

京都大学工学部衛生工学科

正会員 平岡 正勝

同

正会員 津村 和志

同

学生員 〇松野 豊

1. はじめに

下水処理場において処理水質の悪化や不安定を招く原因の一つに流入量の変動が考えられる。従来から下水処理プロセスは、各槽に設計余裕をもたせることでこのことに対処してきた。しかしこの方策はコスト面からみて不経済であり、また変化に敏感な生物系に充分対応しているともいえない。そこで次の2つの対策を考える。1つは自動制御を導入して運転の効率化や情報の集中管理を行なうことである。これは昨今のマイコン普及により今後急速に研究が進むと思われるが、浄化機能の解明など多くの問題点が残っている。2つめは処理プロセスの前に調整槽を設けて流量あるいは水質を均等化することである。均等化されるとショック負荷による生物の活性低下やキャリーオーバーを防いだり運転操作の簡易化、設備規模の縮小が期待でき、コスト的に有利であろう。本研究では調整槽導入による後続プロセスへの効果を、主に建設コストの面から評価し、その最適性を探ってみた。

2. 問題の設定

対象とするプロセスは調整槽、ばうろ槽、終沈である。(図1)まず流入量変動を図2のようにパターン化し、この流入により処理プロセスがその機能を充分果たし得るかを、表2に示した制限条件により判断する。流入変動が大きいと、プロセスは制限条件を満たすことができず機能失陥となり、このとき調整槽を導入し、(導入条件1)変動と均等化して制限条件を満たすようにする。(最適容量決定問題)均等化の程度により調整槽の容量が変化し、均等化による後続プロセスの容量縮小化とコスト的にトレード・オフが成立する。次に流入変動が小さいときはそのままも制限条件を満たすが、導入によるコスト低下を考えるとやはりトレード・オフが成立する。(導入条件2、及び最適容量決定)以上により、調整槽を導入する条件とその最適容量を探索するのが問題である。コストの内容を表1に示すが、ここに調整槽のコストは土木と初沈に、また機械をばうろ槽に類似させて与え、関数はいずれも指数型である。

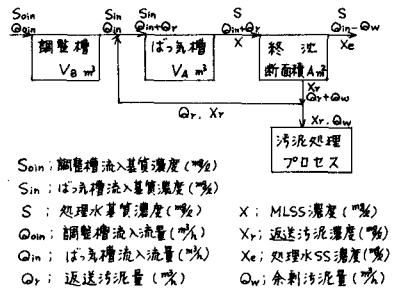


図1 プロセス概略

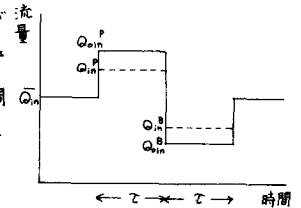


図2 流入変動パターン

3. プロセス方程式

表3に本研究に用いたプロセス方程式を示す。これらの式の自由度は4であり、今設計変数として $\theta, \theta_c, \gamma$ の4つを選ぶ。シミュレーションの方法は、4つの値を与えてまず平均時のプロセスを設計し、次に $\gamma, \theta$ を与えて表4に示す各種制御によってピーク又はボトム時に制限条件を満たすかどうかを調べ、満たすならその設計値を採用しコストを求める。 $\theta$ の各値について $\theta, \theta_c, \gamma$ を変化させパターン探索法により最小コストとなる設計と最適設計とした。本来このような変動プロセスは非定常な動的解析も重要だが、流入変動のパターン化や、Monod式の採用により平均、ピーク、ボトムの各状態が定常に達した時と本研究では考え、従って突発的な変化は考慮せず、ある程度以上のピーク継続時間をもつ場合を考えている。

表1 コストの内容<sup>1)</sup>

|              |          |
|--------------|----------|
| 調整槽          | 土木、基礎、機械 |
| ばうろ槽         | 土木、基礎、機械 |
| 最終沈殿池        | 土木、基礎、機械 |
| 汚泥処理         |          |
| 濃縮槽、消化槽、注水槽  | 土木、機械    |
| 貯留槽、ガスファン、腐敗 | 土木、機械    |
| 脱水、焼却        | 機械       |

コスト関数  $C = a \cdot V^b$  ( $a, b$ ; 定数)

#### 4. シミュレーションの結果と考察

シミュレーションの結果次のことがわかった。

1) コスト変化の傾向は直線的であり最適均等化率は存在しない。(図3~5) この理由は調整槽とそれ以外のプロセスとの間に規模メリットの傾向の差異がないから

であろう。従って調整槽を導入して流量均等化を計るか導入せずに制御で対応するかを選択になる。2) コスト変化の傾向は $\varphi$ や制御の種類に無関係である。これは $\varphi$ の増加により $V_B$ の増加率は増すが反面、 $V_A$ や $V_F$ の減少率も増すから全体としての傾向が変わらないことによる。(図7.8) 3) 調整槽導入の選択はピーク時間で決まる。これは $\tau$ の増加によって $V_B$ が大きくなるが $V_A$ ,  $V_F$ は変化せず、全体として調整槽のコスト比率が高くなるからである。(図7.9) 4)  $\varphi$ が増加すると運転不可能域が出る。この場合は調整槽を導入しなければならずその最適性は $\tau$ による。5) 流量の増大は1)~4)の傾向に影響を与えない。従って流入変動が大きければ大規模な処理場でも調整槽の導入を考える必要がある。(図6) 以上本研究により調整槽導入のcriterionの概要は把握できた。今後流入パターンの改良や水質の均等化などの考慮により実情に合った解析を進めていく必要があり、さらに本質的な問題である調整槽導入と自動制御との対応を考えるために、各制御間の有効性の差異なども検討していくことが重要であろう。なお本研究を進めるにあたってこの基礎を築いてくれた当時4回生の植村健君に感謝の意を表しておきます。

総コスト(百万円) (Y:  $\theta_c$ -定)

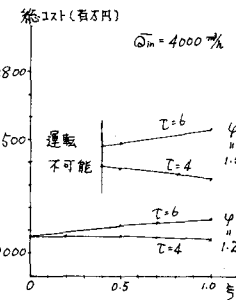
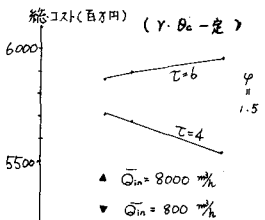


図3  $Q_r \cdot Q_w$ -定制御

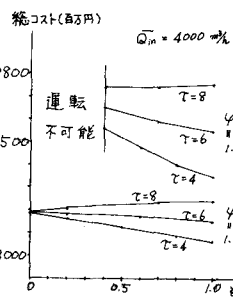


図4  $Q_w \cdot Y$ -定制御

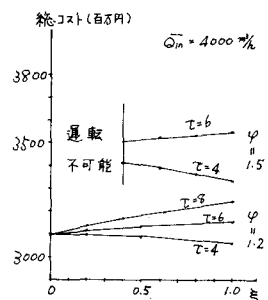


図5  $Y \cdot \theta_c$ -定制御

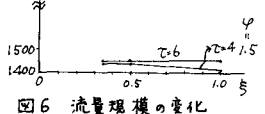


図6 流量規模の変化

#### <参考文献>

1) "下水処理場設計の省力化", 日本下水道事業団, 試験部報告, 昭和51年6月.

2) 植村 健 "調整槽の最適設計に関する研究", 京都大学卒業論文, 1980.

表4 制御の種類

|     |                         |
|-----|-------------------------|
| 制御1 | $Q_r \cdot Q_w$ -定制御    |
| 制御2 | $Q_w \cdot Y$ -定制御      |
| 制御3 | $Y \cdot \theta_c$ -定制御 |

表2 制限条件

|                         |                                       |
|-------------------------|---------------------------------------|
| $S \leq 10 (\%)$        | $X_c \leq 70 (\%)$                    |
| $0.2 \leq B_c \leq 0.4$ | $B_L$ : BOD-SS負荷 ( $\frac{BOD}{SS}$ ) |
| $B_v \leq 0.8$          | $B_v$ : BOD容積負荷 ( $\frac{BOD}{V}$ )   |
| $\theta \leq 12 (h)$    |                                       |
| $X_r \geq 5000 (\%)$    |                                       |

表3 プロセス方程式<sup>2)</sup>

流入変動比  $\varphi = Q_{in}^p / \bar{Q}_{in}$

調整槽 均等化率  $\xi = \frac{Q_{in}^p - \bar{Q}_{in}^p}{Q_{in}^p - \bar{Q}_{in}^p}$   
 $V_B = \tau (Q_{in}^p - \bar{Q}_{in}^p)$   
 $= \tau \cdot \xi \cdot (\varphi - 1) \bar{Q}_{in}$

ばうろ槽

$(Y \frac{K_S X}{K_S + S} - bX) V_A = (Q_{in} + Q_r) X - Q_r X_c$

$(S_{in} - S) Q_{in} = \frac{b \cdot S \cdot X}{K_S + S} V_A$

最終沈殿池

$(Q_{in} + Q_r) X = (Q_r + Q_w) X_r$

$A = \max(A_L, A_r)$

$A_L = (Q_r + Q_w) X_r / Q_c$

$A_r = Q_r (Q_{in} + Q_r) X / (X_c - b_r)$

水理滞留時間  $\theta = V_A / Q_{in}$

汚泥滞留時間  $\theta_c = X \cdot V_A / Q_w \cdot X_r$

返送率  $\gamma = Q_r / Q_{in}$

Y: 汚泥産出係数( $\frac{kg}{kg}$ ) K<sub>S</sub>: Monod係数( $\frac{h^{-1}}{(\%)}$ )  
 b: 汚泥死亡率( $\frac{h^{-1}}{(\%)}$ ) Q<sub>c</sub>: 限界沈降流量( $\frac{m^3}{m^2 \cdot h}$ )  
 Q<sub>r</sub>, b<sub>r</sub>: Pflanzの回復係数 X<sub>c</sub>: 処理水SS流出基準( $\frac{mg}{l}$ )

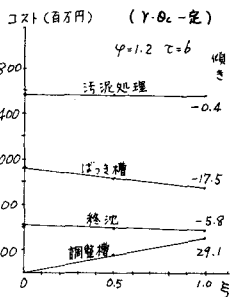


図7 各プロセスのコスト変化

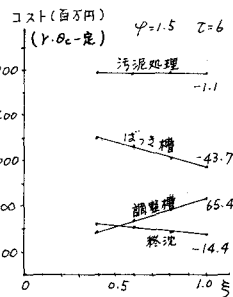


図8 各プロセスのコスト変化

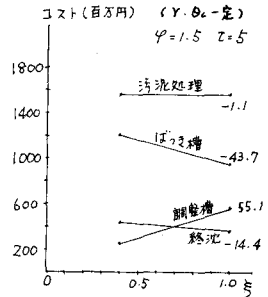


図9 各プロセスのコスト変化