

九州大学 正員 栗谷陽一

学生員 〇山崎惟義

I まえがき

活性汚泥法においては曝気槽内の酸素濃度が $0.1 \sim 1$ ppm以上あれば、基質除去速度に対して酸素濃度が影響しない。又散水汚床法においては有効厚さは $2 \sim 3$ mmである。つまり上記の程度では、酸素がブロック内へあるいは生物膜内へ十分に供給されている。という事が実験的に言われている。ではどのようなメカニズムで酸素が供給されているのであろうか。本研究は底層汚泥内への酸素の供給のメカニズムについて若干の検討を行なおうとしたものである。

II 理論的考察

底層汚泥内への酸素の供給のメカニズムとして考えられるものには、1 分子拡散、2 浸透流、3 浸透流による拡散、の3つが考えられる。この3つについて考えてみる。

1 分子拡散による酸素の供給

汚泥層内での酸素の分子拡散係数は水中でのそれに等しい。単位体積あたりの汚泥の酸素消費速度は時間と場所に関して不変であるとする。酸素の供給される深さは消費と拡散による供給のバランスから次の様になる。

$$h_0 = \sqrt{2 D C_s / K} \quad (1)$$

h_0 ; 酸素の供給される深さ、 D ; 分子拡散係数、 C_s ; 汚泥表面での酸素濃度、 K ; 単位体積の汚泥の酸素消費速度

2 浸透流による酸素の供給

図1において上層流は層流であり速度分布は方物型であるとすると、底面に及ぼす圧力 P は

$$P = P(x=0) - 3 \nu \bar{u} x / g H^2 \quad (2)$$

$\bar{u}$; 平均流速、 H ; 水深、 $P(x=0)$; $x=0$ での圧力

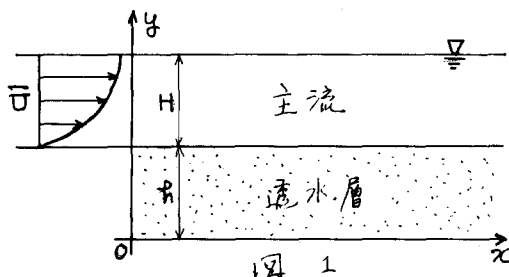
透水層ではダルシーの法則が成立するとすると、流れは二次元の速度ポテンシャルで表わす事ができる。

速度ポテンシャルを ϕ 、流れ函数を ψ とすると、1式の圧力を用いて

$$\phi = \frac{3 \nu \bar{u} R}{g H^2} \left\{ x + \frac{8 R}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{(2n-1)^2} e^{-\frac{(2n-1)\pi x}{2R}} \cos \frac{(2n-1)\pi y}{2R} \right\} \quad (3)$$

$$\psi = \frac{3 \nu \bar{u} R}{g H^2} \left\{ y - \frac{8 R}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{(2n-1)^2} e^{-\frac{(2n-1)\pi x}{2R}} \sin \frac{(2n-1)\pi y}{2R} \right\} \quad (4)$$

R ; 透水係数、 R ; 透水層の厚さ 単位体積あたりの汚泥の酸素消費速度と K とすると、ある流線にそっての酸素濃度 C は $C = C_s - K \int \frac{1}{v} ds$ C_s ; 汚泥表面での酸素濃度、 v ; 流速、 S ; 流線にそって長さ によって表わされこれは式4を用いて



$$C = C_s - K \int_{\psi=\text{const}} \left| \frac{\partial x}{\partial \phi} \frac{\partial y}{\partial \psi} - \frac{\partial x}{\partial \psi} \frac{\partial y}{\partial \phi} \right| d\phi \quad (15)$$

3 浸透拡散による酸素の供給

浸透流速に於いて垂直な方向の拡散については、プラスチックの球をつめた透水層についての実験(1)によると、拡散係数は空隙流速 u の函数として $D = 0.1 u d$ d : 球の直径、と与えられている空隙速度 U にあつと、 $D = 0.1 U / \epsilon d$ これを式1に代入して浸透拡散による酸素の供給深さ h_0 は

$$h_0 = \sqrt{0.2 \pi d C_s / \epsilon K}$$

III 実験と実験装置

浸透、浸透拡散を主に考えて酸素の供給に関する実験をメチレンブルーを酸素の指示薬として用いて行なった。

1 実験に用いた活性汚泥

表1に示した合成下水を1日あたり汚泥1.6 kg に与えて馴化したものをを用いた。メチレンブルー (10^{-4}g/gss) を与えて30分間沈澱させ上澄水を取り除いた汚泥について実験を行なった。

2 ワールブルグ検圧計による酸素消費量の測定

ワールブルグ検圧計を用いて1の沈澱汚泥1 ml についてあたりの酸素消費量他の実験と同時にこ行なった。

3 透水係数の測定

図2の装置を用いて浸透係数の測定を行なった。図2において電極Bは固定であり電極が水からはなれるとポンプが作動して水位を上げ、水と接触するとポンプを止める事によって水面Bを一定に保った。電極Aが水に接触すると注射器が吸入作動し、水から離れると止まる。これは上下方向に可動であり動かし長さを正確に測定できる様にした。電極Aを静水位の位置から適当な深さまで下げる事によって電動注射器を吸入作動させA Bにhead 差をつける。注射器の吸入量によって流量を測定した。流量、断面積、head 差、汚泥層の厚さを測定して透水係数を求めた。

4 水路に沈澱させた汚泥内への酸素の供給の測定

図3の装置によって底層汚泥内への酸素の供給を測定した。1の汚泥を水路の凹部に沈澱させその上に酸素飽和水を流した。一定時間以上流すと図3の様にメチレンブルーが脱色された部分と着色した部分の厚さが一定になる。これは流れから底層汚泥への酸素の供給と汚泥内での酸素の消費とがバランスして酸素の供給厚さが一定になったにためである。この実験では流速を変えて一定時間お

ヘプトン	24 g
肉エキス	16 .
グルコース	56 .
KH ₂ PO ₄	0.06 .
NaH ₂ PO ₄ · 12H ₂ O	4 .
NaCl	1.6 .
KCl	0.8 .
CaCl ₂	0.8 .
MgSO ₄	0.56 .
FeCl ₃ · 6H ₂ O	0.4 .

表1

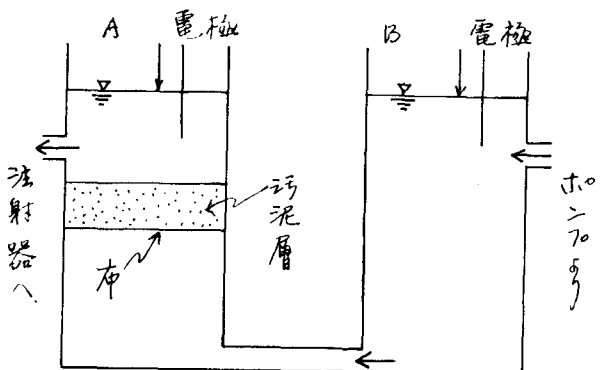


図 2

きに酸素の供給厚さと測定した。なお流速は1〜3 cm/sec $Re_{100} \sim 800$ 水深Hは1cmであった。
 と浸透による酸素の供給の測定

図4に示した装置により実験を行なった。電極Bは実験3の電極Bと同じであり水面Bは一定に保たれる。又AとBは図の様にパイプで連結されているので水面Aも一定である。Aの汚泥層の下の水を図の様に注射針でしほってパイプにより流出させる。注射針の高さを変える事によって流量と変えた。汚泥は1のものである。浸透による酸素の供給と汚泥による酸素の消費によってメチレンブルーの脱色部と着色部が図の様にできた。流量を変えに実験について定常になった時(流量を変えて1時間後)の着色部の厚さを測定した。又流量は注射針から出てくる水を受皿で受けてその量を測定した。

IV 実験結果

水路断面

1 ワールフルトによる酸素の消費量

1つの測定に3〜4ヶの測定を行なった。
 その結果を表2に示す。

2 透水係数

この実験では $K = 0.072 \text{ cm/sec}$
 $K = 0.07 \text{ cm/sec}$ の値がでた。

3 水路実験

この実験の流速の範囲ではメチレンブルーの着色部の厚さは流速にほとんど関係なく一定で1.5〜2mm であった。

4 浸透流による酸素の供給

浸透流速と酸素の供給厚さとの関係は表3のようになった。これを横軸に流量、縦軸に酸素の供給厚さとして図5に示す。

V 考察

1 分子拡散による酸素の供給厚さ

ワールフルトによる汚泥の酸素消費速度から $K = 50 \text{ ml/hr cm}^3$ C_s に飽和酸素濃度を代入して n と計算すると

$$n = \sqrt{3 \times 10^{-6}} = 1.7 \times 10^{-3} \text{ cm.}$$

2 浸透流による酸素の供給

酸素の供給厚さが小さくて酸素の供給される範囲で垂直方向の流速は変わらないとすると、酸素の供給厚さ n は $C_s v / K$ となり、垂直方向の流速、式4によって $y = n$ となり汚泥表面での v は

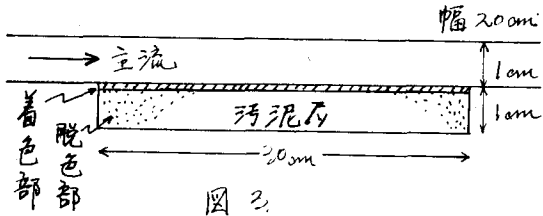


図 3.

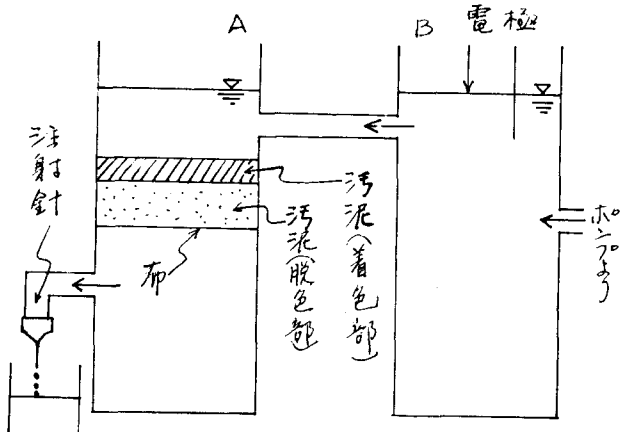


図 4.

実験番号	流速	酸素供給厚さ	実験番号	I	II	III	IV	平均値
	cm/hr	mm	1	48.9	38.5	39.1		42.2
7	0.76	1	2	39.8	45.3	41.8	44.7	42.9
	0.93	3	3	45.2	46.3	42.4	42.8	44.2
	1.56	4	4	45.0	46.4	45.2	45.7	45.6
	2.57	5	5	55.6	50.5	54.7	48.7	52.4
	3.63	11	6	26.9	27.6	27.1	28.4	27.5
8	0.42	3	7	48.2	40.3	45.5	42.9	44.2
	0.84	4	8	45.6	40.6	44.9		43.7
	1.39	5						
	2.24	7						

← 表 3

表 2. $\mu\text{l/hr}$

$$v = -\frac{\partial \psi}{\partial x} \Big|_{y=h}$$

$$= -\frac{12 \nu \bar{u} k h}{\pi g H^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{-\frac{(2n-1)\pi x}{2h}}}{2n-1}$$

したがって

$$h_0 = \frac{12 \nu \bar{u} k h C_s}{\pi g k H^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{-\frac{(2n-1)\pi x}{2h}}}{2n-1}$$

これに $k = 50 \mu\text{l}/\text{Ar cm}^3(\text{SS})$, $\bar{u} = 1 \text{ cm/sec}$

$H = 1 \text{ cm}$, $h = 1 \text{ cm}$, $k = 0.07 \text{ cm/sec}$, $C_s = 9 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ を代入すると

$$h_0 = 1.1 \times 10^{-3} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{-\frac{(2n-1)\pi x}{2h}}}{2n-1} \quad (\text{cm})$$

これを図6に示す。図6にはx軸を同じにとりて大体の流線を示した。これでは h_0 は 10^{-3} cm のオーダーである。

3 浸透拡散による酸素の供給

2と同様にx方向の流速 u を求める

と $u = 10^{-6} \bar{u} = 10^{-6} \text{ cm/sec}$ $d = 10^{-2} \text{ cm}$

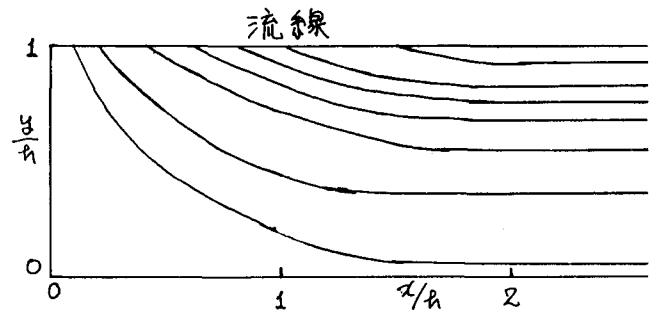
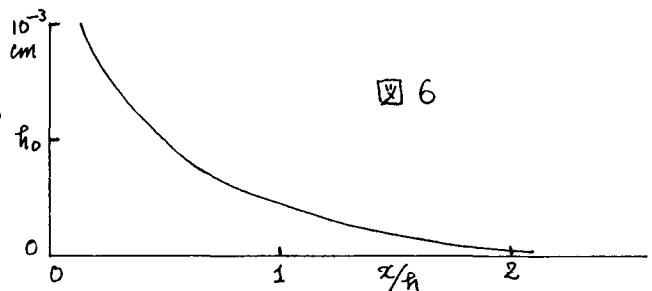
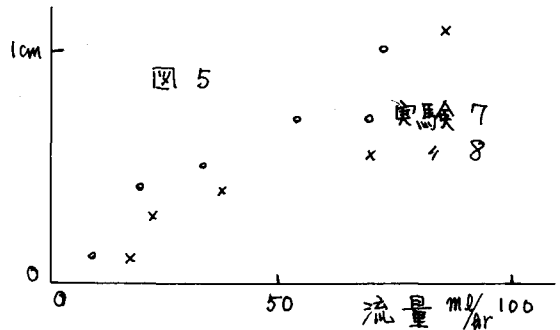
$\varepsilon = 0.36$ としても式6に代入すると

$$h_0 = \sqrt{10^{-8}} \text{ cm} = 10^{-4} \text{ cm}$$

となり分子拡散よりも小さな値となる。

以上述べた理論では水路実験での酸素の供給厚さが $1.5 \sim 2 \text{ mm}$ になる事を全く説明できない。又この実験においては一度沈澱させて上澄水を取除き濃い汚泥をかき混ぜて実験に用いているため底層汚泥の表面構造が内部と異なっているという事も考えられたい。又汚泥の構造のサイズ

に比して $1 \sim 2 \text{ mm}$ というのは問題外に大きな値である。この様に一般には活性汚泥においては $2 \sim 1 \text{ ppm}$ の酸素濃度以上あれば酸素は充分供給されているし、散水汚床法ではその酸素の供給厚さが $2 \sim 3 \text{ mm}$ と言われているが、前述の常識的な考え方では全く説明できない。したがってこれには何か特異なメカニズムが存在するのではなかろうかと考えられる。



参考文献 (1) Longitudinal and lateral dispersion in an isotropic porous medium
by D.R.F. HARLEMAN AND R.R. RUMER