.18	37.37	0.00	31.54	49.25	21.14

に流入した結果と考えられる。このように、平成17年冬季には、堀川全域においてDOが高まっており、その要因として、中川運河からの導水による影響が挙げられた。この点を明らかにするため、つぎに数値解析を用いた検討を行う。

5. 冬季の水質変化に関する数値解析

(1) 数値解析モデルの概要

基礎方程式として、連続式、運動量方程式および水温、塩分、濁度、DOの収支式を用い、各方程式を鉛直二次元解析モデルに展開した。数値解析には有限体積法を用い、時間項には前進差分、移流項にはQuickスキーム、その他の項には中央差分を用いる。中間層に関する展開された式を以下に示す。

a) 流動に関するモデル化

連続式および運動量方程式と密度を決定付ける水温(T)および塩分(S)の方程式はそれぞれ式(1)～式(5)のようになる。

$$\frac{1}{B\Delta x\Delta z}\left|Q\right|_{S_i}^{S_i} + \frac{1}{B\Delta z}(wB_{S_v} - wB_{S_{vi}}) + \frac{q}{B\Delta z} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial uB\Delta z}{\partial t} + \frac{1}{\Delta x}\left|uQ\right|_{S_i}^{S_i} + \left|wuB\right|_{S_{vi}}^{S_v} = -\frac{\rho_0}{\rho}g\frac{B\Delta z}{\Delta x}\left|H\right|_{S_i}^{S_i} - \frac{gB\Delta z}{\rho\Delta x}\left(\int_z^\eta \Delta\rho dz - \int_z^\eta \Delta\rho dz\right) \quad (2)$$

$$+ \frac{1}{\Delta x}\left|\varepsilon_x\frac{\partial u}{\partial x}B\Delta z\right|_{S_i}^{S_i} + \left|\frac{\tau_{bx}}{\rho}\Delta z\right|_{S_{vi}}^{S_v} + \left|\varepsilon_z\frac{\partial u}{\partial z}B\right|_{S_{vi}}^{S_v}$$

$$\frac{\partial TB\Delta z}{\partial t} + \frac{1}{\Delta x}\left|TQ\right|_{S_i}^{S_i} + \left|wTB\right|_{S_{vi}}^{S_v} = \frac{1}{\Delta x}\left|K_x\frac{\partial T}{\partial x}B\Delta z\right|_{S_i}^{S_i} + \left|K_z\frac{\partial T}{\partial z}B\right|_{S_{vi}}^{S_v} + \frac{1}{\rho c}\left|Q_z\right|_{S_i}^{S_i} \quad (3)$$

$$\frac{\partial SB\Delta z}{\partial t} + \frac{1}{\Delta x}\left|SQ\right|_{S_i}^{S_i} + \left|wSB\right|_{S_{vi}}^{S_v} = \frac{1}{\Delta x}\left|K_x\frac{\partial S}{\partial x}B\Delta z\right|_{S_i}^{S_i} + \left|K_z\frac{\partial S}{\partial z}B\right|_{S_{vi}}^{S_v} \quad (4)$$

$$\rho = f(T, S) \quad (5)$$

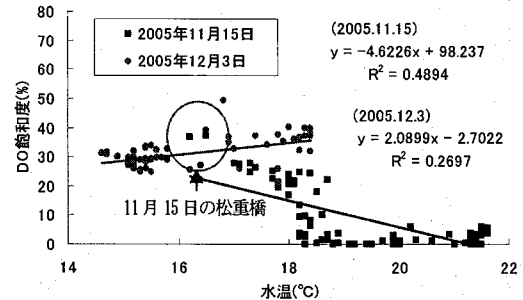
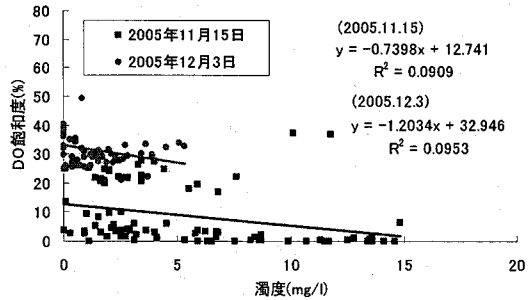


図-6 DO飽和度と水温の相関

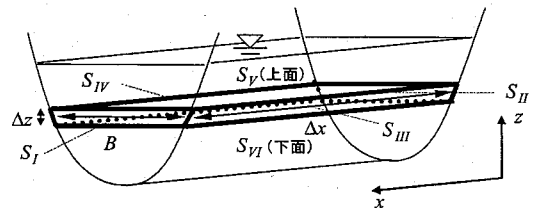


図-7 面の定義

なお、密度を示す式は、Knudsenの式を適用している。ここで、 u : x 方向(流下方向)の流速、 w : z 方向(鉛直方向)の流速、 B : 川幅、 Δx : x 方向の格子幅、 Δz : z 方向の格子幅、 Q : 流量($=uB\Delta z$)、 q : 単位長さあたりの横流入流量、 T : 水温、 S : 塩分、 ρ : 密度、 ρ_0 : 代表密度、 $\Delta\rho$: 密度偏差、 η : 水位、 c : 比熱、 ε_x 、 ε_z : それぞれ x 、 z 方向の渦動粘性係数、 K_x 、 K_z : それぞれ x 、 z 方向の渦動拡散係数であり、式中の S_I 、 S_{II} 、 S_{III} 、 S_{IV} 、 S_V 、 S_{VI} はそれぞれ図-7に示す面を意味している。

また、渦動粘性係数・渦動拡散係数は同じ値とみなし、水平方向の値は、リチャードソンの4/3乗則より、 $0.01 \times l^{4/3} \text{m}^2/\text{sec}$ (l : 代表長さ。ここでは格子幅100m)と設定した。鉛直方向の渦動粘性係数・渦動拡散係数 $\varepsilon_z = K_z$ は以下のように求めた。

$$\varepsilon_z = E_z = 0.001 \exp(-\alpha R_i) + 0.000001 \text{ (m}^2/\text{sec)} \quad (6)$$

$$R_i = -g \frac{\partial \rho}{\partial z} / \rho \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \quad (7)$$

ここで、 R_L : リチャードソン数、 g : 重力加速度、 V : 絶対流速、係数 $\alpha = 1.5$ とした。

さらに、底面および側面で作用するせん断応力 τ_{bx} は、マニング則を用いて、以下のように表した。

$$\tau_{bx} = \rho g n^2 u \sqrt{u^2 + w^2} / h^{1/3} \quad (8)$$

ここに、 n : マニングの粗度係数である。

水温は日射の影響や大気との熱輸送などにより大きく変化するため、流体内部の熱輸送のみではなく、大気などの外界との熱輸送(熱収支)をモデル化する必要がある。熱収支には水面に侵入する太陽の輻射熱 Q_s と、水面からの熱損失 Q_L として有効長波放射 (R)、顕熱交換 (LE)、潜熱交換 (H) を取り扱う²⁾。 Q_L は $R + LE + H$ として表される。以下にそれぞれに用いた式を記す。

輻射熱は全日射熱量を Q_{so} とすると

$$Q_s = (1 - \alpha) Q_{so} \quad (9)$$

として表される。ここに、 Q_s : 水面に侵入する太陽の輻射熱、 α : アルベド (0.06)、 Q_{so} : 全日射量である。水面吸収率を β とすると Q_s のうち βQ_s が水面で吸収され、残りが水面下に侵入する。水面から深さ h に達する熱は、減衰係数を η とすると、以下のように表される。

$$Q_z = (1 - \beta) Q_s \exp(-\eta h) \quad (10)$$

有効長波放射は経験式である Swinbank の式を用いると、

$$R = 0.97K \left\{ T_w^4 - 0.937 \times 10^{-5} T_A^6 (1.0 + 0.17 n_c^2) \right\} \quad (11)$$

となる。ここに、 K : Stefan Boltzman 定数 $= 1.171 \times 10^{-6}$ kcal/(m^2 day)、 T_w : 表面水温 (絶対温度)、 T_A : 気温 (絶対温度)、 n_c : 雲量である。

顕熱交換及び潜熱交換は経験式である Rohwer の式を用いると、

$$H + LE = (0.000308 + 0.000185W) \rho_w \times (e_s - e_A) \left\{ L_v + c T_s + \frac{269.1(T_s - T_A)}{(e_s - e_A)} \right\} \quad (12)$$

となる。 W : 風速 (水面上 15m)、 e_s : 表面水温に相当する飽和蒸気圧、 e_A : 気温に相当する飽和蒸気圧、 L_v : 蒸発の潜熱 $= 590$ kcal/kg、 T_s : 表面水温、 T_A : 気温、 ϕ : 絶対湿度 ($\phi = 100 \times e/E$)、 E : 飽和水蒸気圧、 e : 大気中の水蒸気圧である。

なお、これらの関係式は、表層における水温の収支式において水表面での拡散項を以下のように変形することにより、適用される。

$$\varepsilon_z \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{s_v} = \frac{\beta Q_s - Q_L}{\rho c} \quad (13)$$

b) 水質に関するモデル化

濁度および DO に関する式はそれぞれ式 (14) および式 (15) のようになる。

$$\frac{\partial FB \Delta z}{\partial t} + \frac{1}{\Delta x} \left[FQ \Big|_{s_1}^{s_1} + (w + w_s) FB \Big|_{s_v}^{s_v} \right] = \frac{1}{\Delta x} \left[K_x \frac{\partial F}{\partial x} B \Delta z \Big|_{s_1}^{s_1} + \varepsilon_z \frac{\partial F}{\partial z} B \Big|_{s_v}^{s_v} + F_p B_{s_n} \Delta z \right] \quad (14)$$

$$\frac{\partial DB \Delta z}{\partial t} + \frac{1}{\Delta x} \left[DQ \Big|_{s_1}^{s_1} + w DB \Big|_{s_v}^{s_v} \right] = \frac{1}{\Delta x} \left[K_x \frac{\partial D}{\partial x} B \Delta z \Big|_{s_1}^{s_1} + \varepsilon_z \frac{\partial D}{\partial z} B \Big|_{s_v}^{s_v} + D_p B \Delta z \right] \quad (15)$$

ここで、 F : 濁度、 D : DO、 w_s : 濁度の沈降速度、 F_p : 濁度の生成・消費項、 D_p : DO の生成・消費項である。なお、濁度 (F) に関する式では、底面における巻上げおよび水中の沈降を考慮している。

$$\text{底面} : F_p = E_{ss} / \Delta z \quad (16)$$

$$\text{底面以外} : F_p = 0$$

E_{ss} は底面での巻き上げフラックスであり、底面摩擦速度 u_* が限界摩擦速度 u_{*c} に対し、 $u_* > u_{*c}$ のとき、次式で算定される巻上げフラックスが発生するものとする。また、 e_s は巻き上げ速度である。

$$E_{ss} = e_s (u_*^2 / u_{*c}^2 - 1.0)^{1.7} \quad (17)$$

また、DO (D) の変化には、水表面における再曝気、水中における酸素消費、底面における酸素消費を考慮している。なお、 D_p はそれぞれの場所において、以下のようにモデル化されている⁴⁾。

$$\text{表層} : D_p = K_2 (D^* - D) - K_1 D$$

$$\text{中間層} : D_p = -K_1 D \quad (18)$$

$$\text{底層} : D_p = K_2 (D^* - D) - K_1 D - K_b B / \Delta z$$

ここで K_2 : 水表面での再曝気係数、 D^* : DO 飽和値、 K_1 : 脱酸素係数、 K_b : 底泥の酸素消費係数である。

(2) 計算領域および境界条件

本計算は、平成 17 年 11 月 15 日午前 5 時から 12 月 3 日午後 4 時までを計算の対象とする。格子層厚を 0.25m、上下流方向の格子幅 100m として、図-8 のように河口からの距離 3.65km の大瀬子橋から 13.6km の猿投橋までを計算領域とした。計算時間間隔 Δt は安定条件 (C.F.L 条件) により 0.5 秒とする。

各水質の初期条件は、11 月 15 日午前 5 時の実測値に基づいて与えた。また、初期の水位はそのときの名古屋港の潮位を与え、流速はすべて 0m/sec とする。境界条件は以下のように設置した。

a) 上流端条件 (猿投橋)

水温は以下のように気温 (T_A) の関係式から求め、塩分は 0psu、DO、濁度は実測値の平均 (DO : 6.2mg/l、濁度 : 4.9mg/l) を与える。

$$T = 0.394 T_A + 13.763 \quad (19)$$

b) 名城下水処理場

水温は上流端条件と同様な値を与え、濁度は名城下水処理場の観測値 (1.3mg/l) を与えた。塩分は淡水なので 0psu とした。DO に関しては 11 月 24 日、12 月 3 日の城北橋と中戸土橋の DO 飽和度の平均値 (43%) を用い、計

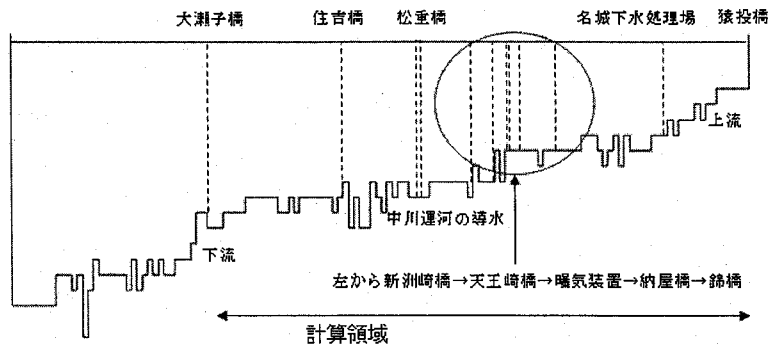


図-8 計算領域

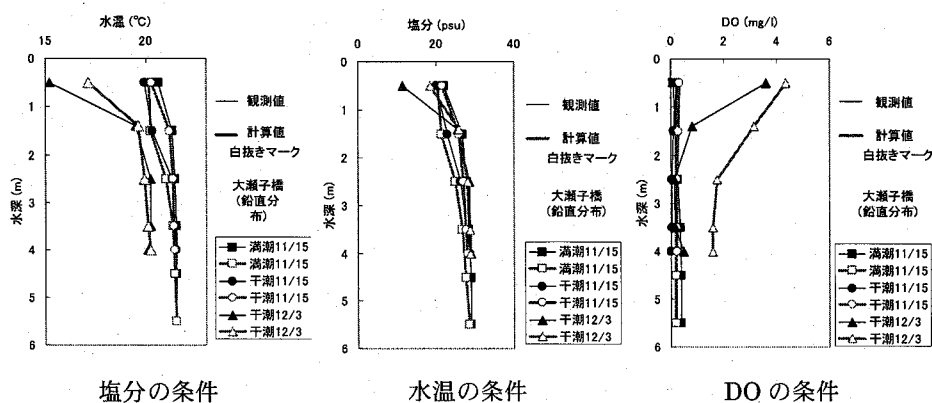


図-9 下流端開境界における水質項目の設定

算の中で DO 飽和値を求め、DO 飽和度 43%に相当する DO 値を与えた。

c) 曝気装置 (納屋橋)

納屋橋下流にある曝気装置を考慮する。T.P-1.45m の位置から流量 $0.0233\text{m}^3/\text{sec}^9$ で吸水し、その格子に流量 $0.0233\text{m}^3/\text{sec}$ にのった DO 飽和値を与えている。

d) 松重ポンプ (松重橋)

底から 1.0m 上の 2 格子に導水する。流量は実際の放水流量を与え、各水質は中川運河の西日置橋で観測したデータ (DO : 6.3mg/L , 濁度 : 2.2mg/L , 水温 : 13.2°C , 塩分 : 23.6psu) を与えている。

e) 下流端条件 (大瀬子橋)

水位は名古屋港での潮位を 1 時間ごとに与え、直線近似により計算時間に相当する値を算出した。塩分、水温、DO は実測値から水深、潮差の関数として、モデル式を構築し図-9 のように与えている。濁度は 11 月 15 日と 12 月 3 日の実測の日平均値を鉛直一様に与え、その間の期間は直線近似により値を設定している。

f) パラメータ設定

熱収支に関するパラメータとして、水面吸収率 β を

0.6、減衰係数 η を 0.5 とした。また、巻き上げ速度 e_s は $0.001(\text{g} \cdot \text{m}^2/\text{sec})$ 、限界摩擦速度 u_{*c} は $0.0125(\text{m}/\text{sec})$ 、マンニングの粗度係数は 0.02、沈降速度は $w=2.0\text{m}/\text{day}$ とした。さらに、 K_2 : 水表面での再曝気係数を 0.15 (1/day), K_1 : 脱酸素係数を 1.0 (1/day), K_b : 底泥の酸素消費の係数を $0.25(\text{mg}/\text{m}^2/\text{day})$ とした。なお、鉛直方向の渦動粘性係数・渦動拡散係数の係数値 $\alpha = 1.5$ や上記の値は数値実験により試行錯誤的に定められたものである。まず、塩分の再現計算から、鉛直方向の渦動粘性係数・渦動拡散係数の値を検討し、つぎに、水温、濁度、DO の再現計算から、熱収支、濁度、DO の順で関係するパラメータを検討した。

(3) 再現計算

解析結果の一例として、図-10 に 11 月 24 日と 12 月 3 日の水温、塩分、DO の空間分布を示す。本図から、大潮、小潮における成層の発達 (表層と底層の水温差、塩分差の発生) や、計算値と観測結果が概ね一致していることが分かる。また、DO の空間分布からも、観測結果と解析結果の一致がみられており、計算結果の妥当性が

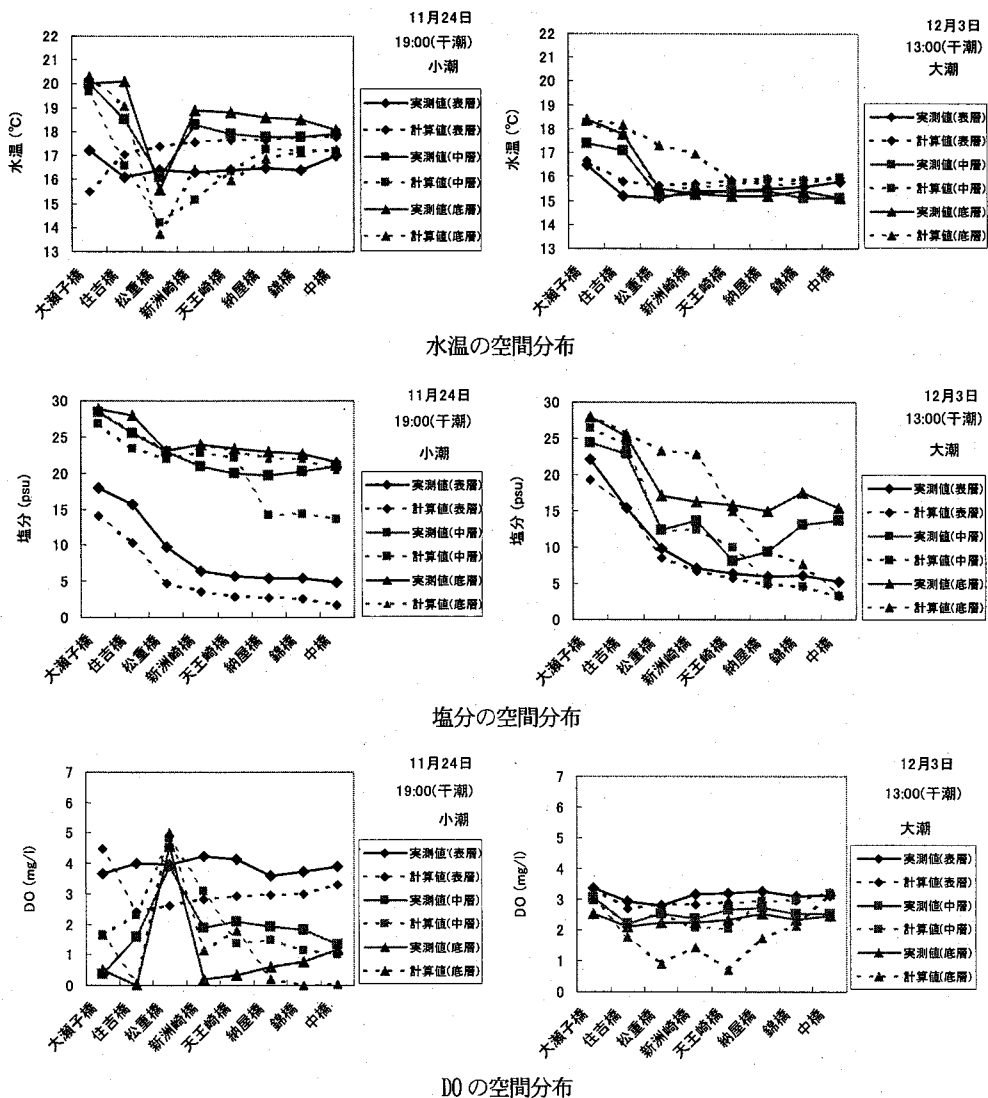


図-10 計算値と観測値の比較

示されている。したがって、本計算は平成 17 年冬季の堀川の水質変化を再現できているものとみなし、今後の検討を進める。

6. 平成 17 年冬季の水質変化に与える支配因子

12 月 3 日の堀川全域で DO が高くなった要因を検討するため、表-2 の条件の下で計算を行った。計算結果を図-11 に示す。本図から考慮した条件設定の中で DO への影響が大きいと考えられるのは、開境界条件と中川運河の導水の 2 条件である。これら以外の条件設定では上述の 2 条件と比較してあまり大きな違いはなく、全体の傾向も大きな違いはみられない。また、図-11 から開

表-2 計算条件

条件	境界条件の変更
1	気温変化なし(11/15の平均気温13.03℃)
2	開境界条件のDO変化なし(初期値一定)
3	中川運河の導水なし
4	名城下水処理場の排水なし
5	納屋橋下流曝気装置なし
6	上流端流入量なし

境界条件の影響は大瀬子橋から住吉橋付近までにみられ、中川運河からの導水の影響は松重橋付近から上流の中橋までみられる。このことから、開境界条件による影響は河口付近に留まり、中川運河からの導水は堀川全域に影

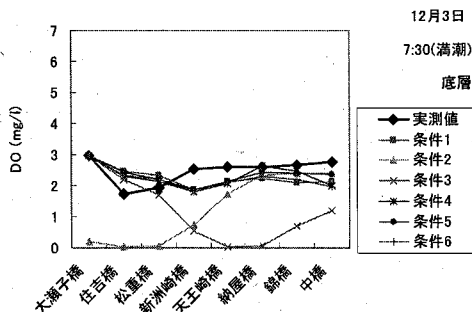
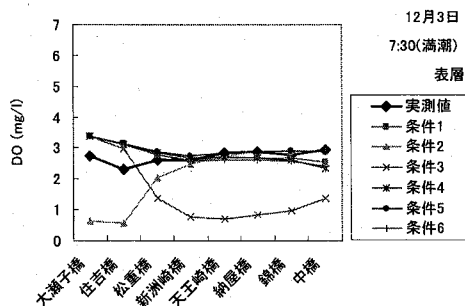


図-11 DOの空間分布

表-3 中川運河の水質の設定

CASE	中川運河の水質変化
A	中川運河の水温=放出先の松重橋の水温
B	中川運河の塩分=放出先の松重橋の塩分
C	中川運河の塩分=堀川上流の中橋の塩分
D	中川運河のDO=放出先の松重橋のDO
E	中川運河のDO=0.0mg/l
F	中川運河のDO=1.8mg/l(11/15~12/3堀川の観測値の平均値)

響を与えることが分かる。

つぎに、中川運河の水温、塩分、DO のどの水質項目が最も DO 変化に影響を与えたのかを検討した。計算条件を表-3 に、解析結果を図-12 に示す。本図から、中川運河の水温を放出先である松重橋の水温と同等にした場合、堀川における DO の減少がみられた。これは、放出先と同等の値を与えたことによって、これまでの条件より暖かい水が松重ポンプから導水されたことで水中の酸素消費が進んだことや、水の鉛直混合が強まり、酸素の豊富な水が堀川上下流の底層へ流れ込まなかったことが考えられる。中川運河の水が淡水の影響を強く受けたことを想定して、流入する塩分を堀川上流の中橋での観測値の平均値と同等にした場合でも、堀川での DO の減少がみられた。これも暖かい水が流入した場合と同様に密度の低下による鉛直混合が発生し、酸素の豊富な水の輸送に変化が現れた結果であると考えられる。中川運河の水温と塩分の変化に伴う堀川の DO 変化は見られたものの、11 月 15 日のような低い DO 値にはなっていない。中川運河の水の DO 値が低かった場合を想定し、中川運河の DO を放出先である松重橋の値と同等に設定した場合、堀川における DO の大きな減少がみられた。これは中川運河の DO が 0mg/l である条件とほぼ等しい結果となった。また、case F のように 11 月 15 日から 12 月 3 日における堀川の平均的な DO 値を与えた場合でも、DO 値が大きく低下している。以上のことから、12 月 3 日における堀川の DO が他の日と比較して高い値を示していた原因として、中川運河からの導水の影響が挙げられ、水温や塩分による影響も多少は考えられるが、中川運河の DO が高かったことが最も大きな要因であると考えられる。

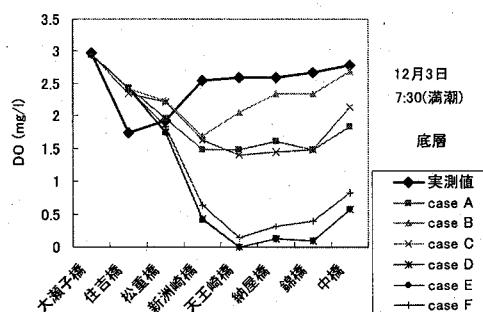
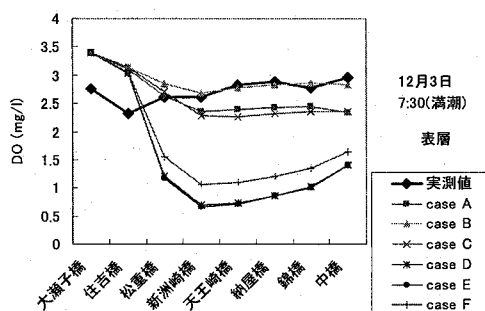


図-12 DO の空間分布

7. おわりに

本研究では、現地観測のデータを用いて、堀川におけ

る水質の平均的な空間分布特性を把握し、水質項目の相互の関連を調べた。さらに、現地観測と数値解析を用いて、堀川の冬季の水質変化特性を検討した。得られた知見をまとめれば以下のようなものである。

1) 堀川の水質の空間分布から、特に、松重橋の周辺および納屋橋、天王崎橋において DO が高いことが示された。これは、中川運河からの導水や、名古屋市が設置している納屋橋下流の曝気装置の影響を受けている結果と考えられる。ただし、曝気装置の影響範囲は、広くないことが同時に示された。

2) 堀川下流域では、夏季には植物プランクトンの影響を受けて、DO 値が上がるものの、冬季には植物プランクトンの活動も活発ではなく、DO 値も大きくならないことが確認された。

3) 平成 17 年冬季において、DO の改善が見られた。この要因として、中川運河からの低水温、高塩分、高 DO 水の影響を受けたことが示唆された。

4) 堀川を対象とした数値解析モデルが構築され、平成 17 年 11 月 15 日から 12 月 3 日の水質の再現計算が行われた。解析結果と観測結果の比較から、解析モデルの妥当性が示された。

5) 数値実験を行い、平成 17 年冬季の DO 改善に関する検討を行った。本研究より、平成 17 年冬季の DO 改善には、中川運河からの導水の影響が支配的であり、中川運河の水が低水温、高塩分であることが、堀川上下流域の底層に流れ込む水流を形成した可能性を示したが、それよりも、中川運河の水の DO が高かったことが堀川に大きく影響を与えたことが示された。

これらの結果から、中川運河からの導水は堀川の水質変化に大きな影響を与えていることが示唆された。なお、この現象は、これまでに現れておらず、平成 17 年特有

の現象である。これは、中川運河に放流している露橋下水処理場が改修工事のため運用しておらず、中川運河に淡水が流入していないことから、中川運河の水事情が変化したことによるものと考えられる。したがって、中川運河の水質を高塩分、低水温、高 DO とし、堀川へ導水することで、堀川の水質改善の可能性が示唆された。

謝辞：本研究は、土木学会で行われている「流域管理と地域計画の連携方策に関わる共同研究（課題名：都市河川水質改善のための社会的技術選定プロセスの設計）」の支援を受けたことを付記し、関係者各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) 名古屋市ホームページ：<http://www.city.nagoya.jp/>
- 2) 岩佐義朗：数値水理学、丸善、pp.118-121, 1995.
- 3) 野正博之・石橋仁嗣・二渡了・楠田哲也：干潮河川における懸濁物質の輸送現象のシミュレーション(Ⅲ)、土木学会第 41 回年次学術講演会講演概要集第 2 部、p735, 1986.
- 4) 宮本宗雄：感潮都市河川における水質汚濁解析、平成 5 年度中部大学大学院工学研究科建設工学専攻修士論文、1995.
- 5) 三菱化工機株式会社の HP：<http://www.kakoki.co.jp/>

(2006.5.26 受付)

Observation and Numerical Simulation on Water Quality Change of Hori River in Winter Season

Makoto TAKEDA¹, Azusa HIOKI², Satoshi TOYAMA³ and Naoki MATSUO¹

¹Dept. of Civil Engineering, Chubu University

²Civil Engineering Division, Graduate School of Engineering, Gifu University

³Computron Co., Ltd.

The aim of this study is to evaluate the features of distribution of water quality, relationship of water qualities and characteristics of water quality change in winter season in Hori River by observation and numerical simulation. From this study, it is found that the DO concentration increases due to inflow water from Nakagawa Canal at the area near the Matsushige Bridge. From the observation, it is found that the DO concentration of Hori River is increased in winter season in 2005. It is also found that water quality in the Hori River is improved due to inflow water from the Nakagawa Canal. To evaluate this phenomenon, the numerical simulation model is developed. The validity of this analysis model is shown by comparison of observed data with analysis data. Moreover, the analysis results with various analysis conditions show that the water quality in Hori River is affected by inflow water from Nakagawa Canal. Especially, the high DO concentration of Nakagawa Canal is most important for increasing DO concentration in Hori River.