

[49] ポンプ循環型超深層ばっ気法の安定性に関する考察

久保田鉄工(株) 環境技術研究所 藤本忠生 河杉忠昭
 " " " " " " 〇鳥山明夫

活性汚泥法に代表される生物処理法は、下水・し尿および食品廃水など有機性廃水の処理技術として広く実用に供されている。特に昨今の省資源・省エネルギー的見地からの廃水処理技術の見直しにより、生物処理技術は一層重要さを増している。生物処理の中心たる活性汚泥等、好気性生物処理においては酸素の供給が不可欠であり、従来より酸素供給に関する数多くの研究がなされ、実用に供されてきた。

ポンプ循環型超深層ばっ気法は、省エネルギー時代のニーズにふさわしい機能を備えた有機性廃水の生物処理技術の一つである。ここでは実用化にいたる経過、処理結果、ならびに安定性に関する考察について報告する。

1. 超深層ばっ気法

汚水中に酸素を多量に供給する手段・方法として、基本的には

- (I) 溶解度を増す (II) 気液の接触をよくする ことがあげられる。

即ち、静水圧を高くすれば気体の液体への溶解度が増加することは、ヘンリーの法則としてよく知られており、又、気液接触をよくすることについては、気泡の微細化・接触時間の長時間化などの研究が数多く報告されている。超深層ばっ気法は、こうした基本原則を実用化したものである。現在、実用化段階にある超深層ばっ気法としては、5タイプ¹⁾があり

- (I) 水頭差を利用して、槽内の液を循環するもの
 ……ポンプで循環 (U-チューブエアレーション)
- (II) エアーリフト効果を利用して、槽内の液を循環するもの
 ……吹込空気で循環 (ICI, Eco I, II, III)

の2方式に大別されている。

2. U-チューブエアレーションに関する研究例

気泡塔型式のエアレーションによる酸素供給の試みは、Babbit²⁾の研究をはじめ多くの報告があるが、Bruijn³⁾らによる成果がU-チューブエアレーションの最初の実用化例であろう。図-1に示すように、コンクリートパイプを垂直に埋設し、この中に鉄管を挿入した二重管構造とし、流入水は内管を下向きに流れつつ水面でまき込んだ空気を溶解し底部に達し、外管と内管の間を上向きに流れるシステムになっている。Speece⁴⁾は、このようなU-チューブエアレーションの利点を次のように指摘している。1) 静水圧により飽和濃度が増大し、溶解酸素量が増大する。2) 乱流により高い界面更新率が得られ、酸素移動係数が高くなる。3) 空気吹込みの動力は、浅い深度で空気を噴射させるために少ない。Mavinic⁵⁾は、このようなU-チューブを図-2に示すようなポンプ循環を行うことにより、生物処理への適用を試みている。又、汚水処理をはじめ下水管渠でのばっ気⁶⁾、処理水のばっ気⁶⁾⁷⁾、更にはダム深部のエアレーション⁸⁾の他、化学・醗酵の分野⁹⁾、廃坑を利用したU-チューブ¹⁰⁾も報告されている。

3. ポンプ循環型超深層ばっ気法の概要と特徴

U-チューブエアレーションは、図-3に示すように深さ30~100mあるいはそれ以上の下降管と上昇管からなるばっ気槽と固液分離槽から構成されている。活性汚泥混合物を毎秒1~2m程度の流速で下降管内を下降

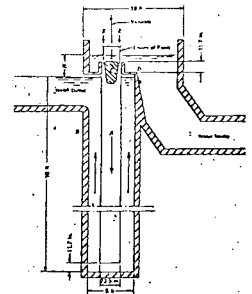


図-1 U-tube Aeration (I)

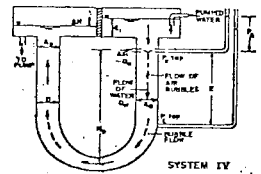


図-2 U-tube Aeration (II)

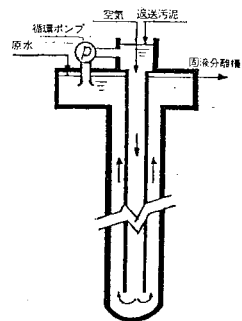


図-3 U-tube エアレーション模式図

させ、又、空気を必要圧力が小さくて済むように下降管の水を流し、エアローターにより吹込む。混合液の流れに吹き込まれた空気は下降し、水深による圧力が加わるためヘンリーの法則に従い、酸素は混合液中に多量に溶解する。溶解した酸素は、活性汚泥により消費される。次に上昇管に移った混合液は、ヘッドタンクまで上昇する。最上部に達した混合液は、循環中の生物反応によって生じたCO₂などを脱気し、再び循環ポンプにより原水と返送汚泥とともに下降管に送られる。混合液の一部はヘッドタンクから固液分離槽に移り、汚泥と処理水に分離される。このように、混合液と空気は下降と上昇の両方で完全な混合を受け、しかも循環中最下点において、その深さに応じた圧力に基づく大きな溶解度が得られる。この結果、従来の活性汚泥法で大部分の面積を占めていたばっ気槽面積が飛躍的に縮少でき、同時に動力を節約できるものである。

4. U-チューブエアレーション（ポンプ循環型超深層ばっ気法）による廃水処理結果

現在稼働中のU-チューブのうち代表的なものについて、その処理結果を次に示す。

- 1) I社 コーンスターチ及びブドウ糖製造廃水 U-チューブ寸法 直径2.8m×水深100m（図-4）
- 2) K社 惣菜・煮豆・佃煮製造廃水 " " 0.9m×" 125m（図-5）
- 3) 下水（パイロットプラント） " " 0.8m×" 100m（表-1）

1), 2) の食品廃水処理条件は、以下の特徴があった。原水濃度が高く、しかも基質成分が変化する。負荷変動が激しく、又、変動パターンが一定していない。このような条件においても、稼働以来次の処理結果を得た。

I社	BOD	容積負荷	平均	8.8 kg/m ³ ・日	(最大	16 kg/m ³ ・日)	除去率	97.5%
K社	"	"	18.6	"	(" 39.8	")	"	96.6%

3) の下水処理での供試下水は、初沈処理下水である。BOD容積負荷はRUN1~3で0.8~2 kg/m³・日であり、この負荷範囲ではほぼ85%程度のBODの除去率が得られた。

5. 安定性に関する考察

U-チューブエアレーションは、ポンプ循環を特徴としており必要動力は、循環ポンプがその大半を占める。そして酸素利用効率をより大きな値にするためには、均一な気泡流を確保することが必要である。そこで、

- (1) 実験カラムで気液二相流の流動様式を確認し、パイロットプラントでの実測値と比較した。
- (2) 気液比と必要酸素量の条件からばっ気に必要な動力を求め、標準活性汚泥法と比較した。
- (3) 実用上のメリットについて検討した。

(1) 気液二相流の流動様式 実験に用いた装置は図-6に示したように、直径13cm、下降管10m、上昇管7.6mで、底部は二重管形式であり上部にはそれぞれタンクが付いている。管とタンクは全て透明アクリルと塩ビであり、気液の流動様式が観察できる。又、空気は下向管の上部で吹き込まれる。循環流量、吹込空気量、各点での水頭変化を測定した。下降管での気液の流動様式は、気液比の変化につれ次のようになった。即ち、気液比が小さいときには安定した気泡流となるが、空気量が増すと脈動流となり、それ以上の気液比では循環系が得られな

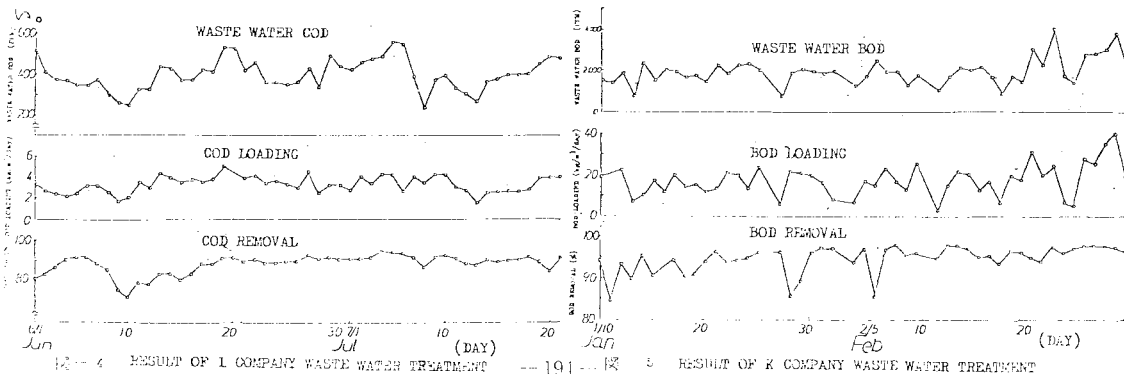


図-4 RESULT OF I COMPANY WASTE WATER TREATMENT 図-5 RESULT OF K COMPANY WASTE WATER TREATMENT

気液比 (A/W) を変化させたときの P3 における水頭変化を示したものが、図-7 である。A/W が 0.1 の時は水頭変化は小さく、安定した気泡流として流れているものの、変動巾は大きくなってゆく。同時に、両タンク間の水頭差が大きくなる。更に A/W が大きくなると脈動を起し、それ以上の気液比では空気は押し込まれない。次に下降管流速と気液比を変化させた場合、気泡流を形成する範囲と、脈動流か循環不可能な範囲を示したものが図-8 である。これによると、流速が 1 ~ 2.5 m/s の範囲では、気泡流を形成する最大気液比はほぼ指数的に増加し、2.5 m/s では A/W = 0.3 となっている。低流速域の流動様式や空気吹込方法については、更に検討中である。次に、実験カラムとパイロットプラントの結果を比較した。直径 80 mm の U-チューブにおいて、下向流速 1 ~ 2 m/s の範囲で気液比と静水頭差を測定したものが図-9 である。これによると A/(A+W) = 0.16 (A/W = 0.19) 以上になると、静水頭差と気液比の比例関係は急激に乱れはじめる。この条件下にある場合、安定な気泡流を確保することが難しくなることを示し、実験カラムの結果とほぼ一致している。

表-1 下水処理結果

		RUN-1	RUN-2	RUN-3
原水	水温 (°C)	22.2	22.8	24.3
	PH	7.4	7.8	7.3
	SS (ppm)	106	132	146
	BOD (ppm)	76.2	92.3	102
運転条件	MLSS (%)	3100	3000	3800
	停留時間 (時間)	11-14	0.7-1.1	0.7-0.8
	返送率 (%)	34-62	31-65	34-58
処理水	DO (ppm)	2.0-7.3	1.7-7.0	2.0-6.8
	PH	6.4	6.4	6.7
	SS (ppm)	24.5	30.1	33.1
	BOD (%)	11.2	14.0	13.6
	BOD 除去率 (%)	85.1	84.8	86.7

必要動力 U-チューブエアレーションを下水処理に用いた場合、ばっ気に必要な動力を実運転での酸素利用量から算出すると、次のようになる。 $O_2 (kg/日) = a \times 4BOD (kg/日) + b (1/日) \times MLSS (kg)$

に従い、除去された BOD 量、系内の活性汚泥量と、r_r から求めた酸素消費量より係数 a、b を求めた、図-10 に示す結果から a = 0.274、b = 0.044 となり、a、b も標準活性汚泥法の値より小さい。以上の計算をもとに、U-チューブエアレーションと標準活性汚泥法による場合の必要動力量を比較した。比較に際しての水量、水質は次のように設定した。

水量 100,000 m³/日
 原水 BOD 140,200 ppm
 処理水 BOD 20 ppm

なお、標準活性汚泥法での吹込み空気量は、水量の 5 倍量とした。比較の結果を、表-2 に示した。

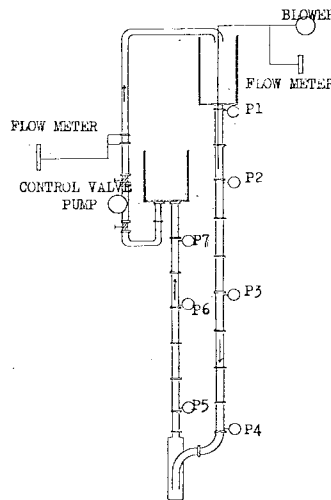


図-6 実験装置

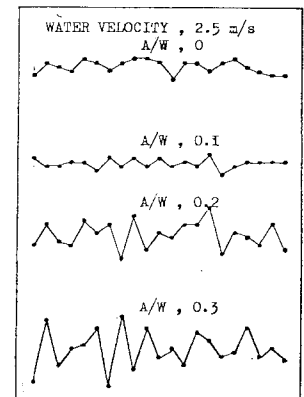


図-7 PROFILE of WATER HEAD

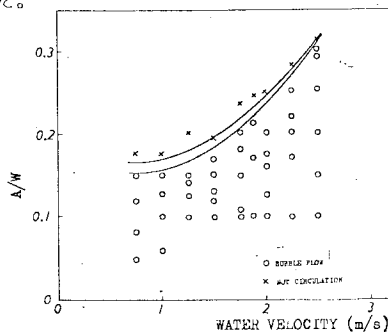


図-8 流動様式と各条件

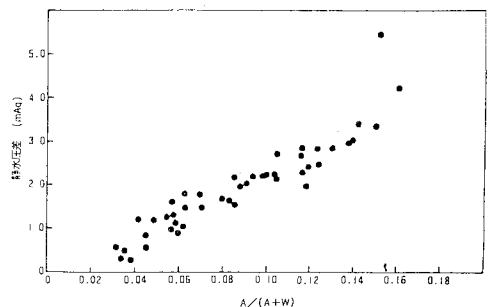


図-9 静水圧差と A/(A+W)

表-2に示すように標準活性汚泥法では約360 m³/分の吹込み空気量を必要とするのに対し、Uチューブエアレーションの場合では、30 m³/分の空気量となる。Uチューブでは循環用のポンプ動力が別途必要となるが、これを加えても消費電力量は、標準活性汚泥法の50%にも満たない。又、DO分布を図-11に示した。又、コンスターチ・ブドウ糖製造廃水についての測定結果では、次のようになった。即ち、r_rを測定した時のUチューブ内DOから計算して、酸素移動効率は約50%である。この場合、酸素利用効率は移動した酸素を活性汚泥が消費する割合も考慮しなければならないので、実際には50%に達していないことになる。この施設の場合、現在負荷量が計画量に達していないが、r_r測定時に原水添加率を大きくしてゆくと急激にr_rが増加することから、今後、負荷の増加とともに酸素利用効率も向上すると考えられる。なお、測定結果による酸素利用量より求めるとブロー：45 kW、循環ポンプ：150 kW、合計195 kWとなるが、このプラントでは、原水の質的、量的変動条件を加味した設備としている。

iii) 実用上のメリット 廃水処理を安定して行なおうとする場合、負荷変動をより少なくすることが重要である。しかし、工場廃水処理設備では大きな負荷変動を避けられないことがしばしばある。又、下水処理の場合でも、朝夕の水量・水質両方の最大ピークに対し、夜間は両者とも極端に小さくなり、負荷変動は著しい。このような負荷変動に対し、従来の生物処理法では空気量の適切なコントロールが困難であった。これに対し、Uチューブエアレーションでは、安定した気泡流を維持できる気液比の範囲がわかれば、空気量調節によるDO制御が容易かつ安定して行なえる。即ち、気液比をある値に設定しておき、流入負荷が低くなりDOが高くなれば空気量を少なくし、負荷が高くなれば空気量を多くする事ができ常に安定した処理性能を維持できる。

以上、ポンプ循環型超深層ばっ気法の安定性について述べた。超深層ばっ気法の経済性は、単に消費動力量が少ないということだけではなく、臭気対策も容易であり、生成する汚泥の処理・処分なども合せたトータルシステムとして評価すべきものである。

参考文献

- 1) R.C.Brenner, J.J.Convery 第7回日米下水処理技術委員会セミナー講演集 P143~190(1980)
- 2) H.E.Babbitt University of ILLINOIS BULLETIN P7~54(1934)
- 3) J.Bruijn et al J.AWWA Vol 50 No.7 P879~883(1958)
- 4) R.E.Speece ASCE Vol 95 SA3 P563-574 (1969)
- 5) D.S.Mavinic et al Canadian J.of Civil Engr.Vol No.1 P71~84 (1974)
- 6) R.C.Mitchell et al EPA PB-228 127(1970)
- 7) R.C.Mitchell et al Water Vol 67 No.107 P558~565(1970)
- 8) R.E.Speece J.AWWA Vol 63 No.1 P6~9(1971)
- 9) USP 第3476366号
- 10) USP 第3606999号

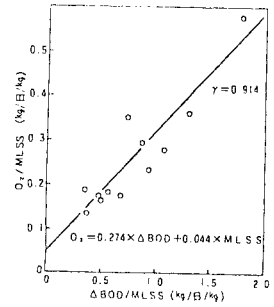


図-10 酸素消費量とDO日陰量

表-2 U-Tube 法と活性汚泥法の曝気動力比較

	循環ポンプ				ブロー				動力合計 (kW)	備考
	流量 (m ³ /分)	揚程 (m)	動力 (kW)	台数	流量 (m ³ /分)	圧 (mmAq)	動力 (kW)	台数		
U-Tube	110	5	112	1	29.2	3000	15.4	1	127.4	原水BOD 140 ppm " 200 ppm
	165	5	166	1	30.0	3000	19.9	1	185.9	
標準活性汚泥法					90.3	6000	101.7	4	406.8	

循環ポンプ：斜流ポンプ
ブロー：チューブブロー
なお、U-Tube法では、酸素利用効率を50%、空気量/原水水質と0.2とした。

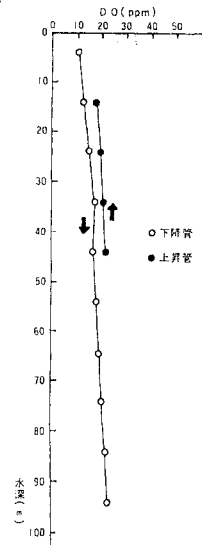


図-11 下水U-tubeのDO分布