

(20) 流入変動を考慮に入れた下水処理場の設計に関する研究

STUDY ON WASTEWATER TREATMENT PROCESS DESIGN
IN CONSIDERATION OF AN INFLOW VARIATION

平岡正勝*, ○津村和志*, 松野 豊**

Masakatsu HIRAOKA*, Kazushi TSUMURA*, Hiroshi MATSUNO**

ABSTRACT: The purpose of this paper is to compare the process designs of the secondary wastewater treatment plant which has a diurnal inflow variation by computer simulation. As the result of the simulations, the process design which includes the balancing tank is more advantageous than the process designs which have the surplus capacity or the simpler control systems under the inflow variation.

KEYWORDS: process design, computer simulation, balancing tank, inflow variation, feasible zone

1. 序 論

現在の下水処理システムは、活性汚泥法を中心にして個々の単位プロセスについては研究も進んでいるが、システムとしてのオーバーオールな設計方法はまだ確立していない。

下水処理場の設計をシステム設計の立場からみる場合、第1の問題点は、下水処理という性格上、すべての流入側の条件をシステムは受け入れなければならないのに、流入条件を一定と考えた定常設計になっていることである。このために外乱としての流入変動や環境因子の変化に充分対応できないことである。

このような不安定要因への対策としては次の3つが考えられている。1つはシステムに設計余裕をもたせ、そのことにより変動を吸収する方法で、現在の設計は流入量増加への対策と合わせて、おおむねこの方策がとられているが、生物処理は一般に変動に弱く、また施設の余裕だけでは対応できない部分もあり、必ずしもシステムとして合理性を持っているわけではない。

第2の方法は、自動制御の導入により、処理状態を逐一とらえて制御し、処理を安定化しようとするもので、昨今の計算機技術の急速な進歩により、現在、有効さが研究されている方法である。

第3の方法は、流入下水を生物処理に導く前に、流量や負荷の変動を吸収する調整槽を置き、後続プロセスを当初見込まれた定常状態に近づけるもので、この方法は後続プロセスの運転操作を容易にするという大きな特徴を持つ。

本研究はこれらの効果を、動力学モデルを用いた数値実験により、主として設計面からとらえて、種々の解析を行なっていくものである。

2. 単位プロセスモデル

2.1 BPAF系動力学モデルの概略

ここでは本研究での解析に用いるB(Balancing Tank: 調整槽), P(Primary Clarifier), A(Aeration Tank),

* 京都大学 Kyoto Univ., ** 野村総合研究所 Nomura Research Inst.

F(Final Clarifier)からなる系の各ユニットプロセスのモデルの概略と、シミュレーションの方法を述べる。

まず、処理系に流入する下水の成分を次の4つに分けた。1)浮遊固形物濃度(TSS) 2)揮発性浮遊固形物濃度(VSS) 3)浮遊性BOD₅(SOD) 4)溶解性BOD₅(DOD)これらの成分は処理単位ごとに、収支をとることを原則とする。ただし、流入下水では、VSSのSSに対する比や、溶解性BODの全BOD(浮遊性BOD+溶解性BOD)に対する比は一定とした。BPAF系の各ユニットプロセスはこの4成分について定量できるモデルとなっている。

各ユニットプロセスの動力学モデルは主に微分方程式で表現されている。この計算には差分法の一つであるオイラー法を用い、計算の時間きざみは0.05hr(3min)とした。シミュレーションは、微分方程式系の構造モデル計算を容易にするために開発されているADSL/X¹⁾(Analog to Digital Simulation Language extended; 連続系シミュレーション言語)を用いて行ない、これとFORTRANによる最適化プログラム等を結合させて以後の解析に用いた。

2.2 最初沈殿池のモデル

最初沈殿池は流入下水のうち、主として沈降性のSSを分離除去するプロセスで、従来より生物処理プロセスの前端に導入されている。最初沈殿池は、その効果を忠実に表現できる適切なモデルがないこともあって下水処理プロセスを考える場合、従来より単純化あるいは省略して扱われることが多かった。しかし、トータルなシステム設計においては何らかの定量的モデルが必要であり、また負荷緩和やコスト面からも最初沈殿池の比重は小さくない。本研究ではBryant²⁾が開発したモデルを用いた。

BryantはJenkinsらの池内における溶解性成分の有意な混合が認められるという報告をもとに、最初沈殿池を次の3つの機能部分にわけてモデル化した。a)固液分離 b)汚泥引抜き c)混合。本研究では、このうちb)の部分、汚泥濃度を一定(2%)として引抜く方法を取り、残りのa), c)をBryantの方法に従ってモデル化する。すなわちSS除去率は水面積負荷(m³/m²・hr)のみに依存するとした。SS除去率と水面積負荷との関係はThereuxとBetz³⁾が実規模の処理場で得た関係式(図2.1)をつかう。また分離されなかったSS, VSS, 浮遊性BOD, それに溶解性BODは、5槽から成る完全混合槽列モデルに従って流出すると仮定した。

以上により最初沈殿池のモデルは次のように表現できる。

$$YSS = f(OFRPS) \quad (2-2-1)$$

YSS; TSSの除去率[-]

OFRPS; 水面積負荷[m³/m²・hr]

f; Thereux & Betzの除去関数

$$\frac{dC_i}{dt} = \frac{Q_A}{V_{P_i}}(C_{P_i} - C_i) \quad (2-2-2)$$

i = 1, 2, …, 5

C_i; i槽での濃度[mg/ℓ]

(TSS, VSS, SOD, DOD)

Q_A; 流出流量[m³/ℓ]

V_{P_i}; i槽への容量[m³]

*C_{P_i}; i槽への流入濃度[mg/ℓ]

$$SPV = Q_P \cdot C_P \cdot YSS \cdot 10^{-4} / SPS \quad (2-2-3)$$

SPV; 引抜き汚泥量[m³/hr]

SPS; 引抜き汚泥濃度[%]

C_P; 流入SS濃度[mg/ℓ]

Q_P; 流入流量[m³/hr]

$$Q_A = Q_P - SPV \quad (2-2-4)$$

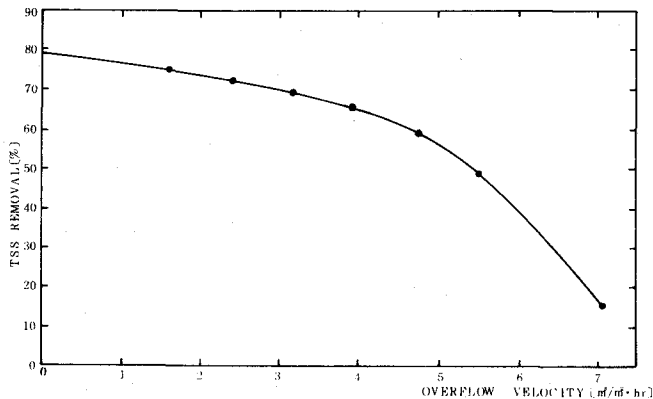


図2.1 ThereuxとBetzによるSS除去率を水面積負荷との関係

2.3 エアレーションタンクのモデル

エアレーションタンクでは、最初沈殿池で除去されなかった有機物が微生物の代謝により分解され、また微生物は増殖してSS分になる。収支モデルは最初沈殿池と同じくBryantのモデルを用いる。

まず微生物の増殖モデルは、VSSについて次のように表す。

$$\frac{d[VSS]}{dt} = (\mu - kd) \cdot VSS \quad (2-3-1)$$

VSS : エアレーションタンク内VSS [mg/ℓ]

μ : 比増殖速度 [1/hr]

kd : 自己分解速度定数 [1/hr]

また制限基質を溶解性BOD (DOD) にとると、比増殖速度 μ は、

$$\mu = \hat{\mu} \frac{DOD}{K_S + DOD} \quad (2-3-2)$$

$\hat{\mu}$: 最大比増殖速度 [1/hr]

K_S : 飽和定数 [mg/ℓ]

DOD : 溶解性BOD濃度 [mg/ℓ]

で表わされるMonod型に従うとする。増殖と基質減少の関係は

$$Y_g \cdot \frac{d[DOD]}{dt} = - \frac{d[VSS]}{dt} \quad (2-3-3)$$

Y_g : 収率係数 [mg VSS/mg 除去 DOD]

で表わす。さらに浮遊性BOD (SOD) は、溶解性BODに分解されるとし、その速度は

$$\frac{d[SOD]}{dt} = -k' \cdot SOD \quad (2-3-4)$$

k' : SODの比溶解速度定数 [1/hr]

に従うとする。

一方、エアレーションタンク内の混合は、1槽完全混合としてモデル化した。エアレーションタンク内のVSS, SS, 溶解性BOD, 浮遊性BOD, 全BODの収支をとると(2-3-5)~(2-3-9)のようになる。

$$\frac{d[VSS]}{dt} = \frac{Q_{AR}}{V_A} (VSS_{in} - VSS) + (\mu - kd) VSS \quad (2-3-5)$$

$$\frac{d[TSS]}{dt} = \frac{Q_{AR}}{V_A} (TSS_{in} - TSS) + \frac{\mu - kd}{Y_{TSS}} \cdot VSS \quad (2-3-6)$$

$$\frac{d[DOD]}{dt} = \frac{Q_{AR}}{V_A} (DOD_{in} - DOD) - \frac{\mu}{Y_g} \cdot VSS + k' SOD \quad (2-3-7)$$

$$\frac{d[SOD]}{dt} = \frac{Q_{AR}}{V_A} (SOD_{in} - SOD) - k' SOD \quad (2-3-8)$$

$$\frac{d[BOD]}{dt} = \frac{Q_{AR}}{V_A} (BOD_{in} - BOD) - \frac{\mu}{Y_g} \cdot VSS \quad (2-3-9)$$

Y_{TSS} : VSS比 (= VSS/SS) [-]

Q_{AR} : 流量 [m³/hr]

V_A : 槽容量 [m³]

2.4 最終沈殿池のモデル

最終沈殿池は、エアレーションタンクから流入するMLSSを固液分離する清澄の機能と、汚泥返送のための濃縮の機能の2つを果たす必要がある。また最終沈殿池には、過負荷状態の時に汚泥を蓄積して変動をある程度吸収する機能や、この蓄積に対して濃縮汚泥の引抜き流量を制御し、処理系の負荷をコントロールする機能などもあり、特に動力学モデルでは、こうした制御機能をも表現できることが重要である。そこでモデル化は、a) 清澄 (流出SS), b) 濃縮 (蓄積, 返送, 引抜き) の2つについて行ない、これを結合して最終沈

殿池のモデルとした。次にこれらの概要を示す。

a) 清 澄

現在のところ有効なモデルがなく、池内に流入するMLSSに対して経験的に流出SSが求められている。本研究では、最終沈殿池におけるSSの流出濃度が、流入するMLSSのfluxに比例し、これはまた温度依存性のあることを示しているPflantz⁴⁾の関係式を用いる。

$$TSS_{out} = (24.3 - 1.04 \cdot T) \cdot G_F \quad (2-4-1)$$

TSS_{out} : 最終沈殿池流出SS濃度 [mg/l]

T : 温度 [°C]

G_F : 流入TSS flux [kg/m²·hr]

$$G_F = TSS_F \cdot Q_F / ARFC \cdot 10^3 \quad (2-4-2)$$

TSS_F : エアレーションタンク流出MLSS [mg/l]

Q_F : 最終沈殿池流入量 [m³/hr]

$ARFC$: 最終沈殿池水面積 [m²]

以上がPflantzのモデルであるが、これをもとに流出の全BODを次のように決める。まず浮遊性のBODはSSと同じ割合だけ流出すると考えて、

$$SOD_{out} = \frac{TSS_{out}}{TSS_F} \cdot SOD_F \quad (2-4-3)$$

SOD_F : エアレーションタンク流出SOD [mg/l]

となる。流出する全BODは、浮遊性BOD、溶解性BODの他に流出するSSの効果も考慮する。SSのBOD換算値は経験的に0.6とし、次式で与える。

$$DECAY = (TSS_{out} - SOD_{out}) \times 0.6 \quad (2-4-4)$$

結局、最終沈殿池の流出全BODは次のようになる。

$$BOD_{out} = SOD_{out} + DOD_F + DECAY \quad (2-4-5)$$

DOD_F : エアレーションタンク流出溶解性BOD [mg/l]

b) 濃 縮

濃縮汚泥の層は、汚泥の沈降性状と引抜き方法によって支配決定される。この機能のモデルは、汚泥の沈降flux理論を使ったTracy⁵⁾の動力学モデルを主とした。以下にその概要を示す。

まず、最終沈殿池の汚泥blanketを蓄積層と濃縮層に分ける。汚泥は、その沈降fluxの濃度依存性から、ある引抜き量に対して限界の沈降fluxと限界濃度が存在するので、池が過負荷状態にあるときはこの限界濃度の層が増加していく。この層は引き抜き流量を変えると違った濃度で上部に形成され、これらの濃度層は相互の物質収支とその時の限界濃度に支配されて消滅形成をくり返す。このことが蓄積層で起こると考えてモデル化する。一方濃縮層では、蓄積層の最下層の汚泥と引抜きとの間の物質収支によって引抜き濃度を定める。Tracyモデルでは、全部の蓄積層が消

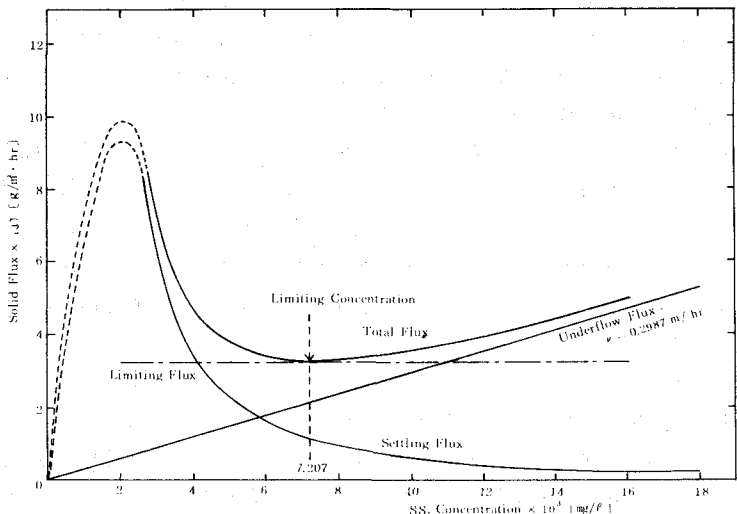


図2.2 本研究でもちいたSS濃度と固形物フラックスとの関係図

えてしまうと以後の過負荷状態になったときに起こる蓄積が表現できない（常に蓄積の起こる引抜き方策をとる）。そこでこの点を改良し、長期の低負荷状態の後における過負荷でも、状態が表現できるようにモデル化した。本モデルに用いた汚泥の沈降曲線⁶⁾を図 2.2 に示す。

2.5 調整槽のモデル

調整槽を導入する場合には流量の完全均等化ができる最低貯留量を持つ槽を導入することにする。また流動特性としては1槽完全混合を仮定し、槽内での反応はないものとした。モデル式を以下に示す。

$$\frac{dR_{es}}{dt} = Q_{in} - Q_{av} \tag{2-5-1}$$

R_{es} ; 槽内貯留量 [m³]
 Q_{in} ; 流入流量 [m³/hr]
 Q_{av} ; 流出流量 [m³/hr]

$$Q_{av} = \frac{1}{24} \int_0^{24} Q_{in}(t) dt \tag{2-5-2}$$

$$R_{es} \cdot \frac{dC_{out}}{dt} = Q_{in} (C_{in} - C_{out}) \tag{2-5-3}$$

C_{in} ; 調整槽流入水質指標濃度 [mg/ℓ]
 C_{out} ; 調整槽流出水質指標濃度 [mg/ℓ]

3. プロセスシステム設計の諸前提条件

3.1 制御条件

生物処理である活性汚泥法は、流入変動に対してある程度の吸収性があるといわれるが、長期間の変動に対しては、正常な処理状態を逸脱することがある。こうした現象の起こる限界状態あるいはその指標については明確になっていないし、また生物状態の環境による変化や地域差も大きいので定量化することはむずかしい。

また、本研究ではモデル化による数値実験を行なうものである。モデルが現象を忠実にシミュレートできる範囲も問題となる。本研究では下水道施設設計指針⁸⁾を基礎に、表 3.1 のように条件を設定した。このうちBOD-SS負荷は変動を考慮して範囲を広め、エアレーション時間については過ばっ気と考えられる上限として12[hr]を設定し、返送汚泥濃度は、汚泥処理プロセスへの影響と濃縮の限界を考慮した。また最終沈殿池の汚泥界面高さは汚泥流出防止のための水深である。また処理水質の条件は、表 3.2 のように設定した。

3.2 コスト関数

本研究ではコストを評価指標として用いる。考慮に入れたのは、BPAF系の用地費を除いた建設コストであり、これらは規模メリットを考えた指数形になっている。コスト関数を表 3.3 に示す。このうち、調整槽のコストは現在適したものがないので、土木、基礎コストは最初沈殿池に、機械コストをエアレーションタンクに同じとした。

3.3 流入条件

本研究で用いた流入パターンは図 3.1～図 3.3 中のパターンHである。これは団地廃水を処理している平城下水処理場での例である。流入変動を表わす指標としては、時間平均量に対する時間最大量の比がよく使われ、一般的な値として年間を通じて1.4ぐらいいだと報告されている⁶⁾。この平城処理場では2.7という値になり、特に変動が大きくピークの鋭い条件である。

表 3.1 制限条件一覧表

条 件	設定範囲
BOD-SS負荷 [kg/kg/日]	0.15～0.45
BOD-容積負荷 [kg/m ³ /日]	0.3～0.8
エアレーションタンク 滞留時間 [hr]	～12
返送汚泥濃度 [mg/ℓ]	5000～15000
最終沈殿池界面 [m]	～3

表 3.2 処理水質に対する制限

条 件	設定範囲
最終沈殿池流出SS	～70
最終沈殿池流出BOD ₅	～20

表 3.3 コスト関数一覧表

UNIT	PROCESS	COST FUNCTION
Balancing Tank	土木	$0.0469 \times V^{0.968}$
	基礎	$0.0437 \times A^{0.952}$
	機械	$0.0748 \times V^{0.759}$
Primary Clarifier	土木	$0.0469 \times V^{0.968}$
	基礎	$0.0437 \times A^{0.952}$
	機械	$0.1610 \times V^{0.855}$
Aeration Tank	土木	$0.0290 \times V^{0.961}$
	基礎	$0.0280 \times A^{0.992}$
	機械	$0.0748 \times V^{0.759}$
Final Clarifier	土木	$0.0693 \times V^{0.912}$
	基礎	$0.0510 \times A^{0.929}$
	機械	$0.3120 \times V^{0.765}$

V: Volume A: Area

本研究で流動変動の小さいものを考える場合は、この基本変動パターンと完全均等化パターン(パターンC)との間を10等分した各パターンを使った。図3.1～図3.3には以下の解析でよく使うパターン8の例を示しておく。

さて、変動の大きさを示す指標としては、先に述べた変動比の他に、分散や標準偏差などもプロセスへのインパクトとしての意味をもつ上で重要である。そこで本研究では変動比よりも、より変動の大きさを適切に示しうる指標として、次の式で表わされる無次元数を考える。これは変動係数(ν)と呼ばれるもので、種々の解析はこれに基づいて行なう。

$$\nu = \sigma / \bar{X} \quad (3-1)$$

$$\sigma : \text{標準偏差} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{X})^2}$$

$\bar{X}$: 平均流入量

N : データ数 (=24)

図3.1～図3.3の図中に各パターンの変動係数の値を記入した。

4. プロセスシステム設計

4.1 システム設計の方法

一般にプロセスシステム設計は次のように定式化される。まずシステムを次のように記述する。

$$\text{＜プロセス方程式＞} \quad \mathbf{y} = \mathbf{f}(\mathbf{X}, \mathbf{D}, \mathbf{U}, \mathbf{P}) \quad (4-1-1)$$

$$\text{＜制限条件＞} \quad \mathbf{g}(\mathbf{X}, \mathbf{Y}, \mathbf{D}, \mathbf{U}) \geq 0 \quad (4-1-2)$$

$\mathbf{X}$; 入力ベクトル

$\mathbf{Y}$; 出力ベクトル

$\mathbf{D}$; 設計変数ベクトル (不可変制御変数)

$\mathbf{U}$; 操作変数ベクトル (可変制御変数)

$\mathbf{P}$; 物理化学的, 生物学的パラメータ

$\mathbf{f}$; プロセス方程式

システム設計とは、「入力ベクトル $\mathbf{X}$, 出力ベクトル $\mathbf{Y}$ のすべてあるいは一部が与えられたとき、式(4-1-1),

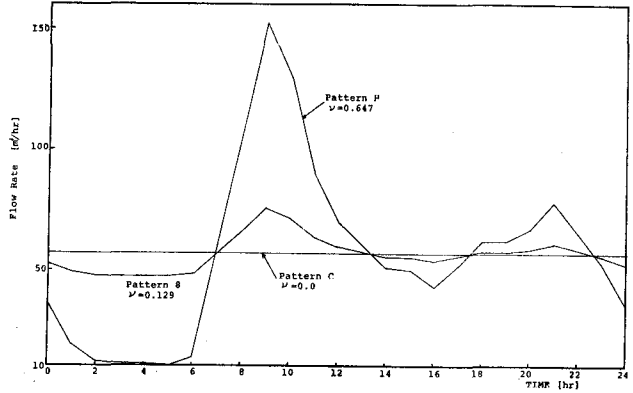


図 3.1 流入下水量の時間変動パターン

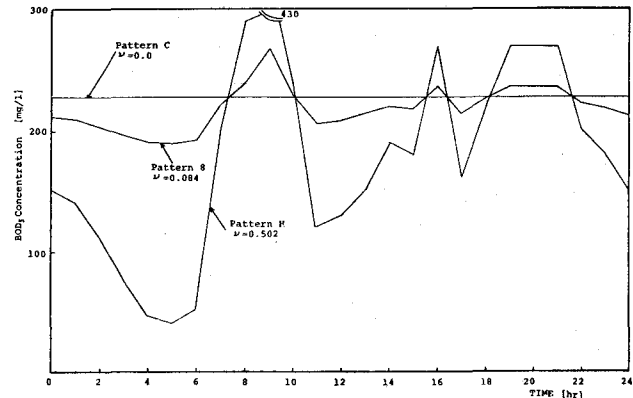


図 3.2 流入BOD₅の時間変動パターン

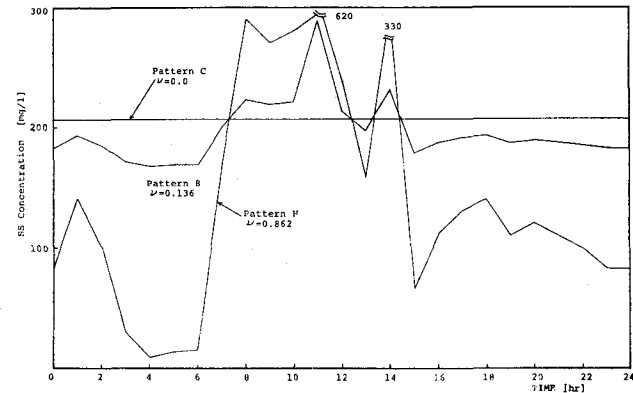


図 3.3 流入SSの時間変動パターン

(4-1-2)を満足させることのできる設計変数ベクトル $\mathbf{D}$, 操作変数ベクトル $\mathbf{U}$ を求めること」と定義できる。さらに最適設計とは、「この $\mathbf{D}$, $\mathbf{U}$ に対して, ある評価関数式(4-1-3)を最大あるいは最小にする設計変数ベクトル $\mathbf{D}$, 操作変数ベクトル $\mathbf{U}$ を求めること」である。

$J = J(\mathbf{X}, \mathbf{Y}, \mathbf{D}, \mathbf{U}, \mathbf{P})$
(4-1-3)

第2章でプロセス方程式が決まり, 第3章で制限条件が決まったので, 操作条件 $\mathbf{U}$, 設計条件 $\mathbf{D}$ のすべての組み合わせの中から制限条件を満たすものを選ぶ。この制限条件を満たす $\mathbf{D}$, $\mathbf{U}$ の範囲はFeasible Zoneと呼ばれる。

BPAF系の自由度は全体で6になる。本解析においては設計・操作変数として, V_{BT} (調整槽容量), A_{PS} (最初沈殿池水面積), V_{AS} (エアレーションタンク容量), A_{FC} (最終沈殿池水面積), Q_r (返送汚泥流量), Q_w (余剰汚泥流量)をとることとする。このうち Q_r と Q_w は操作変数 $\mathbf{U}$ に属し, V_{BT} , A_{PS} , V_{AS} , A_{FC} は設計変数 $\mathbf{D}$ に属する。

さてこのうち設計変数 $\mathbf{D}$ については, 連続量とし特に制約はもうけなかった。ただし V_{BT} は, 2.5で述べたように調整槽のない場合は零となり, 導入する場合はその流入パターンに対する流量均等化に必要な最低容量以上の値をとる。また制御変数 $\mathbf{U}$ については, 制御方策について3つの, そして設定値については表4.1の10の離散値のみを取りうるとした。なお, このうち流量比例制御は, 1時間間隔で各流量に対して一定比率の返送を行なうもので, 終沈汚泥界面一定制御は, 汚泥界面高さが常に2~3mの間にあるように引抜汚泥流量をon-off的に調整するものである。

4.2 Feasible Zoneの思想

以上で準備がととのったので, ある評価基準を与えると最適化が可能となる。一般に最適化は数学的あるいは数値解析的な各種手法により可能であるが, その方法はBlack Box 的であるため, 評価基準や制限条件などを変化させてみたい場合には, そのつど計算が必要であるし最適解と評価基準や制限条件とのかかわりはわかりにくい。下水処理システムの設計のように, 最適解そのものよりもその方向への過程が工学的な判断において役に立つと思われる場合には, この過程を図解的に表現したもの(Feasible Zone)の方が, その最適値より重要なことが多い。

本研究ではFeasible Zoneを中心とする設計方法をとる。すなわち, 本解析における自由度は6である。これらをすべて設計変数と考えるとこのベクトルは6次元となり, つまり設計の代替案は6次元空間の各点に対応することになる。仮にこれを3次元的に表現すると設計変数の作る空間の中に, 各制限条件ごとに実行可能域(Feasible Zone)が存在することになる。(図4.1(a))そしてこの各制限条件ごとにこの空間を重ね合わせると処理系全体のFeasible Zoneが求まる。(図4.1(b))さらにこのZoneのうちある評価基準(例えばコスト)を満たす最適域を求めるには, これに基準コンターを描けばよい。(図4.1(c))実際にはこのような空間のすべての点をシミュレートするのは膨大な計算を要するし, 図解も困難なので, 実用上は2次元断面で利用する。

表 4.1 制御変数の取りうる値のまとめ

制御方策の代替案	返送流量の代替案(%)	余剰汚泥引抜流量の代替案(%)
Q_r, Q_w 一定制御	平均流入流量の 10, 20, 30, …… , 100	平均流入流量の 0.5, 1.0, 1.5, …… , 0.5
流量比例制御 (返送率一定)	同 上	同 上
終沈汚泥界面 一定制御	同 上	同 上

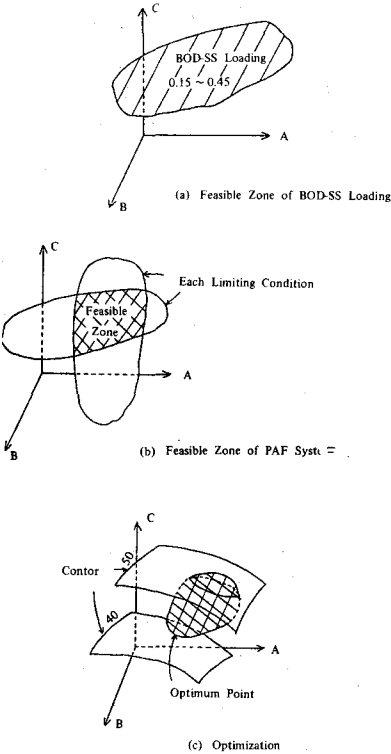


図 4.1 Feasible Zoneを利用するシステム設計の手順

この方法は最適化という観点に立てば一歩後退した初歩的な方法であるが、逆に、前に述べたように、評価基準や制約条件を種々変えるときや、これらの数が多いときには、そのおののについて工学的判断を下すのに使用できる。一般に最適化手法というのは、実行可能域を順次み出して判断を下すものであるのに対して、この手法は実行不可能域を除いていく消去法であるといえることができる。

4.3 制御系の Feasible Zone

本節では制御系 **U** について、Feasible Zone (F. Z. と略す) を用いて考察する。以降、流入パターンはパターン 8 を用いる。基本となる設計変数値 (**D**) は最初沈殿池水面積 40 m²、エアレーションタンク容量 440 m³、最終沈殿池水面積 70 m² に固定する。

まず流入変動がなく定常な流入水があった場合について返送率 (R)、余剰汚泥引抜率 (W) の 2 次元の F. Z. をつくと図 4.2 のようになる。図中のコンター値は各変数の最大値あるいは最小値を表わし、斜線部分は F. Z. である。図 4.3 から図 4.6 は、それぞれ流入パターン 8 に対し、一定流量制御、流入下水量比例制御、終沈界面一定制御をかけた場合、及び最小容量の調整槽を導入した場合の BOD-SS 負荷、処理水質に対する F. Z. をしめす。これらの図より次のことがいえた。

- 1) 返送率 R、余剰汚泥引抜率 W の操作による影響因子は BOD-SS 負荷、流出 BOD₅、返送汚泥濃度である。
- 2) R、W のおよその設定域は 15～25%、1～2% がよい。
- 3) 制御方策として、3 つのいずれをとっても大差はない。

制御方策、返送率、余剰汚泥引抜率は設計に応じて適宜変更することが望ましいが、いくつかの設計変数値で本節と同様の解析を行なったところ、この流入パターンでは F. Z. に大きな変更はみられなかった。それゆえ以後、制御方策は流量一定制御、返送率 15%、余剰汚泥引抜率 1% と固定することにした。

4.4 設計系の Feasible Zone

ここでは前節で設定したように Q_r 、 Q_w を固定し、流入パターン 8 に対して設計系 (**D**) を変化させて Feasible Zone

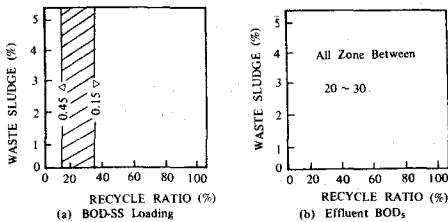


図 4.3 流量一定制御での制御系変数のフィージブルゾーン

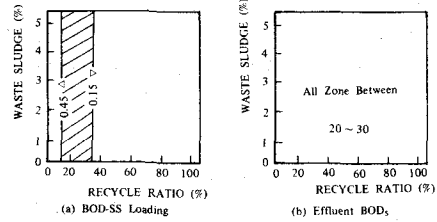


図 4.4 流入下水量比例制御での制御系変数のフィージブルゾーン

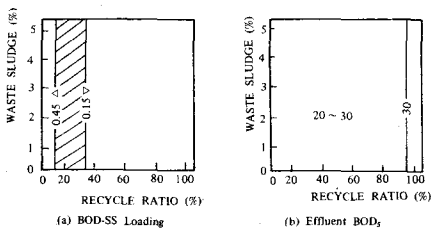


図 4.5 終沈界面一定制御での制御系変数のフィージブルゾーン

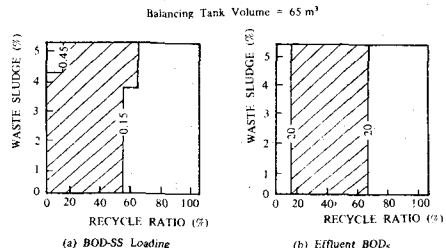
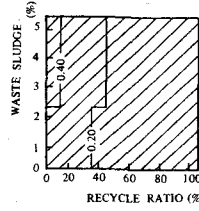


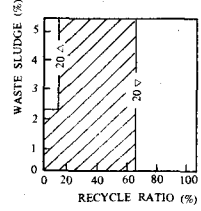
図 4.6 調整槽を導入した場合の制御系変数のフィージブルゾーン

注) <は Feasible Zone の項を表わす
(Limit Over) < (Feasible)

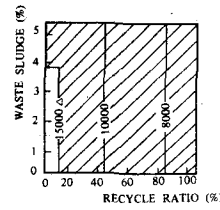
Inflow Pattern C
(Constant)



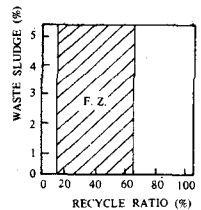
(a) BOD-SS Loading



(b) Effluent BOD₅



(c) Recycle Sludge Concentration



(d) Total Feasible Zone

図 4.2 定常設計の場合の制御系変数のフィージブルゾーン

を描いてみる。

まず調整槽のない場合、 D の自由度は3であり、 D のF.Z.は3次元になるが、このうち最初沈殿池水面積は 40m^2 に固定し、エアレーションタンクと最終沈殿池の2変量についてF.Z.を作成した。結果を図4.7に示す。図中★印は下水道設計指針⁸⁾による設計であり、流入変動のある場合には、これより A_{AS} も A_{PC} も大きい方にF.Z.が存在する。このF.Z.を決めるのに働く制限条件は、BOD-SS負荷、BOD-容積負荷、流出 BOD_5 及び返送汚泥濃度であり、これら単独のF.Z.を図4.8に示す。

さて、この系に対して流量均等化のための最小容量をもった調整槽を導入すると、図4.7の点線部分にF.Z.が拡大し、これらは明らかに規模の小さい方へ移動している。制限条件ごとのF.Z.の変化を図4.8に示した。

また、 $A_{PS} = 40 (\text{m}^2)$ に固定した条件で、エアレーションタンクと最終沈殿池だけのコストコンターを描くと図4.9のようになる。コストを評価基準にすると、この場合の最適点は図のようになり、この点が最も合理的な設計であるといえることができる。

4.5 BPAF系の最適設計

本節では流入変動パターン8に対し、調整槽の導入を考え、その容量を変化させると、後続のPAF系はどの程度縮小されるか、また全コストはどのようになるかを調べる。計算は、調整槽の各容量に対し、PAF系での最適点を3次元探索によって求めたもので、結果を図4.10から図4.12に示す。全コスト(図4.10)においては、調整槽の流量均等化最小容量が最適点になっている。これはこのパターンの流入変動が小さいので、この容量で後続プロセス(PAF)の縮小が充分進んでいることを示している。図4.11は調整槽のコストと後続プロセスのコストを別々に分けて書いたもので、上記説明を図式化したものである。もし流入量に対して流入負荷変動が大きければ、流量の均等化だけではPAF系の縮小が不充分で、これより大きい調整槽容量の点が最適になることもある。(第5章参照)

Inflow Pattern 8
Recycle Flow Rate: $8.487 (\text{m}^3/\text{hr})$
Sludge Waste Rate: $0.572 (\text{m}^3/\text{hr})$
Temperature: 19°C
Area of Primary Clarifier: $40 (\text{m}^2)$

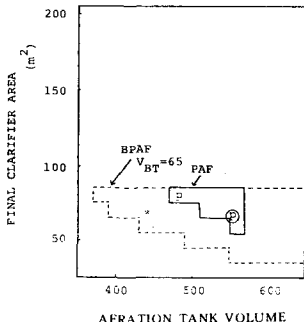


図4.7 最初沈殿池水面積を 40m^2 に固定したときの設計系のフィージブルゾーン

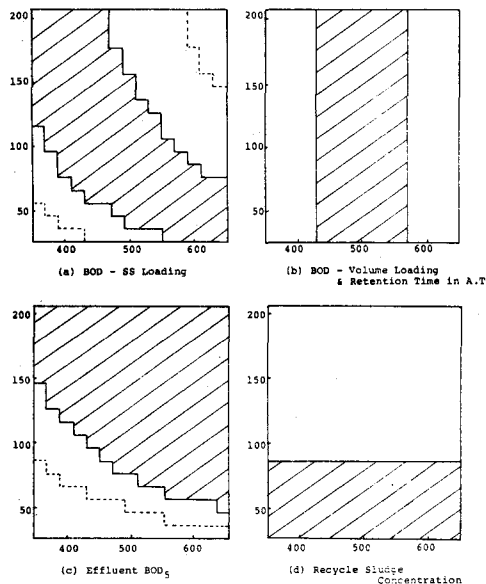


図4.8 各制限条件ごとの設計系のフィージブルゾーン(最初沈殿池水面積 $=40\text{m}^2$)

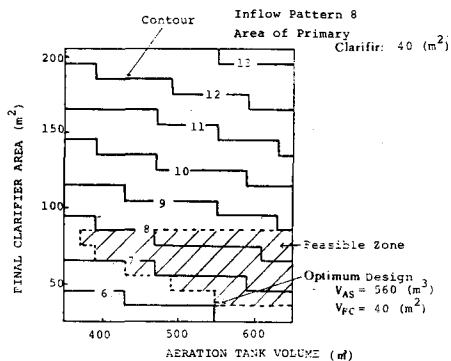


図4.9 最終沈殿池水面積を 40m^2 に固定したときのエアレーションタンクと終沈のコストコンター

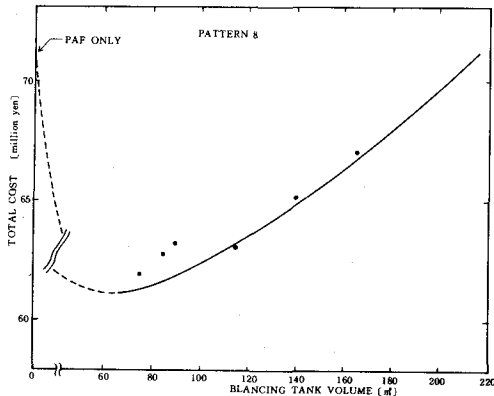


図4.10 調整槽容量を変えた場合の総コストの変化

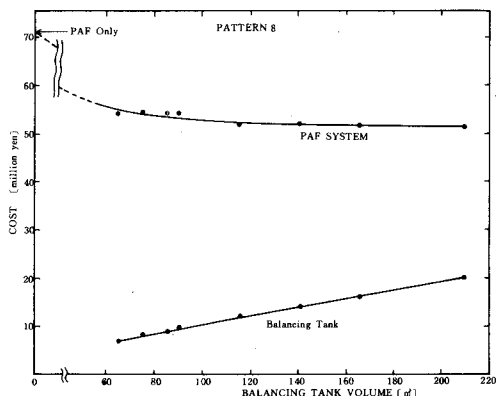


図 4.11 調整槽容量を変えた場合の調整槽のコストとPAF系のコスト

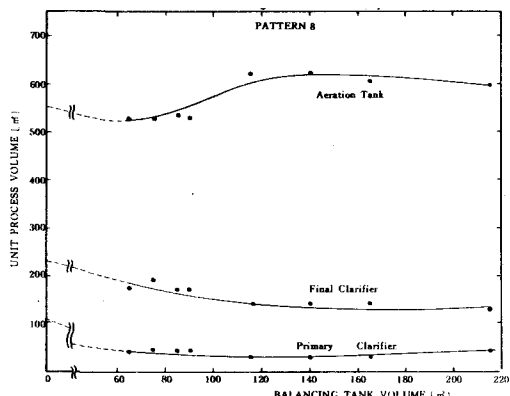


図 4.12 調整槽容量を変えた場合の後続単位プロセスの容量変化

さらに細かく各単位プロセスごとの容量を図 4.12 にしめす。これを見ると、エアレーションタンクが流量と負荷のバランスに対して微妙な動きをしていることがわかる。これは負荷が十分に均等化されるまでは、流量のみの均等化によって、かえって負荷変動を助長することがあるからであり、この点から調整槽の運転として負荷の均等化をめざした方策も有効性のあることがわかる。また同じ図から調整槽と最終沈殿池の容量については、トレードオフの関係にあることがわかる。

5. 流入変動とプロセス設計

5.1 流入変動に対する設計考慮

前章においては、ある流入パターンに対するBPAF系の最適化を考えた。本章ではより巾広い流入変動特性に対して、各処理システムの設計はどうであるべきかを考察する。特に調整槽の導入については、パターン8という比較的変動の小さい流入条件においても、その効果が認められることから、5.3 で詳述する。

流入変動特性としては、種々の流入流量、流入水質の変動特性の組合せを考える。すなわち 3.3 で決めた流入流量、水質変動のパターン（パターンH、1～9、及びC）を種々に組合せた。ただし各パターンの組合せとも1日の総負荷量は一定になるように調整した。またこのパターンの組合せを2次元で表現するために、流入水量と流入BOD₅濃度のそれぞれの変動係数を座標として用いた。この座標によって作られる空間を ν 空間と呼ぶ。

5.2 ν 平面の Feasible Zone

考えている ν 平面はかなりの変動を示すゾーンもあるので、一般に定常を仮定した処理システムの設計では、この平面のすべての入力条件に対応できない。ある処理システムの設計法が、 ν 平面の流入条件に対して対応できる空間を、その設計法の ν 平面での Feasible Zoneと呼ぶことにする。ここでは次の5つの設計法を考える。

- I. 定常標準設計により対応できる F. Z.
- II. 定常標準設計に比例制御を導入して対応できる F. Z.
- III. 処理系に設計余裕を持たせて対応できる F. Z.
- IV. 流量均等化に必要な最小容量をもつ調整槽を導入して対応できる F. Z.
- V. IV 以上の容量を持つ調整槽を導入して対応できる F. Z.

結果を図 5.1 にしめす。

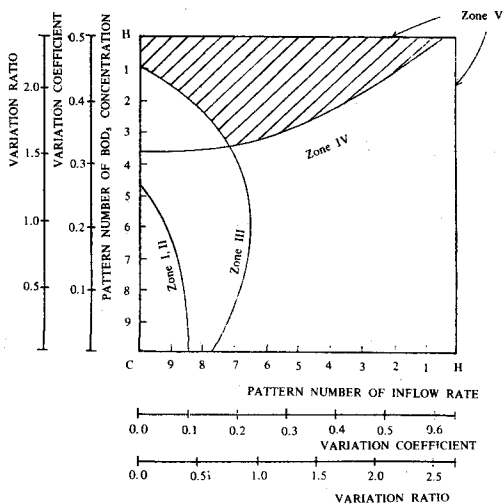


図 5.1 ν 空間におけるフィージブルゾーン

<Zone I>

ここでいう標準設計は、4.3 で設定した PAF 系のことである。現在の標準設計では、 ν_Q で 0.1 まで、 ν_B で 0.2 までが対応できる範囲である。

<Zone II>

一般に流量比例制御は、流入変動に対して処理系を緩和する一方策としてあげられているが、本シミュレーションにおいては無制御状態とあまり変化はなく、Zone I とほぼ一致した。これは、比例制御が MLSS と終沈界面の安定化には効果を持つが、流出水質に対しては効果があまりみられないためである。

<Zone III>

設計余裕の導入により図のように F. Z. は広がる。流入変動に対する限界は ν_Q で 0.2 であるが、この付近では濃度変動の変化に対して特徴あるゾーン傾向を示している。つまり濃度変動が大きくても小さくても（全くなくても）PAF 系の設計余裕では対応できない。

これは最初沈殿池による負荷変動伝達と流入側の変動パターンの関連で、かえって濃度変動を残しておく方が負荷吸収の効果が大きくなっているためである。

<Zone IV>

これから明らかなように、流量均等化のみを指向する調整槽は、負荷吸収効果が少ないので、流入量変動に対して濃度変動の大きい流入条件では Feasible にならず、しかもこの傾向は ν_Q と ν_B の隔たりが大きい程強くあらわれる。

以上の結果をみると、Zone I ~ IV についてはほぼ包含関係のあるものの、Zone III と Zone IV に入らないゾーンがある。（図中斜線部分）この部分では、大きな容量の調整槽か、流量均等化よりも負荷の均等化をめざした別の調整槽運転の導入が必要である。

5.3 調整槽の効果

本節では調整槽導入の効果をもう少し詳しくみてみる。調整槽の導入条件としては、

1) 絶対必要条件…調整槽を導入しなければ通常の操作では対応できない。

2) 相対的必要条件…調整槽がなくても設計により対応できるが、導入すればコストメリットがある。の 2 点に分類できる。 ν 空間は調整槽導入の条件からみると図 5.2 のように分割された。A は絶対必要条件をもつ部分。B は相対的条件をもち、かつ流量均等化最小容量が最適となる部分。C は相対的必要条件をもち、かつ流量均等化最小容量以上の大きさが最適となる部分である。

以上のように全空間で調整槽の導入は効果を持つが、これはピークの鋭い流入パターンでの結果である。筆者らの研究によると調整槽導入の効果は、ピーク継続時間に強く依存する。ピークの長い流入パターンでは、異なる結果が予想される。

6. 結 論

本研究ではピークの鋭い流量変動が存在する下水処理システムの設計について考察したが得られた知見をまとめると次のようになる。

- 1) 下水処理場への流入水量、水質の変動に対しては、制御系、設計系（設計余裕）、流入量の均等化の 3 つが考えられる。このうち制御系の一般的操作法では、変動にはほとんど対応できない。プロセスに設計余裕をもたせると、ある程度の変動までは対応が可能であるが、調整槽導入のほうがコスト的にもメリットが大きかった。
- 2) 本研究では Feasible Zone を中心にする設計を試みた。その結果、単に最適解を求める設計法に比べ、有用な情報を多く得ることができた。

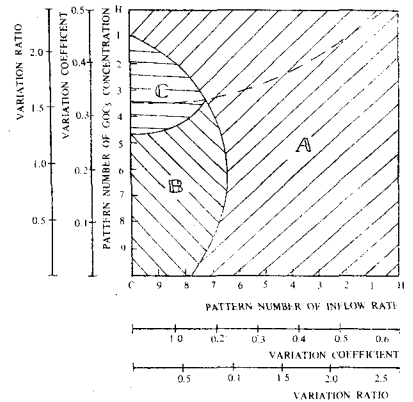


図 5.2 調整槽の効果と流入変動の関係

参 考 文 献

- [1] “FACOM ADSL/X解説書, 使用手引書” 富士通, 1976.
- [2] Bryant, J. O., “Continuous Time Simulation of the Conventional Activated Sludge Wastewater Renovation System.” Dr.thesis, Clemson University, 1972.
- [3] Thereoux, R. J. & J. M. Betz, “Sedimentation and Preaeration at Los Angels,” Sewage and Industrial Wastes, **31**, 1259, 1959.
- [4] Pflantz, P., “Performance of (Activated Sludge) Secondary Sedimentation Basins.” Presented at Fourth International Conference on Water Pollution Reseach, Prague, 1968.
- [5] Tracy, K. D., “Mathematical Modeling of Unsteady-State Thickening of Compressible Slarries.” Dr. thesis, Clemson University, 1973.
- [6] “「下水処理水の循環利用システムに関する研究」の報告書(その1),” 京都大学工学部平岡研究室, 日本住宅公団, 1979.
- [7] “既設処理場の改善指針に関する調査” 建設省都市局, 日本下水道事業団, 1977.
- [8] “下水道設計指針と解説” 日本下水道協会, 1972.