

カルマンフィルタを用いた膜分離活性汚泥法の膜目詰まりの推定

武蔵工業大学 学生会員 ○信澤 雄一郎
武蔵工業大学 正会員 長岡 裕

1.はじめに

膜分離活性汚泥法には、膜目詰まりにより十分な処理量が得られなくなるとい問題がある。膜目詰まりは、膜表面に粘着質の物質や菌体外ポリマーが多く堆積することによって起こる。

活性汚泥法の運転において得られる測定データは、微生物の生成・死滅により影響され、不規則な変動をしている。不規則な変動は、その発生メカニズムを数式で表現することは難しい。そこで、そのようなデータは、確率論的に扱うことが妥当である。

本研究の目的は、膜目詰まりの要因を菌体外ポリマーなどの粘性物質として、ろ過抵抗の上昇を表すモデル式を直接カルマンフィルタに適応させて、膜目詰まりの時期を予測することである。

2.推定に用いるモデル式

推定に用いるモデル式は膜目詰まりの原因を、槽内に蓄積した菌体の代謝物質である菌体外ポリマー - であるとした数理モデルである。

菌体外ポリマー - 濃度の変化を示す式を以下に示す。

$$\frac{dp}{dt} = YL\beta - k_d p \quad (1)$$

Y : 収率, L : TOC 容積負荷(g/L/day) β : 菌体に対するポリマー - の割合 p : 菌体外ポリマー - 量(g/L) k_d : 自己酸化定数 (1/day)

菌体の増殖量に対して、ある割合の菌体外ポリマーが生成されと考えた。またポリマーの自己分解は、 k_d により一定速度により分解すると考えた。

膜面に付着する菌体外ポリマー - 量の変化を示す式を以下に示す。

$$\frac{dm}{dt} = CpJ - K \quad (2)$$

m : 膜付着ポリマー - 量 (kg/m²) C : 定数=0.2, J : 膜透過流束 (m/day) K : ポリマーの剥離量(kg/m²・day)

ポリマーの膜面への付着速度は、ポリマー量とフラックスの関係で付着し、剥離量 K により剥離していくものと考えた。

ろ過抵抗、混合液粘度は、以下のように示す。

$$R_p = (R_t - R_{memb}) = \alpha m \quad (3)$$

$$\mu = ap \quad (4)$$

R_t : ろ過抵抗 (m⁻¹×10¹²) R_p : 付着物によるろ過抵抗 (m⁻¹×10¹²) R_{memb} : 膜のろ過抵抗 (m⁻¹×10¹²)

α : ポリマー - の比抵抗 (m/kg) μ : 混合液粘度 (mPa・sec) a : 菌体外ポリマー - の粘度への影響(m²/sec)

(3)の式は、膜面に付着する菌体外ポリマー量のみがろ過抵抗に影響を与えるものとした式である。

(4)の式は、菌体外ポリマーと混合液粘度の関係が線形であるとした式である。

3.カルマンフィルタへの適用

線形離散時間確率システムは以下の式となる。

$$x_{t+1} = F_t x_t + G_t w_t \quad (5)$$

$$y_t = H_t x_t + K_t v_t \quad (6)$$

$t=0,1,\dots$

x_t : 状態ベクトル, y_t : 観測ベクトル

w_t : システム雑音, v_t : 観測雑音

F_t : 状態遷移行列, G_t , K_t : 駆動行列

H_t : 観測行列

(1),(2),(3),(4)の式を、(5),(6)の式の線形離散時間確率システムに適用させる。それぞれのマトリックスは以下のようなになる¹⁾。

$$x_t = \begin{pmatrix} p \\ m \\ \beta \end{pmatrix} y_t = \begin{pmatrix} \mu \\ R_p \end{pmatrix} K_t = \begin{pmatrix} 1 \\ 4 \end{pmatrix} G_t = \begin{pmatrix} 0.03 \\ 0.02 \\ 0.001 \\ 0.001 \end{pmatrix}$$

キーワード 膜分離 活性汚泥法 カルマンフィルタ ろ過抵抗

武蔵工業大学工学部 (〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 TEL 03-3703-3111 FAX:03-5707-2222)

$$F_t = \begin{pmatrix} -(k_d \Delta t - 1) & 0 & YL \Delta t & 0 \\ J \Delta t & 1 & 0 & -\Delta t \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$H_t = \begin{pmatrix} a & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \alpha & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

観測ベクトルを混合液粘度、ろ過抵抗とし、状態ベクトルを菌体外ポリマーの量、膜付着ポリマーの量、菌体に対するポリマーの割合、ポリマーの剥離量とし、時間を t (日)間隔で変化するものとする。

4.推定結果及び考察

モデル式での定数となる値は以下のとおりとした。
収率: $Y=0.5$, TOC 容積負荷: $L=0.5(\text{g/L/day})$, 自己酸化定数: $k_d=0.02(1/\text{day})$, 定数: $C=0.2$, フラックス: $J=0.15(\text{m/day})$, サンプリング間隔は $t=2(\text{day})$ とした。

状態ベクトルの初期条件は以下のとおりとする。
菌体外ポリマーの量: $p=0.081(\text{g/L})$, 膜付着ポリマーの量: $m=0(\text{kg/m}^2)$, 菌体に対するポリマーの割合: $\beta=0.032$, ポリマーの剥離量: $K=0.01(\text{kg/m}^2 \cdot \text{day})$, 菌体外ポリマーの粘度への影響: $a=0.5(\text{m}^2/\text{sec})$, ポリマーの比抵抗: $\alpha=1.9 \times 10^{16}(\text{m/kg})$ システム雑音の標準偏差を 1 とし観測雑音の標準偏差を 7 とする。

以上の条件を用いてカルマンフィルタでの推定を行った。混合液粘度についての推定結果を図 1 に示し、ろ過抵抗の推定結果を図 2 に示す。カルマンフィルタの推定は、予測、フィルタリング、予測という逐次的なアルゴリズムで計算しているので、推定結果は予測値とフィルタリング値を示した。

混合液粘度、ろ過抵抗はともに観測値に追従した予測値が求まった。しかし、80 日以降のろ過抵抗の予測値は、常に観測値を上回る値をとった。この原因は、モデル式の影響が強くでたといえる。また、ろ過抵抗の観測値が、モデル式を作る際に想定した変化よりも、変動が激しくなかったといえる。

図 3 にろ過抵抗の長期予測した結果を示す。135 日、170 日、180 日からそれぞれ長期予測をした。長期予測に用いるパラメータは、状態ベクトルとして求められた β : 菌体に対するポリマーの割合, K : ポリマーの剥離量である。135 日、170 日からの予測はそれぞれ近い

値に収束した。しかし、観測値に追従した長期予測とはいえない。この原因はモデル式の影響といえる。

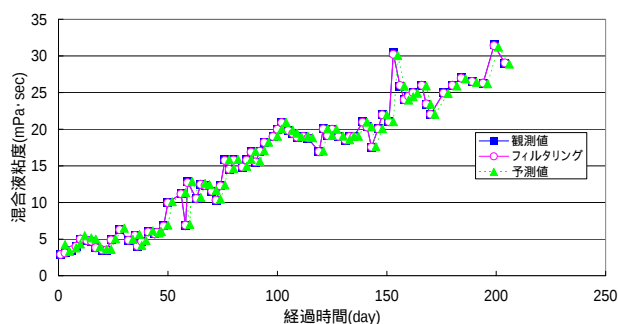


図 1 混合液粘度

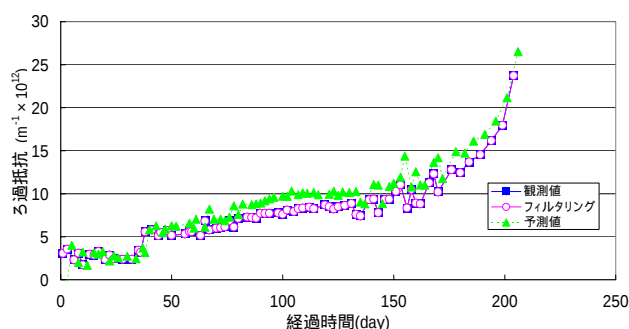


図 2 ろ過抵抗

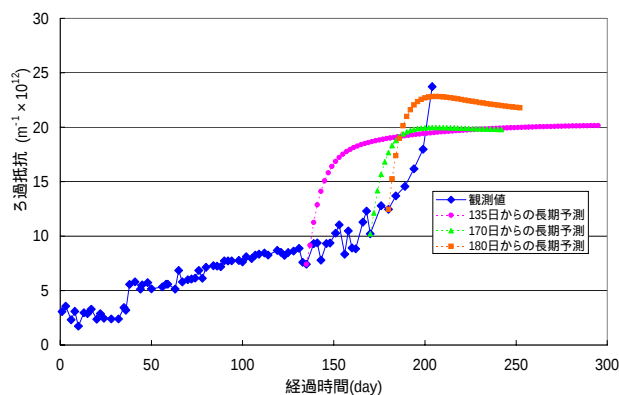


図 3 ろ過抵抗の長期予測

まとめ

カルマンフィルタを用いることにより、観測値に追従した推定値を求めることができたが、長期予測は観測値とは追従した結果ではなかった。推定に用いるモデル式の改良が必要である。

参考文献

- 1) 西山 清 パソコンで解くカルマンフィルタ 丸善株式会社(1993)
- 2) 高森 雄 浜谷 慎一郎 膜分離活性汚泥法における膜目詰まり抑制のための運転パターンの検討及びその原因物質の解析 武蔵工業大学卒業論文(1999)