

原 報

小瀬洋喜, 佐藤孝彦, 船坂鎌三, 森下正三*¹, 井上浩,
木村博郎*², 吉井誠治*², 山田浩*², 川崎安夫*³:
都市河川の曝気浄化処理に関する研究

**Youki Ose, Takahiko Sato, Ryozo Funasaka, Syozo
Morishita,*¹ Hiroshi Inoue, Hiroo Kimura,*² Seiji
Yoshii,*² Hiroshi Yamada*² and Yasuo Kawasaki*³:**

Studies about the Treatment of Polluted
River by Aeration.

(Received September 1, 1974)

1. はしがき

都市の人口集中化および、経済の高度成長に伴い、都市周辺の河川は、悪化の傾向にあり、水質環境基準類型Eの水質をこえるものも少なくない。これら汚濁河川の浄化のためには、河川に流入する下水排水の浄化処理が基本的に必要であるが、それとともに浚渫、清水導入などによる河川そのものの浄化策がとられている。又下水排水の処理を行なったとしても処理場より流出する BOD 量が高いため河川に対する BOD 負荷の除去を行なわなければならない。このために3次処理施設の検討が進められているが高価であるため流入後の河川浄化についても重大な関心がよせられている。

人工曝気による河川浄化は、こうした目的のために考えられてきたものである。

河川浄化のために河川の人工曝気方式が考えられたのはかなり古いことで、既に1942年 Tyler¹⁾²⁾が空気吹込装置を建設して溶存酸素(以下 DO と略す)の供給を行なうことを提案している。この提案が1943年以来米国 Wisconsin 州の Flambeau 州における大々的な人工曝気施設の設置実現に至ることになったといわれている。

その後、河川の人工曝気については、各種の方式及び装置が考案され、わが国でも大阪市寝屋川^{4)~6)}、名古屋市松重閘門口において試験され良好な結果を得ている。

河川曝気方式には水理式曝気、機械式曝気、散気式曝気の3種がある。その概要を表-1に表す。

われわれは河川曝気の第4の方法として加圧水を用いる方法を考え、その実用化のために本研究を行なった。

加圧水方式は、空気を3~5気圧の圧力下に水中に溶解させ、過飽和状態としこれを河川水中に加える方式である。この方式は、従来の曝気方式に比べて酸素移動効率が良好であると考えられる。

加圧水方式は浮上分離の目的に使用されており泡によるSSの浮上効果が期待できる。

河川曝気の目的は、河川のDOがある一定限度以下になることを防ぐことにある。この限度は、河川が河川として

*1 大垣市専門委員

*2 ユニチカエンジニアリング株式会社

*3 ユニチカ株式会社大垣工場

表-1 河川人工曝気法の種類

分類	曝気装置	曝気方法	研究者
水理式曝気	小滝曝気 可動堰曝気 U字管		³⁾ Scott ¹⁴⁾ Briuzen
機械式曝気	水力タービン式曝気	タービンにより生ずる真空により空気を吸い込む	⁷⁾ Wiley, ⁸⁾ Scott
		ブローで空気を吹込む	⁷⁾ Wiley, ⁹⁾ Imhoff
	表面機械式曝気	分子状酸素を送り込む	¹⁰⁾ Amberg
散気式曝気	大気泡散気式曝気	河床に heaber を置く 浮子で heaber をつり下げる	¹⁰⁾ Amberg, ⁷⁾ Wiley, ⁹⁾ Imhoff ¹²⁾ Londong, ^{4)~6), 16)} 北村
	微細気泡散気式曝気	河床に diffuser を置く	¹²⁾ Londong, ¹³⁾ Wiley

の命を保つとともに酸素供給が経済的レベルにおいて行なわれるものでなければならない。Edward, L.T. らは、河川曝気の経済的限界は、49%飽和（4 ppm, 15°C）であると述べている。効果的に曝気を行なうためには河川のDOが最も減少した場所に曝気装置を設置し、また酸素消費量の多い場合には一ヶ所で多量の酸素を供給するよりも河川にそって数ヶ所に分けて設置する方が効果的である。加圧水方式は、こうした曝気の原則から考えても有利な方法で、加圧水製造装置をセンターとし、河川にそってパイプを埋没延長することが容易に可能である。河川曝気によってDO増加をはかるとともに曝気による溶存物質の揮散、好気性生物の増殖によって水質の浄化が行なわれるが、その一面藻類の増殖後の死滅による汚泥生成と溶存酸素不足によって再汚染をうけるおそれ大きい。

曝気効果を判定するためには流量、水質、底質、水深、水温、気温、水中生物などの多くの因子に対する配慮が必要である。このため特定の半人工水路を選定し、これに曝気装置を設備することとした。

河川のDO分布は、1年を通じて変動するが、一般には夏期の条件に従って設計すれば良いと考えられている。

曝気装置の設計に当っては、従来われわれが廃水処理に用いてきたフローテーション法における加圧水製造装置の諸単位を検討し、これを基本として設計を行なった。

実験場所としては河川法の対象物件となるため、河川法規制外の水路を選んだ。また常時運転を行なうためその保守について危険、破損のおそれがない場所を選定した。尚液量の調整が可能であることも条件とした。

実験方法としては、河川状況ことに底質の状態および水中生物相の変化を中心とし、曝気装置による曝気効果と維持管理についての検討を行なった。

2. 曝気装置の設計

1) DO量をもとめるための単純曝気法と加圧水法との比較

① 溶存酸素量 (DO) を上げる方法の概要

DO量を高めるためには水中に散気板を設置しブローアにより送風する単純曝気法(以下A法とする)が用いられてきたが, 本報では水の一部を加圧下(4~5 kg/cm²)で酸素(空気)を飽和させ常圧下で原水に混合返送する加圧水法(以下B法とする)を新たに用いることとした。

② 酸素吸収の機構(仮定)

(a) 気相, 液相間の物質(酸素)移動は一般に次式で示される。

$$dN_s = K_y(y^* - y)dS = K_x(x - x^*)dS \dots \dots \dots (i)$$

ここで

- dN_s; 物質移動の速度 [kg・mol/hr]
- K_y; 気相濃度基準の総括物質移動係数 [kg・mol/m²・hr・Δy]
- K_x; 液相濃度基準の総括物質移動係数 [kg・mol/m²・hr・Δx]
- y; 気相濃度 [モル分率]
- y*; xと平衡な値
- x; 液相濃度 [モル分率]
- x*; yと平衡な値
- dS; 微小接触面積

(b) A法(単純曝気法)は散気板から発生する微細気泡(直径 d_A ≒ 300μ)の界面を通して(i)式により空気中の酸素が水中に移動するとする。

(c) B法(加圧水法)は減圧により加圧水から発生する微細気泡(直径 d_B ≒ 100μ)の界面を通じて(i)式により空気中の酸素が原水中に移動し, かつ常圧にした(酸素は飽和しているものとする)加圧水と原水の混合による液相間の移動も同時に行なわれるものとする。

(d) 液相への酸素移動量(A法はA印, B法はB印)は

$$O_A = T_A \times \int dN_s = K_y(y - y^*)S_A T_A \dots \dots \dots (ii)$$

$$O_B = T_B \times \int dN_s + M = K_y(y - y^*)S_B T_B + M \dots \dots \dots (iii)$$

ここで

- O; 酸素移量 [kg・mol]
- T; 接触時間 [hr]
- S; ∫ dS
- いま気泡の直径 d, 空気量 v とすれば
- $$S = 4\pi (d/2)^2 \times \frac{v}{(4/3)\pi (d/2)^3} = \frac{3v}{d} \dots \dots \dots (iv)$$
- M; 加圧水の常圧下での飽和酸素量と原水中の酸素量との差

(e) いまA法とB法の酸素移動量を比較すると

$$\frac{O_A}{O_B} = \frac{K_y(y - y^*)S_A T_A}{K_y(y - y^*)S_B T_B + M} \approx \frac{S_A T_A}{S_B T_B}$$

(M≒0とする)

$$= \frac{(3v/d_A) (\phi/d_A^2)}{(3v/d_B) (\phi/d_B^2)} \quad (\because (iv) \text{式及びストークスの式により})$$

$$= \left(\frac{d_B}{d_A}\right)^3 \dots \dots \dots (v) \quad \left(T = \frac{H}{V} = \frac{H}{\frac{g}{18\mu} (\rho_w - \rho_0) d^2} = \frac{\phi}{a^2} \text{とする}\right)$$

[H: 水深, H/V: 浮上速度]

すなわち酸素移動量は気泡径の3乗に逆比例して多くなると考えられる。

(f) Mについては

$$r = (1-P)\beta + P\alpha$$

$$= \beta + P(\alpha - \beta)$$

{	P ; 加圧水分率	}	(β ppm		α ppm)
	α ; 飽和溶存酸素量			1-P		P	
	β ; 原水の溶存酸素量						
	r ; 加圧水添加後の溶存酸素量						

いま加圧水20% (P=0.2) $\alpha=10\text{ppm}$ $\beta=0\text{ppm}$ とすると

$$r = 0 + 0.2(10 - 0) = 2\text{ppm}$$

Pが小さい場合Mは無視されて来る。

(g) 空気必要量について計算すると

原水 1 m³のDOを10ppm上昇するには10gの酸素が液相に移動しなければならない。

A法の場合 酸素溶解効率を5%とすれば

$$\text{空気量(m}^3\text{/原水m}^3\text{)} = 10\text{g} \times \frac{100}{5} \times \frac{22.4}{32} \times \frac{1}{0.2} \times 10^3 = 0.70\text{m}^3$$

B法の場合 酸素溶解効率を100%とすれば

$$\text{空気量(m}^3\text{/原水m}^3\text{)} = 8\text{g} \times \frac{100}{100} \times \frac{22.4}{32} \times \frac{1}{0.2} \times 10^3 = 0.028\text{m}^3$$

一方 (g) 式から計算すると

$$0.70\text{m}^3 \times \left(\frac{100}{300}\right)^3 = 0.026\text{m}^3$$

この際酸素溶解効率をそれぞれ5%, 100%と設定したが, B法については従来報告がなく, 空気泡から仮に設定したものである。これらの設定のためには次の算定を行なうのがよいと考えられる。

2) 酸素溶解効率の計算

曝気による水中のDO量の時間変化は, Eckenfelder, W. W.¹⁷⁾によれば(1)式で表わされる。

$$\frac{dC_L}{dt} = KLa(C_s - C_L) \dots\dots\dots(1)$$

C_s ; 気相酸素に平衡な液中の酸素濃度(ppm)

C_L ; 液中の酸素濃度(ppm)

KLa ; 総括酸素移動容量係数(1/hr)

t ; 時間(hr)

(1)式を積分すれば

$$2.303 \log(C_s - C_L) = -KLa \cdot t + \text{Const.} \dots\dots(2)$$

(2)式により $2.303 \log(C_s - C_L)$ を t に対して半対数図表にプロットすればこの直線の傾きから総括酸素移動容量係数を求めることができる。式中 C_s は(3)式により水中のDOの平均値を用いる。

$$C_s = C_w \left(\frac{O_t}{42} + \frac{P_b}{2,067} \right) \dots\dots\dots(3)$$

C_w ; 大気圧下における液中の酸素飽和値(ppm)

P_b ; 散気点の水深における水圧(kg/cm²)

O_t ; 曝気装置をはなれる空気中の含有酸素の濃度百分率(%)

酸素移動に対する温度の影響は(4)式で表わされる。

$$KLa(t^\circ\text{C}) = KLa(20^\circ\text{C}) \cdot \theta^{t-20} \dots\dots\dots(4)$$

θ ; 温度係数, 1.016~1.047の範囲にあり, 気泡式曝気の場合には, 1.02が用いられる。

$C_L=0$ のときの酸素溶解速度を O_{AR} で示すと(1)式より(5)式が得られる。

$$O_{AR}(\text{ppm/hr}) = KLa \cdot Cs \dots\dots\dots(5)$$

酸素供給速度を O_{SR} で表わすと(6)式で表わされる。

$$O_{SR}(\text{ppm/hr}) = \frac{0.21 \times 32 \times 10^3}{22.4} \cdot Q \dots\dots\dots(6)$$

Q ; 通気量 (l/hr 0°C 1 気圧)

単位時間当りの供給酸素量に対する溶解酸素量の比率を求めると, 酸素溶解効率を得られる。但し酸素溶解効率は, 水中の DO 量によって異った値を示すので(5)式に用いた $DO=0$ の状態における最大酸素溶解効率をもって示す。

$$\text{最大酸素溶解効率} = \frac{O_{AR}}{O_{SR}} \times 100 \dots\dots\dots(7)$$

3) 加圧水生成時における圧力と溶解空気量

水中に空気を加圧溶解させて, いわゆる加圧水を生成させた後, これを常圧下におくと溶解させられていた空気は, 気泡となって放散される。このとき生ずる気泡の粒径は, 圧力によって異り, Eckenfelder によれば 3~5 気圧の加圧時には 30~120 μ であるという。この気泡の発生量は溶解した空気量に左右されるが, 加圧水製造時には, 圧力および溶解すべき水の量によって生成する加圧水の状態が異なる。

この条件については実施されたものがないので, 装置を製作して実験を行なった。

4) 酸素溶解水の酸素利用速度

加圧水を製造するために用いる原水としては, 清浄な地下水を使用することは, 清浄水自身の DO を河川に供給する効果もあるが, 河川曝気の本来的目的からすれば河川水を酸素溶解用の原水として用いることが本質的であろう。

酸素溶解水として河川水を用いる場合には河川水による酸素利用を考慮しなければならないが, この際にも加圧水を常圧下にもどしたときの気泡径は大差がないと考えてよい。従って本実験では, 酸素溶解水そのものによる酸素利用を無視した。

5) 吐出口の水深による影響

曝気装置の設計に際しては, 水深に対する配慮をするのが一般的である。なぜならば水圧に抗して空気吹き込みを行なうことは, 動力, 気泡, 通気量, 酸素移動性能などに対して大きな影響を与えることになるからである。ところが加圧水を用いる際には, 水圧に対する配慮の必要はなくなる。

従って, 本装置の設計においては, 吐出口の水深による影響については無視することにした。

6) フローシート

加圧水製造のためのフローシートを図-1のように定めた。

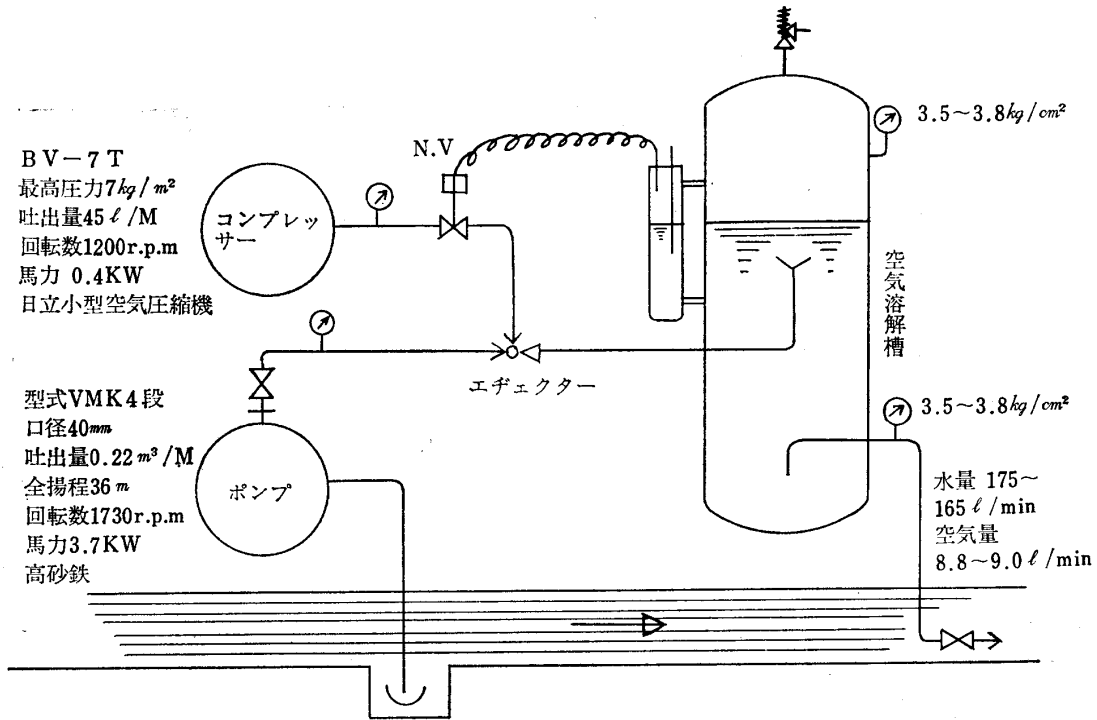
即ち, ポンプにより河川水を汲上げ, これにコンプレッサーを用いて加圧空気をエゼクターにより圧入する。これを空気溶解槽に導く, 空気溶解槽内の圧力は 3.5~3.8kg/cm²とし, 余剰空気を上部にためる。この空気の多少により水位の変動を生ずるが, 一定水位以下となったときには電磁弁により, コンプレッサーを停止させる。空気溶解槽からは製造された加圧水を取り出し, 河川水中に導く。

各機器の定格を表-2に示す。

表-2 各機器の定格

機器名	コンプレッサー	ポンプ
型式	BU-7T	VMK-4
最高圧力	7 kg/cm ²	
吐出量	45 l/min	0.22m ³ /min
回転数	1200rpm	1730rpm
馬力	0.4KW	3.7KW
全揚程		36m
口径		40mm

図-1 加圧水製造装置フローシート

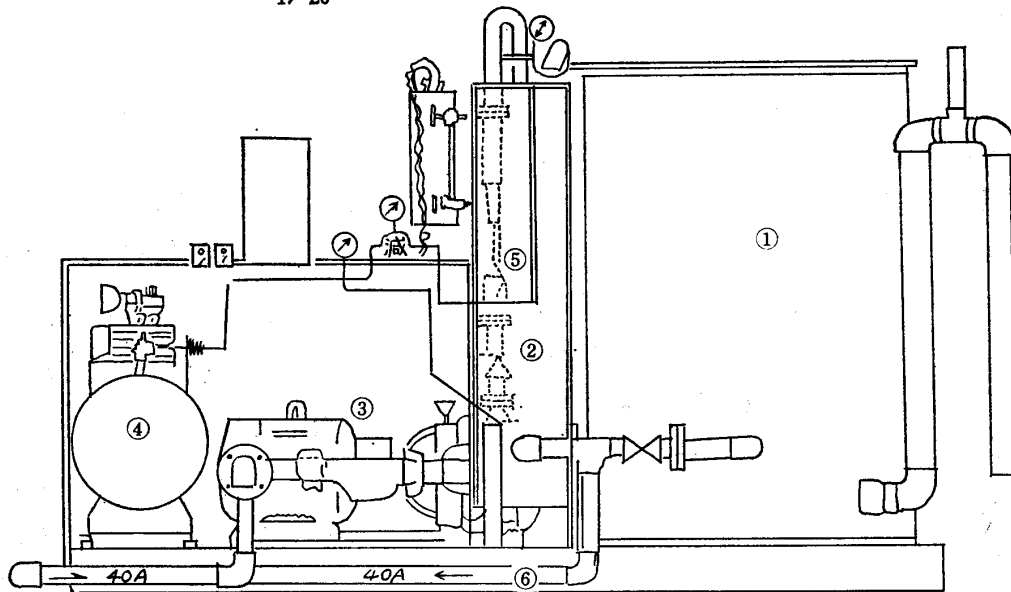


7) 設計図

以上の諸元に基づき作成した設計図を図-2に示す。

図-2 加圧水装置

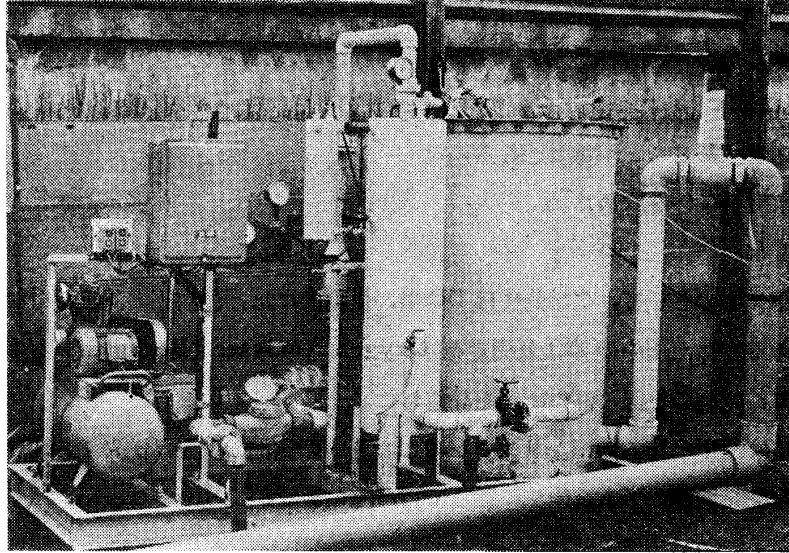
1/20



- 装置の大きさ 2230×850×高さ1500mm 1. 780φ×1260mm 溶解空気分解槽
 2. 260φ×1050mm 加圧水レシーバータンク 3. ポンプ 口径40A×40m×200l/min×3.7kw
 4. コンプレッサー 45l/min×7k/cm²×0.4kw 5. エジェクター 6. 配管 40A

装置の外観を図-3に示す。

図-3 加圧水製造装置外観



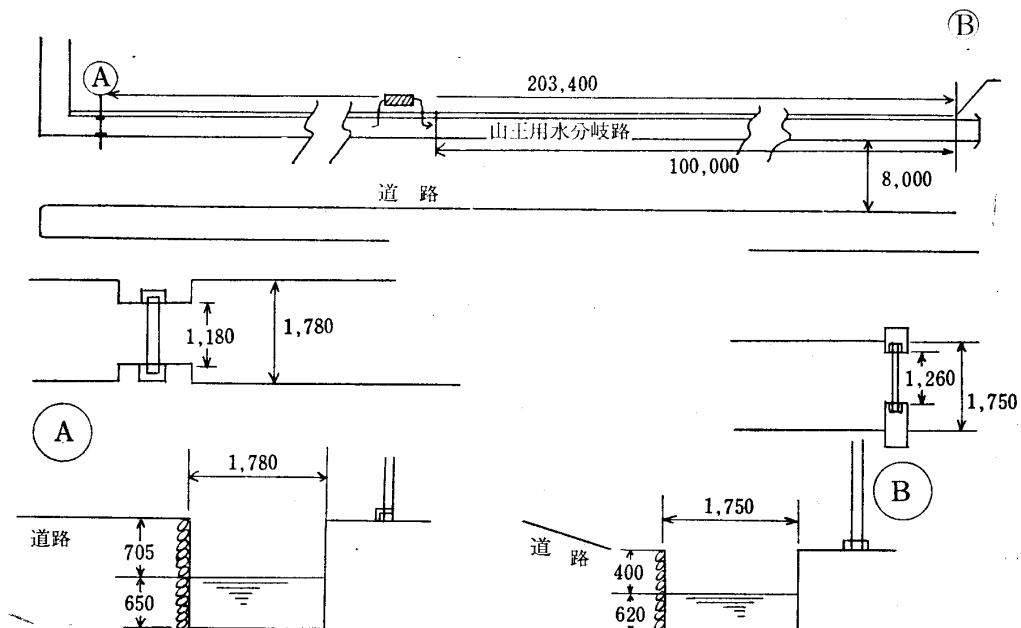
3. 実験方法

1) 実験場所

河川法規制外の水路を選び、また常時運転を行なうために保守についての危険、破損のおそれのない場所として、大垣市山王用水路の久瀬川町への支水路をえらんだ。この地点における流量は $500\text{m}^3/\text{H}$ ~ $1000\text{m}^3/\text{H}$ で平均 $750\text{m}^3/\text{H}$ である。

設置地点および水路構造の詳細を図-4に示す。水路の延長は203.4m、曝気装置設置地点からの延長は100mである。

図-4 設置地点の詳細図



る。水路幅は1.78mで、取入口および下流で水量の調節を可能にしておいた。継続実験時の水量は $0.2\text{m}^3/\text{sec}$ に設定した。

2) 実験項目

a. 装置運転条件の設定

図-2のフローシートに示すようにコンプレッサーとポンプの両者によって圧力水を製造している。したがって両者の運転条件のバランスを求めることが重要となる。

各種の条件下に加圧水製造条件を求めた。

b. 試料水中のDO変化

曝気効果を明らかに示すものとして、化学的にはDO量、生物的には、生物相の調査を行なうことが効果的である。

試料水として容器中あるいは河川中のDO量測定をOxygen Analyser (Beckman)あるいはウインクラー法によって測定するとともに、気泡の上昇、消失時間を測定した。

気泡の上昇、消失試験は河川水を500mlシリンダーにとり液中の気泡の上昇、消失する時間を測定した。

ウインクラー法は、衛生試験法、下水試験法に従って行なった。

c. 水質変化

実験水路中の水質につき吐出口の上流、および下流10m, 30m, 約100mの地点での採水を行ない水質分析を行なった。

分析項目は、pH, SS, COD, BOD, $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ である。分析方法は、衛生試験法、下水試験法によって行ない次の方法を用いた。

- i SS ; JIS法3G4ガラスフィルター法
- ii COD ; 酸性高温30分法 (JISK0102-1964)
- iii $\text{NH}_3\text{-N}$; 蒸溜法 (衛生試験法)
- iv $\text{NO}_2\text{-N}$; 還元蒸溜法 (衛生試験法)
- v $\text{NO}_3\text{-N}$; 硝酸、亜硝酸総和法 (衛生試験法)

d. 生物相の変化

実験水路中の生物相の変化を調査した。調査は、装置設置地点上流を対象とし、吐出口から0m, 10m, 20m, 30m, 40m, 50m, 約100m地点の各地点の各底質をブラシ採集した。この際水路中の水は流入を停止し、座部を露出させて採集した。

直接鏡検によって原生動物などの同定を行ない、珪藻については過マンガン酸カリウム・硫酸処理を行なった。

e. 気象条件

大垣市公害課の測定資料により実験期間中の気象を求めた。

f. 保守管理状況

実験中における機器の故障、保守上の問題点、危険防止、運転費などについて検討した。

3) 実験条件

昭和46年10月から実験を開始し、曝気装置の点検調整、実験水路の整備、断続的運転を行なった。

昭和47年1月20日から3月31日まで連続運転を行なった。

4. 実験結果

1) 装置運転条件

コンプレッサー, ポンプの作動条件を種々検討し, 表-3および図-5の結果を得た。

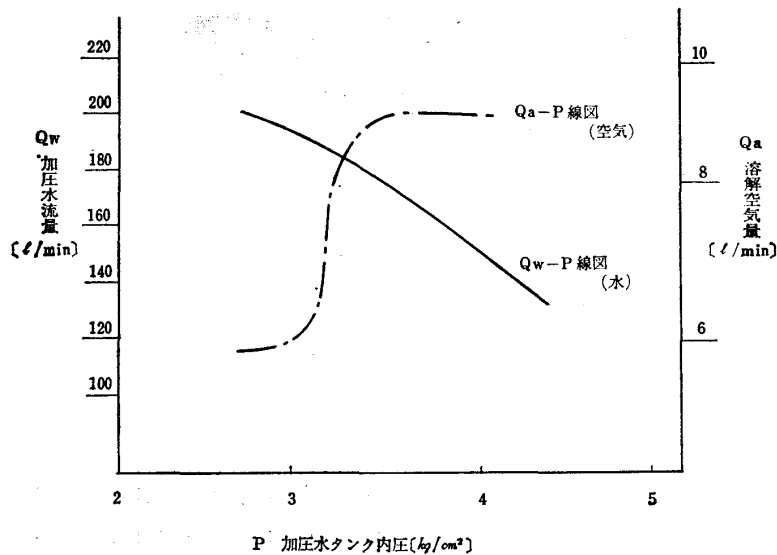
使用ポンプ 40φ×3段 VMK形多段うず巻ポンプ 2.2KW コンプレッサー BU7 TAN

表-3 装置運転条件

圧力 kg/cm ²	水量 l/min	放出空気量* l/min
4.4	132	7.0
4.2	135	7.6
4.0	148	7.2
3.8	151	7.4
3.5	155	7.6
3.0	175	7.2

*: 放出空気量—加圧水を常圧下においてたとき放出される空気量

図-5 加圧水製造条件 (圧力-流量-溶解水量)



また, 実際運転時の曝気負荷および使用電力は表-4のようであった。

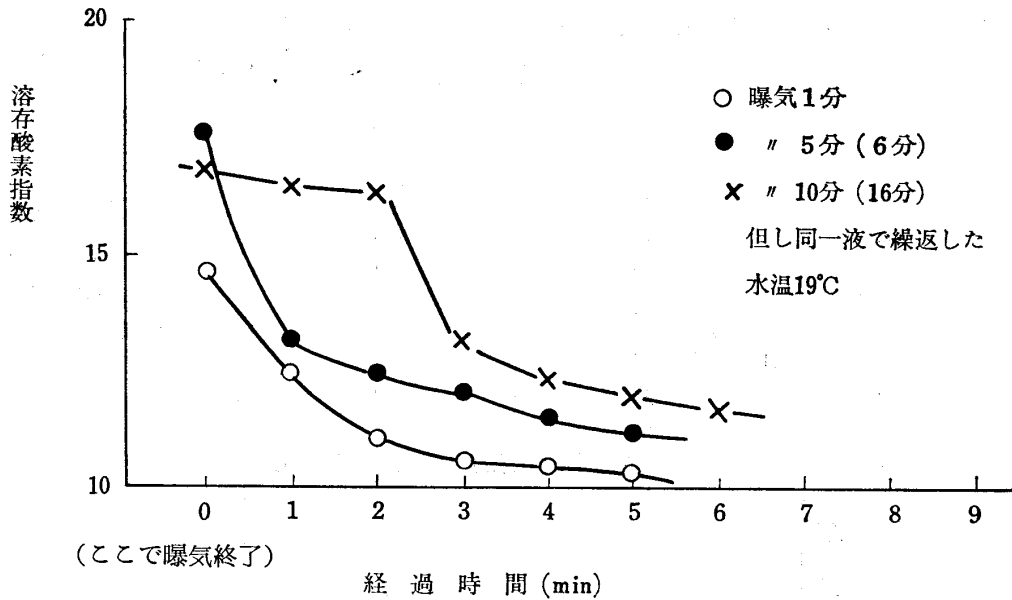
表-4 装置運転負荷

		定 格	運 転
コンプレッサー	電 圧	200V	180V
	電 流	負 荷	2.1A
		無 負 荷	0.8A
	電 力	0.4KW	
ポンプ	電 圧	200V	180V
	電 流	14A	11.5A
	電 力	3.7KW	
使用電力 (力率0.8)	コンプレッサー負荷時	約3.2KW	
	コンプレッサー無負荷時	約3.07KW	
電 力 量	約75KWH/24時間		

2) 容器中のDO量

一定時間曝気後、放置したもののDO量変化を図-6に示した。図には清浄水を指数10として示した。

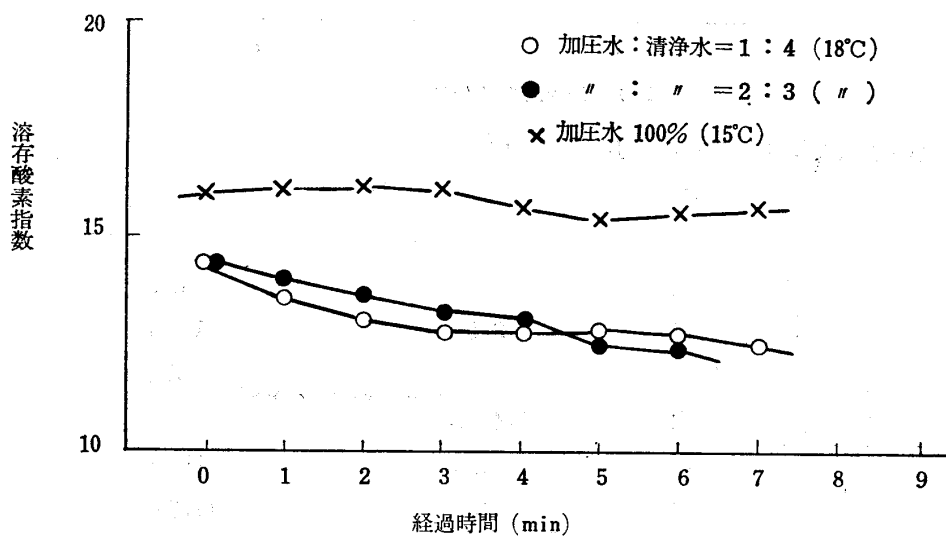
図-6 容器中での曝気後放置によるDO経時変化



3) 実験水路のDO量

① また加圧水を大気圧に開放し、放置したときのDOの経時変化、加圧水を清浄水に一定の割合で加ったときのDOの経時変化を指数によって図-7に示した。

図-7 加圧水によるDOの経時変化



◎ 各加圧条件下での加圧水での気泡発生前, 気泡発生後の DO 値, 河川に混入直後の河川 DO 値を表-5 に示す。

表-5 加圧水の DO 値

圧力 kg/cm ²	DO値 ppm	河川混入直後の DO ppm
4.5	9.88	8.35
4.0	9.00	8.37
3.5	8.97	8.14
3.0	8.02	7.88
原水	7.71	—

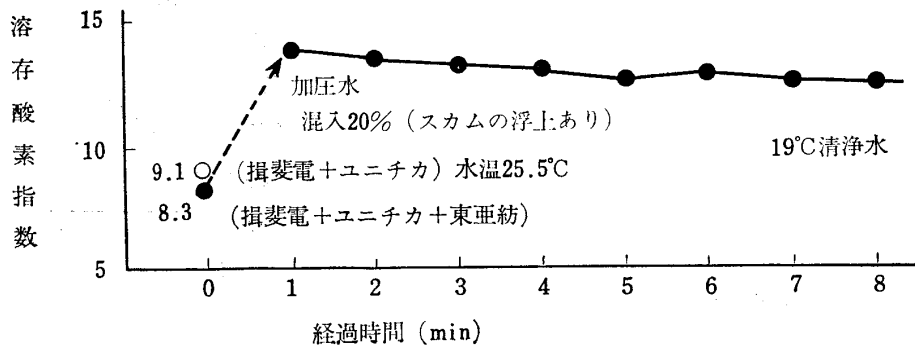
条件: 気温20°C, 水温18.3°C, 加圧水水温18.9°C

参考: 純水に対する飽和 DO 量

18°C 9.18ppm, 19°C 9.01ppm

河川水に加圧水を20%混入したときの DO の経時変化を指数で図-8 に示した。河川水としてはユニチカ前, 掛斐電前, 東亜紡前のものの混合試料を用いた。

図-8 河川水中への加圧水添加による DO 経時変化



曝気装置運転時にみられる加圧水による白濁の存在域を繰返し実験により確認した。また同時に透視度の測定も行った。数回の実験の平均値を表-6 に示す。

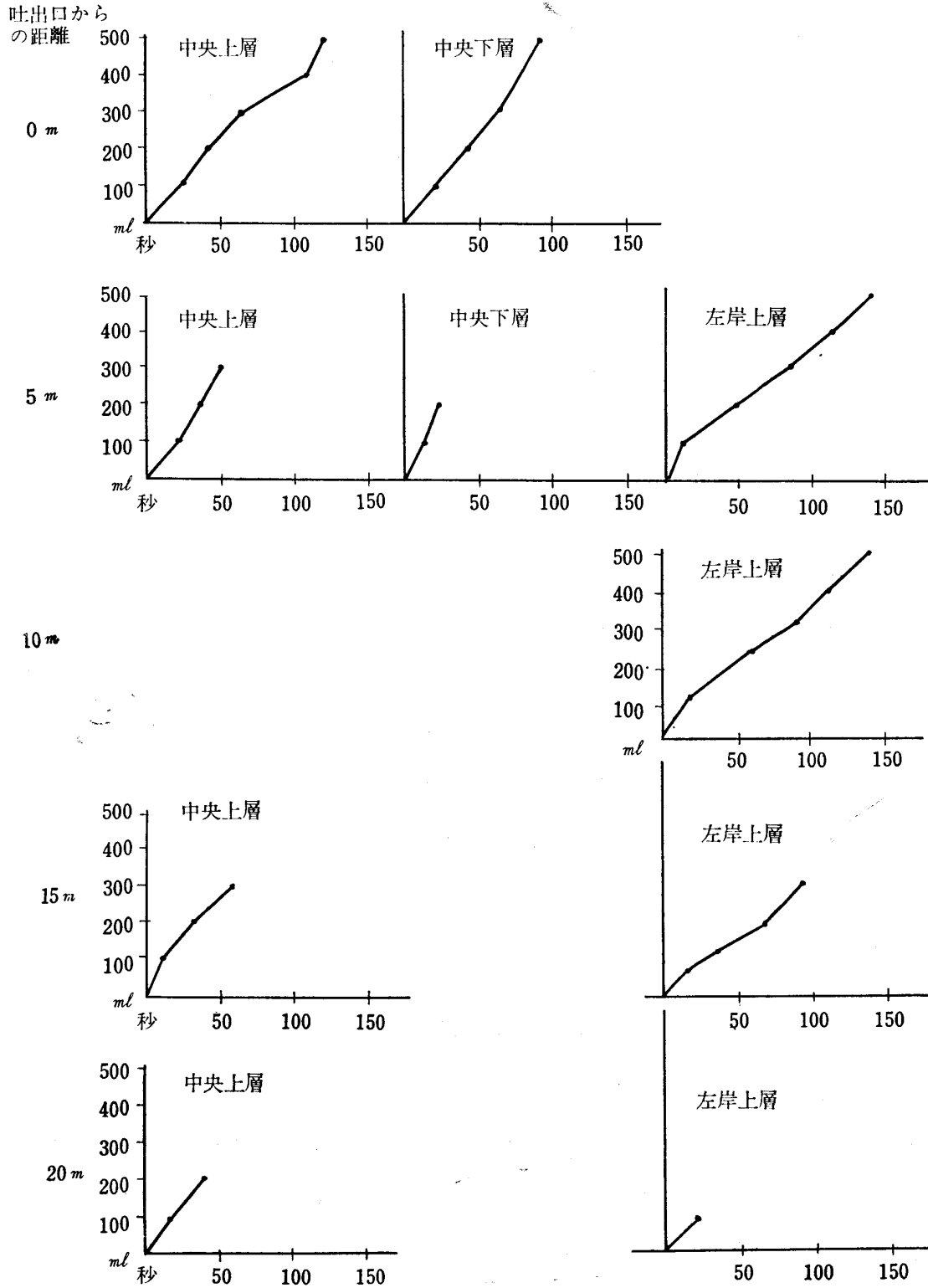
表-6 加圧水気泡の存在域

流下距離m	上流	0	5	10	15	20	25	27	30		
採水点		中央	中央	左	中央	左	左, 中央	中央	〃	〃	〃
透視度	8.3	1+	6.6	3.8	5.5	6.1	7	8	9		9
泡の量		5+	4+	4+	≡	≡	≡	≡	≡	+	

注: 土 かなり多い ≡ かなり多い + 確実に認められる ≡ やや多い ≡ かなり多い
4+ 非常に多い 5+ 乳白色不透明

各地点での採水検体を 500ml シリンダーにとり、気泡の上昇、消失するまでの時間を測定した結果を図-9に示す。

図-9 実験水路各地点での気泡の上昇、消失所要時間



各地点での DO の量測定値のうち, 実験開始時の昭和46年 9 月27日測定値および年度末の昭和47年 3 月25日および 3 月28日測定値を表-7 におよび図-10 に示す。

表-7 実験水路各地点での DO 量

流下距離 m	0	5				10	15	20	25	30	
採水点	中央上層	〃	中央下層	左岸上層	左岸下層	中央上層	〃	〃	〃	〃	
DO	46. 9.27	7.34	6.89	6.76	7.39	6.98	7.16	7.04	6.84	6.95	6.93
	47. 3.25						7.76				7.97
ppm	3.28						9.10				9.80

流下距離 m	35	40	45	50	55	60	96.3	原水		
採水点	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	上層	下層	
DO	46. 9.27	6.92	6.94	6.89	6.88	6.94	7.02	6.95	6.76	6.81
	47. 3.25							10.16	5.26	
ppm	3.28				9.80			10.20	8.30	

図-10 実験水路各地点での DO 量

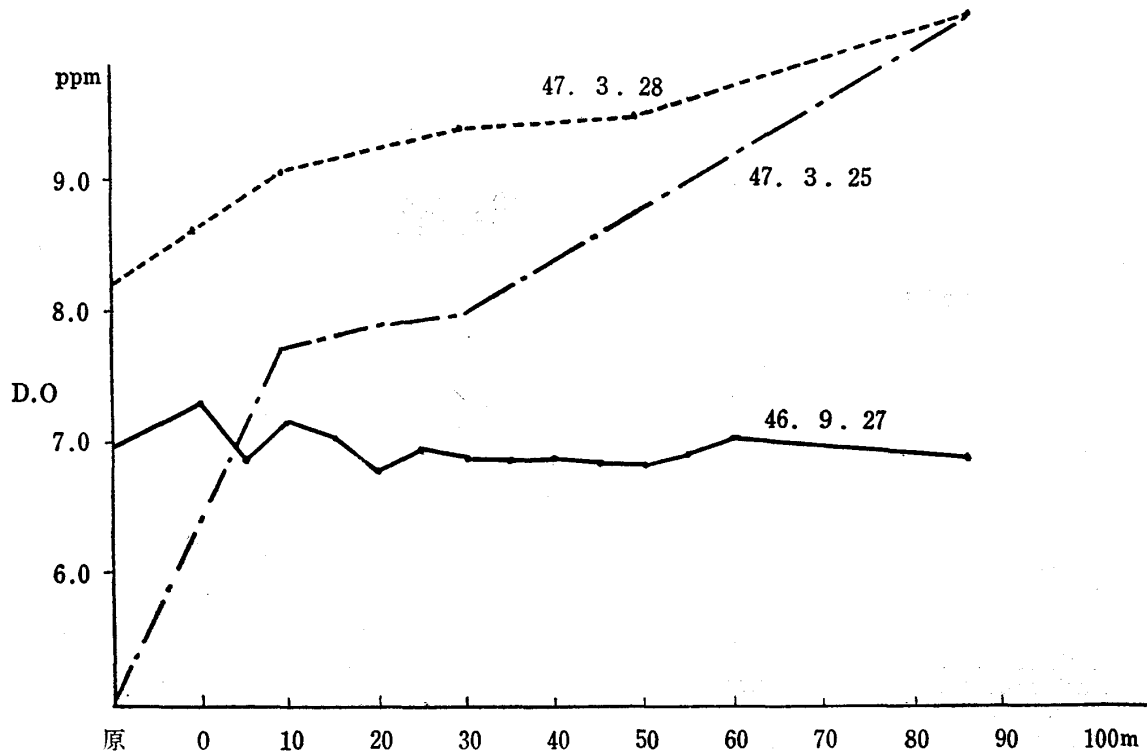


表-11 矽藻の種類と出現頻度 (S47.3.27)

属名	汚水系列	出現頻度
1. Melosira sp.	β ms	+
2. Cyclotella sp.	$\alpha \sim \beta$ ms	+
3. Fragilaria sp.	β ms \sim os	+
4. Synedra sp.	β ms	卅
5. Achnathes sp.		+
6. Cocconeis sp.	β ms	+
7. Diploneis sp.		+
8. Gyrosigma sp.	β ms	卅
9. Pinnularia sp.	β ps \sim ams	+
10. Navicula sp.	$\alpha \sim \beta$ ms	卅
11. Gomphonema sp.	β ms	+
12. Amphora sp.		+
13. Cymbella sp.	ams \sim os	卅
14. Eunotia sp.	os	+
15. Bacillaria sp.		+
16. Surirella sp.	β ms	+
17. Nitzschia sp.	$\alpha \sim \beta$ ms	卅

6. 考察

1) 曝気装置の性能

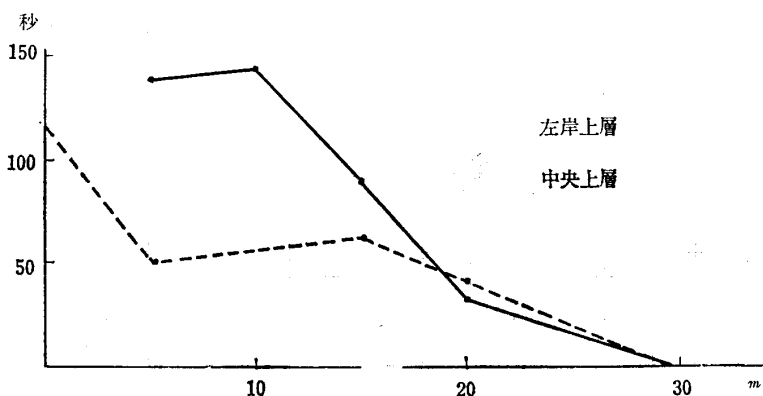
表-4に示すように3~4 kg/cm²の加圧下に空気7.2~7.6l/min.を150~175l/min.の水中に溶解させることができる。空気中の酸素量を20%として計算すると表-12のようである。

表のように3~4 kg/cm²の加圧水を製造したときには、飽和水のほかに13~15ppmに相当する溶存酸素がありこの酸素が常圧下で放出される。ただしこの際原水のDO量は、図-8のように5~8 ppm程度であったが、原水DO量の差による過飽和度および水温の差については無視する。

表-12 加圧水よりの放出酸素量

圧力 kg/cm ²	水量 l/min	放出空気量 l/min	放出酸素量 O ₂ mg/水l
4.4	132	7.0	16.7
4.0	148	7.2	15.5
3.5	155	7.6	14.1
3.0	175	7.2	13.1

図-11 距離別気泡消失時間



実験水路での加圧水気泡の存在域は表-6のようで，肉眼的には30mに及んでいた。気泡の上昇消失所要時間は図-9のようで，下流に行くに従って時間が短くなる。消失時間を距離毎に示すと図-11に示すように30mで肉眼的に消失している。

実験水路中でのDO量の変化は，表-7および図-10に示すようである。

実験開始時の9月27日には，吐出口前から100m下流まではほぼ均一なDO量を示し，わずかに吐出口付近での増大を認めたにすぎなかった。ところが本年度末の3月25日および3月28日には吐出口前にくらべて，吐出口下流のDO量増大は著しかった。興味のあることは，肉眼的に認められたと同じように30m付近でDO増大が一旦停止した後，下流100mではさらに増大していることである。これは後述の緑藻類発生による酸素放出が一因ではないかと考えられる。

またDO量の低かった3月25日にも100m地点では，DO量の高い3月28日と同様のDO値に達している。

2) 実験水路の浄化効果

表-8に示すように実験水路の水温には，測定地点における差異は認められない。また，気温変化による水温変化も測定時間中では，それ程大きくない。

継続実験期間中の気温は，1月中は5～11°C程度であるが3月には4～18°C程度で月末にむかって上昇している。

水中生物は，水温に影響されること大きいですが，継続実験中は冬季から初春であり水温の低い時期であったため生物の発育には適していない時期であった。

10月15日の状態では吐出口上流，下流の差をみるとむしろ上流部に緑藻類が認められた。

継続実験開始後1週間の1月27日には，吐出口下流では明らかに緑藻類の生育が認められ，とくに *Horomidium* sp. の生育が特徴的であった。吐出口下流10mではミジンコ，貧毛類，線虫類が検出された。

継続実験開始後，約40日を経過した3月3日には緑藻類の *Spyrogira* sp.，*Ulothrix* sp. に明らかに相違が認められた。

しかしながら開始後65日頃，3月25日には吐出口上流にも緑藻類の生育を認めるに至った。これは水温の上昇によって藻類の繁殖が促進され，吐出口下流に生育した藻類の影響を受けたものとも考えられる。

底質の水色は，吐出口を境として明らかに相違が認められ緑藻類の発育を促していることが認められる。発生した緑藻類による酸素放出効果も期待される。

3) 保守管理上の問題点

約6ヶ月にわたる運転期間中，保守管理上の問題点として認められた事項は次の諸点である。

i コンプレッサーの騒音

連続運転を行なう際，夜にも運転を行なっているため，コンプレッサーの騒音が目だち，装置設置場所付近のものから苦情をうけた。そのため騒音防止策を配慮する必要にせまられた。

ii 配線関係

特に異状は認められなかった。

iii 配管関係

サクシオン部からの異物吸入はフートバルブを金網で覆うことにより防止できた。

iv 気泡による浮遊物質のフローテーション効果

圧力水を用いて各種の微細SS物質をフローテーション分離する方法が水処理において採用されている。そこで

河川水中、SS物質の除去効果を兼ねることを期待して、水面上に水面セキを設置した結果、気泡とともかなりのSS物質浮上を認めることができた。この現象を利用すれば河川浄化に有用な方法とすることができよう。

しかしながら、大型化した際には有効に作用する生物類までも浮上除去されてしまうおそれもあるので、第1段に従来法によって攪拌などを行ない、その下流でフローテーションを行なうのがよいと考えられる。

4) 維持管理費

従来の各種河川曝気方式にはそれぞれの特質があったが、建設コスト及び維持コストがその実用性に大きな因子となることは明らかである。

本報において使用した装置の費用は総額745,000円（内訳 河川曝気装置450,000円 配管材料工事費295,000円）であった。ただし電気工事材料と運搬費は含まない。使用電力量は75KWH/日でKWを5円に計算すると375円/日となる。いま原水DO 5.26ppm, 約100m下流 DO 10.16ppmについて算定すると、4.90ppmの増大があった。流量は平均750m³/Hであるから

$$4.90\text{g/m}^3 \times 750\text{m}^3/\text{H} \times 24\text{H} = 88.2\text{kg-O}_2$$

$$75\text{KW}/88.2\text{kg-O}_2 = 0.85\text{KW/kg-O}_2$$

各種河川曝気法のコストを比較すると表-13のようで本法は極めてすぐれていると認めてよい。

表-13 各種河川曝気装置の経済比較

実験場所	文献	曝気方法	経済比較 KWh/kgO ₂
Lippe川	Londong ¹²⁾	溢流堰	0.82~1.96
		堰	1,441~4.90
Poppenweiler	Wagner ¹⁶⁾	水力用タービン曝気	0.53
Baldeney湖	Imhoff ⁹⁾	水力用タービン曝気 (圧縮空気吹き込み)	0.70
		シムカーコーンによる 機械曝気	0.60
Baldeney湖	Imhoff ⁹⁾	圧縮空気曝気装置 (オリフィス型)	3.30
Lippe川 (Herrinken付近)	Londong ¹²⁾	圧縮空気曝気装置 (オリフィス型)	1.7
Lippe川 (Heii付近)	Londong ¹²⁾	圧縮空気曝気装置 (オリフィス型)	0.81
		多孔性合成樹脂板	0.53
Fiambeau川	Wagner ¹⁶⁾	圧縮空気曝気装置 (散気板)	0.60~1.11
寝屋川 (実験プラント)	北村等 ^{4)~5)}	圧縮空気曝気装置 (オリフィス型)	0.84
大垣市	著者等	加圧水注入法	0.85

酸素移動効率についての緑藻類の寄与, 水面攪拌効果などの寄与率については今後検討するが, 46年9月の実験からみて緑藻類の効果が大きいと考えられる。

7. まとめ

環境汚染の進行にともない河川汚濁の様相は悪化の傾向をたどりつつある。水質環境基準の設定排水規制の実施が進められ, これによって河川浄化はかなりの進展をみせたが今後一層増大集中化する人口と産業によって, 河川はさらに汚濁を進めることを予想しなければならない。

こうした状況のもとにあって河川浄化のために, 河川曝気方式が検討されて世界の数ヶ所で実際に運転されるに至った。しかしながらこれらの方式には維持管理上の問題が少なくなく, とくに曝気によって生じた生物の汚泥が下流で沈積し汚染源となっていることはこの方式の根本的な問題である。また曝気のためのエネルギー効率にも曝気装置の構造上の問題点をもっていた。

われわれはこうした観点から従来のものとは異なった新しい河川曝気方式として圧力水注入方式を考案した。

本研究ではその設計, 試運転と予備実験を行なったが, 曝気効果および浄化効果は良好であった。ことにフローテーションによるSSの浮上分離の可能性を認めたことは河川曝気のもつ本質的な問題の解決を示唆するものとして興味深いことである。

本研究は昭和46年度岐阜県大学等委託研究費によって実施した。記して謝する。

文 献

- 1) Tyler R. C.; "Acceleated Reaeration" Sewage Works Jour., 14, 4, 834 (July 1942)
- 2) Tyler R. C.; "Polluted Streams Cleaned Up by Aeration" Civil Engineering 16, 348 (1946)
- 3) Scott R. H. and Wisniewski T. F., "Hydro-Turbine Aeration of Rivers with Supplemental Data on Cascades Aeration" Pulp Paper Mag. of Canada, 61, 2, T45 (Feb. 1960)
- 4) 北村誠一, 橋本奨, 福智真和; 河川の曝気浄化に関する研究 (第1報), 水処理技術, 11, (10), 9 (1970)
- 5) 北村誠一, 橋本奨, 藤田正憲; 河川の曝気浄化に関する研究 (第2報), 水処理技術, 11, (12), 17 (1970)
- 6) 北村誠一, 橋本奨, 藤田正憲; 河川の曝気浄化に関する研究 (第3報), 水処理技術, 12, (1), 7 (1971)
- 7) Wiley A. J., Lueck B. F., Scott R. H. & Wisniewski T. F.; "Commercial-Scale Operation of Turbine Aeration on Wisconsin Rivers" JWPCF, 32, 2, 186 (1960)
- 8) Scott R. H., Wisniewski T. F., Lueck B. F. & Wiley A. J.; "Aeration of Stream Flow at Power Turbines" S. I. W., 30, 12, 1496 (1958)
- 9) Imhoff K. R.; "Oxygen Balance and Artificial Re-aeration of Lake Balden and the Lower Ruhr." 4th International Conference on Water Pollution Research, Section III, Paper 7 (1968)
- 10) Amberg H. R.; "Stream Re-aeration Using Molecular Oxygen" 4th International Conference on Water Pollution Research, Section I, Paper 17 (1968)
- 11) Kaplovsky A. J., Wlters W. R. and Sosewitz B.; "Artificial Aeration of Canals in Chicaga" JWPCF, 36, 4, 463 (1964)
- 12) Londong R. D. and Krolewski K. H.; Technische Wirtchaftliche Betrachtung Rum Thema Abwasserreinigung and Gewasserschutz" Gewasserschutz Wasser 1, 104 (1968)

- 13) Wiley A. J., Parkinson L., Gehm H. W., Wisniewski T. F. and Bartsch H. F.; "River Reaeration"
Paper Trade Jour., 124, 123
- 14) Edward L. T. and Respeece ; "Review of Supplemental Pcairation of Flowing Strams" JWPCF,
38, (10), 1614 (1966)
- 15) 杉山博夫, 伊藤勝也, 津山明宜, 清水正信, 小川正夫, 矢野義明, 松田勝三 ; "直接機械曝気による強汚濁河
川水の浄化実験について" 日本薬学会第91年会 (昭46, 福岡) 講演要旨集 P340
- 16) 北村誠一, 橋本奨, 福智真和 ; "スパージャー型エアレーションの酸素移動に関する実験的研究" 下水道協
会誌, 6, (11), 21(1969)
- 17) W. W. Eckenfelder, D. I. Oconnor (岩井重久訳) ; "廃水の生物学的処理" コロナ社刊, 昭40