

II—15 微細気泡型ディフューザーの基礎性能と省エネ効果

北見工大 正員 海老江 邦 雄

1. ま え が き

現在広範に採用されている曝気槽ディフューザーは、中小気泡発生型で、その酸素溶解効率 ϵ は8~12%の低い値である。曝気フローの消費電力は処理場全体の消費電力の40~50%をも占めていることから、下水処理の省エネ化を計るためには、理論的にも酸素溶解効率が高くなる微細気泡発生型のディフューザーを開発し、実用化して行くことが、何よりも重要な課題である。

このたび、紋別市下水終末処理場の実曝気槽にその微細気泡型ディフューザーを設置し、酸素溶解効率・混合攪拌能力などの基礎性能を測定するとともに、DO制御下で下水処理を行い、曝気フローの消費電力の動きを把握するなど省エネ効果を検討したが、その結果を以下に報告する。

2. 曝気槽、ディフューザーの運転条件など

微細気泡型ディフューザーは多孔質の散気板とそれを取り付けるための台座(空気室を形成)とから成り、その構造は図-1に、仕様は表-1に示した。実験においては図-2に示すような2つの実曝気槽(実験槽と既設槽)を使用した。実験槽には微細気泡型ディフューザーを布設したが仕様を表-2に掲げる。既設槽は実験槽と同一のサイズで、合成樹脂(ポリプロピレン)製の散気筒(70φ×500L)を曝気槽底の片側に120本配列(有効散気面積比2.8%)し、旋回流方式を採用している。フローはターボ型で55KWである。

基礎性能として酸素供給能力と混合攪拌能力を測定した。前者については、清水を対象にして非定常状態法(Na_2SO_3 +触媒 CuSO_4)で総括酸素移動容量係数 $K_La(20)$ (1/時)と酸素溶解効率 ϵ (%)を測定・計算した。後者については、曝気槽内の清水中で流向流速、下水処理中のMLSSをそれぞれ電磁誘導型流向流速計、光電管式MLSS計にて測定した。

省エネ効果については、両曝気槽の処理水質が可能な限り同一水準となるよう並列運転を行い、①微細気泡型ディフューザー、②全面曝気方式、③DO制御を組み込んだ総合的な効果を電力削減率で把握することを目的とした。この際の流入下水水量約2,000 $\text{m}^3/\text{日}$ 、MLSS約2,000 mg/L 、BOD-SS負荷0.2~0.4 $\text{kg/kg} \cdot \text{日}$ であった。

3. 実験結果と考察

(1). 酸素供給能力-----水深(3, 4, 5 m)と空気量(各水深で3~4段階)を変えて測定(DOは全て曝気槽各ゾンの水深の中間点で測定)されたDO値をもとに $K_La(20)$ と ϵ を計算し、表-3および図-3と4に掲げる。

始めに、 $K_La(20)$ については、図-3で見られるよ

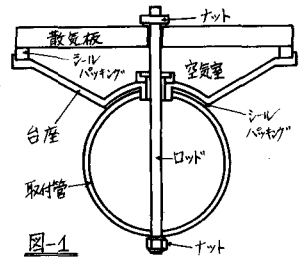


図-1

表-1. ディフューザーの仕様

型 式	多孔質コンクリート製散気板
平均気孔径	150 μm
平均気泡径	2 mm (直径30cm)
通気率	500 $\text{L}/\text{m}^2 \cdot \text{分}$
標準通気量	55 $\text{L}/\text{分}$ 個
寸 法	外径 230 $\times$ 14 mm
取付管	外径100 mm

表-2. 実験槽の仕様

実験槽寸法(m)	長 幅 深 24.6 x 6.1 x 5
容 量	753 m^3
散気筒数	168 個
設置方法	鉛直懸法
設置密度	1.1 個/ m^2
有効散気面積比	4.6 %
フロー	ターボ型 30KW x 2台

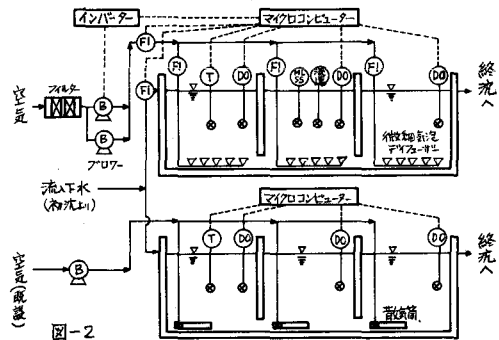
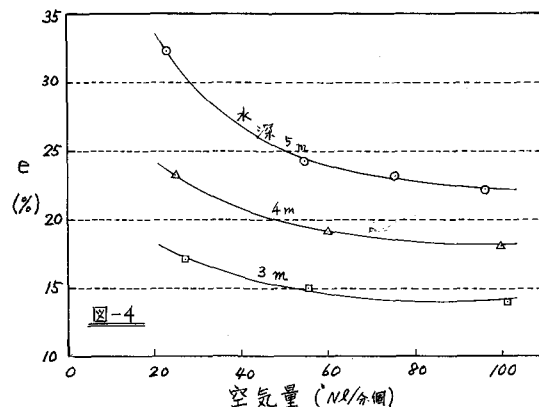
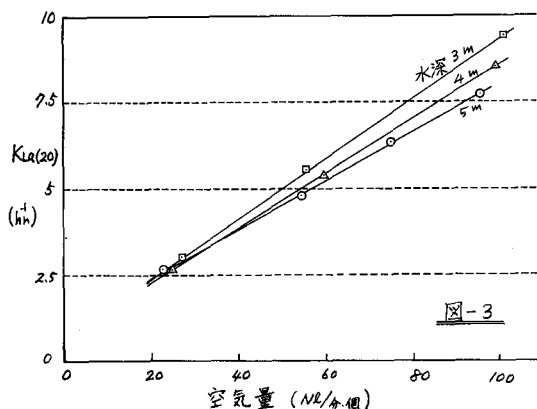


図-2

表-3. 酸素供給能力の測定条件と結果

水深(m)	空気流量		$K_La(20)$ (1/時)	ϵ (%)	水深(m)	空気流量		$K_La(20)$ (1/時)	ϵ (%)
	($\text{m}^3/\text{分}$)	($\text{N}/\text{分}$ 個)				($\text{m}^3/\text{分}$)	($\text{N}/\text{分}$ 個)		
5	3.8	22.6	2.64	32	4	10.0	59.5	5.35	19
5	9.1	54.2	4.75	24	4	16.7	99.4	8.47	18
5	12.6	75.0	6.30	23	3	4.5	26.8	3.02	17
5	16.1	95.8	7.70	22	3	9.3	55.4	5.50	15
4	4.1	24.4	2.66	23	3	17.0	101.2	9.38	14



うに、いずれの水深においても空気量の増加に比例して直線的に上昇する傾向を示した。また、空気量が少ない場合には水深の影響は小さくほぼ一定の $K_{La}(20)$ となるが、空気量が多くなるにつれて水深の増大とともに $K_{La}(20)$ は小さくなる傾向が認められる。水深が大きくなるにつれて $K_{La}(20)$ が小さくなるのは、曝気槽内における気泡の滞留時間は長くなるものの、その間に気泡が相互に合一などして平均径が大きくなる（気液接触面積が減少）こと、さらに、気泡中の平均酸素濃度が低下（酸素移動の推進力の低下）することが直接の原因と推測される。

eについては、図-4で見られるように、空気量が少ないほど水深が大きいほど大きな値となっている。当該散気板の標準空気量（55 l /分個）においては、水深4 m で約20%、水深5 m で約24%となり、従来広く用いられている散気装置に比較して約2倍の高い値を示しており、この点は特に注目される。

(2). 混合攪拌能力-----流向流速とMLSSは、図-5に示す流れに垂直な断面Aと流れに沿う断面Bとに水深に応じて設定された点で測定されたが、結果を表-4と5に掲げた。表-4の値は各測点における3次元方向の流速絶対値の相加平均値と標準偏差とを槽全体とA断面底部とに分けて示したものであり、水深が浅いほど、空気量が少ないほど、全槽平均流速は遅くなる傾向を示している。全槽平均流速の最小値は、空気量が当該ディスクの規定最少流量で、なおかつ、水深が通常採用されることのない3 m という条件で生じているが、それでも16 cm /分である。また、底部平均流速は全槽平均流速より若干低

表-4. 流速の測定結果

い値であるが、それでも、一般に汚泥の浮遊限界流速と言われている10 cm /分以上の値は維持している。これらのことから、通常の曝気槽の運転条件においても、十分に良好な混合攪拌状態が維持さ

水深 (m)	空気 流量 (NL/分個)	全槽平均流速				底部平均流速			
		(cm/分)	標準偏差 (cm/分)	個		(cm/分)	標準偏差 (cm/分)	個	
5	23.2	24	9.1	35	16	5.7	7		
5	54.8	31	11.5	65	23	12.3	7		
5	95.2	37	14.4	35	34	20.9	7		
4	23.8	19	7.4	28	16	5.6	7		
4	54.2	27	10.1	52	22	11.3	7		
4	95.2	36	14.8	28	33	21.0	7		
3	26.2	16	5.5	21	12	1.5	7		
3	54.2	23	8.8	39	16	6.0	7		
3	66.1	26	9.8	21	20	9.0	7		

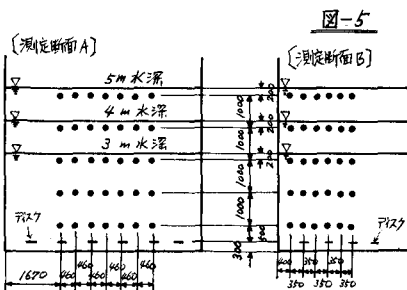
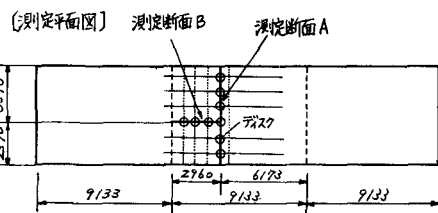


表-5. MLSS分布の測定結果

水深 (m)	空気流量 (NL/分個)	平均値 (mg/L)	最大値 (mg/L)	最小値 (mg/L)	標準偏差 (mg/L)	測定断面 と個数
5	23.8	1,920	1,980	1,890	20	A (35)
5	54.8	1,930	2,020	1,900	20	A (35)
5	69.6	1,850	1,930	1,840	20	A (35)
5	23.8	1,930	1,930	1,920	10	B (30)
5	54.8	1,900	1,930	1,850	30	B (30)
5	69.6	1,840	1,850	1,830	10	B (30)

れ、曝気槽底部に活性汚泥の沈殿は起こらないものと考えられる。

つぎに、表-5で見られるように、空気量と断面(A+B)を変えたMLSSの

測定においても、標準偏差は極めて小さな10~30 mg/L程度となっており、曝気槽内のSSが均一であること、すなわち、槽内流速が十分に確保されていたことを間接的に証明している。

(3). DO制御-----図-2に示したように、曝気槽は2枚の隔壁で3ゾーンに分けられている。実験槽では各ゾーンのほぼ中央の壁側にDOセンサーを設置し、DO計測およびその計測値が設定DO値になるようなマイクロコンピュータによる制御、すなわち、フィードバック方式によるアロウの回転数制御を行った。

計測と制御のサンプル時間は1分間であり、1時間に1回毎正時にその計測値を記録している。DOの制御場所、設定値、設定期間は表-6に示した通りである。表-7は、各センサー(上流から下流へDO-1~DO-3)で測定したDOの月別平均値と標準偏差である。1982年8月から12月まではDOはほぼ正確に制御されており、標準偏差も非常に小さい。しかし、1983年1月以降では、平均DO値(DO-3)はいずれも設定値を上まわっている。これは、図-6に見られるように下水温が低下して生物の活性度が落ちたこと、飽和DO値の上昇などが主な原因と考えられる。このように、DO制御に関しては、デューザーに最低空気量(25 N/L/個)が規定されている限り、主として下水温との関係において制御可能な時期と不可能な時期とが生ずることは避けられない。今回の実験結果から判断すると、その分岐温度は約10℃と推測される。しかし、殆どどの都市でも紋別市の下水温より高くなることから、DO制御期間はもっと長く、したがって、より効率的な運転が可能になるはずである。

(4). 処理下水の比較-----曝気槽の運転に当っては、実験槽と既設槽の処理下水の水質ができるだけ同一水準になるよう注意した。また、ここでは、SS、COD、BODの動きに限って述べたい。

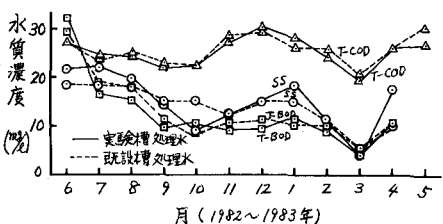
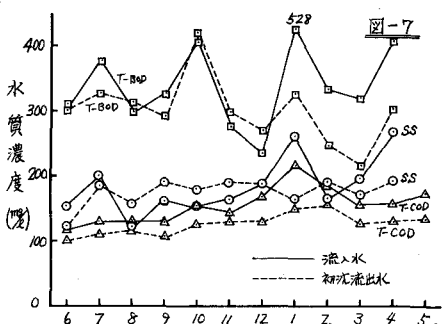
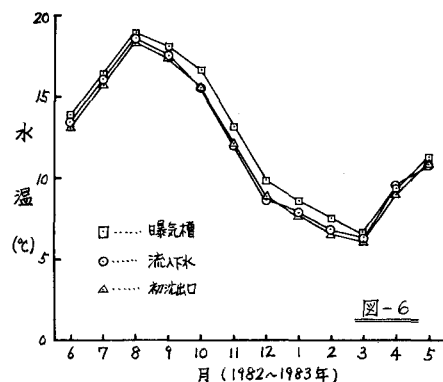
はじめに、1982年6月から1983年5月までの通常試験(平常業務としての水質分析、採水時刻午前10~11時)におけるBOD等の月別平均値の動きを図-7に、また、これらの値の年平均値と標準偏差を表-8に掲げる。これらの図表では、何れの水質項目も流入下水の段階では相当大きな値と変動幅であるが、処理水の段階では十分に処理された低い値になっている。実験槽と既設槽の処理水質はほぼ同水準になっており、当初の目的は達成されている。

表-6. DO制御の条件

年月日	制御場所	DO設定値
1982年 8月2日まで	制御なし	
8月2日~8月4日	DO-2	0.5 mg/L
8月4日~8月23日	DO-3	0.5 mg/L
8月23日以降	DO-3	1.0 mg/L

表-7. 実験槽におけるDO月別平均値

年月	平均水温(℃)	平均DO(DO-1)		平均DO(DO-2)		平均DO(DO-3)		個数
		(mg/L)	偏差(mg/L)	(mg/L)	偏差(mg/L)	(mg/L)	偏差(mg/L)	
1982年								
7月	17.1	0.1	0.17	0.6	0.68	0.4	0.55	100
8月	19.6	0.0	0.13	0.7	0.39	0.6	0.40	730
9月	18.8	0.0	0.08	0.6	0.47	0.9	0.35	685
10月	16.7	0.0	0.27	0.8	0.69	1.0	0.25	719
11月	13.3	0.1	0.40	1.5	0.75	1.0	0.29	664
12月	10.4	0.5	0.90	1.7	0.78	1.1	0.43	650
1983年								
1月	9.0	1.6	1.44	2.7	1.35	2.0	1.29	677
2月	8.6	1.8	1.41	3.1	1.15	2.8	1.27	660
3月	7.5	1.7	1.59	3.5	1.52	4.9	1.29	706
4月	10.4	0.8	1.49	1.2	1.77	2.9	2.02	387
5月	12.9	0.5	0.89	1.7	1.09	1.2	0.60	695
6月	14.0	0.8	1.09	2.3	1.16	1.2	0.72	567



ついで、1982年7月から1983年3月までに計6回実施した通日試験(1~2ヶ月毎、24時間分析)の結果を図-8に示した。通常試験の場合と同様に、流入下水の水質は時間によって非常に激しく変動しているが、処理水質の段階では変動幅は小さくなり、実験槽と既設槽の処理水質の差は少ない。さらに、通日試験の平均値に対する通常試験の平均値の比をそれぞれの水質項目について求め、表-9に掲げた。処理水のSSとT-CODを除く全項目で通常試験の結果は通日試験の結果より大きな値になっている。同表を用いることにより、スポットサンプルである通常試験の測定値を通日変動をも加味した平均的な測定値として扱うことが可能になる。

表-8. 通常試験の年平均値 *60分静置後上澄水

採水場所	流入水	初設 実験槽	実験槽	既設槽
SS	年平均値 186.4	138.6	16.7	15.1
(%)	偏差(個数) 122.9(53)	77.0(53)	8.4(53)	6.9(53)
除去率			91.0%	91.9%
T-COD	年平均値 146	121	24.8	25.1
(%)	偏差(個数) 46.4(62)	32.4(62)	5.1(62)	4.9(62)
除去率			83.0%	82.8%
T-BOD	年平均値 348	303	15.8	16.1
(%)	偏差(個数) 126.8(53)	118.8(53)	10.8(53)	10.4(53)
除去率			95.5%	95.4%

(5). 消費電力量の削減率-----1982年8月から1983年7月までの既設槽と実験槽の平均消費電力量と削減率をまとめて表-10に示した。

この表において、1982年11月までと、それ以降の時期の電力消費量と削減率とに大きな相違が認められる。これは、水温の高い夏期には汚泥が活性化すると同時に飽和DO値が低下するため、既設槽2槽に対してプロワを2台運転したため、削減率が65~70%と高い値を示した。しかしながら、水温が低下した冬期においては飽和DO値が上昇し、既設槽2槽に対して1台のプロワ運転で対応できたため、削減率が50~58%と小さな値になったのである。

いずれにしても、微細気泡型ディフューザ、DO制御、全面曝気方式濃度を組み合わせた場合の電力消費量は、既設槽の散気筒方式に比べて50%以下で済むことが確認できた。紋別市下水終末処理場におけるプロワの消費電力量は全体の約50%を占めていたことから、この微細気泡型ディフューザを採用することによって、処理場全体の約半分に相当する多額の電力費を削減できることが明らかになった。

4. あとがき

今回使用した微細気泡型ディフューザの酸素溶解効率、標準空気量の下で、従来型ディフューザの約2倍にあたる20%強であること、また、流向流速とMLSSを測定の結果、十分な混合攪拌能力を持つことが証明された。さらに、散気筒を付設した既設槽と処理水質が同一水準となるよう留意しつつ運転を行い、総合的な省エネ効果を検討した結果、電力の削減率として年平均56.8%を達成することができた。

今後、当該タイプの微細気泡型ディフューザが省エネ装置として、実施へ広範に採用されることを期待するとともに、御協力いただいた紋別市水道部と(株)オガソンの各位に感謝の意を表す。

一参考文献一

- 1) 野見山、松林：用水処理 Vol. 23 No. 6 (1981)
Vol. 23, No. 7 (1981), Vol. 24, No. 11 (1982)
- 2) 奥野：公害対策 Vol. 19, No. 9 (1983)
Vol. 19, No. 10 (1983)
- 3) 奥野：下水道環境試験報告 (1979)
- 4) 岡田：PPM, 1977/12
- 5) 増田、坂中：PPM, 1978/10
- 6) W.C. Boyle et al.: J. of Envir. Eng. ASCE, Vol. 109, No. 5 (1983)

表-10. 1時間当りの平均電力消費量および削減率の動き (削減率の年平均値: 56.8%)

年 月		1982年					1983年						
		8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月
既設槽	平均電力消費量	43.5	44.2	45.0	45.6	25.1	24.6	24.8	25.5	23.6	23.6	27.1	42.1
	標準偏差(個数)	0.7(14)	0.8(8)	0.6(8)	1.1(4)	3.6(3)	0.6(3)	0.5(28)	0.6(3)	0.6(30)	0.6(3)	8.1(30)	1.1(3)
実験槽	平均電力消費量	13.9	15.6	14.5	13.9	12.1	10.5	10.3	10.8	11.0	10.9	13.1	19.9
	標準偏差(個数)	1.1(4)	2.56(8)	1.0(8)	1.6(4)	1.4(3)	0.9(3)	0.8(28)	0.8(3)	1.2(27)	1.7(3)	4.1(30)	2.5(3)
電力削減率(%)		68.0	64.7	67.8	69.5	51.8	57.3	58.5	57.6	53.4	53.9	51.5	52.7

表-9. (通常試験平均値)/(通日試験平均値)

採水場所	流入水	初設 実験槽	実験槽	既設槽
SS (%)	114.7	122.0	87.4	74.1
T-COD (%)	128.7	103.3	96.2	95.1
T-BOD (%)	146.6	124.3	126.3	123.0