

九州大学工学部 正 員 栗谷陽一

〃 桐岡洋子

〃 学生員 山崎惟義

はじめに：底層汚泥による表面水中基質の酸化については、種々の実験研究が行われているが、基質の減少速度と酸素及び基質の汚泥中への拡散との関係についてはあまり知られていない。ところが底層汚泥の酸化作用においては、曝気槽内と異なり、拡散が重要な問題と考えられる。本報告では特に拡散による、基質及び酸素の供給と汚泥によるこれらの物質の消費との関係に重点を置いて検討した。

理論：b. a. t. c. 式の底層汚泥による表面水中基質の酸化の実験を行うと、基質濃度は時間とともに減少する。基質の減少量は、表面水中で反応が起るなるとすると、汚泥表面を通って内部への拡散量に等しい。拡散は汚泥中での物質の消費によって生ずる濃度勾配によって行なわれる。この消費は酸素の供給に影響を与える所が大であり、したがって基質及び酸素の拡散を同時に考えなくてはならない。ここで、底層汚泥中での反応は一次反応である。(2) 基質の減少速度は少しでも酸素があると、酸素濃度の影響を受けない。なる仮定をすると以下の理論が成立する。

汚泥表面から深さ x の面の基質濃度 L 及び酸素濃度 C は次式で与えられる。

$$\frac{\partial L}{\partial t} = D \frac{\partial^2 L}{\partial x^2} - K L \quad \dots (1) \quad \frac{\partial C}{\partial t} = D_c \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - K L \quad \dots (2)$$

ここに D, D_c は汚泥中の基質及び酸素拡散係数、 K は基質及び酸素の反応速度定数。

汚泥内部での反応速度に比べて表面水中の基質濃度 L_0 及び酸素濃度 C_0 の減少速度は非常に小さいから汚泥内部では供給と消費との間に平衡状態が成立していると考えられる。したがって $dL/dt = 0$ と取り(1)及び(2)は次の様になる。

$$D \frac{d^2 L}{dx^2} - K L = 0 \quad \dots (3) \quad D_c \frac{d^2 C}{dx^2} - K L = 0 \quad \dots (4)$$

L 及び C は(1)嫌気性状態が現われる場合、(2)嫌気性状態が現われる場合、について仮定より図-(1) 図-(2)の様に示す。この条件の下に式(3)、式(4)を解き汚泥の単位表面を通って単位時間内に拡散する量 $D \left(\frac{dL}{dx} \right)_{x=0}$ を求める。

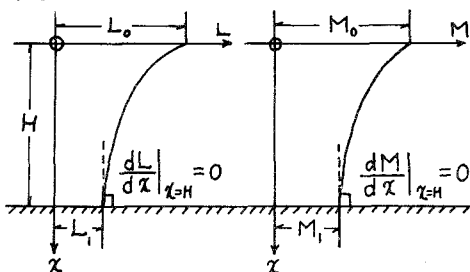


図-(1)

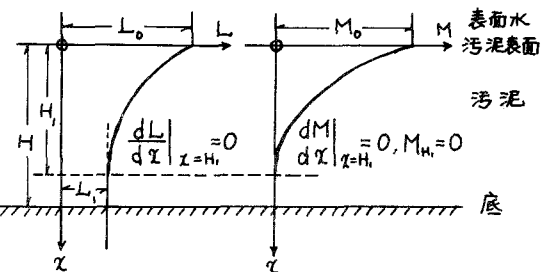


図-(2)

め: $x=0$ では表面水中の基質濃度 L_0 に等しく $L=L_0$, $x=H$ では, それ以下には基質は拡散されたりから, $dL/dx=0$ とする。酸素不足を生じないからこの条件により (4) を考えずに (3) を解くと

$$L = \frac{L_0 \cosh \sqrt{\frac{K}{D_L}}(H-x)}{\cosh \sqrt{\frac{K}{D_L}} H}, \quad D_L \frac{dL}{dx} \Big|_{x=0} \text{ を求める}$$

$$D_L \frac{dL}{dx} \Big|_{x=0} = -L_0 \sqrt{\frac{K}{D_L}} \tanh \sqrt{\frac{K}{D_L}} H, \quad \phi_1 = -\frac{D_L}{L_0 \sqrt{\frac{K}{D_L}}} \frac{dL}{dx} \Big|_{x=0} \text{ とおくと}$$

$$\phi_1 = \tanh \sqrt{\frac{K}{D_L}} H \quad (5)$$

四: $x=H_1$ 以下では酸素不足のため基質は酸化されず L は一定の値になる。このため $x=H_1$ で $dL/dx=0$ とする。又 $x=0$ では (4) と同様 $L=L_0$ である。この条件により (3) を解くと

$$L = \frac{L_0 \cosh \sqrt{\frac{K}{D_L}}(H_1-x)}{\cosh \sqrt{\frac{K}{D_L}} H_1} \quad \text{これを(4)に代入して} \quad \begin{matrix} x=0 \text{ で } C=C_0 \\ x=H_1 \text{ で } C=0 \text{ } \frac{dC}{dx}=0 \end{matrix} \text{ の条件の下に } C \text{ を求める}$$

と,

$$D_C C = \frac{K D_L L_0 \cosh \sqrt{\frac{K}{D_L}}(H_1-x)}{K \cosh \sqrt{\frac{K}{D_L}}} - \frac{K}{K} D_L L_0 \left(1 - \frac{K D_C C_0}{K D_L L_0}\right)$$

ここで $x=H_1$ とおくと

$$\cosh \sqrt{\frac{K}{D_L}} H_1 = \frac{1}{1 - (K D_C C_0 / K D_L L_0)} \quad \text{とするとこれにより } H_1 \text{ を定めて } D_L \frac{dL}{dx} \Big|_{x=0} \text{ を求めると}$$

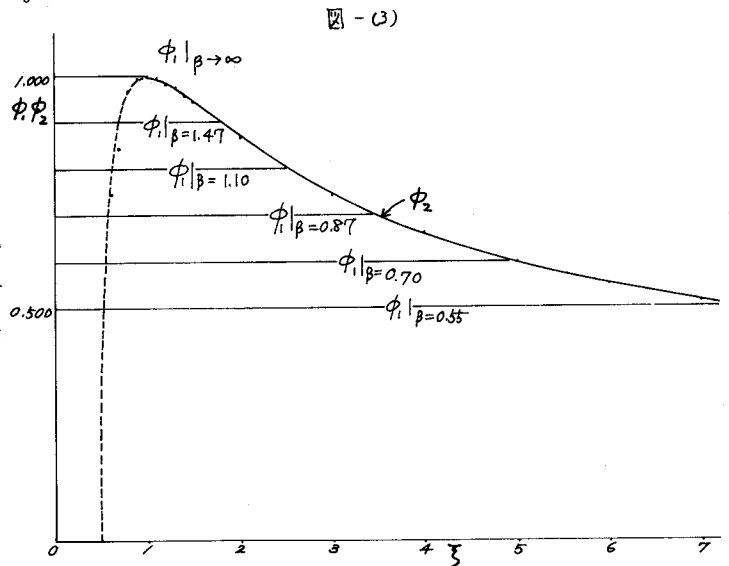
$$D_L \frac{dL}{dx} \Big|_{x=0} = -L_0 \sqrt{\frac{K}{D_L}} \tanh \sqrt{\frac{K}{D_L}} H_1 \quad \text{とすると} \quad \phi_2 = -\frac{D_L}{L_0 \sqrt{\frac{K}{D_L}}} \frac{dL}{dx} \Big|_{x=0} \text{ とおくと}$$

$$\phi_2 = \tanh \sqrt{\frac{K}{D_L}} H_1 \quad (6) \quad \text{ここで } \xi = \frac{K D_L L_0}{K D_C C_0} \text{ とおくと(6) は}$$

$$\phi_2 = \sqrt{1 - \left(1 - \frac{1}{\xi}\right)^2} \quad (6') \quad \text{とすると。}$$

ϕ_1, ϕ_2 のグラフは図(3)の通りである

。 ϕ_1 のグラフは H のみに関係し ξ に対しては一定の値をとる。 ϕ_2 のグラフにおいて, $\xi=1$ では $\cosh \sqrt{\frac{K}{D_L}} H_1 = 1$ となり $H \rightarrow \infty$ となる。 $\xi < 1$ においては $\cosh \sqrt{\frac{K}{D_L}} < 0$ のような H は存在しない。故に $\xi < 1$ に対しては ϕ_2 は考えられない。ある H の値の ϕ_1 と ϕ_2 が交わる ξ の値に対しては, $\tanh \sqrt{\frac{K}{D_L}} H = \tanh \sqrt{\frac{K}{D_L}} H_1$ となり, $H = H_1$ である。それより小さい ξ の値では $H > H_1$ となり図(1)に相当する



したがって $(D/L\sqrt{K}) dL/dx(x=0)$ は H_1 にしたがる。又それより大きな値では $H < H_1$ となり
 図(4)に相当する。したがって $(D/L\sqrt{K}) dL/dx(x=0)$ は H_2 にしたがる。

実験：実験装置と図(4)に示す。

(1) 反応槽：プラスチック製で図の様に底に汚泥を堆ごんせ、表面水として強化希釈水を入れ、表面水中に基質を入れて反応させる。

(2) 保温槽：プラスチック製で水を入れ槽内のヒーターで温度を上げ反応槽の温度を一定に保つ。

(3) サーモスイッチ：反応槽内におき保温槽内のヒーターと接続して反応槽の温度を一定に保つ。

(4) ヒーター：室温は全実験期間を通じて 20°C 以下であったので、保温はヒーターによって行なった。

(5) 曝気：金魚バチ用のベビーコンプレッサーと散気装置を用いて 1 l/min の空気を反応槽内に送って曝気を行なった。DOメーターによってDOを測定したがほとんど飽和していた。

この実験に用いた汚泥は1967年11月に福岡中央下水処理場の反送汚泥を採取しこれを約1年間 $SS\ 28.4\text{ ppm}$ に対して脱脂乳 2000 ppm/day で培養馴化したものを用いた。成分は表(1)に示す通りである。

実験は次の手順で行なった。

(1) 前日から基質を加えずに曝気を行なっていた汚泥を一定量反応槽に入れる。全量が 11.2 l になる様に希釈水を入れ、充分かくはんし汚泥が均一に沈ごんする様にする。(2) 基質として脱脂乳を 100 ml の希釈水にけんたくさせ、沈ごん汚泥を乱さぬ様に反応槽に投入する。(3) 反応槽より一定時間おきに採水しCODを過マンガン酸カリウム法によって測定する。

馴化した汚泥の性質	
MLSS	28.41 g/l
MLVSS	22.99 g/l
熱灼残留物	5.42 g/l
沈ごん率	84.69%
沈ごん30分	846.9 ml
SVI	29.8
SDI	3.36

表-1)

以上の実験を基質濃度、汚泥量を変えて行なった。又別に連続的に脱脂乳を加えて表面水中基質濃度が一定になって投入をやめその後のCODを測定する実験を行なった。これは吸着が酸素を消費せず基質濃度を減少させるため前述の理論があてはまらない場合が生ずる可能性があったためである。

実験結果：CODの減少と時間とをグラフにすると図(5)のようになる。実線は一度に脱脂乳を投入したときのグラフ破線は連続的に脱脂乳を投入したときの曲線である。この二つから吸着作用はこの実験では反応速度に影響を与えないという事が言える。最終的に分解されると思われるCOD量を差し引いて片対数用紙にプロットして

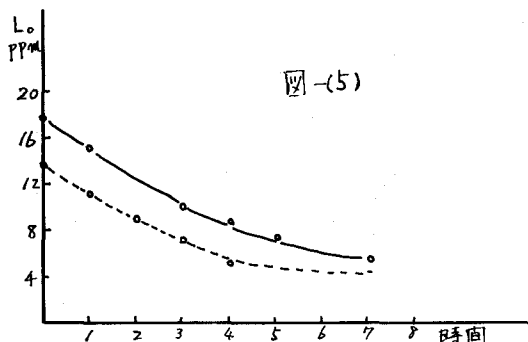


図-5)

れによってCODの半減期 T を求め、

$\frac{1}{L_0} \left(\frac{dL_0}{dt} \right) = \ln 2 / T$ を求めると表(2)のようになる。

考察と結論： $\frac{1}{L_0} \left(\frac{dL_0}{dt} \right)$ を縦軸に、 L_0 を横軸にとってグラフを描くと、図(6)のようになる。これによると大体の傾向として、 H : const の曲線は $L_0 < 25 \text{ ppm}$ では $\frac{1}{L_0} \left(\frac{dL_0}{dt} \right)$ は L_0 に関係なく一定である。 $L_0 > 25 \text{ ppm}$ では H に関係なく L_0 の増大とともに減少する。これらの事は次のように考えられる。

$L_0 < 25 \text{ ppm}$ では L_0 が低くなって内部の基質濃度がこれに比例して低くなってゐるために、汚泥中の酸素はあまり消費されず、 L_0 の減少速度に影響を与えない。したがって $\frac{1}{L_0} \left(\frac{dL_0}{dt} \right)$ は汚泥の厚さのみに関係している。又基質の

拡散量と消費量は L_0 に比例してゐるため、 $\frac{1}{L_0} \left(\frac{dL_0}{dt} \right)$ は一定となる。 $L_0 < 25 \text{ ppm}$ では L_0 が大きく酸素の消費が大であるため、酸素はある深さ以下には達しない。したがってその深さ以下の汚泥は L_0 の減少速度に影響を与えない。つまり $\frac{1}{L_0} \left(\frac{dL_0}{dt} \right)$ は H に関係しない。又酸素不足によって dL_0/dt が酸素の供給速度によって頭打ちになるため L_0 の増大とともに $\frac{1}{L_0} \left(\frac{dL_0}{dt} \right)$ は減少する。

理論式において、汚泥表面から内部への拡散による単位面積あたりの基質の移動を ff とすると、

$$ff = D_L \frac{dL}{dz} \Big|_{x=0} \quad \phi = \frac{D_L}{L_0 \sqrt{K_L}} \frac{dL}{dx} \Big|_{x=0} \quad \frac{1}{L_0} \frac{dL_0}{dt} = 0$$

であるから ff と ϕ との関係は

$$\phi = \frac{ff}{L_0 \sqrt{K_L}} \quad ff = \frac{A d L_0}{V dt} = h \frac{d L_0}{dt}$$

A : 汚泥の表面積、 V : 表面水の体積

h : 表面水の水深、である。

$(K'D_L/KD_0) = 1.5$, $\sqrt{K_L} = 3.62$ と仮定して、

(5), (6) の曲線を図-6に示す。 $(K'D_L/KD_0)$

$\sqrt{K_L}$ の値が正確に出ていないため定量的な事は言えないが以上から仮定(1), (2)

と図(1), (2)とを考へる事によって表面水中基質の減少速度が酸素と基質の拡散と汚泥中での消費に支配されるという事ができる。

実験 番号	汚泥の 深さ CM	L_0 PPM	半減期 時間	$\frac{1}{L_0} \frac{dL_0}{dt}$ 1/時間	差引いた COD PPM
1	2	60	7.3	0.095	4.0
2	2	23	3.0	0.2310	3.15
3	2	28	2.1	0.330	2.44
5	2	12	3.1	0.224	2.2
8	1	23	3.3	0.210	3.2
9	1	10	3.5	0.198	0.48
10	1	48	5.0	0.139	2.7
11	0.6	12	13.5	0.051	0
13	0.6	49	8.4	0.083	2.9
14	0.6	22	3.35	0.2069	4.3

表 - 2

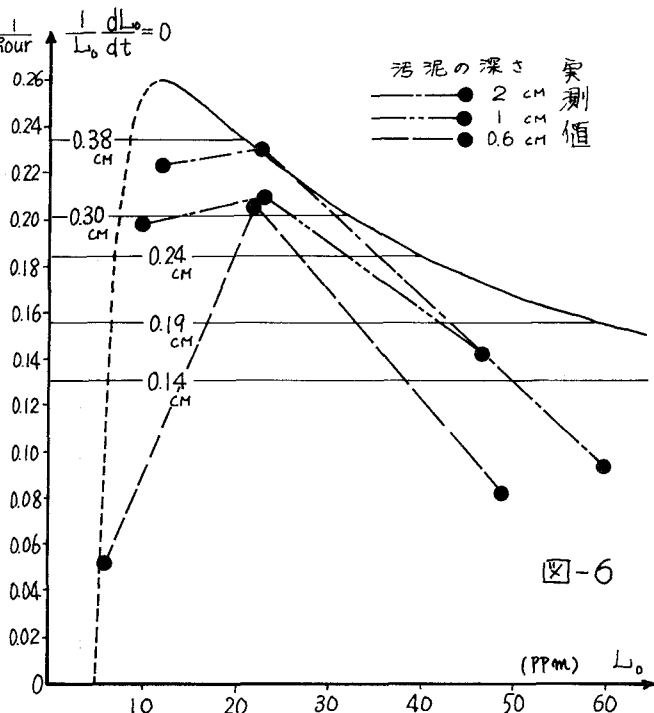


図-6