

酸素による汚濁河川の悪臭防止に関する実験

東京都立大学	正会員	左合正雄
〃	〇	〃
〃		茂庭竹生
		長田貞子
東京都公害研究所		古井戸良雄
〃		土屋隆夫
〃		味村 昭

1. はじめに

都市の無計画な発達による歪みは大気汚染・交通騒音・地盤沈下・河川汚濁等を産み、住民の生活を脅かすに至っている。特に日本の場合は下水道の普及が遅れているため、家庭下水・工場廃水が未処理のまま河川へ放流され、都心部を流れる川は隅田川をはじめ排水路と化し、真黒に汚濁されている。しかもそこから発生する臭気は沿岸の人々の健康を害し、経済的損失さえも生じている。われわれは昭和42年から2年間にわたって、汚濁河川の悪臭防止に関する実験を行なってきた。才Ⅰ報⁽¹⁾では室内および野外の予備的な実験の報告を行い、才Ⅱ報⁽²⁾では酸素の溶解装置に関して述べた。本報では山谷堀川で昭和43年夏行なった実験の報告を主に総括的に実験の結果を述べる。

2. 山谷堀川の概要

山谷堀川は図-1に示すように一才を用いた堀で、固有流はなく、上流端にある日本堤下水ポンプ場から余水が時々放流されている。下流は隅田川に注ぎ、合流点には水門があり、高水時等緊急時以外は閉かされている。したがって山谷堀川の流れはまったく隅田川の干満に左右されており、それ以外の流れはないと考えてよい。

実験中、水の流れは潮の干満のみを考え、降雨時にポンプ場から余水が放流される場合は直ちに実験を中止した。

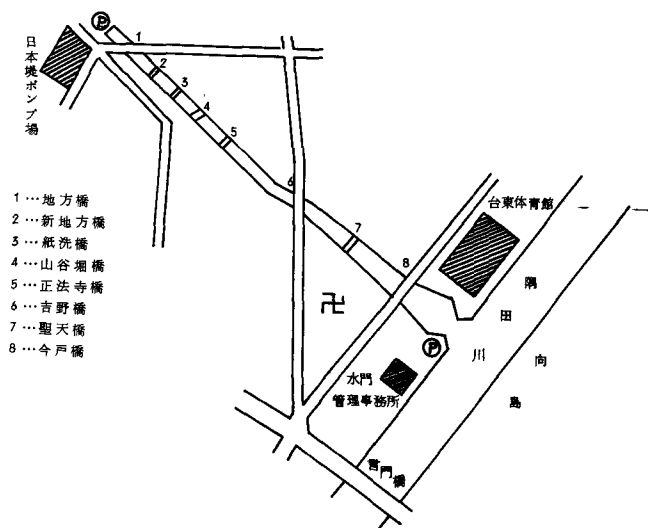


図-1 山谷堀川の平面図

山谷堀川は全長約1,000m、川幅は上流が狭く、下流へ行くほど広がっている。水深は下流側で若干浅くなっており、AP±0.00mで1m前後である。潮の大小で河川の水量は変化するが、最小6,500m³、最大37,000m³ぐらいである。河床の状況は下流側聖天橋附近までは厚いへ泥で覆われており、上流側は砂地の上にビニール等の沈積と比較的薄いへ泥からなっている。

表-1に昭和43年7月19日の水質試験と汚泥試験の結果を示す。これは隅田川の水質と大差は

認められたい。

このように山谷堀川は水質的には隅田川と大差のない半廃水路で、潮汐の干満により流入・流出する止水域と流水域の中間的なものと見える。そこで河川の上下流端に酸素注入設備を設けて実験を行った。

3. 実験設備

酸素注入設備で昭和42年度の実験とのおおきな違いは、溶解効率の向上を計るため、エジェクターを介して河川水へ酸素ガスを注入した点である。そのため、昭和42年度のように酸素量を大きくするとキャビテーションを生じ停止するというような欠点が無くなった。ポンプの選定にあたってはなるべくゴミによって堵塞しない型を考えたが、納期・価格・能力の点から適当なものが入手できず、やむなく普通の渦巻型を使用した。なお設備関係については本報で詳しく述べたので、ここには使用装置の諸元のみを示す。(フローシートは図-2を参照)

○ポンプ

型式; C G M型

製作; 荏原製作所

吸入側口径; 200A(8B)

吐出側口径; 150A(6B)

動力; 22 KW

○ジェット・ポンプ

型式; エジェクター

製作; 日酸工業

口径; 150A(6B)

一次圧力; 1.8 kg/cm²

水流量; 250 m³/hr.

○気液分離器

製作; 日酸工業

全容積; 0.57 m³

高さ; 1.40 m

	項 目	今 戸 橋	新 地 方 橋
水	気 温 (°C)	33.0	31.5
	水 温 (°C)	27.0	28.0
	色 相	黄褐色	黒 色
	透 視 度	14.4	5.5
	PH	6.98	7.21
	臭気希釈倍率	118.5	497.5
汚 泥	D O (PPM)	3.11	0.00
	B O D (°)	25.48	28.02
	島マカン酸カリ消費量(mm)	50.08	51.52
	酸素消費量(%)	0	0
	Cl ⁻ (°)	15,602	15,460
	NH ₃ -N (°)	3.00	4.07
	Alb-N (°)	1.88	1.67
	窒素残留物(°)	3,360	3,510
	PH	-	7.65
	C O D (Mg/g)	-	51.0
泥	硫化物(°)	-	1.02
	溶存酸素吸収量(°)	-	-
	乾燥重量百分率(%)	-	33.7
	硫酸還元量(°)	-	-

表-1 山谷堀川の水質・汚泥試験結果
(7月19日午後2時)

表-1 山谷堀川の水質・汚泥試験結果 (7月19日午後2時) を示す。(フローシートは図-2を参照)

- 1 揚水ポンプ
- 2 圧 力 計
- 3 フードバルブ
- 4 バ ル ブ
- 5 ジェットポンプ(エジェクター)
- 6 吐 出 管
- 7 採 水 口
- 8 気液分離器
- 9 吐 出 口
- 10 液体酸素貯留槽
- 11 気 化 器
- 12 流 量 計
- 13 バ ル ブ
- 14 酸素ガス注入管
- 15 分離酸素ガス管

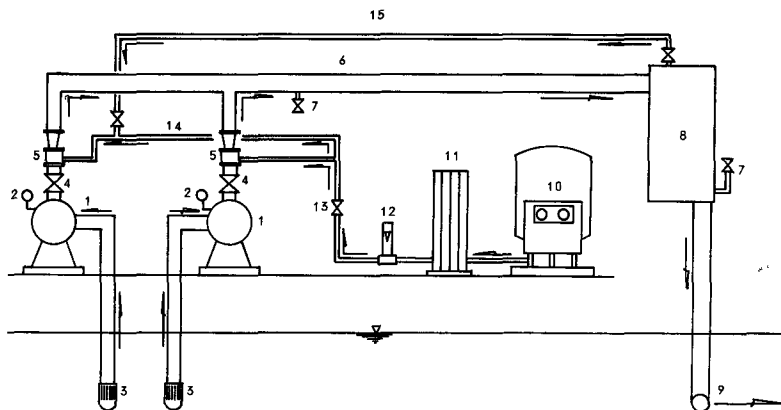


図-2 フローシート

○液体酸素貯留槽

型式；直立円筒式，CE-1500型

製作；日本酸素

貯存量；1.71t

総重量；3.79t

全高；2.55m

最高使用圧力；9.9 kg/cm²

○気化器

型式；EAL-50型

製作；日酸工業

気化能力；50 m³/h.

4. 採水方法と分析項目

採水は図-1に示した橋の上から採水器で水深50cmとさめて行い、分析は原則として現場で行なう。水については気温・水温・PH・色相・透明度・臭気希釈倍率・DO・BOD・COD〔過マンガン酸カリ消費量（現場）、重クロム酸カリ法（実験室）〕・汚素消費量・浮遊物質・硫酸イオンを下水道試験法に基づいて測定し、泥についてはPH・COD・硫化物・酸素吸収量を測定した。その他自動水質監視機を1基に固定し、PH・水温・DO・ORP・電気伝導度の観測を行ない、昭和42年度に引続きH₂Sの測定も行なった。

5. 山谷堀川の水の流れについて

才2節で述べたように山谷堀川は半閉水路であり、固有流はなく、潮の干満で水が出入する。そこで川の流れ特性を知るため、酸素をトレーサーとする拡散実験を行なった。

(1) P-A（上流側）による実験

実験は酸素注入量20 m³/時・台で干潮から満潮まで酸素の注入を行い、DOの観測は次の満潮時で行なった。図-3は各測定時間毎の河川縦断面におけるDO濃度分布を示したものである。満潮から干潮に向い、徐々にDOの低い域が下流へ広がる様子がわかる。そして干潮時には測定長1から6mでは濃度が均一化し、それから上り潮にかけて上部が押し流されながら、さらに濃度の均一化が進んでいる。

実験中自動水質監視機を測定長1の上流側に設置し、それによるDOの変化とウィンフラー法による測定結果を示したのが図-4である。3基が一致しないのは水深の違いと上流端にある余水吐の内に残っている水の影響と考えられる。したがって、実際のDOの変化は図中の太線のようになっていると考えられる。DOメーターの端子はポンプのフードバルブの附近に設置したが、河川水中のDOは注入開始後4時間ぐらいで9 ppmに達し、以後上昇していない。次に図-5はウィンフラー法で測定したものと、同じ水を酸素注入停止時に水槽に取りDOを測定したものを片対数グラフにプロットしたものであるが、この両直線の傾きの差が河川の底泥が消費する酸素量と考えられる。これを計算すると約40%に相当する。

(2) P-B（下流側）による実験

P-A同様酸素注入量20 m³/時・台で干潮から満潮まで酸素を注入し、次の干潮までDOの測定を行なった。

実験の結果はやはり流入・流出とも流れは上幹流となっており、潮汐の変り目に流れの逆転による渦流が生じていると考えられる。

6. 実験結果

防臭実験は4回に分けて行い、それぞれ酸素注入量を変化させた。実験Ⅲには昭和42年度の室内実験で効果が確かめられた硝酸ソーダ併用の実験を行った。

実験Ⅰは酸素注入量 $20 \frac{\text{mg}}{\text{min}}$ にて干潮から満潮にかけて注入した。図-6はDOの変化を、図-7は臭気希釈倍率の変化を示したものである。DOは測定値 $1.3 \sim 4$ では 4 ppm 以上の高い値を示し、 $5 \sim 8$ は比較的低かった。このDOの差は潮の出入と上下端にある溶解装置の能力の差によるものと考えられる。すなわち、下流側のポンプP-Bには気液分離器がなく、酸素ガスの循環をしていない。臭気希釈倍率は酸素注入開始7時間後にどの測定点も $25 \sim 28$ 倍を下回り、 $20 \sim 28$ 倍の値を持続した。

才I報で述べたように、臭気希釈倍率が $25 \sim 28$ 倍になると、湿度・気温・風速・風向等にも左右され、また個人差もあるがほぼ臭気を感じなくなる。この状態を定常化とすれば、この実験では酸素注入開始7時間後に定常状態に達し、実験中この状態を持続した。

また水面から発生する H_2S ガス

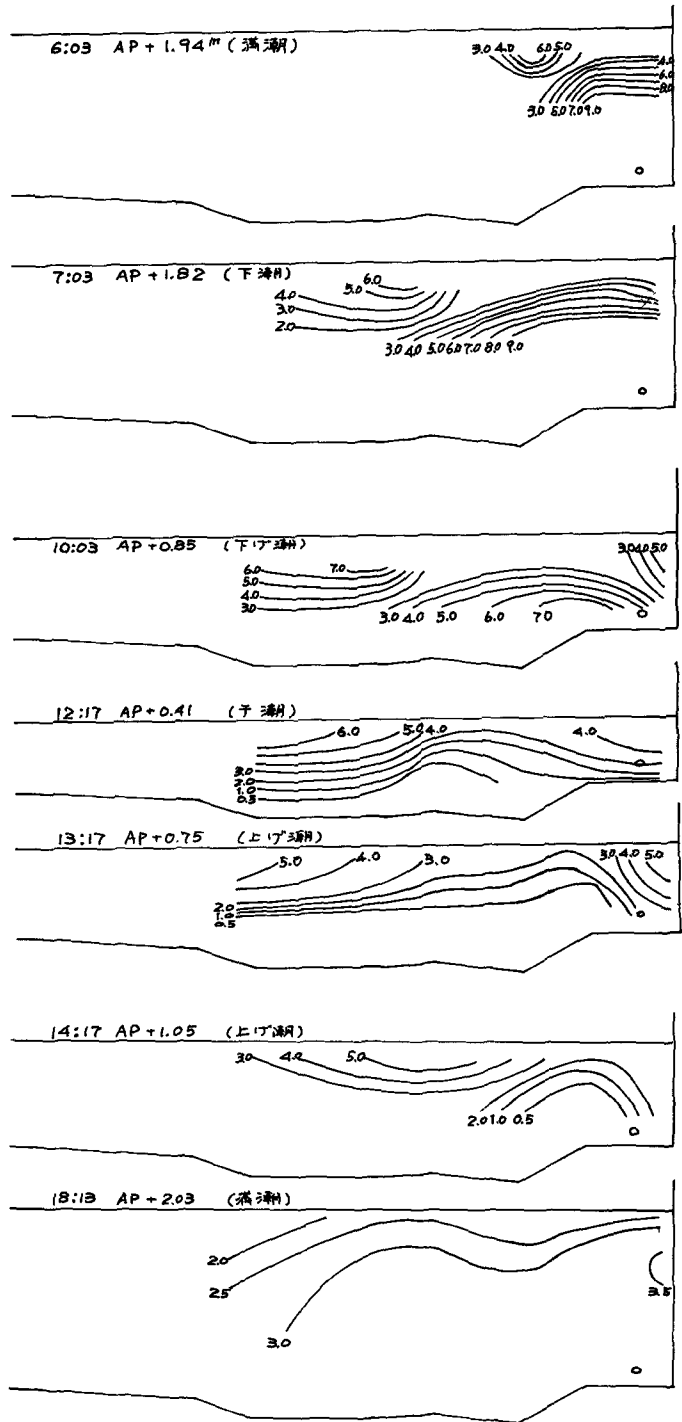
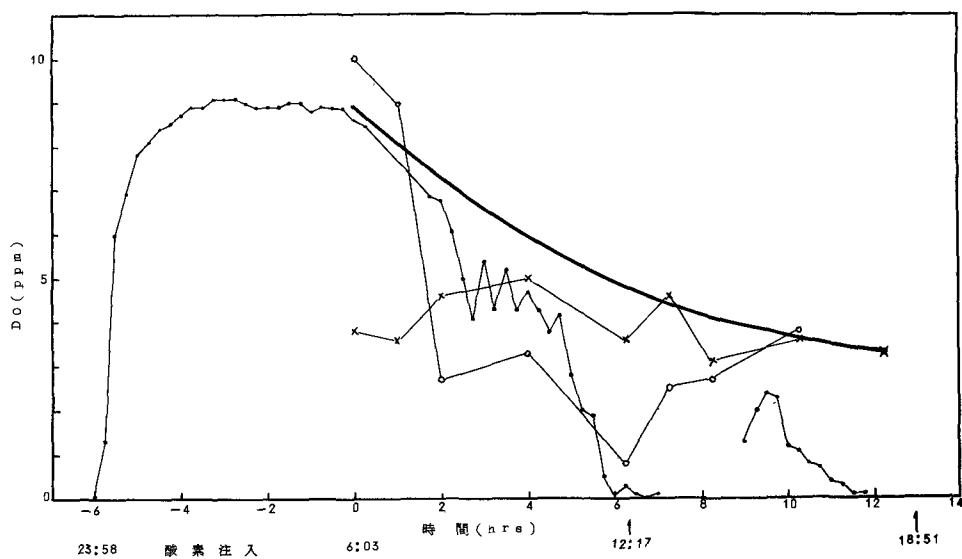
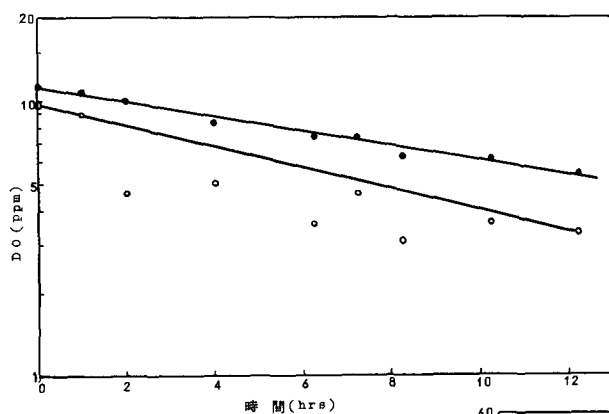


図-3 DO濃度分布(P-A)



↑ 図-4 地方橋における
DO変化



← 図-5 地方橋における
DO変化

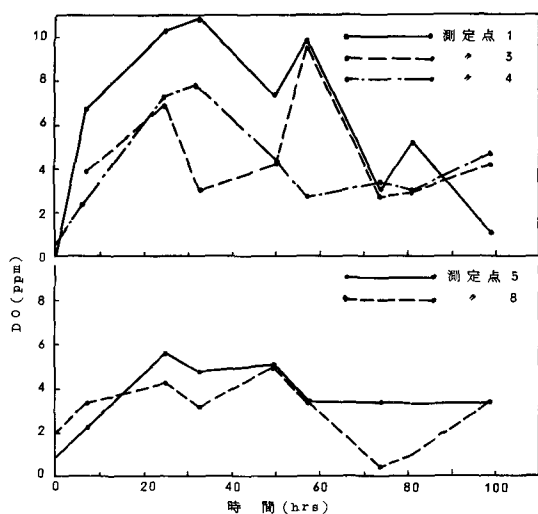


図-6 実験IのDO変化

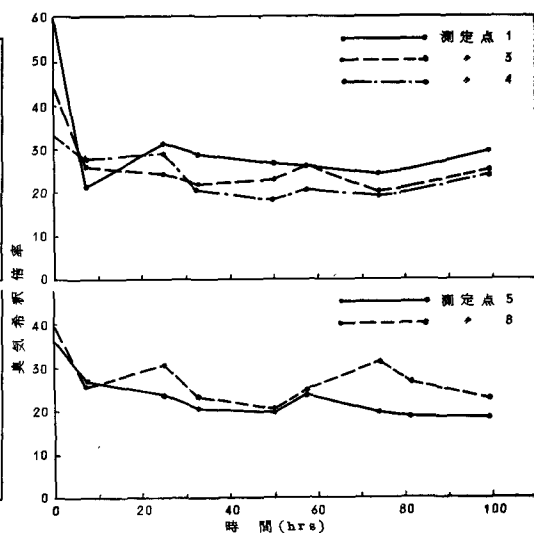


図-7 実験Iの酸素/有機物率変化

の測定は実験開始前に測定点1・4で35 ppmを記録したが、その後は0であった。

次に硝酸ソーダを併用した実験Ⅲは酸素注入量6m³/時・台で運転を開始し、途中で防臭効果とみてポンプを1台止め、1台だけで運転した。硝酸ソーダの投入量は、拡散を考慮して、測定点1から5からそれぞれ500gずつ投入した。これは河川水量30,000m³、COD(過マンガン酸カリ消費量)50ppmとして、その2/5当量に相当する。

実験結果を図-8, 9に示す。DOは2ppm前後を示し、酸素注入量の減少とともにDOも減少している。臭気希釈倍率は15時間後定常状態に達し、酸素注入量の減少とともに増加した。また実験開始60時間後タマジシコ(*Moina macrocarpa*)の大量発生をみた。

実験Ⅳは実験Ⅲと比較して硝酸ソーダの効果を確かめるため、酸素注入量6m³/時・台で行なった。DOは実験Ⅲよりむしろ高めの2~4ppmを示したが、臭気希釈倍率は定常値に達しなかった。

7. 実験結果の検討

汚濁河川から発生する臭気は嫌気性分解による汚泥・水から発生するメルカプタン・硫化水素のような硫黄系とアミン系のガスである。しかしこれらのガスは微量な上、組成も複雑なので現場で簡単に定量分析することができないので、この実験では臭気希釈倍率という非常に不明確な測定方法を用いた。この測定方法は測定者の個人差、臭気への慣れ、健康状態との濃度・気温等の誤差要因はあるが、2年間にわたる経験から、このような誤差要因があるにもかかわらず、同一人が測定すれば相対値としては実用する値が得られる。この実験においては測定者を固定し、臭気の定常化は臭気希釈倍率の25~28倍以下とした。

BODは水質により内容が異なると思われるので、防臭効果の判定にはDOを用いることにした。また臭気希釈倍率はあくまでも水質による相対値であり臭気の組成により異なると思うが、この実験では25~28倍を定常値とし、臭気の消去と考えた。山谷堀川の実験ではこの値は20倍を下

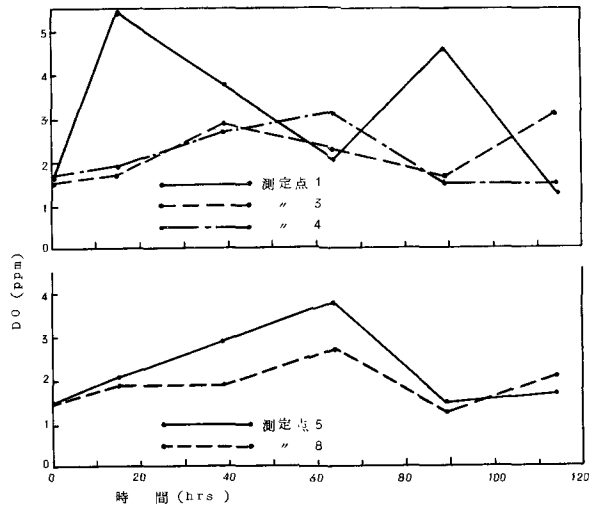


図-8 実験ⅢのDOの変化

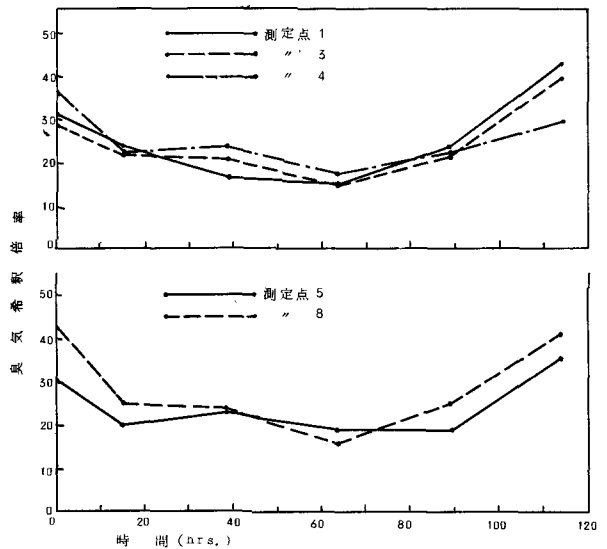


図-9 実験Ⅲの臭気希釈倍率の変化

回ることがなく、この附近にこの河川水の臭気の消去限界があるように思われるが、昭和42年度の実験では20倍以下になっている。このことから水質による臭気の違い、その複雑さも伺うことができる。

図-10は臭気希釈倍率とDOに対する臭気希釈倍率の百分率の関係を図示したもので、この両者には相関が認められる。実験I, II, IVは同一の直線で表わされ、硝酸ソーダを併用した実験IIIの場合だけ直線の傾きが異なる。したがって2直線の傾きの差が、防臭効果における硝酸ソーダの効果と考えることができる。

硝酸ソーダを併用しない場合の直線から臭気の定常値28倍を代入し、その時の河川水のDOを求めてみると4 ppmとなり、通常いわれている値よりかなり高い値となる。また硝酸ソーダを併用する場合には2 ppmとなり、かなりDOを減じることができると推定される。しかし硝酸ソーダ併用の実験は1回しか行っていないので定量的にどのくらい減じ得るかを論ずることはできない。

従来、河川の臭気の発生限界はBODで考えられ8 ppmほどという値が論ぜられ、その場合DOは1~2 ppm存在すればよいと考えられているが、今回のわれわれの実験からはDO 4 ppm

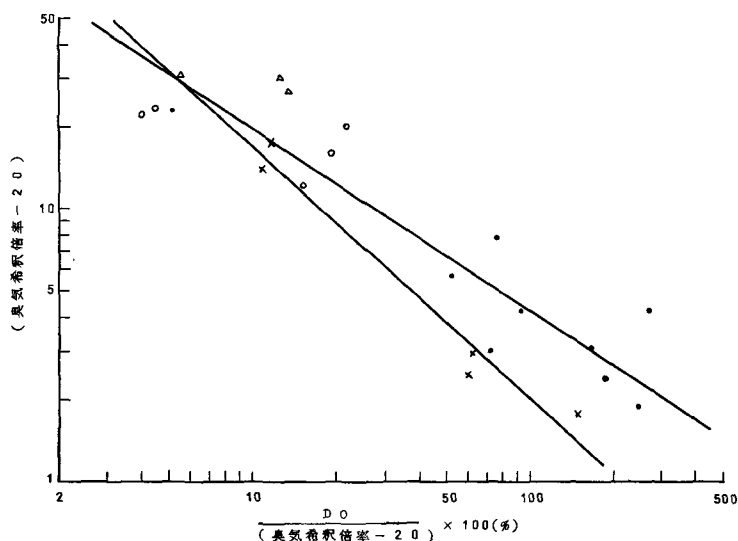


図-10 臭気希釈倍率とDOの関係

というかなり高い値がBODに無関係に求められた。防臭に関しては、単にBODについて考えるよりも、DOを重視すべきではなからうか。勿論臭気希釈倍率というような相対値から考えるのではなく、臭気を定量的に把握し、水質の特性、BOD、DOとの相関を確立すべきものと考ええる。

8. モデルプラントの設計

才II報で実験装置について述べたので基本的な考え方についてはそれを参照されたい。ここではこのような装置を実河川に適用する場合どのような装置が適当かの考え方について述べる。

酸素は従来高価なものであったが現在は1 kg 当り20~30円程度なので、空気を使うより、効率よく溶解できれば安価に使用することができると推定される。現在酸素を水に溶解させている例としては養魚池がある。この場合には充填塔を用いて酸素ガスを水と逆流接触させているが、汚濁河川に比較すると水がきれいであり処理水も少ないので、この方法をそのまま河川に適用することはできない。河川に酸素を溶解させる最も簡単な方法は酸素を用いて曝気することであるが溶解しなかった酸素が大気中に散逸し酸素の利用効率が悪い。

そこで河川の水を汲み上げて酸素溶解装置へ導入する方法を取る。昭和42年度はポンプで揚水し、ポンプの吸込側または吐出側に酸素ガスを注入し、吸込側の場合にはポンプの羽根による攪拌、吐出側の場合には吐出管中の混合によってガスを溶解させた。この方法で酸素は8~28%溶解した。この場合には酸素注入量を増加するとキャビテーションを生じ、ポンプの能力低下や腐蝕の原因となり、高濃度の酸素水が得られない欠点がある。そこで山谷堀川ではジェット・ポンプ(エジェクター)を用いて、酸素ガスの溶解を行った。ジェットポンプは水あるいは蒸気をノズルからベンチュリーノズルの中心に吹き込み、そこに生ずる真空によって目的の液を吸込み、吐出するものであり、液体の輸送等に用いられている。吸込めた液または気体はノズル附近で混合される。この混合を利用して酸素ガスを水に溶解することである。山谷堀川ではこの方法で10~20%の溶解効率を得た。また気液分離器を併用することにより溶解効率を70%ぐらゐに高めることができた。この方法においては2 kg/cm²程度のジェットポンプ前の水圧が必ずである。



図-11 フード井につまったビニール類

この溶解装置を用いる場合問題となるのは、河川水中のゴミや浮遊物である。ポンプとしては普通渦巻型が能力も大きく、安価で入手しやすいが、ゴミ等を予め十分取り除いておかなければならない。山谷堀川の実験では3層に金網を張ってこれを防いだ。しかし、ビニール等の浮遊物はポンプ内に入り込みサクションバルブ・インペラーを

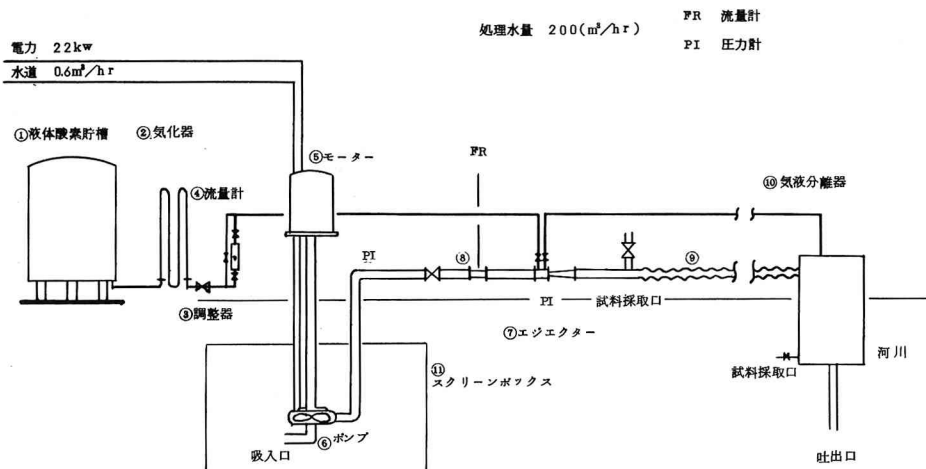


図-12 モデルプラント

よらせ、ポンプの運転に支障をきたした。したがってこのような渦巻型ポンプでなく水中型のポンプの使用が望ましい。水中型ポンプの性能は渦巻型に劣るが、ポンプが水中にあるためフード等を用いなくてよい利点がある。

9. 経済的な検討

小管水路および日本橋川の実験から、運転費として $1.5 \sim 2.5 \text{円}/\text{m}^3 \cdot \text{日}$ を得ているが、山谷堀川の実験でジェットポンプと気液分離器を使用し、これを低下することができた。次に山谷堀川と日本橋川のような小河川と大河川について検討した。

a) 小河川の場合の設備費と運転費

小河川と大河川を分けて考えるのは設備費の関係からである。小河川の場合は市販のポンプが利用でき、大河川の場合は利用できないからである。この項では山谷堀川を設定し、停水域の場合を考える。

項 目	単 位	200 型 円	500 型 円
酸素系統			
液体酸素貯留槽		2,500	2,800
気 化 器		200	200
操 作 盤	含調整器	150	150
流 量 計		30	50
流量調整弁		30	50
電 磁 弁		20	30
以上設置費	含運賃	150	150
以上配管費	含材料費	50	50
合 計		3,130	3,480
電気系統			
変 圧 器		0	1,500
配 電 盤		0	300
電磁開閉器		50	0
水流量計		600	1,050
以上設置費	含配線費	50	250
合 計		700	3,100
水道水系統			
電 磁 弁		30	30
配 管 費	含材料費	20	20
合 計		50	50
水 系 統			
モーター		200	500
ポンプ		400	1,000
停止弁		50	80
ジェット・ポンプ		300	500
接続管		50	100
以上配管費		50	50
合 計		1,050	2,230
ホップス		200	250
スクリーン		150	200
気液分離器		550	800
吐 出 管		20	30
以上配管費	含ポンプ費	250	350
合 計		1,170	1,630
総 計		6,100	10,490
(除く液体酸素貯留)		(3,600)	(7,690)

表-2 装置各部の価格並に設備費

に。

設定条件として、目標臭気希釈倍率28倍、BOD 20 ppm, k 値 0.136 1/日 (20°C) (底泥の酸素要求量 40%を含む)、処理水量 $35,700 \text{ m}^3$, 硝酸リ-ダ 1 t/週 投入とする。

酸素注入量をポンプ水量の $2 \sim 4 \text{ Vol}$ % と試算を行うと、1日当りの必要酸素量は $350 \sim 480 \text{ kg/日}$ となり、 $200 \text{ m}^3/\text{時}$ のポンプを使用すれば、ポンプ台数は $4 \sim 3$ 台となる。以上の条件から設備費、運転費を算出すると表-2, 3 のようになる。運転費は $1 \text{ 円}/\text{m}^3 \cdot \text{日}$ 以下となる。

b) 大河川の場合の設備費と運転費

大河川の場合は日本橋川のような流水を対象とし、酸素溶解スー-ションを流下方向に数ヶ所設置するとして、試算を行う。

設定条件は目標臭気希釈倍率28倍、BOD 30 ppm, $k = 0.18 \text{ 1/日}$, 流量 $22 \text{ 万 m}^3/\text{日}$, 硝酸リ-ダはオ-ステーションで週一回投入とし、オ-ステーションから溶解する酸素量を 4 ppm としオ-ステーションの間隔を定める。

この条件で試算を行うと注入の
ステーション間隔は才1と才2の
間は1.2 km (2.4 時間),
それより下流は2.4 km毎となる。
必要酸素量は酸素注入比2~4
Vol%で1,700~2,500 kg/h
となり, 必要ポンプ台数は8~
5台となる(500 m³/秒のポンプ
を使用する。)

以上の結果をまとめるに表-2

, 4のようになる。

処理水量		10,080		
容量比	Vol %	2	3	4
供給酸素量	kg/day	288.0	432.0	576.0
溶解酸素量	kg/day	144.0	182.0	207.0
必要酸素量	kg/day	174.2		
酸素代	円/day	10,080	15,120	20,160
	円/m ³	0.283	0.428	0.566
電気代	円/day	9,420		
	円/m ³	0.265		
水道代	円/day	1,827		
	円/m ³	0.052		
硝酸ソーダ代	円/day	6,429		
	円/m ³	0.180		
合 計	円/day	27,756	32,796	37,836
	円/m ³	0.780	0.925	1.063

表-3 小河川の場合の運転費

酸素注入ステーションの数		1			2			3		
ポンプ台数	台	8	6	5	8	6	5	8	6	5
容量比	Vol %	2	3	4	2	3	4	2	3	4
供給酸素量	kg/day	1,930	2,130	2,400	3,860	4,260	4,800	5,790	6,390	7,200
溶解効率	%	50	42	36	50	42	36	50	42	36
処理水DO	ppm	17	22	24	17	22	24	17	22	24
酸素不足量減少量	ppm	3.9	4.0	3.9	3.9	4.0	3.9	3.9	4.0	3.9
酸素代	円/day	48,300	53,200	60,000	96,500	106,200	120,000	145,000	160,000	180,000
	円/m ³	0.22	0.24	0.27	0.44	0.48	0.55	0.66	0.73	0.82
電力費	円/day	61,040	45,780	38,150	122,080	91,560	76,300	183,120	137,340	114,450
	円/m ³	0.28	0.21	0.17	0.55	0.42	0.35	0.83	0.62	0.52
水道代	円/day	7,500	5,600	4,700	15,000	11,200	9,400	22,500	16,800	14,100
	円/m ³	0.03	0.03	0.02	0.07	0.05	0.04	0.04	0.10	0.06
薬品費	円/day	50,800								
	円/m ³	0.23								
合 計	円/day	167.6	155.6	153.7	284.4	259.8	256.5	401.4	364.9	359.4
	円/m ³	0.76	0.71	0.70	1.29	1.18	1.16	1.82	1.66	1.63

表-4 大河川の場合の運転費

参考文献

- (1) 才23回 土木学会学術講演集 昭和43年 左合・茂庭他 “酸素による汚濁河川の悪臭防止に因り建設”
- (2) 才24回 “ 昭和44年 “