

市街地小河川の水質改善に及ぼす 下水道事業進捗の効果に関する調査

RESEARCH ON EFFECT OF DRAINAGE WORKS FOR IMPROVEMENT OF WATER QUALITY IN THE CHANNEL OF SMALL TOWN AREA

尾島勝¹・津田将行²
Masaru OJIMA, Masayuki TSUDA

¹フェロー会員 工博 福山大学教授 工学部建築・建設学科 (〒729-0292 広島県福山市学園町一番地三蔵)

²正会員 博(工) 福山大学助教 工学部建築・建設学科 (〒729-0292 広島県福山市学園町一番地三蔵)

This research is one of the field survey on the self-purification of the contaminated river water in a small town area, in which the undertaking of drainage works has been underconstructed during about 8-years. The field survey basin is about 5 km² area and about 3.6km length of channel and then six-stations are decided for measuring points of water quality such as temperature, DO, conductivity, BOD, T-N, and T-P, still more volume of flowing water.

The results obtained during 8-years are discussed about time series change characteristics. Especially, the purification effects of BOD, T-N, and T-P were made clear by rate values of improvement relating to the diffusion ratio of drainage.

Key Words : Field Survey, Water-quality, Drainage Works, Time Series Change, Purifying Water

1. 本研究の目的

本研究は、流域面積約5km²、流路延長約3.6kmの市街地小河川(広島県三次市)を対象として、下水道事業の年次進捗に伴う河川流量および水質の変化を8年間にわたり調査分析し、その改善効果を明らかにしたものである。

2. 対象河川および対象域の概要

対象河川は、江の川水系の一小支川であり三次市内を流下している北溝川である。対象域の公共下水道整備事業は2000年度より実施されており、全体計画は処理区域1010ha、処理人口33500人であるが、当面の認可処理区域は312ha、処理人口12000人であり、北溝川流域の大部分がその中に含まれる。また全体計画区域には北溝川流域の南に隣接する片丘川流域(面積約5.5km²)も含まれている。

調査目的とその検討項目によって、本研究の調査測点は年次によって増減しているが、設定された測点は全部で15に及ぶが、基本測点は北溝川の最下流測点St.1から

最上流水源池測点(成光池)St.6までの6測点である。本論文での考察測点を図-1に示した。

3. 調査観測概要

(1) 水質

毎月1回(原則1ヶ月間隔)、図-1に示した北溝川の最下流測点St.1から順次、上流測点へと移動し、水質チェッ

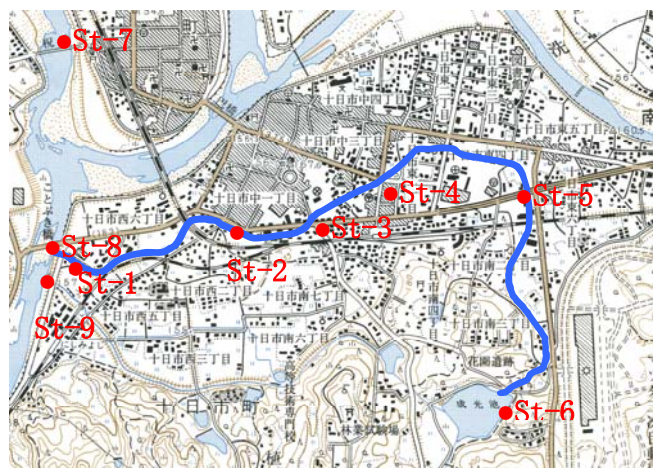


図-1 北溝川の基本調査測点

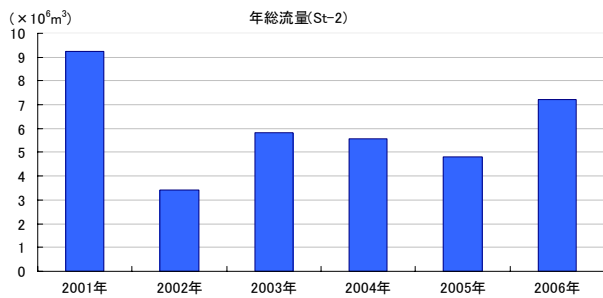


図-2 対象期間の年総流量

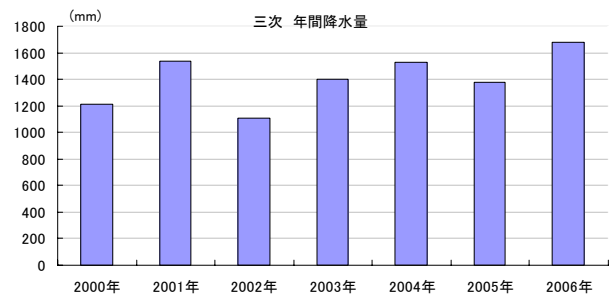


図-3 対象期間の年降水量

カ (TOADKK社製WQC-22A)により水温、pH、DO、電気伝導度、濁度の5項目を直読し、さらに、実験室分析のための採水(1ℓ、2本)を行った。観測時間は午前8時から約1時間半であり、保冷採水試料は約1時間半の搬送後、直ちに分析実験に供した。実験室での水質分析項目はBOD₅、COD_{Cr}、T-N、T-P、SSなどである。

(2) 水位・流速・流量

St-2において、2002年2月より圧力式自記水位計により10分間隔で水位を収録した。流路を形成しているSt-2からSt-5までの4測点において、電磁流速計(TK-105X)により20秒平均の流速を2～3回計測し、水深と流水幅を測って、流量を算出した。

4. 調査結果および考察

(1) H-Q曲線に基づく流量

St.2測点における自記水位観測記録に基づきH-Q曲線を算出した。

その結果

$$Q=12.313H^2+2.359H-0.067$$

(2000年4月～2002年1月、相関係数 $r=0.920$)

$$Q=7.7573H^2-0.810H+0.069$$

(2002年2月～2005年2月、相関係数 $r=0.896$)

… 式(1)

これらのH-Q曲線を用いて年総流量を算出した (図-2)。また三次市(国土交通省三次河川国道事務所)の年降水量の変動を図-3に示した。2006年の年降水量は1683mmと最多であり、2002年が1105mmと最少であった。対象期間の平均値は1406mmである。対象期間の流量についてみれば図-2に示したとおり年降雨量が最多であった2006年は約700万m³であり、降雨量が2006年の約9割であった2001年は約900万m³と約3割も多かった。すなわち2001年と2006年では降雨の直接流出をも含めた流域からの流出状況が大きく変化したことが推測できる。その最大の要因は下水道整備事業の進捗に伴う事業所および各家庭からの河川への還流が減ったからと考えられる。さらに、このことは年降水量に大差ない2001年、2003年、2004年、2005年の流量についてみれば経年的に明らかな

減少傾向が示されていることから推測できる。

なお、北溝川流路の最下流測点(St.2)における湧水流量は0.056m³/s(2001年)、0.048m³/s(2003年)、0.050m³/s(2004年)、0.051m³/s(2005年)、0.051m³/s(2006年)とわずかな流量となる。一方、豊水流量は0.19m³/s(2001年)、0.12m³/s(2002年)、0.20m³/s(2003年)、0.15m³/s(2004年)、0.15m³/s(2005年)、0.18m³/s(2006年)であり、湧水流量のわずか3～4倍にすぎないことがわかった。豊水流量は一般的に、その河川の年平均流量にほぼ等しいといえるから、北溝川は極めて流量の少ない現況にあり、水環境の保全ならびに生態系の保全のためにも何らかの手段によって流況の改善をはかる必要があると考えられる。

(2) 水質改善(BOD、T-N、T-P)

三次市の降水量は4月から9月までの春季・夏季に多く、10月から3月までの秋季・冬季に少ない特性がある。とくに、12月～2月の冬季には月降水量が50mm以下になる年が多い。したがって、北溝川の流量も冬季には少なくなる傾向にある。一方、家庭からの雑排水量は季節的に大きな変動はないものと考えられる。したがって、汚濁物質(BOD、T-N、T-P)の濃度値は冬季には夏季に比べて相対的に上昇することになる。一方、下水道整備が進めば家庭雑排水の河川への流入が減るために、汚濁物質も減少する。したがって、河川流量もそれだけ減少するが、濃度値の季節的変動も少なくなり、年度進行とともに濃度値も低下し、水質の改善が認められる。下水道整備事業の初期段階に見られた、冬季の濃度値上昇は、後述するように対象域内の下水道接続戸数の増加に伴い改善されたことになる。

a) BOD

濃度値の経時的変動を1999年度から2006年度まで毎月

表-1 BOD値の年度別平均値(mg/l)

年度\測点	St-1	St-4	St-5	St-12	St-6
1999	(6.1)	(12.5)	(5.9)		(1.7)
2000	6.5	7.7	7.3		9.4(2.9)
2001	4.8	4.4	5.1		2.4
2002	3.7	3.2	4.1		3.1
2003	4.3	2.5	4.5		2.2
2004	4.6	2.8	4.4		4.1
2005	4.4	3.3	4.8	4.0	3.5
2006	3.9	2.6	3.7	3.0	3.5

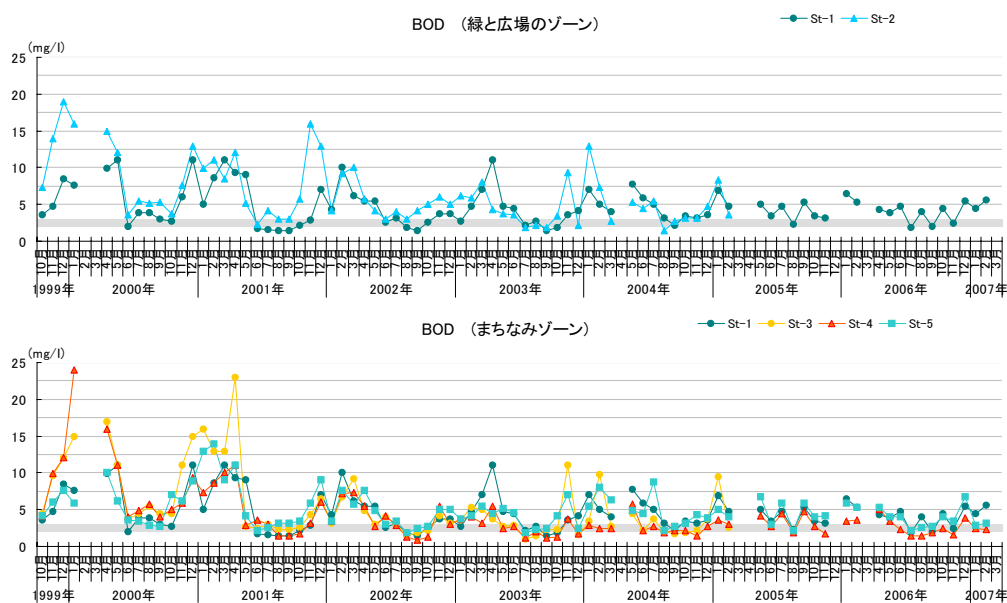


図-4 BOD値の時系列変動

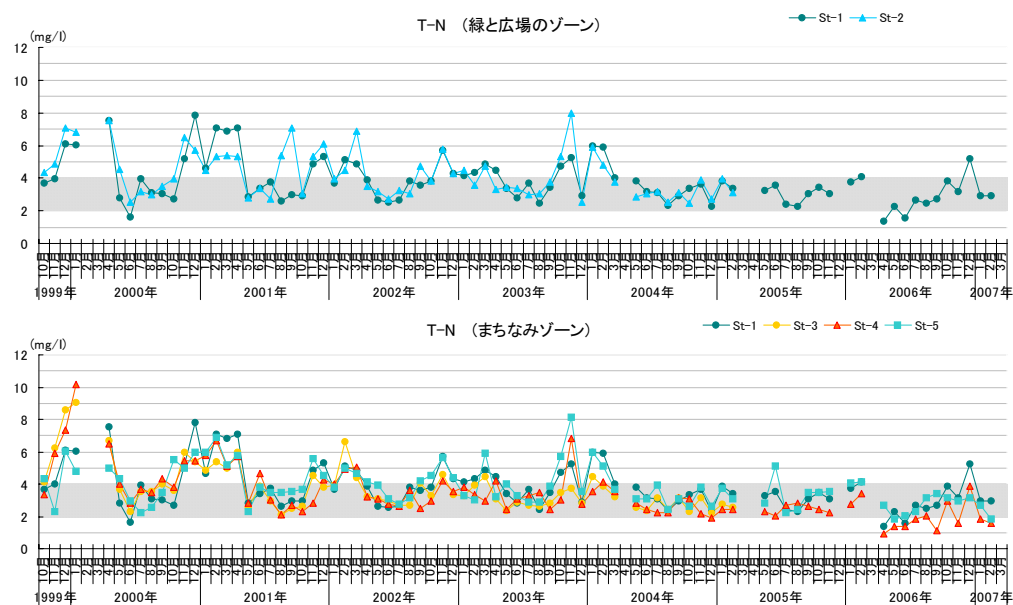


図-5 T-N値の時系列変動

表-2 T-N値の年度別平均値(mg/l)

年度\測点	St-1	St-4	St-5	St-12	St-6
1999	(5.0)	(6.7)	(4.4)		(1.6)
2000	4.7	4.8	4.6		2.1
2001	4.1	3.7	4.1		1.5
2002	3.9	3.2	4.0		1.9
2003	4.1	3.6	4.4		1.5
2004	3.2	2.5	3.2		1.9
2005	3.2	2.6	3.5	3.0	1.9
2006	2.8	1.9	2.7	2.2	0.9

1回の測定値の時系列として示した(図-4)。

観測初期の1999年冬季から2000年春季および2000年冬季から2001年春季にかけては、濃度値の顕著な上昇がみ

られる。しかしこのような変動はしだいに減衰し、2005年度以降は消滅していることがわかる。

BODに関する主要測点での年度別平均値を表-1に示した。なお、下水道事業開始前の1999年10月から2000年1月の4ヶ月の平均値をも参考値として()書きで表示した。

2000年度(12回)の平均値を初期値として、その経年的変動の様相を考察する。

水源池(St.6)の2000年7月22.0mg/l、9月61.0mg/lを異常値として除外すれば平均値は2.9mg/lとなる。したがって、St.6周辺の自然的、社会的環境がほとんど変わっていないために、BODの水質もほとんど変わっていないと判断できる。7年間の平均的水質は3.0mg/lであり比較的良好といえる。

下流端貯留池(St.1)では7年間で40%の水質改善が成さ

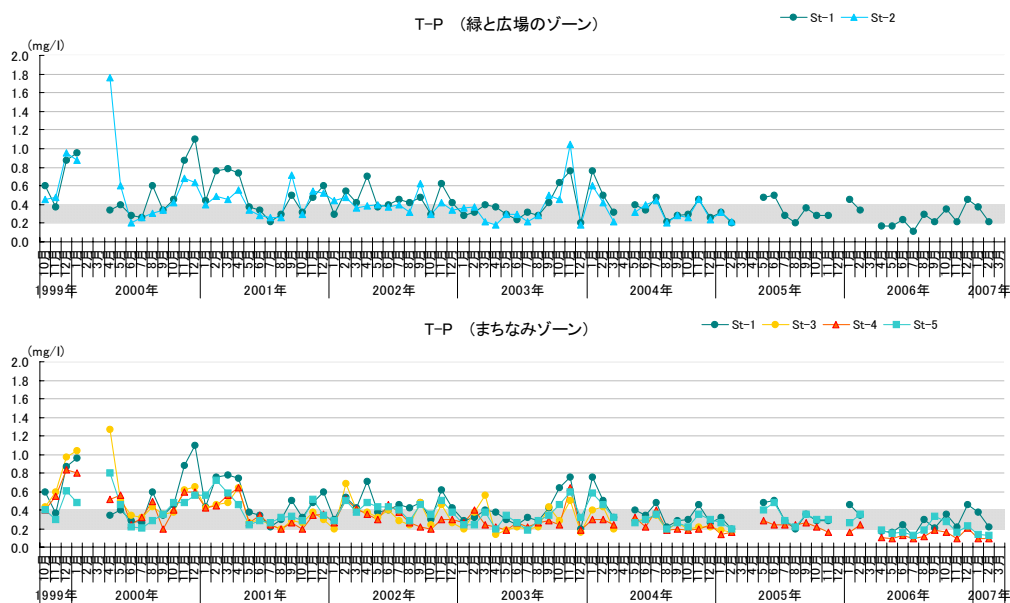


図-6 T-P値の時系列変動

表-3 T-P値の年度別平均値(mg/l)

年度\測点	St-1	St-4	St-5	St-12	St-6
1999	(0.70)	(0.65)	(0.45)		(0.12)
2000	0.55	0.45	0.48		0.13
2001	0.43	0.34	0.35		0.13
2002	0.43	0.31	0.38		0.17
2003	0.43	0.28	0.36		0.14
2004	0.33	0.22	0.27		0.18
2005	0.35	0.23	0.33	0.40	0.18
2006	0.26	0.12	0.19	0.17	0.06

れ、中流部のSt.4で66%、St.5で49%の大きな水質改善が成されたことがわかる。これらの結果からも明らかとなり下水道事業の進捗効果が如実に示されたといえる。

b) T-N

濃度値の経時的変動を1999年度から2006年度まで時系列変動として示した(図-5)。

BODの変動の様相と同じく、冬季に濃度値が上昇する傾向がみられるが、全測点においてその振幅は減衰しており年度の進行とともに濃度値は明らかに低くなっており、特に中流部のSt.4、St.3で顕著である。

主要測点での年度別平均値を表-2に示した。2000年度(12回)の平均値を初期値として、その経年的変動の様相を考察する。

水源池(St.6)では2000年に比べて、その後はいずれの年においても値は低下しており2006年では0.9mg/lと57%の格段の水質改善が認められる。

水源池(St.6)の値に比べて流路内測点(St.4、St.5)では2倍以上に急上昇しており下流測点ほど値は大きくなっていることから流下とともに周辺流域から汚濁負荷が流入していることがわかる。

下流端貯留池(St.1)の値の経時的変動の様相は2000年度が最大で4.7mg/lであり、2006年が最小で2.8mg/lであり40%の水質改善となっている。また流路のほぼ中間点

であるSt.4では2000年が最大で4.8mg/lであり、経時的には変動しつつも低下傾向を示し、2006年度の値1.9mg/lは2000年度に比べて60%の高い水質改善となっている。

c) T-P

濃度値の経時的変動を時系列変動として示した(図-6)。全測点において年度の進行とともに濃度値は明らかに低下しており、とくに、2004年度以降St.4、St.3においてその傾向が顕著である。主要測点での年度別平均値を表-3に示した。

水源池(St.6)の2000年度の値は0.13mg/lであり、湖沼の環境基準V類型0.1mg/lを若干超えているが、2006年度では0.06mg/lとその基準を満たしている。また、年平均値の最大も0.18mg/lと比較的低い値を保っているといえる。

St.1では2000年度の値0.55mg/lはこの流域区間では最大を示し、St.6に比べて4倍程度大きい。しかし経時的変動をみれば年度の進行とともに低下傾向を示し、2006年度は最小値0.26mg/lとなり52%の格段の水質改善となった。

St.4では2000年度は0.45mg/lであり、St.6に比べて3.4倍である。しかしこの測点においても年度の進行とともに値は低下傾向を示し、2006年度は最小値0.12mg/lとなり、73%の高い水質改善が示されている。

またSt.5でも2000年度0.48mg/lであったが、2006年度では0.19mg/lの最小値となり60%の高い水質改善が示されている。

(3) 下水道事業の進捗状況

図-7および図-8には各測点の直接影響区域の年度毎の接続戸数とその増加の様相を示した。

2006年度までの接続戸数の総数は1917戸であり、測点別に示せばSt.4が614戸(32%)、St.2が426戸(22%)、St.3が

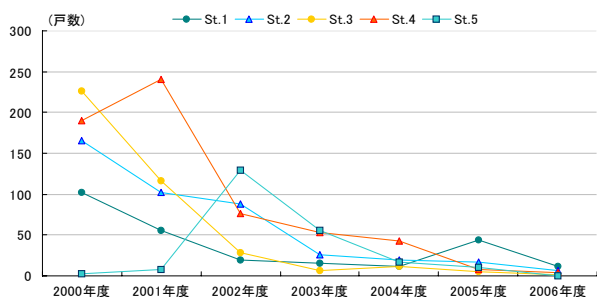


図-7 各測点別接続戸数の時系列変動

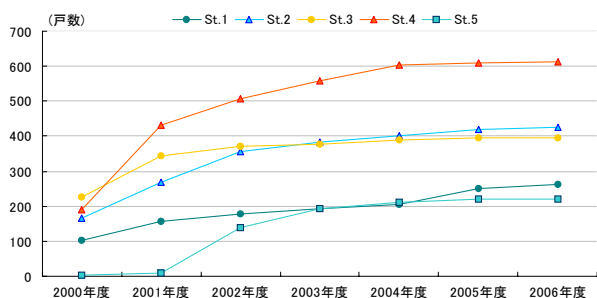


図-8 各測点別接続累計戸数の時系列変動

395戸(21%), St.1が261戸(14%), St.5が221戸(12%)となる。

下水道整備に伴う水質改善効果は、とくに図-5および図-6に示したT-N, T-Pの時系列変動に明らかである。市街地の中心部にあるSt-4では7年間でT-Nで60%, T-Pは73%の極めて高い水質改善がなされた。また、その他の測点においても、かなり高い良好な水質改善効果が認められる。

この下水道整備状況(普及率)は北溝川流域に限れば79%に達しており、今後整備事業の進捗とともに北溝川の水質改善はさらに進むものと期待できる。

下水道整備事業の進捗と水環境保全との関係に係わる既往の調査研究事例について調べた。その結果、河川環境総合研究所報告¹⁾を見出した。この論文は、北海道の石狩川河口近傍の茨戸川および札幌北部地区河川の「清流ルネッサンスⅡ」の事業計画に係るものであり、目標年は平成24年度である。対象流域は約160km², 対象人口55.6万人と大きく、茨戸川の水質(BOD, T-N, T-P)の昭和55年から平成12年までの20年間の経年変化が示されている。この国の総合事業とは比較にならないが、本研究対象の下水道整備事業は全体計画としては1010ha, 処理人口3.35万人の公共下水道計画であり、現在の認可計画は312ha, 処理人口1.2万人である。

5. 北溝川水質の本川(江の川)に及ぼす影響調査

北溝川の水質が本川(江の川)に及ぼす影響を明らかにする目的で、2002年8月から2004年6月までの期間にわたり、図-1に示した3測点(St. 7~St. 9)を追加して、調査分析を行った。

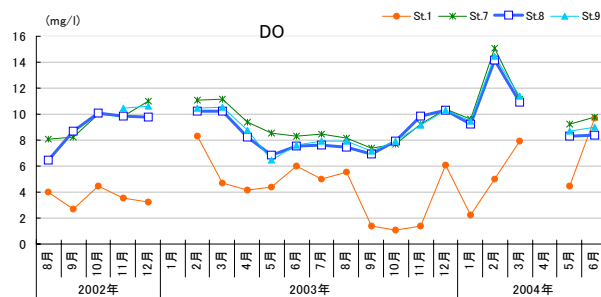


図-9 江の川3測点とSt.1のDOの時系列変動

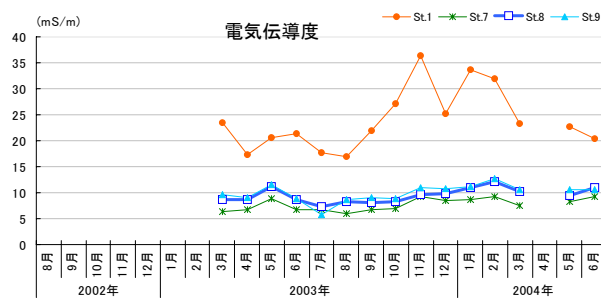


図-10 江の川3測点とSt.1の電気伝導度の時系列変動

(1) DOと電気伝導度

図-9にDOの経時的変動を、図-10に電気伝導度の経時的変動を示した。

DO値についてみれば本川の3測点においては濃度値はほぼ同じであり、その経時的変動も一致している。一方、北溝川最下流測点St.1では、その経時的変動の様相は本川に比べて明らかに異なり、濃度値も極めて低く、5mg/ℓ以下の計測値が大半である。すなわち、魚類他の水生生物に対する水質環境は悪く、とくに2003年9月から11月の3ヶ月間は極めて厳しい状況にあったといえる。

電気伝導度についてみても、本川の3測点においては、10mS/m程度以下であり正常な水質といえる。3測点の内では三川合流後の最下流測点St.7が最も低値を示している。一方、St.1では17.0mS/m~36.3mS/mの変動を示し、本川と比べて2.5~3倍高い。とくに、DO値も最低値となった2003年11月の突出値36.3mS/mは日本の平均的な河川の伝導度の3倍以上であり、塩素イオン濃度(Cl⁻)に換算すれば170mg/ℓとなり、何らかの人為的汚染の原因が心配される。

(2) BOD, T-N, T-P

図-11にBODの経時的変動を、さらに図-12にT-N, 図-13にT-Pの経時的変動を示した。

BOD値の経時変動をSt.1と北溝川合流直後のSt.8について比べれば、2003年2月~7月、2004年1月~6月のように明らかにその変動特性の一致が見られる。すなわち、北溝川の高濃度排水が本川濃度に影響を与えていることになる。少ない調査結果からではあるがSt.1の濃度値が4mg/ℓ以上になれば、影響が及ぶと判定した。この判定

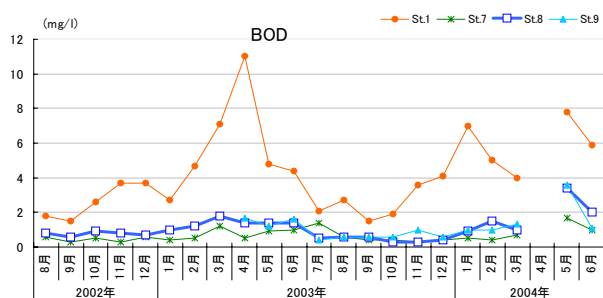


図-11 江の川3測点とSt.1のBODの時系列変動

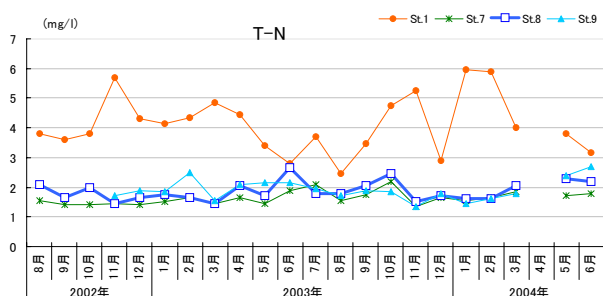


図-12 江の川3測点とSt.1のT-Nの時系列変動

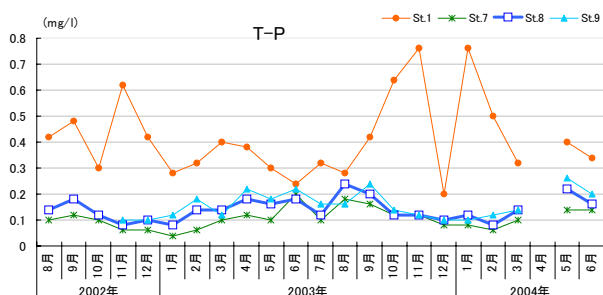


図-13 江の川3測点とSt.1のT-Pの時系列変動

に立って図-4、表-1に示した経時的変動をみれば2005年度以降においても年に数回はこのような事象が生じていると推測できる。しかし、本川の濃度値は環境基準A類型(2.0mg/l以下)を十分に満足しており問題はない。

T-N値についてみれば、本川の3測点では2.0～1.5mg/lの範囲であり、ほぼ安定している。しかし、北溝川測点St.1では5.95～2.45mg/lの範囲で大きく変動しており、夏季で低く、冬季で高くなる傾向がみえる。しかし、この図からは北溝川の水質が本川に及ぼす影響を明確に示す特性を見出せず、したがってその影響はほとんどないと判断した。

T-P値についてみれば、本川の3測点では冬季で低く、夏季では高くなる変動特性が明らかであり、St.7では0.20～0.04mg/lと最も低く、St.8では0.24～0.08mg/l、北溝川合流前のSt.9では0.26～0.10mg/lの順である。しかし、北溝川測点St.1では0.76～0.20mg/lの範囲で大き

く変動しており、図-10の電気伝導度の変動に連動するような本川とは逆の経時的変動である。したがって、T-Nと同様に北溝川水質の本川水質に及ぼす明確な影響は見出せない。

以上の調査分析結果から、北溝川の水質が本川の水質に及ぼす影響は、あるとしても微小であり且つ一時的であると推測される。すなわち、このことは、本川の流量に対して北溝川からの流入量が相対的に非常に少なく、流入汚濁負荷は流入直後すみやかに希釈、拡散されているものと推測される。

6. まとめ

本研究より得られた知見を以下に示す。

- 1) 自記水位観測記録と現地定期流量観測データに基づき、北溝川(St.2測点)におけるH-Q曲線を作成した。その結果として対象期間の年総流出量を算出した。
- 2) 2002年は降水量が1100mmと極端に少なく、河川流量も340万 m^3 と最少となったが、この年を除いて河川流量を比較した結果、経時的にみれば明らかな減少傾向であることがわかった。その最大の要因は下水道整備事業の進捗に伴う河川への還流量が減ったことである。
- 3) BOD、T-N、T-Pの8年間に及ぶ定期観測調査結果に基づき、それぞれの水質改善結果を数値的に明らかにした。下水道整備事業の進捗に伴い、流域中央部のSt.4やSt.5の測点では60%にも及ぶ高い水質改善効果を実現している。
- 4) 北溝川流域の下水道整備状況(普及率)は79%に達している。
- 5) 北溝川の水質が本川(江の川)の水質に及ぼす影響はあるとしても微小であり、且つ一時的であることを明確にした。

謝辞： 本研究は、当初より国土交通省三次河川国道事務所の支援を受け、さらに広島県備北地域事務所、三次市の関係各位からの助言、協力をいただき、内容の濃い現地調査研究を遂行することが出来た。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 吉岡紘治，工藤喬，斎藤聖喜，加藤喜盛，永友功一：閉鎖性河口域茨戸川の水質機構特性と水環境保全策，河川環境総合研究報告，No.9，pp1-17，2004。

(2007. 9. 30受付)