

(4) 水路薄層流処理法による下水の処理特性

CHARACTERISTICS OF WASTEWATER TREATMENT BY THIN LAYER STREAM PROCESS

鈴木 穰*・竹石 和夫*

Yutaka SUZUKI *, Kazuo TAKEISHI *

ABSTRACT; The thin layer stream process, which is composed of a sloped stream and an inlet of wastewater at the upper end of the stream, treats wastewater with biofilm grown on the bottom of the stream supplied with oxygen from the air by reaeration. Treatment experiment was conducted at various specific flow rates and stream gradients in order to investigate the characteristics of the substrate removal and the oxygen supply of this process. The area of the stream required for the treatment of wastewater was calculated by applying the characteristics of this process obtained in the experiment, which showed that a smaller area is required for a larger gradient and for a higher specific flow rate among the conditions tested in the experiment. This result was caused mainly by the efficiency degree of the oxygen supply.

KEYWORDS; Wastewater treatment, Thin layer stream, Biofilm, Reaeration

1. はじめに

水路薄層流処理法は、傾斜水路に排水を薄層流状態で流し、水路床に形成した生物膜により排水中の基質除去を行う処理法である。処理装置の構造が簡素で、処理に必要な酸素供給を大気からの再曝気により行うことが特徴である。流れが薄層流であるため、流水に対する酸素供給量が大きいために期待される。

本処理法の処理効率には、流水表面を通しての再曝気、水側から生物膜への基質移動、及び生物膜による基質除去の3つの要素が関与する。本処理法のような生物膜を用いた処理法においては、生物膜内の基質濃度分布を考慮することにより、生物膜全体での基質除去速度を求めるモデルが提唱されており、本処理法における基質除去速度も、基本的にはこのモデルに沿うものと考えられるが、再曝気速度及び液側の基質移動抵抗は、水路勾配と流量、及び生物膜形状の影響を受けると考えられるため、本処理法の処理特性を明らかにするためには、実験による検討が必要である。そこで、本研究では、水路薄層流処理法に関する実験的検討を行い、処理特性を明らかにすることを目的とした。

なお、本処理法の下水処理への適用においては、下水中の粒子性物質が処理を悪化させることが予想されるため、前段に簡易な固定床型嫌気性処理槽を設置して、粒子性物質の負荷を下げることを処理の前提とした。

2. 研究の方法

2. 1 実験装置

実験装置の概要を図-1に示す。水路は5本あり、各水路とも幅4cm、長さ4mの亚克力樹脂製である。水路勾配は0%から3.5%まで無段階に設定できる。人工下水は、有機系と無機系に分けた濃厚人工

* 建設省土木研究所 (Public Works Research Inst., Ministry of Construction)

下水を水道水で希釈して水路に供給した。

2. 2 実験の条件及び方法

実験は20℃の恒温室において行った。

人工下水組成を表-1に示す。本処理法の前段には、粒子性物質の負荷を下げるために簡易な嫌気性処理槽を設置することを想定しており、下水中の有機物は嫌気性処理により低分子化されと考えられるため、有機基質としては酢酸塩を用いた。酢酸イオン濃度の分析には、液体クロマトグラフを使用した。また、過飽和と水道水の脱気、及び、水路全体にわたって基質を反応律速物質とすることの必要性から、水道水は室内貯留槽において予め曝気し、溶存酸素濃度を飽和値近くに維持したものをを用いた。

水路勾配、供給下水量の条件を表-2に示す。各勾配における実験は、それぞれ約1ヶ月半継続した。実験の最初に、活性汚泥上澄み液により水路への植種を行った。

定期的に水質分析を行い、処理状況及び生物膜の状態が定常とみなせるようになった時点において、流れのトレーサー試験、再曝気試験、生物膜の浮遊分散状態での呼吸速度・基質除去速度試験を行った。なお、生物膜の浮遊分散状態での呼吸速度・基質除去速度試験は、水路勾配が0.035のときのみ行った。

- ①トレーサー試験：ウラニン（5000mg/l）をマイクロピペットで0.05ml基質流入口に投入した後、水路流出部において適度の時間間隔で試料を採水し、試料中のウラニン濃度を測定した。
- ②再曝気試験：窒素ガス曝気によりDOを下げた水道水を水路に流下させ、注射器により水路流出部の流水を採水し、ウィンクラー法アジ化ナトリウム変法により溶存酸素濃度を測定した。
- ③生物膜の呼吸速度・基質除去速度試験：水路から剝離させた生物膜を人工下水中に分散させ、DOびんに封入して、DOメーターでDOの経時変化を測定した。また、混合液の散気攪拌を行いながら、経時的に試料を採取して酢酸イオン濃度の変化を測定した。

3. 研究の結果

3. 1 流れ特性

水路床に生物膜が形成され、定常状態に達したとみなせる状態において、トレーサー試験を行い、平均滞留時間 $\bar{T}$ を求めた。しかし、流出トレーサー濃度は長時間たっても無視しうような低濃度までにならなかったため、 Tt を式（1）のように定義し、 t に対する Tt の変化を求め、 Tt が発散するようになる直前の Tt を平均滞留時間 $\bar{T}$ とした。

$$Tt = \int_0^t C \cdot T dt / \int_0^t C dt \quad (1)$$

ここに、 T ：時間 [T]

C ：流出トレーサー濃度 [M/L³]

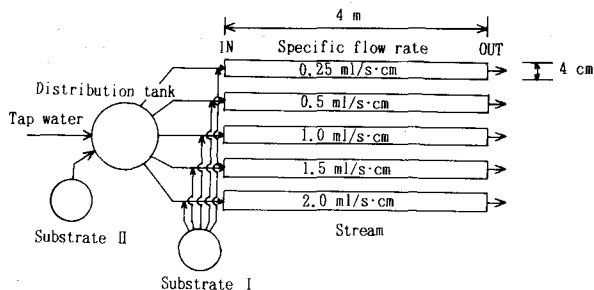


Fig.1 Experimental apparatus

Table 1 Composition of substrate [mg/l]

	Concentration	Concentration	
CH ₃ COONa	40.0	11.7 as C	Substrate I
K ₂ HPO ₄	21.75	9.7 as P	
KH ₂ PO ₄	8.5		
Na ₂ HPO ₄ · 12H ₂ O	44.6		
NH ₄ Cl	10.2	2.7 as N	Substrate II
MgSO ₄ · 7H ₂ O	22.5		
FeCl ₃ · 6H ₂ O	0.25		
CaCl ₂	27.5		

Table 2 Conditions of experiment

Stream gradient [-]	0.005		0.01		0.035	
Specific flow rate [ml/s·cm] [m ³ /day·m]	0.25	0.5	1.0	1.5	2.0	
	2.2	4.3	8.6	13.0	17.3	

平均滞留時間 $\bar{T}$ の求め方を図-2に示す。

流れの抵抗係数 f' 、レイノルズ数 Re を次式により求め、両者の関係を図-3に示した。

$$f' = 2 g I R / \bar{v}^2 \quad (2)$$

$$Re = \bar{v} R / \nu \quad (3)$$

ここに、 I : 水路勾配 $[-]$

ν : 水の動粘性係数 $[L^2/T]$

$\bar{v} = l / \bar{T}$ (l : 水路長 $[L]$)

$R = q / \bar{v}$ (q : 単位幅流量 $[L^2/T]$)

ただし、勾配 $I = 0.01$ のトレーサー試験においては、流出トレーサーのピークはとらえられたものの、トレーサー濃度が十分に低下するまでの計測ができず、式(1)による平均滞留時間を求めることができなかったため、ピーク滞留時間を0.8で割って平均滞留時間とした。

図-3より、生物膜付着水路における流れの抵抗係数は滑面水路のそれよりも大きくなっており、生物膜の粗度による固液接触面積の増加が影響していることがわかる。単位幅流量 $q = 0.25 \text{ ml/s} \cdot \text{cm}$ ($\log_{10} Re = 1.4$)の場合は他の流量に比べて抵抗係数の増加割合が大きい、これは、生物膜が網目状の形態で存在し、水はその網目状の中を流れるような流れであったため、生物膜と水との接触面積が大きくなっていたことによると考えられる。また、勾配 $I = 0.035$ の高流量側で抵抗係数が小さくなっているが、目視観察上は生物膜の粗度には変化が認められなかったが、トレーサー試験において水の流れにいくつかの乱れが認められたことから、水の乱れの発生によるものと考えられる。

3. 2 再曝気特性

生物膜が定常状態にあるとみなせる状態において、水道水流下による再曝気試験を行い、水表面での再曝気の大きさを表す液側酸素移動係数 K_L を、次式により算出した。

$$K_L = -(R/\bar{T}) \cdot \ln((C_{sat} - C_{out})/(C_{sat} - C_{in})) \quad (4)$$

ここに、 K_L : 酸素移動係数 $[L/T]$

C_{sat} : 飽和溶存酸素濃度 $[M/L^3]$

C_{in} : 流入水溶存酸素濃度 $[M/L^3]$

C_{out} : 流出水溶存酸素濃度 $[M/L^3]$

また、滑面水路の酸素移動係数は、浸透モデルを発展させた層流流下液膜への物質吸収のモデル²⁾により計算した。計算式を次に示す。

$$K_L = (R/\bar{T}) (1 - \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cdot \exp[-b_n (2D\bar{T}/3R^2)])$$

ここに、 D : 水中の酸素分子拡散係数 $[L^2/T]$

$\bar{T}$: 平均流下時間 $[T]$

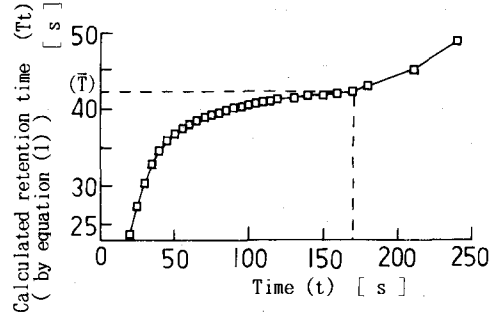


Fig.2 Definition of average retention time ($\bar{T}$)

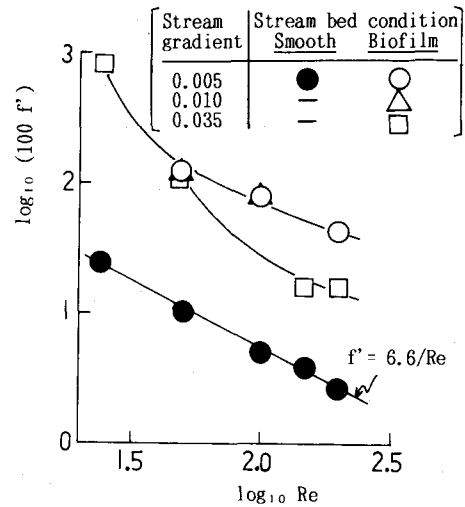


Fig.3 Relationship between Reynolds number (Re) and resistance coefficient (f')

n	a_n	b_n
1	0.7857	5.121
2	0.1001	39.31
3	0.0360	105.6
4	0.0181	204.7

(5)

滑面及び生物膜付着面における、平均流速と酸素移動係数との関係を図-4に、また、その測定値を表-3に示す。生物膜付着水路の酸素移動係数は、ほぼ平均流速で整理でき、また、同じ平均流速に対して、滑面

Table 3 Measured values in oxygen transfer efficiency test

Stream gradient [-]	0.005			0.01		0.035			
Specific flow rate [ml/s·cm]	0.5	1.0	2.0	0.5	1.0	0.25	0.5	1.5	2.0
Influent DO [mg/l]	2.16	2.25	2.18	3.14	3.81	2.63	2.26	3.14	2.86
Effluent DO [mg/l]	3.77	4.43	3.92	4.56	5.95	6.37	5.80	6.41	5.46
Average retention time [s]	255	173	112	200	137	315	128	46.7	42.4
Water depth [cm]	0.32	0.43	0.56	0.25	0.34	0.20	0.16	0.18	0.21
Oxygen transfer coefficient [10 ⁻⁴ cm/s]	3.5	9.9	15.1	3.6	13.9	5.8	11.5	32.9	28.4

水路よりも高い値をとることがわかる。これは、生物膜表面が粗度を持つため、流れに乱れを起こし、酸素移動効果を高めたためと考えられる。勾配 $I=0.035$ の高流量側で特に酸素移動係数が高くなっているのは、図-3の流れの抵抗係数からも推察されるように、流れが乱流への遷移領域にあったためと考えられる。

なお、この再曝気試験では、生物膜の内生呼吸を抑える手段を講じていないため、得られた酸素移動係数 K_L は、純粋な表面曝気量を表すものではなく、表面曝気量から生物膜内生呼吸量が差し引かれた酸素移動量を表す値となっている。

3.3 基質除去特性

図-5に定常状態における流下方向の水質及び水深、生物膜厚変化の一例を示す。基質濃度は微生物代謝により減少を示すが、溶存酸素については、再曝気により酸素が供給されるため基質濃度ほどの大きな変化は示さない。

図-5の流下方向水質変化のグラフから、水路の各地点における酢酸除去速度を求め、その地点における酢酸濃度に対してプロットしたグラフを図-6に示す。単位幅流量 $q = 0.25$ ml/s·cmの点は黒塗りで示しているが、それらの点は、基質濃

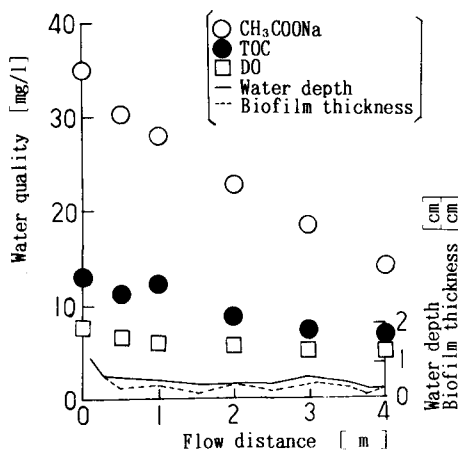


Fig.5 Profile of water qualities, water depth and biofilm thickness along flow direction ($I : 0.035$, $q : 0.5$ ml/s·cm)

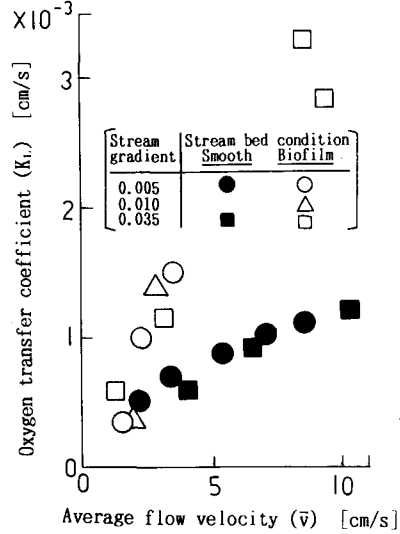


Fig.4 Relationship between average flow velocity and oxygen transfer coefficient

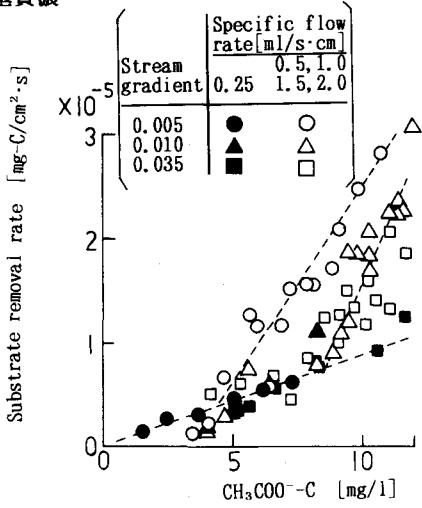


Fig.6 Relationship between substrate concentration and substrate removal rate

度に対する基質除去速度の値が、より高流量での他の実験における点よりも小さい傾向にある。

生物膜を水路の上流端と下流端からはがし、浮遊分散状態において基質除去速度及び呼吸速度を測定したところ、酢酸、溶存酸素ともに時間に対して直線的に減少し、濃度の0次反応となっていた。この浮遊分散状態での基質除去速度と、生物膜が付着した水路全体での基質除去速度との比較を行った。結果を表-4に示す。生物膜状態での基質除去速度は、浮遊分散状態での基質除去速度の7~11%と、かなり小さく、本処理法においては、生物膜への基質移動抵抗が大きいことがわかる。

図-7に、生物膜微生物の、浮遊分散状態における基質除去速度と呼吸速度の関係を示す。図中の呼吸速度は、基質中の炭素が呼吸によって完全酸化されると仮定して、相当する基質炭素消費速度として表している。この図から、水路の上流端生物膜では、基質除去速度が呼吸速度よりも大きく、基質から生体合成を行うような生物種が卓越しているものと考えられるが、水路の下流端生物膜では、基質消費速度が小さいほど、基質消費速度に対する呼吸速度の比が大きくなり、基質を用いて生体合成を行う以外の生物種も存在し、結果的に溶存酸素を多く消費しているものと考えられる。

3. 4 生物生成量

図-8に、実験期間中の、全基質除去量に対する全生物生成量の割合を示す。単位幅流量が大きくなると、生成生物量の割合も大きくなる傾向を示すが、その変化の程度は大きくない。なお、本処理法では、生成された生物体のほとんどがSSとして流出するため、後段には、流出SSの分離装置が必要である。

3. 5 必要水路長の算出

簡易な嫌気性処理を行なった下水を本処理法により処理する場合の、必要水路長を算出する。下水の濃度は $\text{CH}_3\text{COO}^- - \text{C} = 70\text{mg/l}$ 、 $\text{DO} = 0\text{mg/l}$ とし、 $\text{CH}_3\text{COO}^- - \text{C} = 10\text{mg/l}$ まで処理するものとする。酸素移動係数 K_L 及び液側基質移動抵抗は勾配・流量によって一義的に決まるものとし、本実験結果を適用する。

(A) 律速物質の判断

仮定を、「生物膜は均質であり、酢酸と酸素の生物膜内での分子拡散係数の比は、水中での分子拡散係数の比と等しく、除去酢酸のうち一定の割合(0.42)³⁾がエネルギー代謝される」と置き、生物膜による基質除去における律速物質の判断を以下に行なった。

各濃度及び各拡散係数等を、図-9に示すように定義すると、液境膜における $\text{CH}_3\text{COO}^- - \text{C}$ 及び DO のフラックス N_s 、 N_o [$\text{M/L}^2\text{T}$] は、式(6)、(7)で表される。

Table 4 Comparison of substrate removal rates between under the conditions of biofilm and suspended solids

Specific flow rate [ml/s·cm]	Substrate removal rate per unit biomass [mg-C/g-MLVSS·min]	
	Biofilm	Suspended solids
1.0	7.7×10^{-2}	1.1
1.5	1.0×10^{-1}	1.7
2.0	2.0×10^{-1}	1.9

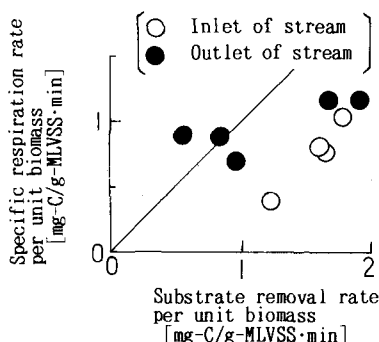


Fig. 7 Relationship between substrate removal rate and respiration rate of microorganisms of biofilm under suspension (stream gradient : 0.035)

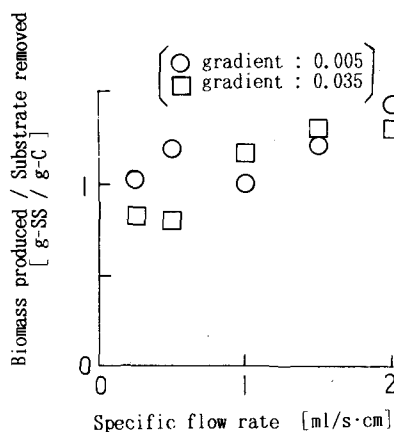


Fig. 8 Ratio of biomass produced to substrate removed

$$N_s = D_s (C_s - C_s^*) / L \quad (6)$$

$$N_o = D_o (C_o - C_o^*) / L \quad (7)$$

ここに、 L : 液境膜厚さ [L]

また、浮遊分散状態での CH_3COO^- -C 及び DO の除去は、濃度に関して 0 次反応であるから、生物膜単位体積当たりの各除去速度 r_{sf} 及び r_{of} は定数となり、生物膜全体での基質除去速度は、生物膜表面での基質濃度の 1/2 次反応で表される¹⁾。さらに、どちらの物質も律速物質ではない、つまり生物膜内の同じ位置で両物質が消費されてしまうような場合には、生物膜全体での基質除去速度は、式(8)、(9)で表される。

$$N_s = (2 D_{sf} r_{sf} C_s^*)^{1/2} \quad (8)$$

$$N_o = (2 D_{of} r_{of} C_o^*)^{1/2} \quad (9)$$

ところで、エネルギー代謝の反応式は、
 $\text{CH}_3\text{COOH} + 2 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$
 で表されるから、酢酸のうちエネルギー代謝される割合が 0.42 という仮定のもとでは、 N_o と N_s の比は式(10)で表される。

$$(N_o / N_s) = 0.42 \times (32/12) = 1.12 \quad (10)$$

また、基質除去反応が 0 次反応であることから、生物膜全体での基質反応量比は、生物膜内の微小部分での基質反応量比に等しいため、

$$(N_o / N_s) = (r_{of} / r_{sf}) = 1.12 \quad (11)$$

一方、拡散係数の比は、式(12)で表される。

$$(D_o / D_s) = (D_{of} / D_{sf}) = 2.27 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s} / 0.96 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s} = 2.36 \quad (\text{各数値は 4)より}) \quad (12)$$

よって、式(10)に式(6)、(7)を代入し、式(12)の関係をを用いると次の関係を得る。

$$(C_o - C_o^*) = 0.474 (C_s - C_s^*) \quad (13)$$

また、式(10)に式(8)、(9)を代入し、式(11)、(12)の関係をを用いると次の関係を得る。

$$C_o^* = 0.474 C_s^* \quad (14)$$

式(13)と式(14)を加えると次式を得る。

$$C_o = 0.474 C_s \quad (15)$$

以上のことより、水中の濃度比が式(15)を満足する場合、基質濃度と溶存酸素濃度は反応量論的に当量であると考えられる。

本実験結果を検討すると、すべての場合で $C_o > 0.474 C_s$ となっており、図-6 の基質除去速度は酢酸濃度で規定されていたと考えられる。ところで、 $C_o < 0.474 C_s$ であるような溶存酸素濃度律速の系では、基質除去速度は溶存酸素濃度により決定されることになるが、このような場合には、図-6 の基質濃度～基質除去速度関係における基質濃度を、式(15)により、反応量論的当量の酸素濃度に置きかえて、溶存酸素濃度と基質除去速度の関係とした。表-5 に、溶存酸素濃度と基質除去速度の関係式、及び各実験条件と溶存酸素濃度～基質除去速度関係式の対応を示した。

(B) 必要水路長の算出

必要水路長の算出を以下の手順で行った。

(1) 溶存酸素濃度分布の算出

水路の上流側では、基質濃度が高く溶存酸素濃度が低いため、溶存酸素濃度により基質除去速度が決定

		In water	Surface of biofilm	In biofilm
Concentration	Substrate Oxygen [M/L ³]	Cs Co	Cs* Co*	Csf Cof
Diffusion coefficient	Substrate Oxygen [L ² /T]	Ds Do	— —	Dsf Dof
Removal rate per unit biofilm volume	Substrate Oxygen [M/L ³ T]	— —	— —	r _{sf} r _{of}

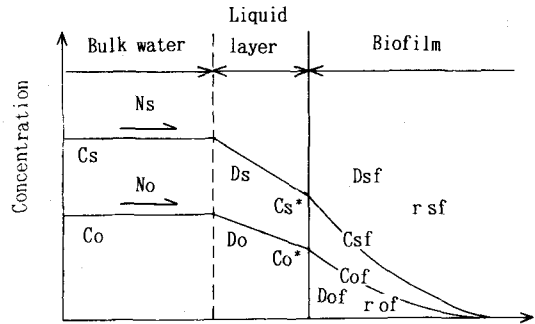


Fig.9 Model of substrate and oxygen removal by biofilm

Table 5 Application of equations of substrate removal rate

Specific flow rate [ml/s·cm]	Stream gradient [-]		
	0.005	0.01	0.035
0.25	Equation (a)		
0.5	Eq. (a) where $0 \leq DO \leq 2$	Eq. (a) where $0 \leq DO \leq 4.1$	
1.0			
1.5	Eq. (b) where $2 \leq DO \leq 5.7$	Eq. (c) where $4.1 \leq DO \leq 5.9$	
2.0			

Equations of substrate removal rate

$$[\text{mg-C/cm}^2 \cdot \text{s}] [\text{mg-C/cm/mg} \cdot 0 \cdot \text{s}] [\text{mg-O/cm}^3]$$

Eq. (a): $N_s = 1.9 \times 10^{-3} \times C_o$

Eq. (b): $N_s = 8.0 \times 10^{-3} \times (C_o - 1.6 \times 10^{-3})$

Eq. (c): $N_s = 1.2 \times 10^{-3} \times (C_o - 3.5 \times 10^{-3})$

されることになる。そこで、まず、流下方向の溶存酸素濃度分布を求めた。流下方向に x 軸を取り、溶存酸素濃度に関する微分方程式を立てると次式ようになる。

$$q(dC_o/dx) = K_L(C_{o, \text{sat}} - C_o) - 1.12N_s(C_o) \quad (16)$$

ここに、 $C_{o, \text{sat}}$: 飽和溶存酸素濃度 $[\text{M/L}^3]$

右辺第一項は、空気中から水への酸素溶け込み速度を表す項であり、右辺第二項は、生物膜による溶存酸素消費速度を表す項である。

$N_s(C_o) = \alpha(C_o - \beta)$ とおき、式(16)を解くと、流下方向の溶存酸素濃度分布が求まる。

$$C_o(x) = B_1(1 - \exp(-A_1x)) + C_{o, \text{in}} \exp(-A_1x) \quad (17)$$

ここに、 $C_{o, \text{in}}$: 流入水溶存酸素濃度 $[\text{M/L}^3]$

$$A_1 = (K_L + 1.12\alpha)/q$$

$$B_1 = (K_L C_{o, \text{sat}} + 1.12\alpha\beta)/(K_L + 1.12\alpha)$$

式(17)より、長い距離流下後の平衡溶存酸素濃度は、 B_1 となることがわかる。表-3の酸素移動係数と表-5の溶存酸素濃度～基質除去速度関係の式(a)を用いると、平衡溶存酸素濃度は表-6のようになる。表-6の線で囲ったケースは、平衡溶存酸素濃度の値が小さいため、溶存酸素濃度～基質除去速度関係が、式(a)だけで表されるものである。なお、このケースでは、処理水の基質濃度に比べて溶存酸素濃度が反応量論的に小さいため、水路全体にわたって溶存酸素濃度律速であり、基質濃度律速には移行しなかった。

(2) 基質濃度分布の算出

求められた溶存酸素濃度分布を用いて、流下方向基質濃度分布を求めた。式(17)の溶存酸素濃度分布 $C_o(x)$ を、式(a)の溶存酸素濃度～基質除去速度関係に代入すると、基質除去速度分布 $N_s(C_o(x))$ が求まり、基質除去に関して次の微分方程式が立てられる。

$$q(dC_s/dx) = -N_s(C_o(x)) \quad (18)$$

式(18)を解くと、流下方向の基質濃度分布が次式のように求まり、設定処理水基質濃度に達する水路長を求めることができる。

$$C_s(x) = B_2(1 - \exp(-A_1x)) - B_3x + C_{s, \text{in}} \quad (19)$$

ここに、 $C_{s, \text{in}}$: 流入水基質濃度 $[\text{M/L}^3]$

$$B_2 = B_1\alpha/A_1q, \quad B_3 = \alpha(B_1 - \beta)/q$$

ところで、表-6の線で囲まれていない勾配 $I = 0.035$ の高流量側のケースでは、流下による溶存酸素濃度上昇のため、水路のある地点において、溶存酸素濃度～基質除去速度関係が、表-5の式(a)から式(c)へ移行する。このため、移行点までは、上述の方法により溶存酸素濃度分布及び基質濃度分布を求め、移行点以降は、移行点における距離・溶存酸素濃度・基質濃度を初期条件として、式(17)、(19)で表される溶存酸素濃度分布式及び基質濃度分布式に、直線(c)の溶存酸素濃度～基質除去速度関係式を代入して、

Table 6 Equilibrium DO of the process

Specific flow rate [ml/s·cm]	Stream gradient [-]		
	0.005	0.01	0.035
0.25	—	—	1.9
0.5	1.2	1.3	3.1
1.0	1.5	3.5	—
1.5	—	—	5.4(4.6)
2.0	1.8	—	5.1(4.4)

流下方向溶存酸素濃度分布及び基質濃度分布を求めた。このケースにおける、長い距離流下後の平衡溶存酸素濃度を、表-6の()内に示すが、この場合も溶存酸素濃度が処理水基質濃度に比べて反応量論的に小さく、酸素濃度律速となっていた。

表-7に $\text{CH}_3\text{COO}^- - \text{C}$ 濃度 $70\text{mg}/\ell$ を $10\text{mg}/\ell$ まで処理するのに必要な水路長を示す。同一勾配では流量が増えるとともに必要水路長も増大し、同一流量では勾配が増大するとともに必要水路長は短くなる傾向にある。

各運転条件間での比較を、 $10\text{ml}/\text{日}$ の排水を処理するのに必要な水路面積で行った。これを表-8に示す。これから、勾配 $I = 0.005$ の場合は処理に大きな面積を必要とするが、勾配 $I = 0.035$ の高流量側において、他のケースに比べて必要面積が小さくて良いことがわかる。

ところで、溶存酸素濃度は水路流下において比較的すみやかに平衡値に達するため、水路全体での基質除去速度は、酸素移動係数の大きさと、溶存酸素濃度に対する基質除去速度の大きさで決まる。本実験においては、勾配 $I = 0.035$ の高流量側について、酸素移動係数が大きく、しかも、平衡溶存酸素濃度に対する基質除去速度が高かったため、このように基質除去の点で有利な結果が出たものと考えられる。

Table 7 Stream lengths required for the treatment [m]

Specific flow rate [ml/s·cm]	Stream gradient[-]		
	0.005	0.01	0.035
0.25	—	—	43
0.5	132	124	52
1.0	210	92	—
1.5	—	—	75
2.0	358	—	121

Table 8 Stream areas required for the treatment of $10\text{m}^3/\text{d}$ of anaerobically treated sewage [m^2]

Specific flow rate [ml/s·cm]	Stream width[m]	Stream gradient[-]		
		0.005	0.01	0.035
0.25	4.6	—	—	199
0.5	2.3	305	286	120
1.0	1.2	244	107	—
1.5	0.77	—	—	58
2.0	0.58	208	—	70

4. まとめ

水路薄層流処理法について、人工下水を用いた処理実験を行ない、以下の結果を得た。

- (1) 生物膜付着水路の流れの抵抗係数は、水との接触面積の増加により、滑面水路のそれよりも大きくなった。
- (2) 生物膜付着水路の酸素移動係数は、平均流速で整理でき、また、同じ平均流速に対して、滑面水路のそれよりも大きくなった。
- (3) 基質除去速度は、反応律速物質である基質濃度の関数として表された。
- (4) 液側から生物膜への基質移動に関する抵抗が大きいと、浮遊分散系に比べて基質除去速度が小さくなっていた。
- (5) 処理によって生成された生物体は、処理水中にSSとして流出するため、後段でのSS分離が必要である。
- (6) 下水処理に必要な水路面積を計算したところ、本実験ケースの、高勾配・高単位幅流量側で小さくなった。これは、主に、酸素移動係数が大きかったためである。

参考文献

- 1) P.Harremoës: Biofilm Kinetics. Water Pollution Microbiology Vol.2, John Wiley & Sons, 1978
- 2) 平岡正勝等: 移動現象論、朝倉書店、P-109, 1971
- 3) P.L.McCarty: Stoichiometry of Biological Reactions. Presented at the International Conference "Toward a Unified Concept of Biological Waste Treatment Design", Atlanta, Georgia, P-13, October, 1972
- 4) 小林清志等: 移動論、朝倉書店、P-197, 1989