

1. はじめに

活性汚泥法に関する研究において、浄化の本質に触れる微生物反応自体の究明はもちろん必要であるが、本法による汚水処理過程を一つの反応系としてとりあつかえば、その系において物質平衡が成立しているはずであり、したがって系の物質平衡という巨視的立場から浄化機構を取り扱うことも可能と考えられる。

本研究においては、押し流れ型のアレーションタンクをもつ活性汚泥法を対象として、総BOD物質の反応系内平衡を解析し、また、その結果を応用して、アレーション時間、汚泥返送量等の処理場操作条件と浄化効率との基礎的関係を明らかにした。

2. BOD物質の挙動

まず、BODの意義について考えてみると、対象水中の細菌と栄養有機物とが共存している場合、この水のBODは栄養物の生物酸化で消費された酸素量と細菌の内呼吸により消費された酸素量之和として測定されるが、後者が前者に比較して無視できなければ、測定されたBOD値をそのまま栄養物質濃度とみることはできない。

活性汚泥法によるBOD除去効果の判定はアレーションタンク流入水、最終沈殿池流出水それぞれのBODを比較して行なわれる。一般に、流入下水中にはすでに相当量の細菌が存在していると考えられており、また、最終沈殿池において固液分離を行なっても、細菌を完全に分離できないから、流出水中の細菌量も無視できない。したがって、この場合の判定は栄養物、細菌を含め、酸素消費物質（以下BOD物質と呼ぶ）がどの程度除去されたかということとみていゝわけであり、細菌の代謝に利用された栄養物量を問題にしていゝのではない。

処理水放流先水域の溶存酸素減少を防止することが下水処理の目的であれば、処理効率の指標としてBODをとることは適切であり、また、栄養物あるいは細菌のいずれであっても、酸素を消費する物質であれば、それを除去しなければならぬ。

一方、細菌といつても有機物に変わりはなく、したがって、エネルギー生産の比喩的酸化は別として、合成比では単に細菌原形質に転換されただけであらう、有機物の除去とはいえないという議論も成立する。

いずれにしても、組成が複雑な下水を対象に栄養有機物と細菌とを分離定量することは困難であり、以上のような下水処理の目的がBOD物質の除去にあると割り切つて考えれば、細菌および栄養物を一括して取り扱うことが实际的と考えられる。

すでに報告した¹⁾、東京都立地下下水処理場の流入下水および活性汚泥をいろいろな割合に混合した泥のバッチ・アレーション実験から、混合液中の活性汚泥量が25%以内であり、かつ、4〜6時間以内のアレーションにおいては、混合液の全BODの減少が、混合比の1/10にほぼ比例し、一次反応式に（したがって、10を底とする反応定数（ k_2 ）が0.015（1/hr）の一定値をとることを明らかに

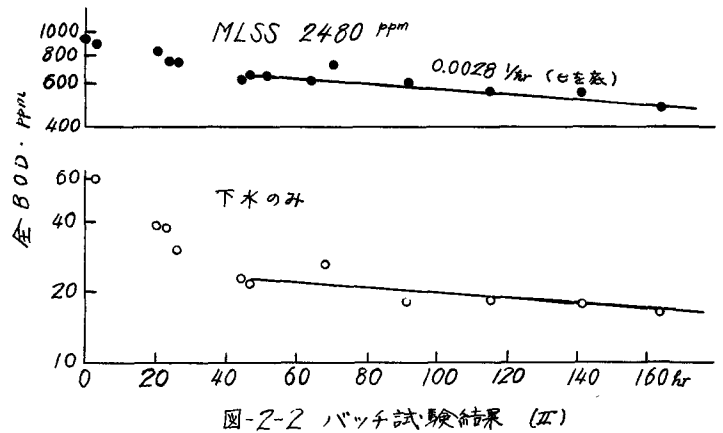
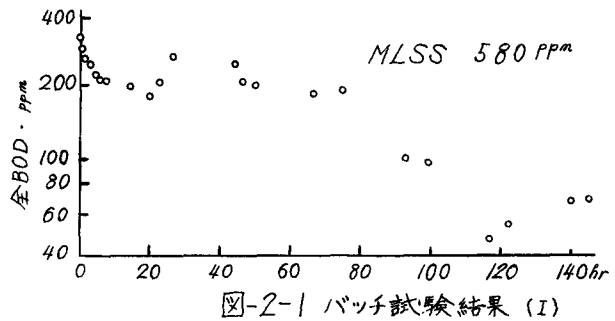
し。

$$L = L_0 \cdot 10^{-R_2 t}, \quad L = L_0 e^{-R_2 t} \quad (2-1)$$

ここで、 L ；活性汚泥を含めた全BOD、 L_0 ； $t=0$ における全BOD。

図-2-1、2-2は以上の領域を越えて長時間エアレーションを行なった実験の全BODの変化であり、両図と比較して明らかなように、全BODの変化は複雑で、再上昇が認められる、認められなくなり、また、減少速度が時間的に変化している。

$R_2=0.015(1/hr)$ がえられる初期領域の限界における全BODと浮遊物濃度との比を求めてみると、混合液中の活性汚泥量とは無関係にほぼ一定して0.3という値がえられており、この比は栄養物量と微生物量との比(F:M比)に対応すると考えられるから、F:M比が0.3以上であれば、窒素下木について $R_2=0.015(1/hr)$ がえられることになる。

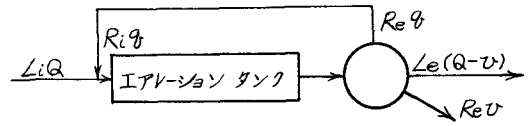


F:M比が0.3以下になると、図-2-1、2-2のような複雑な変化が生じますが、これは自酸化の領域に入ってきたためと考えられる。自酸化の初期では少量ながら栄養物が残っており、また、残ったとしても、細菌の死滅速度が安定しないために、全BODの変化が複雑になるものと考えられる。図-2-2に示すように、F:M比が十分低下すると、全BODの変化は安定し、下木のみの場合と活性汚泥を加えてMLSS 2480 ppmにした場合の結果が片対数紙上の平行直線につてくる。この安定した領域について一次反応式を適用し、セキ数とする反応定数を求めてみると、 $0.0028(1/hr)$ となる。合田・中西は自酸化の反応定数として $0.006 \sim 0.0003(1/hr)$ をえており、かなり大幅に変動しているが、これは以上で検討したように、自酸化領域に入ってもF:M比が十分低下しないと、反応が安定しないことに関係があると思う。

なお、全BODの変化特性を表わす反応定数として、F:M比が0.3以上につき $0.015(1/hr)$ 、自酸化の安定期において $0.0028(1/hr)$ をえが、これらはいずれも下木のみを長時間エアレーションして求められた数字と一致しており、しめがつて、下木をみのバッチ試験も活性汚泥法の浄化特性を知る一つの方法と考えられ、さらに実験を続けている。

3. BOD物質平衡

図-3-1 に示すような活性汚泥法において、反応系に供給される BOD 物質量は LiQ (Li : 流入下木 BOD, Q : 下木流入量) であり、また、系外に排除される BOD 物質量は、処理水として $Le(Q-u)$ (Le : 処理水 BOD, u : 余剰汚泥量)、余剰汚泥として Reu (Re : 余剰汚泥 BOD)



$$(LiQ + RiQ) \rightarrow (LiQ + RiQ)e^{-k_2Ta}$$

図-3-1 BOD 物質の挙動

である。さらに、エアレーションタンク、最終沈殿池および汚泥返送中において、栄養有機物の酸化、同化、あるいは自酸化による細菌数の減少が起り、BOD 物質が突発的に変化する。この場合、栄養有機物の活性汚泥への吸着は栄養物が単に液相から固相へ移行しただけであるから、系全体の平衡には無関係である。

いま、自酸化が認められない範囲で操作されている活性汚泥法について考えてみると、全 BOD の変化は式(2-1)で表わされるから、エアレーションタンク内における BOD 物質の突発減少量 (E_a) は次のようになる。

$$E_a = (LiQ + RiQ)(1 - e^{-k_2Ta}) \quad (3-1)$$

ここで、 Ri : 返送汚泥 BOD, Q : 返送汚泥量, Ta : エアレーション時間。

最終沈殿池内および汚泥返送中における BOD 物質の突発変化を無視すれば、 $Ri = Re$ が成立し、定常に運転されている活性汚泥法の系全体についての BOD 物質平衡は次のように表わされる。

$$LiQ = (LiQ + RiQ)(1 - e^{-k_2Ta}) + Le(Q-u) + Ri u \quad (3-2)$$

ここで、 u は Q に比較して非常に小さいので、無視すると、次のように書き改められる。

$$(Li - Le)Q = (LiQ + RiQ)(1 - e^{-k_2Ta}) + Ri u \quad (3-3)$$

図-3-2 は 4 時間エアレーション / 1 時間沈殿の fill and draw 試験の結果であり、エアレーション開始時、終了時の全 BOD および沈後水 BOD を示す。なお、実験に供した下木および活性汚泥は芝浦下木処理場から採取した。

図において、全 BOD は試験操作をくり返すにつれて減少しているが、5 回目の操作でかなり安定してきている。また、本実験では余剰汚泥

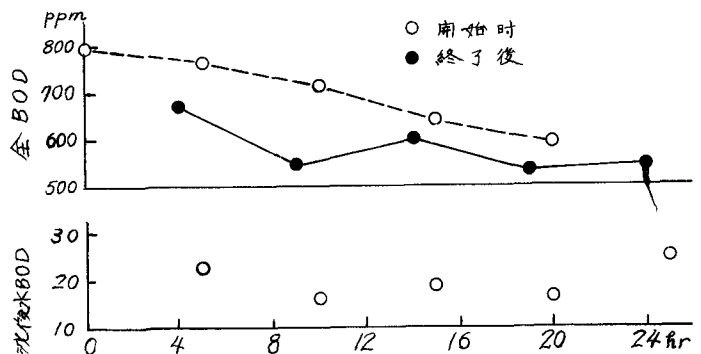


図-3-2 4時間エアレーションの fill and draw 試験結果

の排出を行なつてゐるので、式(3-3)の $R_i V$ は0になり、 $(L_i - L_e)Q$ と $(L_i Q + R_i \beta)$ $(1 - e^{-k_2 T_a})$ の比を求めてみると、図3-3のようになる。

エアレーションタンク内におけるBOD物質量の変化を固相と液相とに分けて考え、さらに、いずれの相においても一次反応式が成立すると仮定すれば、次式がえられる。

$$(L_i Q + R_i \beta)(1 - e^{-k_2 T_a}) = L_i Q (1 - e^{-k_2 T_a}) + R_i \beta (1 - e^{-k_2 T_a}) \quad (3-4)$$

また、次の関係も成立するので、 $(L_i - L_e) = L_i (1 - e^{-k_2 T_a})$ $(3-5)$ これを式(3-3)に代入すれば、次式が導ける。

$$R_i \beta (1 - e^{-k_2 T_a}) + R_i V = 0 \quad (3-6)$$

式(3-6)は反応系が平衡なしいしは定常に達した場合、 $R_i \beta$ の満足すべき条件であり、この条件が満足されなければ、式(3-3)の平衡関係は成立しない。

fill and draw試験では $R_i V = 0$ であるから、次式を満足する必要がある。

$$R_i \beta (1 - e^{-k_2 T_a}) = 0, \text{ または } R_i \beta = \text{一定} \quad (3-7)$$

図3-3の実験に用いた活性汚泥の $R_i \beta$ は芝罘下水処理場のステップ・エアレーション方式によつて与えられるものであり、また、実験では採水下水を細孔径100~200μのガラスフィルターで濾過した後で使用してゐるので、実験開始時には実験と要する条件に対応する $R_i \beta$ が与えられることになる。このため、図3-3の比は1にならないが、試験操作を続けることによつて、 $R_i \beta$ が実験条件に合うよくなれば、上記の比は1に近づく。一般に、全BODにおける活性汚泥BODの割合は大きいから、 $R_i \beta$ の変化はほぼ同様に全BODに現れてくるはずであり、図3-2に示す全BODの変化は $R_i \beta$ が安定していく過程を表現してゐるとみることが出来る。

式(3-3)の平衡関係を成立させない一つの原因として反応定数の変化が考えられる。まず、3~4時間エアレーションを行なう場合の実験結果を示すと、図3-4のようになる。図ではfill and draw試験のそれぞれのStepでエアレーション開始時の全BODから、 $k_2 = 0.015 (1/hr)$ および式(2-1)を用いて終り時の全BODを推定し、実測値と比較してゐる。この結果から、短時間エアレーションに限れば、反応定数のいじりしい変化は認められない。

図3-5は23時間エアレーションに比べ同様の

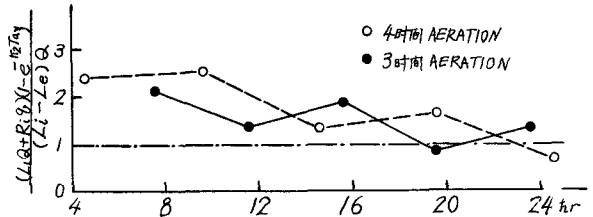


図3-3 全BOD減少量とBOD除去量との関係

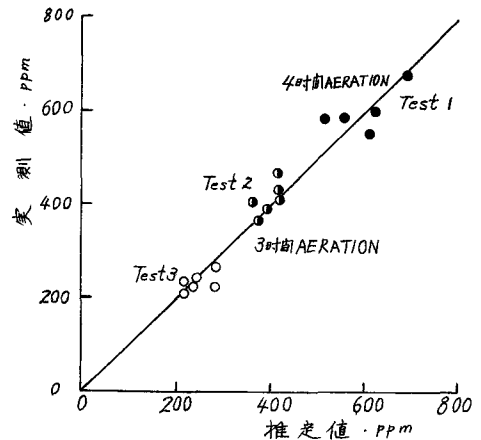


図3-4 AERATION後全BOD

実験を行なった結果であり、この場合にも全BODの変化が一次反応式にしかがうと仮定してエアレーション開始時および終了時の実測全BODから10%をとする反応定数を求めてみると、図3-6のようになる。

これらの結果からみれば、一般には、反応系のBOD物質平衡が成立するようになるまでの R_i および反応定数の変化がともに無視できないことがわかる。また、図3-5では R_i が一定値に安定するところまで追跡できなかったが、11日目において全BODが較低値に落ちつき、一時的に式(3-7)の R_i に関する条件が満足されているので、実線が示すように、全BOD減少量と $(L_i - L_e)Q$ との比が1になり、式(3-3)の平衡関係が成立する。

なお、図3-5とにおいて L_i 、 L_e にはいさしむしい変化が認められない。しかつて、施設や処理機能が安定しているかどうかという判定を流入下水および処理水それぞれのBODの比較のみで行なうことは適当でなく、活性汚泥中あるいは全BODの変化まで考慮する必要がある。

4. 処理水および活性汚泥のBOD

流入下水中のBOD物質には吸着可能なものと、そうでないものがあり、さらに、吸着はエアレーション開始後短時間で終了するといわれている。ここで、流入下水中の吸着可能BOD物質濃度を L_a 、吸着されないBOD物質濃度を L_0 とすれば、吸着に要する時間以上の容量をもつ活性汚泥法では、処理水中BOD物質濃度 L_e 、あるいはBOD除去率 p を次のように表わすことができる。

$$L_e = L_0 e^{-k_d T_a} \quad (4-1)$$

$$p = 1 - L_e/L_i = 1 - (L_0/L_i) e^{-k_d T_a} \quad (4-2)$$

つまり、図3-1に示すように、エアレーションタンク流出水中のBOD物質量は $(L_i Q + R_i \beta) e^{-k_d T_a}$ であり、これは流出水中BOD量 $L_e(Q - V)$ 、返送汚泥中BOD量 $R_e \beta$ および余剰汚泥中BOD量 $R_e V$ に分割される。

$$(L_i Q + R_i \beta) e^{-k_d T_a} = L_e(Q - V) + R_e(\beta + V) \quad (4-3)$$

定常状態では、 $R_e \approx R_i$ 、また、 V は Q 、 β に比較して小さいので、無視すれば、式(4-1)、(4-3)

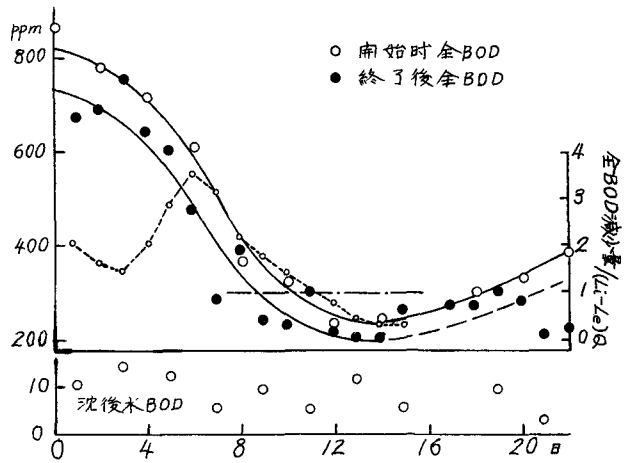


図3-5 23時間エアレーション fill and draw 試験結果



図3-6 反応定数の変化

より次式が導ける。

$$R_i f = \frac{LaQ}{e^{R_i Ta} - 1} \quad (4-4)$$

式(4-4)は余剰汚泥量が返送汚泥量に比較して無視できるほど小さいとみているので、最終沈殿池で沈殿した活性汚泥のほとんど全部が返送される場合に相当する。また、この場合には、 La 、 Q 、 R_i 、 Ta 、 T の処理すべき下水の流量に関する特性値とエアレーション時間が与えられるは、活性汚泥中BOD物質量は決つてしまい、 $b=0$ でも無限大の値をとらない。

ここで式(4-4)の精度を4時間および23時間エアレーション fill and draw 試験の結果から検討してみると、次のようになる。

	実測 $R_i f$ (g)	推定 $R_i f$ (g)
4時間エアレーション (図-3-2)	1.5	1.1
23時間エアレーション (図-3-5)	0.9	0.8

従来、活性汚泥中の細菌量(数)はMLSS、またはMLVSSにより表示されているが、これらは細菌量の変化に鋭敏に応じない欠点がある。ここで、活性汚泥中細菌の呼吸による酸素消費量が活性汚泥に吸着される栄養物の酸化に要する酸素量に比較して大きいから、 $R_i f$ によって活性汚泥中の細菌量を表すことも可能と考えられる。このように、 $R_i f$ は活性汚泥の呼吸活性度³⁾に対応するものであり、以上の検討結果は呼吸活性度の実測的意義、あるいは処理効率に及ぼす影響を説明する際にも利用できると思う。

お ぐ す び

以上、栄養有機物および細菌を一括してBOD物質と考え、活性汚泥法の処理過程におけるBOD物質の平衡を取り扱い、その結果をもとにBOD除去量や定常運転の意味について検討した。

物質平衡の観点から解析を進めると、返送汚泥の浄化に内連する特性まで含めて処理効率を取り扱うことが可能になるが、本研究では流入下水中の吸着可能物質がすべて吸着されるのに十分のエアレーションが行なわれる場合に限定したので、一般的な議論を行なうことができなかった。この点については今後の研究から明らかにしていきたい。

参 考 文 献

- 1) 南部：活性汚泥法における生物酸化と吸着に関する基礎的研究，下水道協会誌，3，27，(1966)
- 2) 合田，中西：東大阪地域および大中小都市下水処理場・処理方式決定までの中期調査 (1966)
- 3) 合田，中西：活性汚泥の代謝特性，水回生工学研究討論会講演論文集 (1964)