

強汚濁河川における礫間接触酸化法による 長期間原位実験

LONG TERM ON-SITE EXPERIMENTS ON PURIFICATION FOR STRONG POLLUTED RIVER
BY BIO-ACTIVE CONTACT OXIDATION METHOD

津田 将行¹・尾島 勝²

Masayuki TSUDA and Masaru OJIMA

¹学生会員 修(工) 福山大学大学院工学研究科 (〒729-0292 広島県福山市学園町1番地三蔵)

²フェロー会員 工博 福山大学教授 工学部建設環境工学科 (〒729-0292 広島県福山市学園町1番地三蔵)

The large-scale experimental channels were constructed in 1994 in the course of the Takaya-gawa river which is a branch of the Ashida river, in Fukuyama-city. In these experimental channels, two kinds contact oxidation materials such as coral stone and deoiled coal paved into one channel and another channel which called a control channel were paved by nothing. The conduction period of water to these channels is about 80-55 days for each season during Aug. 1999 to Nov. 2000.

The purification effects for the strong polluted river-water were estimated by several items of water quality and sludge. In this paper, items of BOD, nitrogen and phosphorus were especially considered from the angles such as particle component and dissolved component.

Key Words : *On-site Experiment, Contact Oxidation Method, Water Quality, Sludge*

1. はじめに

河川直接浄化法には堰上げ水路、薄層浄化水路、礫間接触酸化、曝気付き礫間酸化、土壌処理、水耕植栽処理、酸化池などがある¹⁾。この中で礫間接触酸化法は比較的小面積で多大の流量を対象にできる特徴があり、浄化機構は、①. 接触沈殿、②. 接触材表面の微生物による吸着、酸化分解、③. 堆積汚泥による酸化分解・減量に大別でき、多くの研究報告がなされている^{1)~6)}。

本研究グループでも実河川に建造した水路においてサンゴ石、脱油焼成石炭、木炭の3種類を接触材として用い、四季に区分し約3週間の浄化効果を比較した⁷⁾。各水質項目、堆積汚泥に関しては3種の接触材の特性が認められるものの顕著な差はあまりなく、付着藻類に関しては、各接触材に付着する種構成はほぼ同種であることを明らかにした。この場合、通水期間は約3週間と短期間の評価であったが、木炭は比重が軽いために水に浮遊しやすく、個々の大きさが大きいために絶対的な間隙が大きいことから堆積汚泥量が多くなることがわかった⁷⁾。

このような背景から本研究では、サンゴ石、脱油焼成石炭を用いた礫間接触酸化法による長期的な通水期間における処理水質の特性、浄化効果の持続性、さらに浄化副産物である堆積汚泥の特性について検討した。本研究では対象水路として何も敷設しない水路を設け、接触材水路との比較を行う。このとき2水路には一定量を流入させて比較するため、河川水は水平流式すなわち押し出し式で水路内を流下している。したがって何も敷設しない水路は堰上げによる堰浄化法であり、流速を遅くすることにより浮遊物が沈殿する特徴がある。

2. 実験および調査概要

実験水路は芦田川左支川高屋川の左岸寄り河道内に、全長60m、幅1m、高さ1mの防水コンクリート製(水路勾配:約1/1200)が3水路あり各水路間は1mである。図-1は実験水路概略図を示しており、開水路で太陽光が直接入射する。本研究では3水路のうち2水路を用いて礫間接触酸化水路とコントロール水路として比較する。

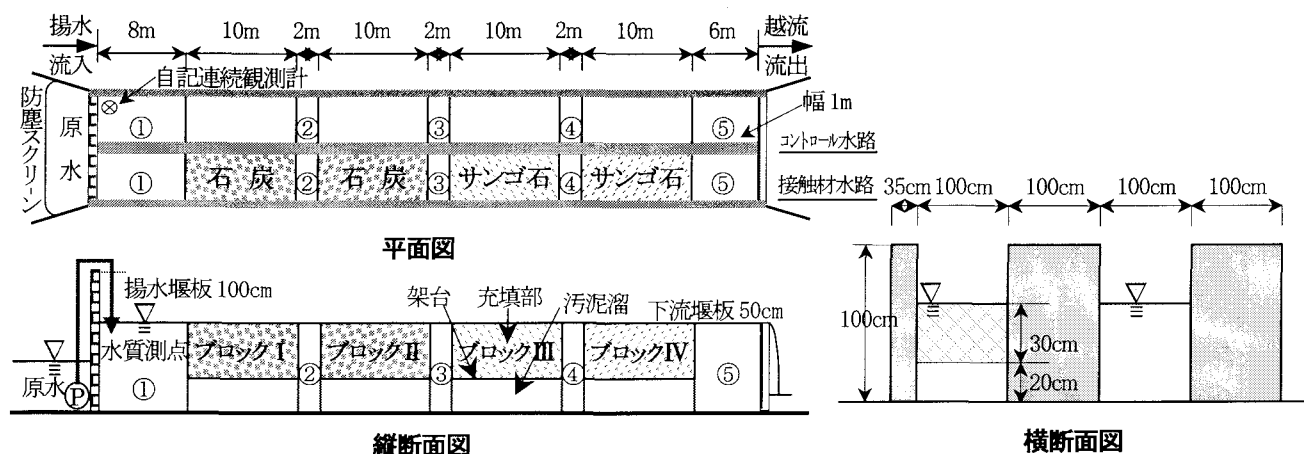


図-1 防水コンクリート製実験水路概略図

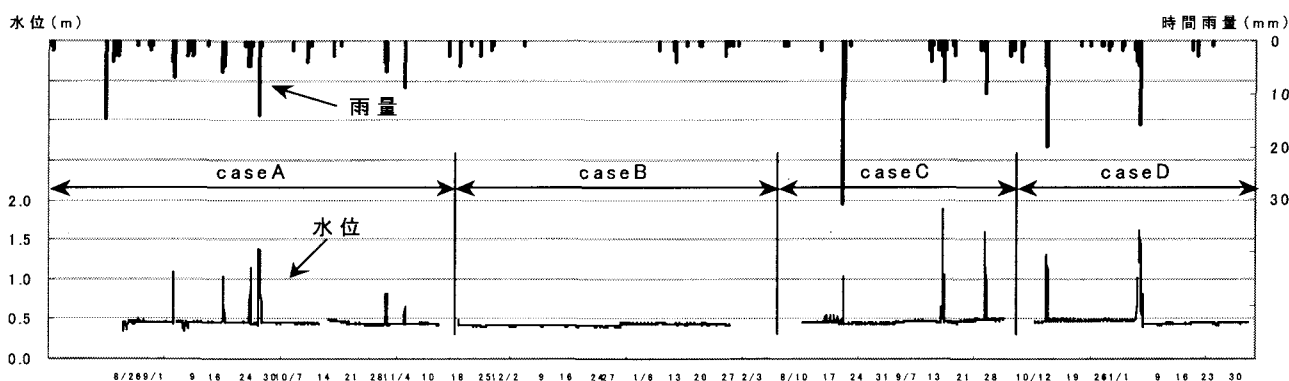


図-2 実験水路水位と雨量連続観測データ

接触材として脱油焼成石炭、サンゴ石を使用しそれぞれをネット(1袋当り10～15kg)に入れ、10m毎の4ブロックに、上流側ブロックⅠ・Ⅱには脱油焼成石炭を、下流側ブロックⅢ・Ⅳにはサンゴ石をそれぞれ敷設した。また各ケース通水開始前に、水路や接触材をジェット洗浄し、接触材は数日間天日干し後、敷設し通水を始める。

実験期間は、1999年8月20日～11月10日(caseAとする)、1999年11月15日～2000年2月3日(caseB)の約80日間、2000年8月7日～9月28日(caseC)、2000年10月6日～11月30日(caseD)の約55日間連続通水を行った。

通水量はcaseA、Bは2.5m³/hr(41.7l/min)、caseC、Dは3.0m³/hr(50.0l/min)とし押し出し方式で下流堰から溢流している。滞留時間は、流入量が2.5m³/hrの場合、コントロール水路：11.5時間、接触材水路：9.8時間、3.0m³/hrの場合、コントロール水路：9.6時間、接触材水路：7.8時間であった。

水質調査は、図-1に示す水路上流部の河川原水と各水路の各ブロック間の開水路部の水質観測点(①～⑤)において毎週1回の直読式水質チェッカー分析と採水試料の室内分析を実施した。

水質項目は水温、pH、DO、COND、SS、BOD、溶解性BOD(D.BOD)、COD_{Cr}、T-N、T-Pである。また

caseB～Dにおいては溶解性T-N(D.T-N)、溶解性T-P(D.T-P)も測定し、BODとD.BODとの差を懸濁性BOD(P.BOD)として、T-NとD.T-Nとの差を懸濁性T-N(P.T-N)として、T-PとD.T-Pとの差を懸濁性T-P(P.T-P)として算出した。

堆積汚泥は、各ケースの最終計測後通水を停止し、コントロール水路では水路底部に堆積していたものを各ブロック別に回収、接触材水路では各ブロック毎に接触材の間隙の汚泥をジェット洗浄により汚泥を底部へと取り除き、実験期間中に水路底部に堆積したものと共に各ブロック別に回収し、それぞれ各ブロック別に堆積汚泥湿潤重量、含水率、強熱減量を計測した。また堆積汚泥湿潤重量と含水率より堆積土粒子重量を算出した。

3. 水位自記連続観測データによる水路流況

コントロール水路の最上流測点(①)に、圧力式水位計を設置し自記連続観測を行った。図-2には1時間毎の水位観測値と対象域上流部(神辺)の時間雨量値を示した。

実験水路の平常水位は下流堰高0.5mによって制御されている。しかし実験水路は河道敷内にあり、強い降雨時には高濁水出水の影響を直接受ける。図-1の水路概要に示すように上流堰板高は1mであり、図-2の水位連続デー

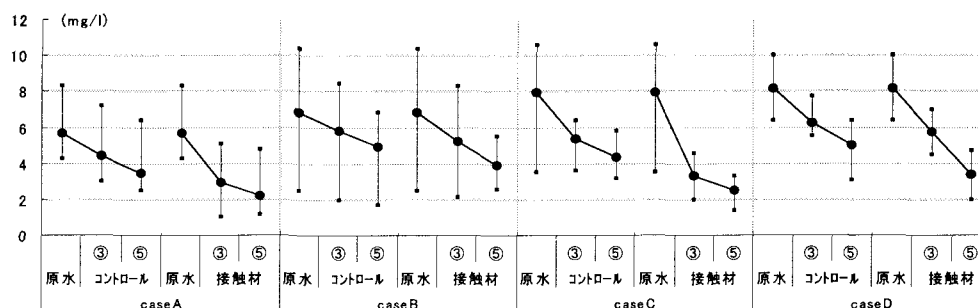


図-3 各ケース別の DO 場所的变化 (最大値 - 平均値 - 最小値)

タに示すように、caseA、C、D では水位が 1m を超える出水があり、上流堰板を超え濁水が水路内に流入し、完全冠水状態がそれぞれ caseA : 6 回、caseC : 3 回、caseD : 2 回起こった。caseB は 1 月 24 日 12 時以降に水位計が故障し計測不可能となったが、雨量データからわかるように 1 月 24 日 12 時から 2 月 3 日までの雨量は 25 日 5 時、26 日 17 時にそれぞれ 1mm ずつの雨量を観測しただけであり、実験水路が冠水状態となる程の雨量で無いため、caseB の期間中は 1 回も冠水状態とならなかった。

4. 観測調査結果および考察

(1) 水質指標

DO に関しては図-3 に各ケースの流下方向への場所的变化を示している。BOD、T-N、T-P に関しては各ケースの流入原水、測点③と⑤の濃度値と自記水位計の水位変動を図-4 に示し、表-1 には原水濃度に対する測点③、⑤の平均除去率を示した。

a) DO

各ケースにおいて、最大値と最小値の変動が大きいことがわかる。特に原水濃度の変動幅が大きく、平均濃度値は caseA から順に、5.7mg/l、6.8mg/l、8.0mg/l、8.2mg/l であり、夏季にあたる caseA、C には藻類の増殖の影響によって過飽和状態となったときもある。

各ケースにおいて両水路とも水路流下とともに濃度値は低下しており、接触材水路の方がコントロール水路よりも DO 値の低下が大きく、特に原水から測点③までの低下量が多い。接触材水路の測点⑤の DO 値は水温の高い時期に濃度値が低いことから、水温の高い時期には曝気などによる DO の回復設備が必要であると考えられる。

b) BOD

BOD の原水平均値は、caseA から順に 4.40mg/l、5.58mg/l、4.10mg/l、3.56mg/l であった。原水からの除去率は測点③では、caseA、B は接触材水路の方が高く、caseC、D はコントロール水路の方が高かった。測点⑤では、各ケースにおいて接触材水路の方がコントロール水路より 1.3~2.0 倍高い除去率を示し、接触材水路測点⑤での平均は caseA から順に 1.14mg/l、2.99mg/l、1.68mg/l、1.86mg/l と低濃度であり、河川出水後でも比較的安定し

て良好な浄化効果を発現している。

原水の BOD のうち溶解性成分である D.BOD の占める割合は、caseA から順に 25%、47%、24%、35%である。したがって各ケースにおいて懸濁性由来の BOD が高いことがわかる。以下に懸濁性と溶解性の水路流下による除去に関して述べる。

D.BOD の除去率は、測点③では caseA、B は接触材水路の方が高く、caseC、D はコントロール水路の方が高い。測点⑤では各ケースとも接触材水路の方が除去率は高く、除去効果大きい。

P.BOD の除去率は、測点③では caseA は接触材水路の方が高く、caseB、C は両水路に相違はなく、caseD はコントロール水路の方が高い。測点⑤では各ケースにおいて接触材水路の方が除去率は高くなった。

水路流下により BOD の溶解性と懸濁性の割合は各ケースにおいて両水路とも溶解性の割合が高くなっており、BOD 除去には懸濁性由来の汚濁物質の水路流下に伴う沈降や吸着による除去効果大きいことがわかる。

c) T-N

T-N の各ケースの原水平均値は caseA から順に 2.44mg/l、4.04mg/l、2.36mg/l、2.86mg/l であった。除去率は測点③では各ケースにおいて 2 水路に顕著な相違は認められず、測点⑤では接触材水路の方が除去率は高かった。また河川出水前後においては浄化効果に変化はなく、ほぼ一定の浄化効果が持続していることがわかる。

原水の T-N のうち D.T-N の割合は caseB から順に 89%、81%、93%と BOD 成分とは逆に溶解性成分の占める割合が非常に大きいことがわかる。

D.T-N の除去率は、測点③では caseB は接触材水路の方が高いが、caseC、D はコントロール水路の方が高い。測点⑤では caseB~D において接触材水路の方が相対的に高いが、除去率の数値は低く、両水路にあまり大きな相違は認められない。

P.T-N の除去率は、測点③では caseB、C は接触材水路の方が高いが、caseD は両水路ともマイナスとなり濃度値は増加していた。測点⑤では caseB~D において接触材水路の方が除去率は高い。

d) T-P

T-P の各ケースの原水平均値は caseA から順に

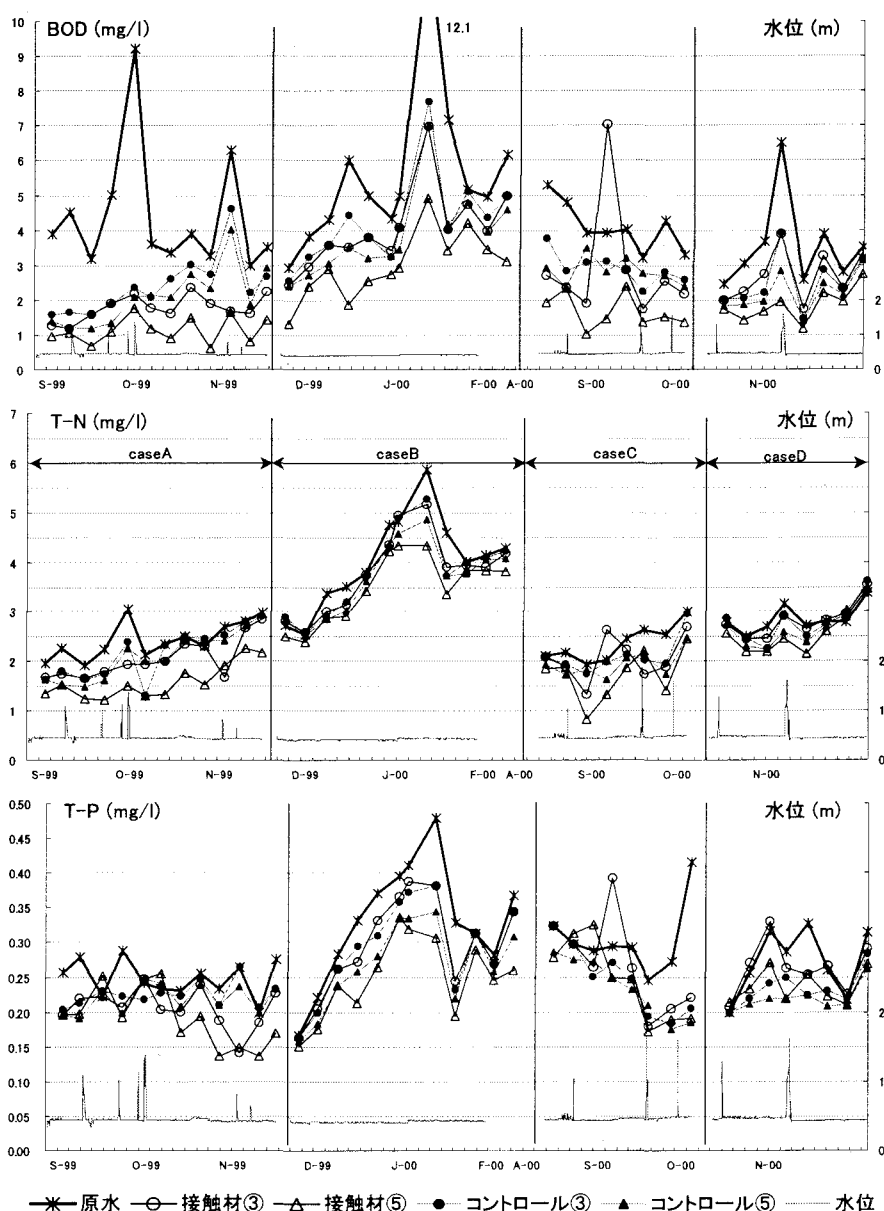


図4 BOD、T-N、T-Pと水路水位の時系列変化

表-1 原水濃度に対する測点③、⑤のケース別の平均除去率 (%)

	case	コントロール水路		接触材水路	
		③	⑤	③	⑤
BOD	A	41	48	56	73
	B	21	29	25	44
	C	29	29	28	59
	D	28	35	23	45
D.BOD	A	11	27	33	43
	B	8	19	15	39
	C	18	20	14	31
	D	22	30	15	32
P.BOD	A	48	53	62	81
	B	34	37	34	50
	C	31	31	31	67
	D	32	38	25	49

	case	コントロール水路		接触材水路	
		③	⑤	③	⑤
T-N	A	12	14	16	35
	B	5	8	5	13
	C	11	17	12	27
	D	3	6	1	10
D.T-N	A	-	-	-	-
	B	2	5	2	9
	C	9	14	8	19
	D	3	5	1	8
P.T-N	A	-	-	-	-
	B	28	23	35	36
	C	14	27	26	61
	D	-14	-53	-59	33

	case	コントロール水路		接触材水路	
		③	⑤	③	⑤
T-P	A	9	11	16	22
	B	11	17	10	23
	C	18	21	10	18
	D	13	18	2	12
D.T-P	A	-	-	-	-
	B	10	16	6	16
	C	20	26	3	-1
	D	14	19	4	6
P.T-P	A	-	-	-	-
	B	11	17	17	39
	C	10	7	25	54
	D	3	8	-9	20

0.248mg/l、0.329mg/l、0.304mg/l、0.272mg/lであった。除去率は測点③ではcaseAは接触材水路の方が2倍ほど高い除去率を示すが、caseB～Dにおいては逆にコントロール水路の方が除去率が高い。測点⑤ではcaseA、Bは接触材水路の方が除去率は2倍ほど高かったが、caseC、Dはコントロール水路の方がやや高い除去率を示した。

原水のT-PのうちD.T-Pの占める割合はcaseBから順に72%、68%、74%とT-Nと同様に溶解性成分の占める割合が大きい。

D.T-Pの除去率はcaseB～Dにおいて測点③や測点⑤ではそれぞれコントロール水路の方が高くなった。

P.T-Pの除去率は測点③ではcaseB、Cは接触材水路の方が高く、caseDはコントロール水路の方が高い。しかし測点⑤では各ケースとも接触材水路の方がかなり高い除去率を示し、良好な浄化効果を示していた。

したがって溶解性成分が大きい河川水を対象に水質浄

化をする場合には、礫間接触酸化法は沈降や吸着などの物理的な作用による除去と考えられることから、リンの十分な除去を期待することはできない。

(2) 堆積汚泥

各ケースは通水期間が異なるため、堆積土粒子重量を通水日数で割り、1日当りに発生する堆積土粒子重量を算出したものを図-5に示した。

接触材水路では各ケースにおいてはブロックIから順次水路流下に伴い堆積量は減少しており、上流ブロックでの堆積量が多い。しかし、コントロール水路ではそのような規則性は無い。

各ケース別に比較すると、堆積量が最も少なかったのは両水路とも水路冠水が無かったcaseBであり、次いで接触材水路ではcaseC、caseD、caseAの順に多くなった。一方、コントロール水路では、各ケース(A、C、D)の堆

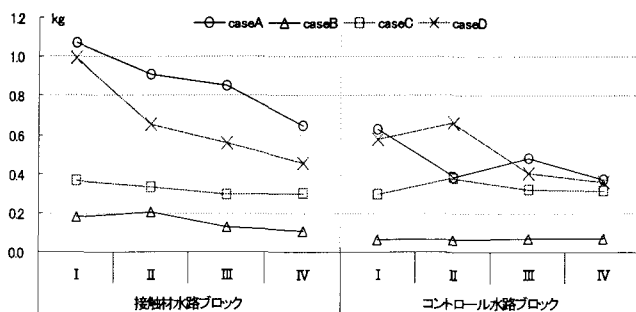


図-5 1日当りの堆積土粒子重量

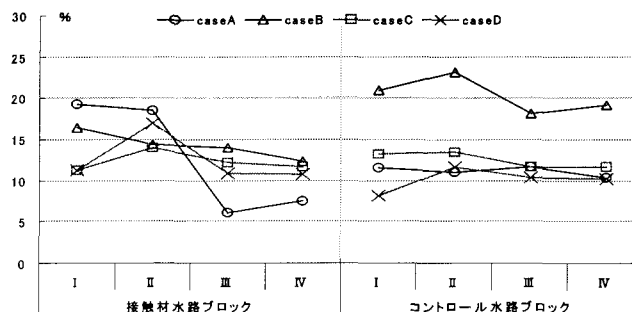


図-6 堆積汚泥の強熱減量

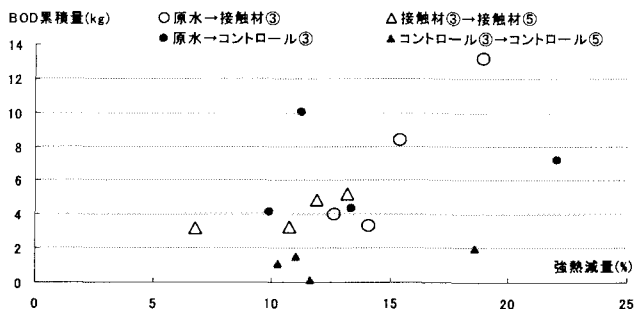


図-7 BOD 累積量と強熱減量

積量に明確な差異はない。

図-6 には堆積汚泥の強熱減量を示した。接触材水路において caseA の上流 2 つのブロックであるブロック I、II は 18.5～19.3%、下流 2 つのブロックであるブロック III、IV は 6.1～7.5% とその差が大きい。しかし他のケースではいずれのブロックでも 11.2～17.0% の範囲内にあり、大きな相違は認められない。コントロール水路においては、水路冠水が無かった caseB の各ブロックで 18.1～23.1% と高い値を示していたが、他のケースでは 8.2～13.5% の値であった。

津田ら⁷⁾によると、この水路で石炭、サンゴ石を接触材として各四季の 3 週間連続通水による堆積汚泥の強熱減量は、秋・冬・春・夏期の平均値はそれぞれ 24～15%、17～12% であった。これより通水期間が長・短期による相違は認められず、ほぼ同値を示すことがわかる。

図-7 には BOD 累積量と強熱減量を示している。BOD 累積量は、 $L(\text{mg/l}) \times q(\text{l/day}) \times \Delta t(\text{day})$ (L : 濃度差、 q : 流量、 Δt : 測定時間間隔) より算出した。ここでの濃度差とは、原水から測点③と測点③から測点⑤の間の減少量である。

○、△印で示した接触材水路では、BOD 累積量が多いほど強熱減量の割合も多くなっており、上流ブロックほどその傾向が強い。また、コントロール水路ではそのような傾向はほとんど認められず、▲印で示した測点③から⑤まで BOD 累積量が 0～2kg の範囲であるにもかかわらず強熱減量は 10～20% である。

(3) BOD の流下過程での収支

本実験水路の流下に伴う BOD の変化が 1 次元収支式で

表せるものとする。

$$\frac{\partial L}{\partial t} = D_x \frac{\partial^2 L}{\partial x^2} - U \frac{\partial L}{\partial x} - KL + L_a \quad (1)$$

ここで、 L は有機物質の濃度 (mg/l)、 U は平均流速 (m/day)、 D_x は縦断方向の拡散係数 (m^2/day)、 K は分解速度係数 (1/day)、 L_a は外部からの有機物質負荷量 (mg/l·day) である。

さらに、流れが定常状態で拡散項を無視できるとすると次式が得られる。

$$-U \frac{dL}{dx} - KL + L_a = 0 \quad (2)$$

この式を積分し、 $x=0$ において $L=L_0$ とすると次式になる。

$$L = L_0 \cdot \exp\left(-K \frac{x}{U}\right) \quad (3)$$

ここで、 L は各測点⑤の BOD 濃度とし、 L_0 は原水濃度とする。

図-8 には水温と BOD 分解速度係数の関係を示した。BOD 分解速度係数は屋内や屋外の循環水路実験では 0.3～1.0 (1/day) の範囲が多く、また小倉が南浅川でショ糖の投入法により算定した値は、0.65～6.1 (1/day) の範囲にあり、水温の上昇により低下し、流量の増加により低下する傾向を示している⁸⁾。本研究のコントロール水路では、0.16～3.08 (1/day) の範囲にあり水温が高くなるにつれて分解速度係数は大きく、また水温が 20℃ 以上では通水量が 2.5 m^3/hr の caseA、B、20℃ 以下では通水量 3.0 m^3/hr の caseC、D の方がそれぞれ分解速度係数は高くなっており、水温が高い場合には流速が遅く、水温が低い場合には流速が速い場合が分解速度係数は大きいことがわかる。接触材水路では、コントロール水路の分解速度係数よりも高く、0.52～4.10 (1/day) の範囲にあり、コントロール水路と同様に水温が高くなるにつれて分解速度係数が大きく、また通水量が 2.5 m^3/hr の場合が分解速度係数は大きい。したがって、水温が高く滞留時間が長い方が分解速度係数は大きいことがわかった。

図-9 には濃度値と分解速度係数の関係を示した。両水路とも通水量 2.5 m^3/hr の水温が高い時期に分解速度係数は大きい値を示しており、濃度値が 2～6 mg/l に対しては流速が小さいほど分解速度係数は大きい値を示すことが

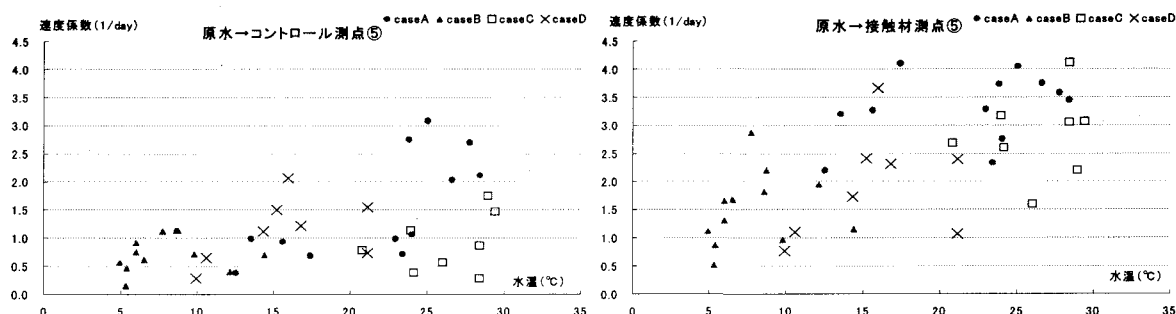


図-8 水温とBOD分解速度係数

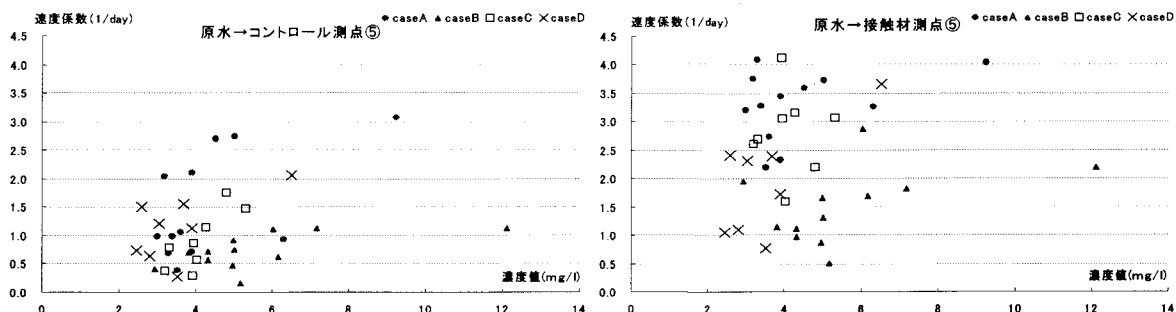


図-9 BOD濃度値とBOD分解速度係数

わかる。

5. まとめ

実河道内に建造した水路において、礫間接触酸化法と堰上げ法とした2水路に一定流量を流下させることによる河川水質浄化実験を行い以下の知見を得た。

BODは両水路とも水路流下によって、溶解性成分、懸濁性成分ともに減少している。特に各ケースにおいて接触材水路測点⑤での除去効果大きい。

T-Nは水路流下によって、溶解性成分の除去率は両水路にあまり大きな相違は認められず、懸濁性成分は各ケースにおいて接触材水路測点⑤での除去率が高かった。

T-Pは水路流下によって、懸濁性成分は接触材水路の方が除去率は高く、溶解性成分はコントロール水路の各測点での除去率の方が高い。

堆積汚泥に関して、コントロール水路の無冠水時のケースは他のケースに比べ堆積量が少ないが、強熱減量の値は高い値を示した。接触材水路の堆積量は各ケースの相違が認められ、強熱減量はcaseAでは場所的な相違があるが、他のケースは大きな相違は認められなかった。

BODの分解速度係数は、両水路ともに水温が高くなるにつれ分解速度係数が大きくなり、濃度値が2~6mg/lに対しては流速が小さいほど分解速度係数が大きい値を示す。

参考文献

- 1) 楠田哲也編著：自然の浄化機構の強化と制御，pp. 71-110，技報堂出版，1994。

- 2) 岡田香子，鈴木穰，畑津十四日，天田高白：接触酸化水路における衛生指標細菌の除去機構，水環境学会誌，23，pp. 677-682，2000。
- 3) 酒井信行，南後和寛，高村弘人：河川水の直接浄化のための上向流木炭接触酸化法，水環境学会誌，18，pp. 663-669，1995。
- 4) 土屋十朗，岡田光正：浮上式礫間接触酸化処理法による都市河川の直接浄化手法について，水環境学会誌，16，pp. 430-435，1993。
- 5) 毛利光男，須田有輔，上原功，門倉伸行，田中裕作，細川恭史：汚濁海水浄化における礫間接触水路内の抑留物の分布と閉塞について，水環境学会誌，16，pp. 516-525，1993。
- 6) 毛利光男，須田有輔，上原功，門倉伸行，田中裕作，細川恭史：海水浄化の礫間接触水路内の付着・底生生物相，水環境学会誌，19，pp. 637-647，1996。
- 7) 津田将行，尾島勝：礫間接触酸化法による強汚濁河川水の浄化効果に関する総合評価，水工学論文集，第47巻，pp. 1099-1104，2003。
- 8) 松梨順三郎：環境流体汚染，森北出版，pp. 21-22，1993。

(2003. 9. 30 受付)