

閉鎖性水域の水質改善事業について - 圀川を例として -

吉田 拓司¹・増田 治行²・中田 泰輔¹・米倉 誠³・高橋 麻衣子³

¹正会員 八千代エンジニアリング株式会社 環境計画部 (〒161-8575 東京都新宿区西落合二丁目18-12)
E-mail:tk-yoshida@yachiyo-eng.co.jp

²非会員 足立区 都市建設部企画調整課 (〒120-8510 東京都足立区中央本町一丁目17-1)

³正会員 八千代エンジニアリング株式会社 河川部 (〒161-8575 東京都新宿区西落合二丁目18-12)

綾瀬川と中川から遮断された圀川は、葛西用水のみの流入となり、中川側の稲荷下樋管からの自然流下もしくは、圀川排水機場からのポンプにより中川へ排水するのみとなった。そのため、圀川は滞留しやすい環境となり、水質悪化が顕著な状態となった。そこで、水質改善の取り組みとして、平成20年度より水質改善の位置づけで綾瀬川からの導水、高濃度酸素供給装置の導入、浚渫を実施した。その結果、導水量が多いほど圀川の水質の改善範囲が広がった。また、酸素供給装置は装置付近のDOが改善されたが改善範囲は狭いことから、導水との併用が効果的であると予想された。綾瀬川の水位や溶存酸素消費速度から水質改善に必要な導水量を算定したところ、綾瀬川からは最大で0.6m³/s確保する必要があると示された。

Key Words : urban river, water supply, high-concentration-oxygen supply device, dredge

1. はじめに

本報告で対象とした圀川は閉鎖的な水域であり、一部が滞留環境であることに加え、周辺からの汚濁負荷流入の影響で酸素の消費による魚の斃死や、嫌気的条件下に伴うスカムの発生など水質障害が問題となっている。

閉鎖性水域での水質浄化対策としては、滞留環境を解消させる浄化導水や、水域内の溶存酸素濃度を増加させる曝気施設や高濃度酸素水の供給が考えられる。例として前者は手賀沼での水質改善効果が顕著に確認されており¹⁾、後者は一般的にダム・湖沼で実施され効果が見られているが^{2),3)}、水質問題が顕在化している都市河川立会川においても、高濃度酸素水導入により溶存酸素の回復を確認している⁴⁾。このように、水質への意識の高まりから、水環境は以前より改善されてきているものの、富栄養化などの水質問題は十分に解消されていない水域も見られる⁵⁾。

本論文では、国土交通省江戸川河川事務所、東京都、埼玉県、八潮市、足立区の5者が、閉鎖性水域である圀川の水質改善事業に取り組み、浄化導水、高濃度酸素供給装置の設置、浚渫等の水質浄化改善事業を平成20年度より試験運用として実施し、その結果、圀川の水質の大

幅な改善が見られ、平成26年度からの本格運用への導水計画を検討したことについて、業務を受託実施した立場から報告する。

2. 圀川の概要

圀川は図-1に示すように、東京都足立区と埼玉県八潮市の境に位置しており、西側に綾瀬川、東側に中川が流れている。圀川の間付近には、葛西用水が北側から流入している。表-1に示すように圀川の河川延長は2.1kmであり、流域面積は9.57km²であり、流域全域が八潮市に位置している。

かつては、中川に注ぐ綾瀬川の本流であったが、寛永年間の綾瀬川改修(1624~1644伊奈氏)により綾瀬川の流れは変わり、以降、葛西用水から流入した水を綾瀬川と中川の両方へ排出する農業用の灌漑用水として利用されてきた。平成7年に綾瀬川と圀川を結ぶ旧小溜井排水場の機能が停止された事によって、稲荷下樋管からの自然流下もしくは、圀川排水機場からのポンプにより中川へ排水するのみとなった。

その結果、旧小溜井排水場から引入水門が滞留環境と

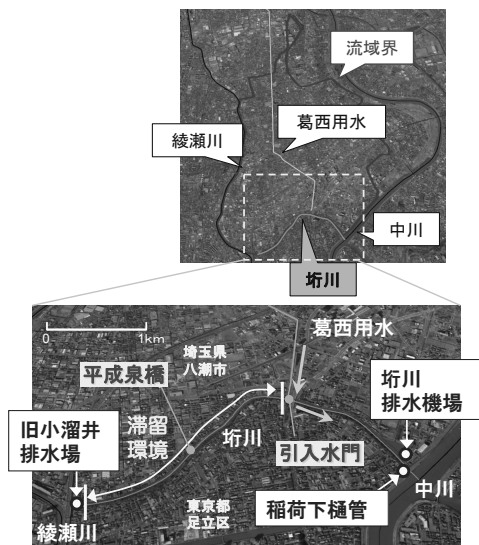


図-1 堀川の位置図，河川延長と流域面積

該当する区市	東京都足立区、埼玉県八潮市
河川延長	2.1km
流域面積	9.57km ²
圀川の川幅※	約10～25m
圀川の水深	約0.7～1.8m（平成泉橋）
圀川の容量※	約66,000m ³ （圀川全断面）
	約20,000m ³ （旧小溜井排水場～引入水門）

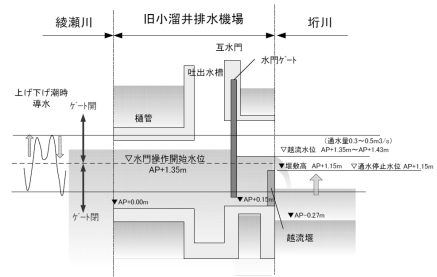
※A.P.1.0m時

表-2 埧川水質浄化対策の関係機関

関係機関	垢川との関係
江戸川河川事務所	綾瀬川、中川の管理
東京都	垢川、旧小溜井排水場の管理
埼玉県	垢川、垢川排水機場の管理
八潮市	垢川排水機場の管理委任
足立区	垢川、旧小溜井排水場の管理委任

なつてしまい、八潮市側の生活排水の流入（下水道普及率が68.3%、平成25年3月末現在）や、足立区側の落ち葉による有機物が堆積しやすい環境等の要因により、水質が悪化した。

これらを背景に、平成15年度より圀川周辺住民、八潮市、足立区、NPOが協力し、圀川の水质を改善させる「圀川ジャブジャブ大作戦」といった取り組みが行われ、EM団子（EM菌を配合させた団子状にしたもの）の投入や、アクリルたわしの使用推進を平成19年度まで実施してきたが、圀川の大幅な水质改善効果は見られなかった。そこで、平成20年度より、表-2に示すような国土交通省江戸川河川事務所、東京都、埼玉県、八潮市、足立区が圀川における浄化対策の検討に関する確認書を交わし、



(a) 水位差を利用した導水の模式図



(b) 実際の通水の様子(平成21年7月28日)

図-2 通水の模式図と、実際の様子

試験通水等を実施し、その効果を検討する水質改善対策が始まった。なお、試験通水をはじめとする水質改善事業は埼玉県においては、「水辺再生100プラン」⁶⁾の一つに位置づけて、環境整備等を実施した。

3. 水質改善事業

(1) 浄化導水

旧小溜井排水場を用いて、これまで埴川から綾瀬川へ排水していたが、図-2に示すように、綾瀬川から埴川へ潮の干満による水位差を利用して通水を開始した。通水による水質改善効果を確認するために、通水前後で綾瀬川、旧小溜井排水場、平成泉橋で採水を行い、COD（化学的酸素要求量：Chemical Oxygen Demand）を測定した。通水量の違いによる水質改善効果を確認するために、0.1m³/sを1時間（平成20年9月2日）、0.5m³/sを2時間（平成20年12月8日）、0.9m³/sを2時間（平成20年12月10日）実施した際のCODの結果を図-3に示す。

通水量が最も少なかった $0.1\text{m}^3/\text{s}$ を1時間流した際には、平成泉橋までの効果が見られなかった．一方、 $0.5\text{m}^3/\text{s}$ を2時間、 $0.9\text{m}^3/\text{s}$ を2時間では、平成泉橋まで水質の改善が見られ、通水量に応じた改善範囲の拡大を確認した．

(2) 高濃度酸素供給装置

通水による水質改善をさらに助長させるために、平成22年1月に高濃度酸素供給装置を旧小溜井排水場から100m区間の足立区側に3基設置した。そこで、高濃度酸

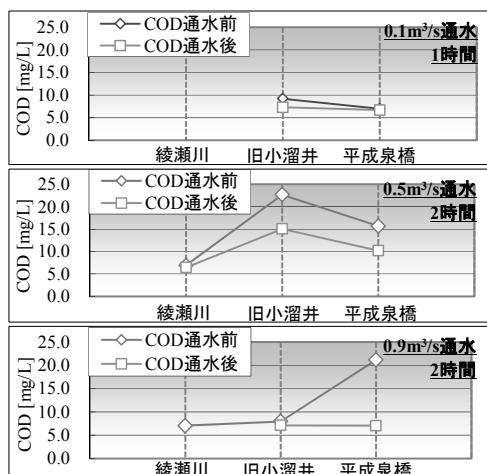


図-3 通水による水質改善効果

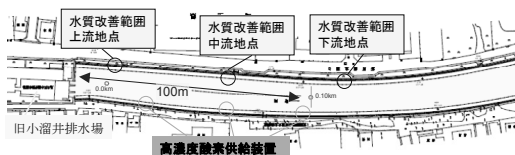


図-4 高濃度酸素供給装置位置図と、DO観測地点

表-3 高濃度酸素供給装置によるDO増加量

NO	Date	水質改善範囲上流			水質改善範囲中流			水質改善範囲下流		
		稼働前	稼働後	DO増加量	稼働前	稼働後	DO増加量	稼働前	稼働後	DO増加量
1	8/12(木)	4.5	7.0	2.5	3.4	7.0	3.6	2.5	3.1	0.6
2	8/13(金)	4.4	4.2	-0.2	3.6	4.6	1.0	0.7	2.4	1.7
3	8/16(日)	5.5	9.0	3.5	5.4	10.0	4.6	6.4	6.6	0.2
4	8/17(月)	6.4	11.0	4.6	7.5	11.0	3.5	6.2	6.5	0.3
5	8/18(火)	2.4	7.8	5.4	3.3	8.3	5.0	2.5	3.3	0.8
6	8/19(水)	1.4	8.0	6.6	5.2	8.9	3.7	5.0	4.7	-0.3
7	8/20(金)	1.0	4.1	3.1	3.6	8.8	5.2	3.4	3.9	0.5
8	8/23(月)	0.3	4.5	4.2	2.3	6.2	3.9	1.7	1.4	-0.3
9	8/24(火)	0.4	4.6	4.2	2.2	6.0	3.8	0.5	0.5	0.0
10	8/25(水)	0.4	4.4	4.0	0.7	3.6	2.9	1.6	1.6	0.0
11	8/26(木)	2.9	6.2	3.3	0.9	3.7	2.8	2.2	2.4	0.2
12	9/2(火)	5.4	6.2	0.8	3.5	3.1	-0.4	0.0	0.0	0.0
13	9/3(金)	4.0	5.8	1.8	3.0	5.0	2.0	0.0	0.0	0.0
14	9/6(月)	5.1	6.8	1.7	6.0	8.0	2.0	3.6	4.4	0.8
15	9/7(火)	5.7	7.1	1.4	5.7	7.1	1.4	3.7	4.6	0.9
16	9/8(水)	4.8	5.4	0.6	3.6	5.3	1.7	1.4	1.5	0.1
17	9/9(木)	4.8	5.1	0.3	5.2	6.1	0.9	0.2	0.5	0.3
18	9/10(金)	3.7	4.0	0.3	3.0	4.1	1.1	0.6	0.9	0.3
MIN		0.3	4	-0.2	0.7	3.1	-0.4	0	0	-0.3
MAX		6.4	11	6.6	7.5	11	5.2	6.4	6.6	1.7
Ave		3.5	6.2	2.7	3.8	6.5	2.7	2.3	2.7	0.4

：環境基準C類型（DO 5mg/l以上）を満足していない
※堀川は環境基準が設定されていないが、導水元の綾瀬川はC類型である。

素供給装置による水質改善効果を把握するために、溶存酸素（DO：Dissolved Oxygen）の連続測定（測定方式：ワグニットセンサー、精度：±0.2mg/l）を、平成22年8月12日～9月13日まで実施した。DOの連続観測地点は図-4に示すように、水質改善範囲上流地点、水質改善範囲中流地点、水質改善範囲下流地点の3地点とした。なお、高濃度酸素供給装置が稼働している際には、通水は実施していない。

高濃度酸素供給装置が稼働した日を対象に、稼働前後のDOの値を整理したものを表-3に示す。水質改善範囲上流地点、中流地点はそれぞれ平均で3.5mg/lから6.2mg/l、

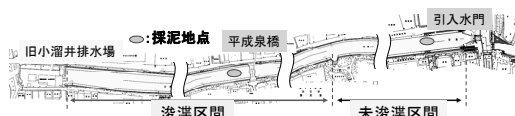
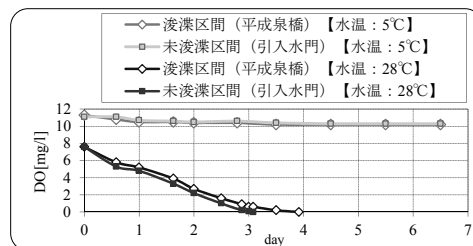
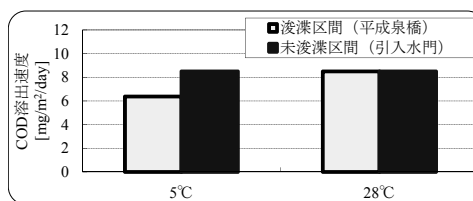


図-5 採泥地点（綾瀬区間、未綾瀬区間）



(a) DO消費試験結果



(b) COD溶出速度

図-6 DO消費試験、COD溶出試験結果

3.8mg/lから6.5mg/l増加し、DOが2.7mg/l増加した。しかしながら、水質改善範囲下流地点は、2.3mg/lから2.7mg/lの0.4mg/lの改善と、他の地点よりも改善効果が小さかった。原因として、通水を実施していない際には葛西用水のみの流入となり、引入水門から旧小溜井排水場の方へ逆流が発生しているため、高濃度酸素供給装置の吐出口よりも下流側にある高濃度酸素の拡散が阻害されるため、水質改善範囲下流地点では、効果が他地点よりも小さくなることが考えられる。そのため、高濃度酸素水の供給による水質改善効果の範囲を広げたい場合には、通水と併用することが効果的であると予想される。

(3) 浚渫

堀川では平成20年度～22年度にかけて、旧小溜井排水場から引入水門まで浚渫を実施した。そこで、浚渫による水質改善効果を把握するために、図-5に示すように綾瀬区間と未綾瀬区間において、平成22年10月に底泥を採取しDO消費試験とCOD溶出速度試験を実施した。DO消費試験は、水温の条件は旧小溜井排水場付近の平成元年～19年の1月、8月の平均水温を用いて設定し、初期条件を飽和状態として酸素の消費速度を算定した。COD溶出速度試験については、水温の条件はDO消費速度と同一とし、貧酸素状態（窒素曝気）の条件下で実施した。

各試験結果を図-6に示す。DO消費試験結果を見ると、

水温が5℃の場合は、DOが消費される傾向が見られなかったが、水温が28℃の場合は未浚渫区間は3日、浚渫区間は4日でDOが0mg/lとなることが確認され、浚渫による水質改善効果を確認した。また、CODの溶出速度試験を見ると、水温5℃の条件下では、浚渫区間は未浚渫区間よりも溶出速度が大きい傾向が見られ、28℃の条件下では同程度であった。以上より、DO消費速度とCOD溶出速度共に、浚渫による効果が確認された。

4. 水質改善事業による水質への効果と、本格運用に向けた取り組み

(1) 水質改善事業による水質への効果

平成20年度～平成25年度までの通水量と通水回数を整理したものを表4、図-7に示す。通水による効果を確認した平成20年度～21年度は32回、37回、通水量が約38千 m^3 、81千 m^3 、平成22年度以降は通水回数が約190～210回、通水量が約450～550千 m^3 と多くなった。図-8には圀川の旧小溜井排水場、平成泉橋、導水元の綾瀬川の内匠橋（導水地点から約200m下流地点）のBODの経月変化と年間の75%値を示している。なお、75%値は便宜的に9月の位置にプロットしてある。通水を開始した平成20年度と比較し、通水量が多くなるにつれて水質も改善される傾向が見られた。平成泉橋に関しては、旧小溜井排水場からの通水（旧小溜井排水場→圀川排水機場の流れ）と、葛西用水（圀川排水機場→旧小溜井排水場の流れ）による影響で滞留環境となっていることもあり、旧小溜井排水場よりも水質が悪化している傾向が見られた。また、依然として、圀川内でBODが10mg/lと高い傾向が見られたために、圀川の水質改善には通水量を多くする必要があることが示唆された。

(2) 必要通水量の設定

試験運用の結果から、前述したように圀川のさらなる水質改善を図るために通水量を増強させる必要があるが、水質改善目標の設定として、以下のような課題があった。

- ・平成26年度から本格運用となるため、通水量の目安となる目標値を設定しようとする中で、導水元である綾瀬川の水質に強く依存する現状においては、水質を目標として設定しづらい状況であった。
- ・指定湖沼の水質保全計画や、清流ルネサンス等の水質目標値の設定は環境基準が設定されているが、圀川のような環境基準値が設定されていない場合は独自に設定する必要がある。

そこで、5者との協議により底泥の酸素消費量を考慮した場合の貧酸素状態（本検討では、溶存酸素濃度が0mg/lとした）を回避する必要通水量について検討し、

表4 通水量の経緯

平成20年度	0.1～0.9m ³ /sの通水を試験的に実施した。
平成21年度	0.3, 0.5, 0.9m ³ /sの通水を試験的に実施した。
平成22年度	0.3m ³ /sの通水を午前or午後に実施した。実施する日は平日とした。
平成23年度 ～ 平成25年度	0.3m ³ /sの通水を9～17時の間で実施した。実施する日は平日とした。（平成24, 25年度は7月～9月は土日も実施した）

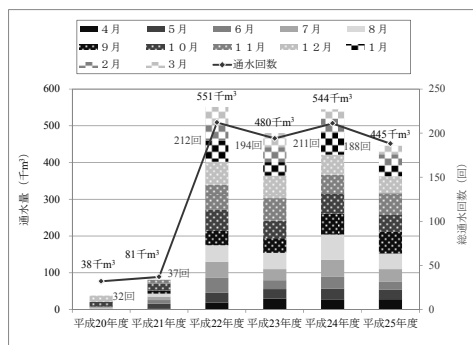


図-7 通水量と通水回数

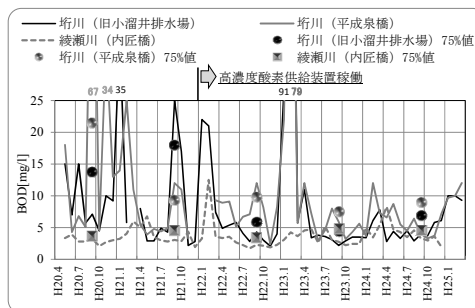


図-8 BODの経月変化と75%値

導水量自体を目標として設定することとなった。圀川の目指すべき水環境としては、「魚類が生息できる環境とするため、貧酸素状態とならないようにする」ことを目標として掲げることとした。

必要導水量の設定にあたって、貧酸素状態とならないようにするための予測方法としては、様々な次の予測モデルが多く存在するが⁷⁾、本検討では周辺住民に理解しやすいモデルを配慮し、ワンボックスモデルを適用した。必要導水量の算定には、図-9のようなフローに基づいた。

まず、図-10に示すように、DOの連続観測結果を見ると、平成22年の夏場に貧酸素状態となっている事が確認された。さらに、図-11に示すように、圀川のBODが高かった平成泉橋の平成24年の季節別DOを整理し、便宜的に導水元の綾瀬川的环境基準C類型を当てはめて比較すると、

冬（1月～3月）と秋（10月～12月）は満足している傾向が見られ、春（4月～6月）と夏（7月～9月）では、それ

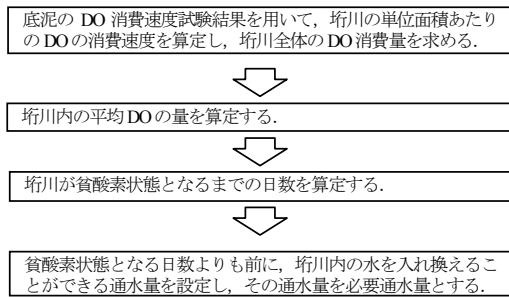


図-9 必要導水量の設定方法

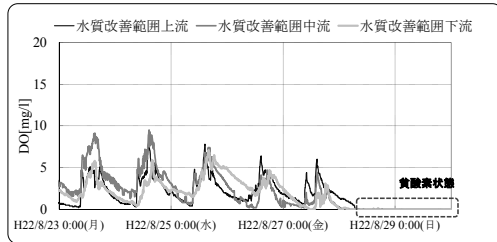


図-10 夏場の貧酸素状態

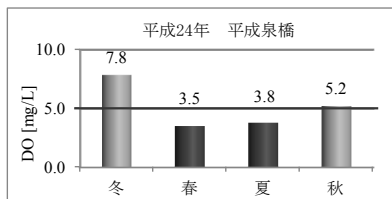


図-11 試験通水期間中の平均DO

それぞれ3.5mg/l, 3.8mg/lと低く、春は貧酸素状態となる夏場よりもDOの平均値が低いことが示された。そこで、導水量の増強は春・夏を対象に検討した。

次に、DO消費量を算定する際に、平成22年1月～24年12月までの水温データを整理し、最も高かった水温を対象にDO消費量を算定した。その後、圀川の容量(圀川の通水開始判定水位である、AP 1.05mの容量)とDO消費量の関係から貧酸素状態となるまでの日数を求め、貧酸素にならない1日の必要導水量を算定した結果を表-5に示す。

図-12に、綾瀬川の最大通水量と、9時から17時の間で通水が実施できる場合の1日あたりの通水量の関係を示したグラフを示す。表-5より、春で約4,200m³、夏で約5,500m³必要であると試算された。夏場に必要の導水量を確保すれば、春にも効果が期待できることから、1日に必要な最大通水量は約5,500m³であり、最大通水量を0.6m³/sとして、運用する必要があることが示された。

表-5 必要導水量検討結果

季節	底泥の酸素消費量			圀川内のDO			必要導水量
	①※1 水温 (℃)	②※2 DO消費 速度 (mg/m ² /day)	③※3 DO 消費量 (g/day)	④※4 平均 DO (mg/l)	⑤※5 圀川内 のDO量 (g)	⑥※6 貧酸素状態にな るまでの日数 (日)	
春 (4-6月)	24.0	979.4	14,654	3.5	96,877	6.6	4194
夏 (7-9月)	32.4	1367.6	20,462	3.8	105,180	5.1	5427

※1: 各季節の水温(実測)の最大値(H22～H24)
 ※2: 各季節の水温(実測)の最大値から求めたDO消費速度(H23試験より: 46.205 × 水温[℃]-129.49)
 ※3: DO消費速度に圀川の河床面積(旧小溜井排水場～引入水門: A=14,962m²)を乗じた。
 ※4: 各季節の平均DO濃度(実測)
 ※5: 各季節の平均DO濃度(実測)にAP 1.05mにおける圀川の容量(旧小溜井排水場～引入水門: V=27,679m³)を乗じたもの
 ※6: AP 1.05における圀川の容量(旧小溜井排水場～引入水門: V=27,679m³)を貧酸素状態になるまでの日数(⑥)で除したものを溜井排水場～引入水門: V=27,679m³)を乗じたもの

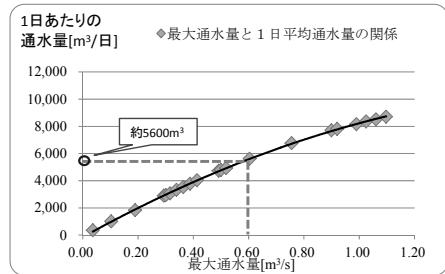


図-12 最大通水量による1日あたりの通水量の推定結果



図-13 中川の水質影響検討調査地点 (Google earthに加筆)

(3) 中川への影響

圀川の水質改善のための浄化導水は、圀川内の水質が悪化した水塊を押し流すために、排水先の中川への影響が懸念された。そこで、圀川排水機場からの排水前後に中川の水質への影響について採水による水質調査を実施した。排水後は表面浮子を用いて、汚濁水塊を追跡しながら採水を行った。水質調査地点は図-13に示すように、圀川内で1地点、中川で3地点で調査を実施した。

調査結果を図-14に示す。排水前の圀川のBODは5.9mg/lであり、圀川排水機場からのポンプ排水前後の中川上流、中川下流①、中川下流②の水質はそれぞれ1.7→1.6mg/l, 1.5→1.9mg/l, 1.6→1.7mg/lと圀川排水機場の直下流である中川下流①が0.4mg/lの増加となったが、中川下流②では、圀川排水機場からの排水による影響は小さいことが確認された。また、中川上流への影響は見られ

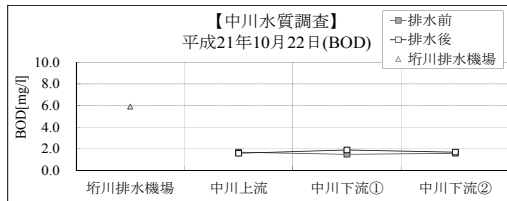


図-14 中川の水質への影響調査

ず、排水後の時間経過とともに、中川下流①のBOD濃度は中川上流と同じ濃度になることが予想された。

5. まとめ

平成20年度から試験運用として開始した、堀川の水質浄化対策について対策の効果を検討し、本格運用に向けて必要な導水量を検討した。結果・課題を以下に示す。

(1) 水質改善事業による効果

浄化導水は通水量が多いほど改善効果があった。また、高濃度酸素供給装置は、通水を実施していない日は引入水門から旧小溜井排水場の方へ流速が発生していることから、DOの供給が旧小溜井排水場から引入水門の方へ伝わらないことを確認したため、導水と併用させる事が望ましい。また、浚渫については、溶存酸素の消費量やCODの溶出速度が改善された。

(2) 必要導水量の設定

堀川の目指すべき水環境としては、「魚類が生息できる環境とするため、貧酸素状態とならないようにする」ことを目標として、ワンボックスモデルによる必要導水量を設定した結果、春・夏に最大で0.6m³/s確保する必要があると算定された。

今後も水質モニタリングを実施し、通水による効果を

把握し、通水量を検証していく必要がある。

(3) 排水先の中川への影響

中川の水質に最も影響が考えられる小潮時に排水前後での採水による水質調査と、負荷量による水質の増加を検討した結果、堀川からの排水による中川への水質影響が小さいことを確認した。

謝辞：論文作成にあたり、国土交通省 江戸川河川事務所、東京都、埼玉県、八潮市の関係者の皆様には大変お世話になりました。ここに記して感謝の意とさせていただきます。

参考文献

- 1) 本間孝幸，二瓶泰雄：現地観測とボックスモデルに基づく夏季手賀沼におけるリン収支の把握，水工学論文集，第50巻，pp.1327-1332，2006
- 2) 牛島健，森川一郎，大嶋光男，柴田敏明，中沢重一：ダム貯水池の貧酸素深層水中における再沈殿による鉄・マンガンの拡散抑制機構，河川技術論文集，第16巻，pp.295-300，2010。
- 3) 今井剛，村上泰行，浮田正夫，関根雅彦，樋口隆哉：閉鎖性水域における底層部への高濃度酸素水導入による水質改善効果に関する研究，水環境学会誌，Vol129，No.11，pp.737-744，2006。
- 4) 川村理史：都市河川感潮域における水質構造に関する研究，中央大学大学院研究年報 理工学研究科篇，第39号，2009
- 5) 濱原能成，加藤晃司，中津川誠：茨戸川の富栄養化に関する総合的解析 その1，北海道開発土木研究所月報，No.613，pp.4-24，2004。
- 6) 埼玉県 HP：
(http://www.pref.saitama.lg.jp/site/kawanosaisei/kakukas_yonotorikumi.html#kasen_sonota)
- 7) 国土交通省 HP：
(http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/kankyo/kankyoku/kosyo/tec/index.html)

(2014.7.11 受付)

WATER PURIFICATION PROJECTS IN THE CLOSED WATER BODY : THE CASE OF GAKE RIVER

Takushi YOSHIDA, Haruyuki MASUDA, Yasusuke NAKATA,
Makoto YONEKURA, Maiko TAKAHASHI

Gake river is shut from Ayase river and Nakagawa river. Only Kasai channel flows into there and the wa-ter drains into Nakagawa river by sluice pipe or drainage pumping station. Therefore Gake river is liable to stagnate and caused remarkable deterioration of water quality. In order to improve the water quality, water supply from Ayase river, installation of High-concentration-oxygen supply device and dredge were carried out. As a result, it was recognized that the more water supply enlarge improved area. In addition, it was esti-mated that a combination water supply and High-concentration-oxygen supply device was effective because the device has effect of improving DO for only small area around it. It was found that necessary water supply discharge from Ayase river is maximum 0.6m³/s.