

VII-90

カルマンフィルターを用いた膜分離活性汚泥法の膜目詰まり過程の予測手法の開発

武蔵工業大学 学生会員 高安陽介*

武蔵工業大学 正会員 長岡裕**

1. はじめに

膜分離活性汚泥法の最大の問題点は、膜面に菌体外ホリマなどの粘性物質が膜面に付着し、膜透過流束が減少し、十分な処理水量が得られなくなる点にある。本論ではろ過抵抗の上昇を表す方程式を用いて、1ステップ先(2日後)と5ステップ先(10日後)のろ過抵抗の上昇および混合液粘度を予測し、観測値と予測値を比較することによりカルマンフィルターによる予測の信頼性について検討を行った。

2. 線形確率システム

活性汚泥法のような不確定な要因が相互に関連するような現象は、確率論的に扱うのが妥当である。実際の物理現象は、モデルの構造系、観測系の全てにノイズが含まれており、本論では観測量を確率量として扱うこととする。線形確率システムは以下の状態方程式(1)と、観測方程式(2)で表現される。

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

$$Y_{t+1} = H_t \cdot x_t + K_t \cdot v_t \quad \dots(2)$$

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 H_t : 観測行列 G_t K_t : 駆動行列

雑音ベクトルは平均値0のガウス白色雑音である。

3. モデル式

菌体外ホリマの生成を(3)式のようにあらわし、膜面に付着する菌体外ホリマの量を(4)式のようにあらわす。

$$\frac{dP}{dt} = Y \cdot L \cdot \beta \cdot P - k_d \cdot P \quad (3) \quad \frac{dm}{dt} = P \cdot J - k_m \quad (4)$$

Y : 収率=0.5 L : TOC 容積負荷=0.9(g/L/day) β : 菌体に対するホリマの割合 m : 膜付着ホリマ量(kg/m²) P : 菌体外ホリマ量(g/L) J : 膜透過流束=0.12(m/day) k_d : 自己酸化定数=0.018(1/day)

膜面に付着する菌体外ホリマのみがろ過抵抗に影響を与えると仮定すると(5)式のようになり、また、

菌体外ホリマと混合液の粘度の関係が線形であるとする(6)式のようになる。

$$(R - R_{\text{memb}}) = \alpha \cdot m \quad (5)$$

$$\mu = a \cdot P \quad (6)$$

R : ろ過抵抗(m⁻¹ × 10¹²) α : ホリマの比抵抗 1.9 × 10¹⁶(m/kg) K_m : ホリマの剥離量(g/m² · day) μ : 混合液粘度(mPa · s) a : 菌体外ホリマの粘度への影響=0.5(m) R_{memb} : 膜のろ過抵抗=2.5726(m⁻¹ × 10¹²)

(3)~(6)式より線形確率システムの各行列は以下のように定義される。

$$x_t = \begin{pmatrix} P \\ m \\ \beta \\ k_m \end{pmatrix} \quad G_t = \begin{pmatrix} 0.03 \\ 0.02 \\ 0.001 \\ 0.00001 \end{pmatrix} \quad Y_t = \begin{pmatrix} \mu \\ R_t \end{pmatrix} \quad K_t = \begin{pmatrix} 1 \\ 4 \end{pmatrix}$$

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

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

R_t : $R - R_{\text{memb}}$ Δt : 2(day)

4. カルマンフィルター⁽¹⁾

離散時間確率システムに対するカルマンフィルターは次の(a)~(d)で与えられる。

(a) フィルタ方程式

$$\hat{x}_{t+1/t} = F_t \cdot \hat{x}_{t/t} \dots (7)$$

$$\hat{x}_{t/t} = \hat{x}_{t/t-1} + K_t [Y_t - H_t \cdot \hat{x}_{t/t-1}] \dots (8)$$

$t=0, 1, 2, \dots$

K_t : カルマンゲイン行列

(b) カルマンゲイン

$$K_t = P_{t/t-1} \cdot H_t^T [H_t \cdot P_{t/t-1} \cdot H_t^T + R_t]^{-1} \dots (9)$$

キリト: 膜分離活性汚泥法, ろ過抵抗, 混合液粘度, 菌体外ホリマ, カルマンフィルター

* 武蔵工業大学工学研究科土木工学専攻(〒158 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 tel03-3703-3111)

** 工博 武蔵工業大学助教授(同上)

R_t : 正定値対称行列

P_t : 推定誤差共分散行列

(c) 推定誤差共分散行列

$$P_{t+1/t} = F_t \cdot P_{t/t} \cdot F_t^T + \frac{\sigma_w^2}{2} G_t \cdot G_t^T \cdots (10)$$

$$P_{t/t} = P_{t/t-1} - K_t \cdot H_t \cdot P_{t/t-1} \cdots (11)$$

(d) 初期条件

$$\hat{x}_{0/-1} = \bar{x}_0, \quad P_{0/-1} = \Sigma_0 / \sigma_v^2 \cdots (12)$$

5. 解析結果および考察

システム雑音の標準偏差は1, 観測雑音の標準偏差は7とし, 状態量の初期値はそれぞれ $P = 0.202(\text{g/L})$, $m = 0(\text{kg/m}^2)$, $\beta = 0.032$, $K_m = 0(\text{kg/m}^2 \cdot \text{day})$ とする⁽²⁾. また30, 46, 72 日目に膜洗浄を行ったため, 膜付着ポリマー量を0.3倍し, 46, 66 日目に汚泥の引き抜きを行ったので菌体外ポリマー量を0.7倍し計算を行った.

以上の条件を用いてカルマンフィルタにより予測を行った. 1ステップ先を解析した結果と実測値の粘度についての比較を Fig.1 に, 5ステップ先についての比較を Fig.2 に示す. 1ステップ先については観測値に追従した予測値を得られたが, 5ステップ先については値の追従性が悪く, 汚泥引き抜き時に値が乱れている.

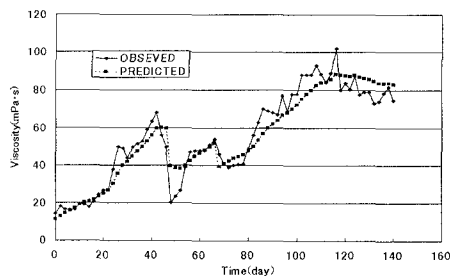


Fig.1 Prediction of Viscosity(1step)

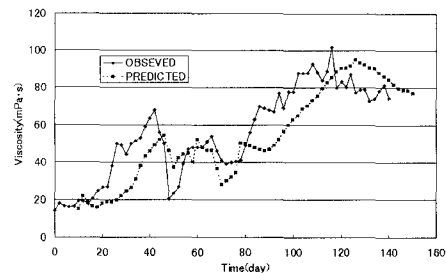


Fig.2 Prediction of Viscosity(5step)

Fig.3 に 1 ステップ先のろ過抵抗の予測値と実測値の比較を, Fig.4 に 5 ステップ先の予測値をそれぞれ示す. 混合液の粘度に比べ値の変動が激しいため, 5 ステップ先の予測値の追従性が悪くなってしまっている. また膜洗浄によるろ過抵抗の低下の影響によりその後の予測値の精度が悪くなっている.

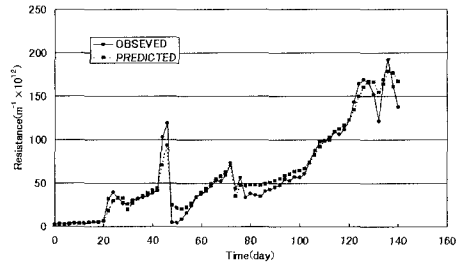


Fig.3 Prediction of Resistance(1step)

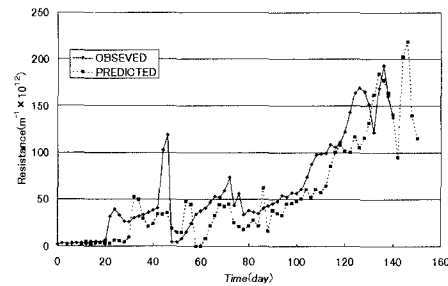


Fig.4 Prediction of Resistance(5step)

6. 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, 2 日先のろ過抵抗および混合液の粘度の予測値を得ることができた. しかし, 10 日先の予測値は追従性が悪い. この理由はモデル式が活性汚泥法の不確実な要素を加へていないことが考えられる. また, 膜面洗浄や汚泥引き抜きの後には予測精度が落ちており, 計算上の扱いが適切ではないと思われる.

7. 今後の展望

膜洗浄などの式での扱いを再検討する. また, 実際の実験装置の運転制御に応用する.

参考文献

- (1) 西川 清: パソコンで解くカルマンフィルタ, 丸善, (1993)
- (2) 植田 真司: 膜分離活性汚泥法における膜透過流束低下因子の究明, 武蔵工業大学修士論文(1995)