

II-66

汚泥焼却を前提とする下水処理場運転操作条件のシミュレーションモデルによる検討

北海道大学工学部 正員 船水尚行

北海道大学工学部 正員 高桑哲男

1. はじめに

下水処理場の運転操作にあたっては所定の放流水質を維持することはもちろんのこと、汚水処理工程で発生する汚泥の最終処分が円滑に行われるように、汚泥処理工程において汚泥の量、質を適切に保つことも重要である。下水処理場へ流入する下水の質、量は時間的、季節的、経年的に変化するので、これらの変動の汚水処理機能、汚泥処理機能へ与える影響を考慮して適切な運転操作条件を定めるためには、種々の条件変化に追従できる検討方法が必要となる。その一つの方法として汚水、汚泥処理工程を構成する各単位プロセスの機能を表現するモデルを作成し、シミュレーションにより運転操作条件を検討することが考えられる。

本論文では、図-1のような単位プロセスからなる、汚泥の最終処理工程で焼却を採用している処理場について、定常状態における運転操作条件の決定法を示す。

2. 想定運転操作条件と操作目標

既設の処理場において操作できる項目は、汚水処理工程の空気供給量、汚泥管理と汚泥処理工程の各ユニットの運転方法である。ここでは、十分な溶存酸素濃度を維持し、意図的な脱窒操作を考えないこととし、汚泥管理に関連する汚泥返送と余剰汚泥引き抜き量を運転操作因子としてとりあげる。なお、本論文ではこれらの2つの量を流入下水量に対する比で表現する。また、汚泥処理工程については発生する汚泥量を十分処理できるとする。ただし、濃縮槽に関しては汚水処理工程の運転操作条件によって変化する汚泥について、必要断面積を求め、濃縮槽運転の可否をチェックすることにする。

運転操作の目標は放流水質と焼却プロセスへ送り込まれる脱水ケーキの性状について定める。放流水質はBOD (20mg/l以下)、SS (70mg/l以下)に加えて、硝化反応がある程度進行していることとする。

脱水ケーキの性状については焼却工程で補助燃料を必要としない自然汚泥を目標とする。

脱水ケーキの自然限界はケーキの保有熱量、ケーキ含水率に関係づけて、焼却炉種類、規模、脱水過程で

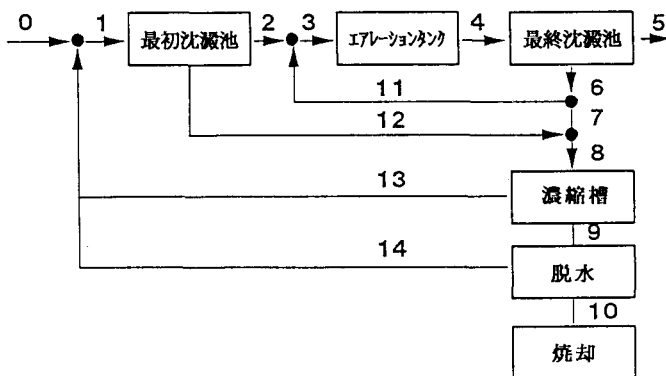
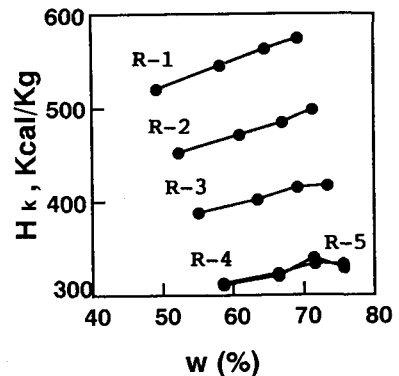


図-1 シミュレーション対象

図-2 汚泥の自然限界
(無機凝集材、流動炉)

Application of a Simulation Model to Determining Operational Conditions of the Waste Water Treatment Plant with a Sludge Incineration Process.

by Naoyuki FUNAMIZU and Tetsuo TAKAKUWA

使用される凝集剤の種類ごとに整理されている¹⁾ので、ここではこの関係を用いることにする。脱水機として加圧脱水機、凝集剤には塩化第二鉄と石灰の無機系凝集剤、焼却炉として流動炉を用いることにすると、ケーキの自然限界は図-2のようになる。本論文では、加圧脱水による脱水ケーキの含水率を65%と固定し、図-2のR-3に対応する自然限界から目標保有熱量を400Kcal/Kg以上と設定する。

3. シミュレーションモデル

シミュレーション対象として日最大下水量100,000m³/日で表-1のような容量をもつ処理場を想定する。なお、濃縮槽の面積は後述する汚水処理、濃縮槽の操作条件のもとで推算した。以下に各単位プロセスのモデルの概要を記す。

(1) 最初沈澱池 最初沈澱池のモデルにはVoshelとSak²⁾が提案した除去率と流入SS濃度、表面負荷率の関係を表現する実験式を用いた。また、最初沈澱池汚泥の引き抜き量はS市の下水処理場運転状況を参考として流入下水量の2.5%で一定とした。

(2) エアレーションタンク タンクの混合モデルには4槽完全混合槽列モデルを用いた。生物反応にはIAWPRCグループ³⁾の提案している有機物の酸化、硝化、脱窒反応モデルを用いた。

図-1中の各点の状態を表現するための変数としては、この反応モデルに必要な13変数に不揮発性浮遊物質濃度を加えた表-2の14変数にとりあげた。

(3) 最終沈澱池 最終沈澱池には清澄機能と濃縮機能がある。清澄機能の表現にはEPA⁴⁾などが提案している実験式をS市の下水処理場運転状況に適合するように式中の係数を変更したものをを用いた。濃縮機能の表現は、沈澱池流出SS濃度を用いて、定常状態における流量、固形物の収支式によった。

(4) 濃縮槽 濃縮槽も最終沈澱池と同様に清澄作用と濃縮作用がある。汚水処理工程へのバックロードとなる越流水の水質はS市処理場の運転操作状況を参考にして、SSを150mg/l、BODを170mg/lと固定した。同じく、越流水量を流入量の86%とした。汚泥の沈降・濃縮特性については濃度と沈降速度の関係をBaskinとSuidan⁴⁾による指数型の実験式で表現することとした。濃縮槽の面積は汚水処理工程の汚泥の返送率0.3、余剰汚泥返送率0.015の場合について限界フラックスを算出して求めた。濃縮槽からの引き抜き汚泥濃度は流量と固形物の収支より計算した。

(5) 脱水 凝集剤として塩化第二鉄10%、石灰30%を添加するとし、固形物回収率90%、脱水ケーキ含水率65%の条件で運転されるとした。この条件下で流量、固形物の収支より、発生ケーキ量、脱水ろ液の性状、量を計算した。また、脱水ケーキの保有熱量 H_K はケーキの低位発熱量 $H_{L,k}$ 、含水率 w を用いて、

$$H_K = (1 - w/100) H_{L,k} - i \cdot w/100 \quad (1)$$

表-1 シミュレーション対象の諸元

最初沈澱池	表面負荷率	40m/day
	水面積	2500m ²
エアレーションタンク	滞留時間	7hr
	容積	3.0×10 ⁴ m ³
最終沈澱池	表面負荷率	25m/day
	水面積	4000m ²

*日最大下水量:100,000m³/day

表-2 設定流入水質条件

1. 容易に分解する溶解性有機物	80 mg-COD/l
2. 難分解性溶解性有機物	10 mg-COD/l
3. 遅い速度で分解する浮遊性有機物	100 mg-SS/l
4. 難分解性浮遊性有機物	10 mg-SS/l
5. 他栄養細菌	1 mg-SS/l
6. 自栄養細菌	0.001 mg-SS/l
7. 生物の自己分解による難分解性浮遊性有機物	0
8. アンモニア態窒素	18 mg-N/l
9. 硝酸態窒素	0.2 mg-N/l
10. 溶解性有機態窒素	7 mg-N/l
11. 浮遊性有機態窒素	7 mg-N/l
12. 溶存酸素	3 mg/l
13. アルカリ度	-
14. 不揮発性浮遊物質	50 mg-SS/l

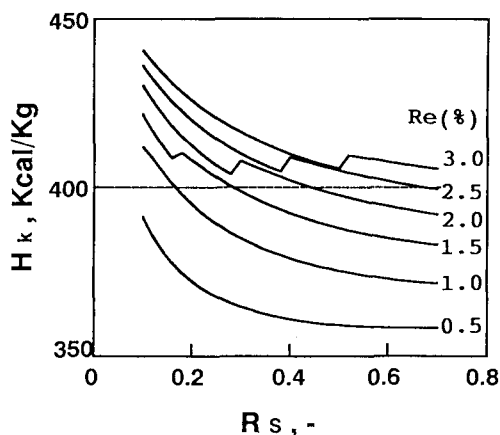


図-3 脱水ケーキの保有熱量と操作条件の関係

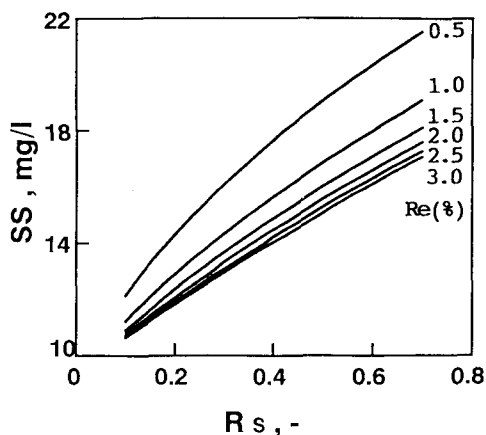


図-4 放流水SSと操作条件の関係

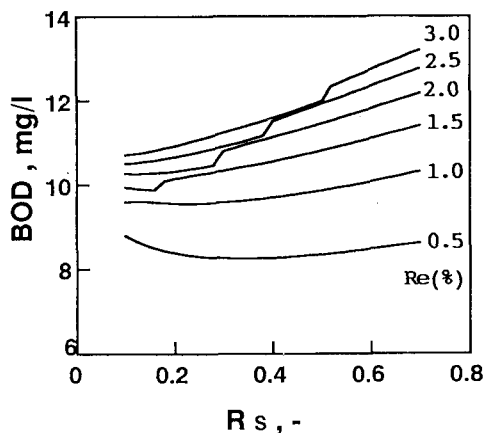


図-5 放流水BODと操作条件の関係

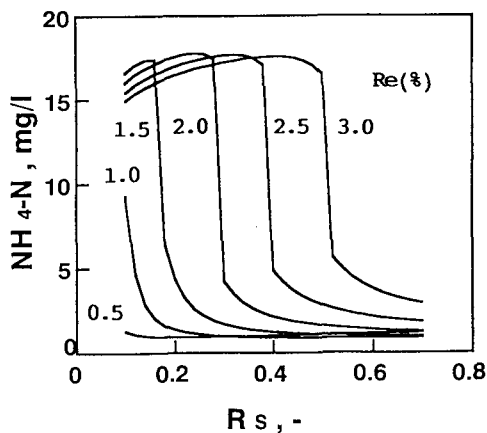


図-6 放流水NH₄-Nと操作条件の関係

として求めた。ここに、 i は蒸発潜熱である。また、ケーキの低位発熱量は原汚泥の有機物含有率 V (%)と塩鉄、石灰の添加率 k_1 、 k_2 により次式¹⁾で計算した。

$$H_{L,K} = 0.93 \left(\frac{(58.3V - 193) - 353(k_2 - 0.69k_1)}{1 + k_2 - 0.03k_1} \right) - 33 \quad (2)$$

(6) 流入、計算条件 シミュレーションでは表-2のような流入水質を想定し、流量は日最大の80%とした。また、操作因子の汚泥返送率 R_s と余剰汚泥引き抜き率 R_a はそれぞれ $0.1 < R_s < 0.7$, $0.005 < R_a < 0.03$ の範囲にあるとして計算を行った。

4. シミュレーション結果

図-3に脱水ケーキの保有熱量と操作条件の関係を余剰汚泥引き抜き率ごとに示す。余剰汚泥引き抜き率1.5%以上の場合、保有熱量が階段状に変化しているが、これは後述するように硝化菌のwashoutに関係し、階段状増加後が硝化菌の増殖可能な場合である。保有熱量は汚泥返送率が小さいほど、余剰汚泥引き抜き率が大きいほど大きくなる傾向を有している。図中の破線は目標保有熱量値であり、この図より目的とする脱水ケーキ自然のための操作条件を知ることができる。

次に放流水質についてSS, BOD, NH₄-N濃度と操作条件関係を図-4, 5, 6に示す。SS濃度は返送率が

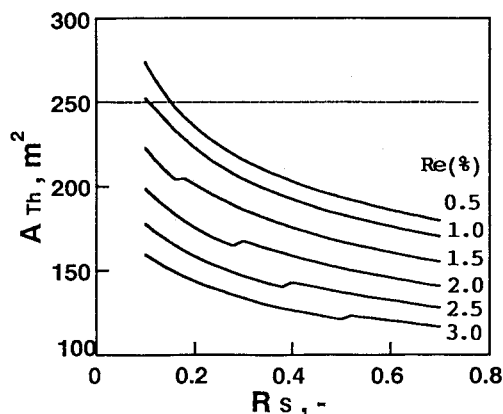


図-7 濃縮槽の必要面積と操作条件の関係

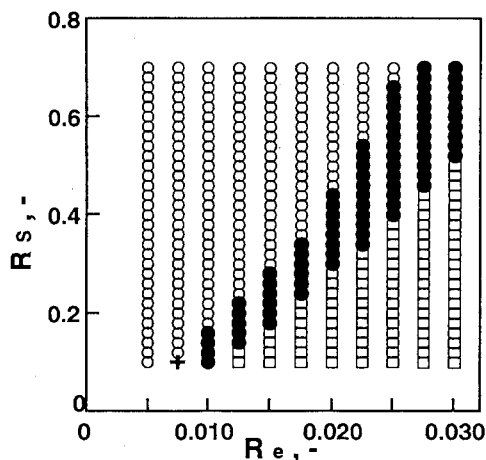


図-8 自然汚泥を得るための操作条件

(●:条件を満たす ○:保有熱量不足)
(□:硝化反応不足 +:濃縮槽過負荷)

きいほど、余剰汚泥引き抜き率が小さいほど高い値を示しているが、計算条件範囲では目標水質を満たしている。BOD濃度については溶解性BOD値は操作条件によらず低い値を示し、図の結果は主に浮遊性物質に由来する結果となっている。 $\text{NH}_4\text{-N}$ については余剰汚泥引き抜き率が大きな場合ほど返送率が大きいときに低濃度となっている。返送率の増大による濃度の低下は急激であり、これは硝化菌を污水处理工程内に保持するための条件に関係している。

図-7には各操作条件における濃縮槽の必要面積 A_{TH} を示した。返送率、余剰汚泥引き抜き率が大きいほど汚泥濃度が低下するために、必要面積は小さくいる。今回想定した基準状態の必要面積は図中の破線で示すようであり、通常の操作条件ではこれ以上の濃縮面積を必要としない結果となっている。

以上示した脱水ケーキの保有熱量、放流水質、濃縮必要面積の計算結果から、自然汚泥を得るための操作条件は図-8のように整理される。最後に図-9に脱水ケーキの固形物発生量と操作条件の関係を示す。図中には●印で図-8の自然汚泥生成域も示してある。この図により、自然汚泥を得、かつ発生ケーキ量が最小となる操作条件を決定することが可能となる。

[参考文献]

- (1) 日本下水道事業団：汚泥焼却炉の省エネルギー化に関する調査報告書，昭和61
- (2) Voshel D. and Sak J.G: Effect of Primary Effluent Suspended Solids and BOD on Activated Sludge Production, J.of Water Pollution Control Federation, Vol.40, No.5, pp.R203-212, 1968
- (3) IAWPRC Task Group on Mathematical Modelling for Design and Operation of Biological Waste Water Treatment: Activated Sludge Model No.1, 1986
- (4) D.E.Baskin and M.T.Suidan: Unified Analysis of Thickening, J.of Environmental Engineering, ASCE, Vol.111, No.1, pp.10-26, 1985

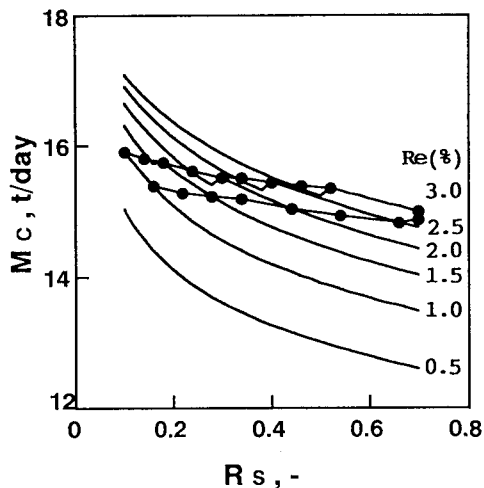


図-9 発生ケーキ量と操作条件の関係