

浄水場における処理負荷平滑化最適計画制御システム

関東芝府中工場 ○宮島 康行 小林 主一郎 下田 潤

1. まえがき

浄水場では計算機を用いて、運転・制御を行なっている。主な制御対象は、流量、水質、汚泥処理の3つである。浄水場を合理的に運転するために流量制御の立場では、浄水の需要予測に基づいて例えば急速ろ過池の逆洗水量や遊水返送流量等の場内消費流量、循環流量や、浄水池の貯水容量を総合的に考慮して運転する必要がある。また不要な循環水による動力の無駄やろ過量の急激な変化の防止をも考慮しなければならない。

本文で提案する方式は、浄水需要予測と洗浄予定に基づいて浄水処理プロセスの流量制御を行なうものである。制御は、最適計画法に基づいたフィードフォワード制御と運転規則を用いたフィードバック制御部から構成されている。ここでは、フィードフォワード制御部を最適浄水計画、またフィードバック制御部を監視と呼ぶ事にする。最適制御計画ではろ過量の変動が最小となる様な計画制御を行なっている。一方、監視では計算機内に記憶している運転規則に従って水利権を考慮したり、不要な循環水を防ぐ様なフィードバック制御を行なっている。

本文では、本方式を適用した場合の浄水場の動きを計算機シミュレーションによって検討した結果について報告する。

2. 対象システム

浄水プロセスは、沈でんろ過設備と浄水池が主要な設備である。前者では原水から浄水を生産しこれを後者で貯水して送配水プロセスへ供給するものである。浄水需要に応じて変動する送水流量に対し、沈でんろ過流量の変動を小さくする様に運転する事が望ましい。

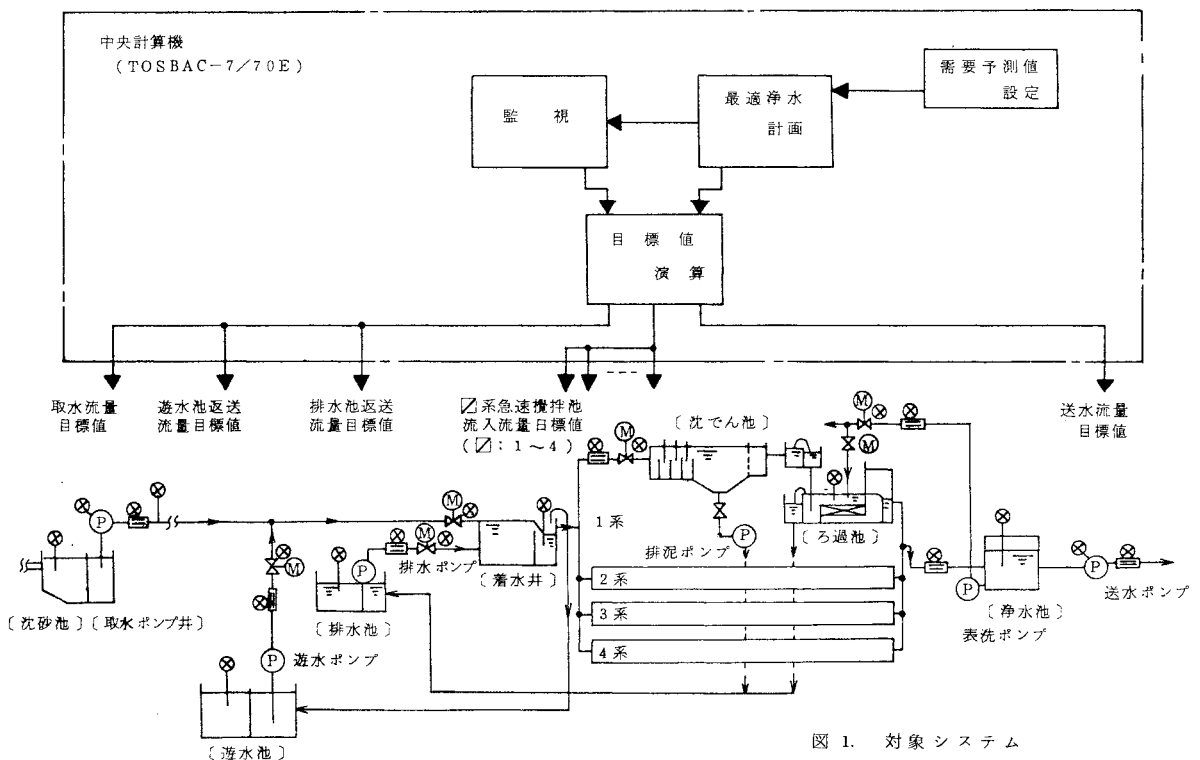


図 1. 対象システム

また、浄水プロセスの前段には遊水池があり、余った原水は着水井オーバーフロー管を通じて遊水池に流れられ原水不足時に遊水ポンプによって着水井へ返送される。場内での循環水による動力の無駄を防ぐために着水井オーバーフローは小さい事が望ましい。調整可能な要素は、取水流量、遊水池返送流量、急速攪拌池流入流量である。

以上が、ここで対象としたシステムであるが、プラントによっては遊水池が省略される場合もある。また、沈でんろ過設備は、複数の系統によって構成されるものが一般的である。

3 処理負荷平滑化最適制御システム

本文の制御システムは、最適浄水計画アルゴリズムと監視アルゴリズムから構成される。また、目標値演算では最適浄水計画と監視からの信号に応じて各点の流量目標値を演算している。

3.1 最適浄水計画

最適浄水計画アルゴリズムでは、浄水需要予測値から、ろ過流量（ろ過池の処理負荷）の変動が最小となる様に急速攪拌池流入流量制御計画値を演算する。アルゴリズムは次の2ステップから構成されている。

ステップ1、（最適計画）：整数計画法を用いて浄水需要予測値からろ過流量制御計画を作る。

ステップ2、（ダイナミックな補正）：沈でんろ過プラントのダイナミックな応答を考慮して、ろ過流量制御計画から急速攪拌池流入流量制御計画を作る。

ステップ1では対象を図2の様にモデル化する。すなわち、ろ過流量（ q_{in} ）は浄水池に流入し、需要予測値（日配水量設定値）と洗浄水（表洗水+逆洗水）が浄水池から流出する。ステップ1の目的は、浄水池保有水量を設定された範囲に保つという制約条件の下で、ろ過流量の変動を最小とする事である。従って問題は以下の最適計画問題として定式化される。

$$\text{目的関数： } \sum_{k=1}^{\ell} (I \cdot X(k))^2 \rightarrow \text{最小} \quad (1)$$

$$\text{制約条件： } |X(k)| < C_x \quad (2)$$

$$f_n < Q^*(k) < f_x \quad (3)$$

$$H_n < H(k) < H_x \quad (4)$$

ここに、 $Q^*(k) = F \cdot Y(k)$

$$Y(k) = Y(k-1) \oplus X(k)$$

$Y(0), H(0)$: 所定値

$$H(k) = \frac{F \cdot Y(k) - \hat{Q}(n)}{A} + H(k-1)$$

また、 $X = (x_1, x_2, \dots, x_d)$

$$Y = (y_1, y_2, \dots, y_d)$$

$$x_i, y_i = 0 \text{ または } 1, (i=1 \sim d)$$

$$F = (f_1, f_2, \dots, f_d)$$

$$f_i = \text{ろ過流量変更値} [m^3/H]$$

C_x は0または正の整数でXのノルムの上限

f_x, f_m はろ過流量の上下限值 [m^3/H]

H_x, H_m は浄水池水位の上下限值 [m]

Iは単位行列、Aは浄水池断面積 [m^2]

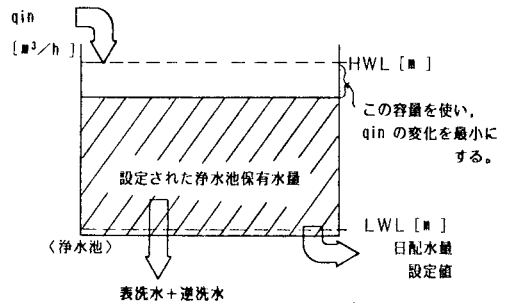
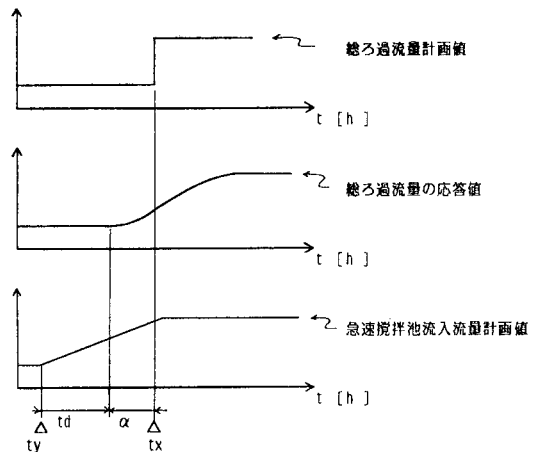


図2. ろ過流量制御計画の立て方



t_d : 応答のむだ時間
 α : 内部演算されるパラメータ

図3. 沈でんろ過プロセスの制御応答

$H(k)$ は時間帯 k の浄水池水位 [m]

$Q^*(k)$, $\hat{Q}(k)$ は時間帯 k のろ過流量目標値, 需要予測値 [m^3/H]

このように, 0-1 整数計画問題として定式化して, 分枝限定法 (Branch and Bound Method) (1) を用いて解き, 各時間帯 (たとえば1時間) ごとのろ過流量制御計画を1日分作成する。

沈でんろ過プロセスの応答は, "むだ時間" + "遅れ" 系の応答とみなせる。

例えば, 図3(下)の様に急速攪拌池流入流量を変化させた場合のろ過流量の変化は図3(中)のようになる。沈でんろ過プロセスの制御応答を考慮して, ステップ1で求めたろ過流量制御計画値(図3(上))を得るための急速攪拌池流入流量計画値(図3(下))を求める部分がステップ2である。

3.2 監視

監視アルゴリズムでは, 浄水池のマスバランスを考慮して浄水池の水位が計画水位となる様に急速攪拌池流入流量目標値にフィードバック制御を行なう。また, 計算機内に記憶されている運転規則に従って, 取水流量, 遊水池返送流量, 各系ごとの急速攪拌池流入流量の目標値を演算する。

運転規則は, (前提条件)(処理) という形で計算機に与えられている。前提条件部分の条件が成立した場合に処理部分に与えられた目標値演算処理が実行される。運転規則の一例を図5に, 流れ図で示す。この例では, 取水流量を可能な限り一定とし, また着水井オーバーフローを小さくする様に運転規則を与えている。なお, この例で原水が不足する場合は, 急速攪拌池流入流量計画値に比べて, 取水流量と排水返送流量目標値の和が小さい場合を指す。図5の例とは別に, 各沈でんろ過系統のろ過池運転池数に応じて, 急速攪拌池流入流量計画値を各系統ごとに分配する運転規則も与えられている。

4. 計算機シミュレーションによる数値実験結果

図4は最適浄水計画と監視を主体としたシミュレーションプログラムの全体の流れ図である。シミュレーション結果を図6に示す。需要予測値は $60 \text{万} m^3/\text{日}$ ($\div 6.9 \text{万} m^3/\text{秒}$) $\pm 10\%$ とし, ろ過池の洗浄は3時間の一定周期とした。また, 浄水池水位は, $2.8 \sim 3.3$ [m] となる様に制約条件を与えた。

浄水池の水位が3時間周期で変動している。これは, 3時間毎に洗浄水が消費されるためであり, 洗浄直前の水位に関してのマスバランスが計画により保証されている。図6のシミュレーションでは需要予測=実需要(送水流量)としているので, 浄水池水位は完全に制御されている。なお, 排水返送制御は与えられているとして,

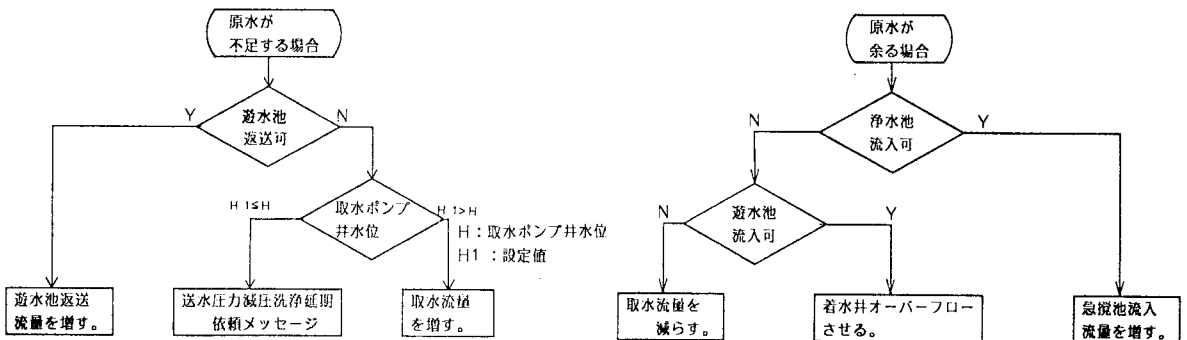


図5. 運転規則の一例

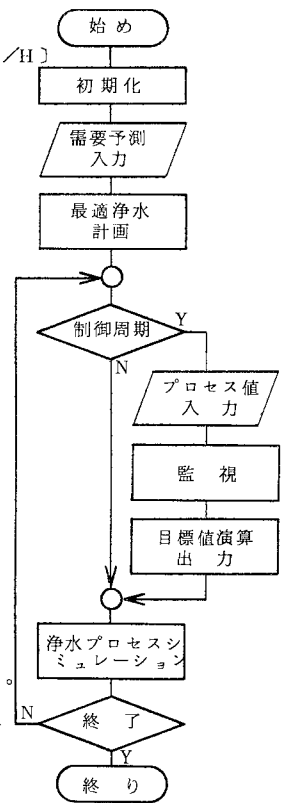


図4 シミュレーションプログラムの流れ図

シミュレートした。

監視アルゴリズムによって取水流量、遊水
 返送流量の制御が行なわれている。T = 0 ~
 4.5 [H] では、遊水池に水が保有されてい
 てかつ、取水流量が急速攪拌池流入流量を下
 まわっている。この場合、取水はできるだけ
 変化させず遊水返送によってカバーしようと
 している。T = 4.5 [H] を過ぎて遊水池水
 位が下限を切った時、計画通り運転するた
 めには取水流量を増加させる以外に方法はない。
 T = 9 [H] 前から取水流量が減じられてい
 る。これは、着水井オーバーフロー→遊水返
 送→…の循環をさけるためである。次に、
 T = 12 ~ 18 [H] まで着水井オーバーフ
 ローが起きている。これは取水流量が設定値
 を下まわるとは水利権を考えた場合危険で
 ある。従ってこの場合は取水流量を減じるこ
 となく場内に水を保有しておくことが望まし
 いとの判断から遊水池に水を貯えたからであ
 る。最後に、T = 18 [H] 以降、遊水池の
 水位が上限に達し、取水流量を減ずる。

図 5 に示した運転規則によって以上の様に
 制御される。

5. まとめ

浄水場の浄水処理プロセスを総合的に制御
 する最適計画制御システムを開発した。運転
 上の特徴は、最適計画法に基づいてろ過池処
 理負荷の変動が最小化されることである。ま
 た、計算機内に記憶されている運転規則に従
 って浄水処理プロセスの各流量目標値を総合
 的に制御できることをシミュレーションによ
 って示した。運転規則の与え方によっては、
 ささまざまな運転が可能であろう。今後、さ
 らに本方式の実用性の検討を続けていく予定
 である。

参考文献

- (1) D.R.Plane, et. al.: Discrete Optimization
 Integer Programming and Network Analysis
 for Management Decisions

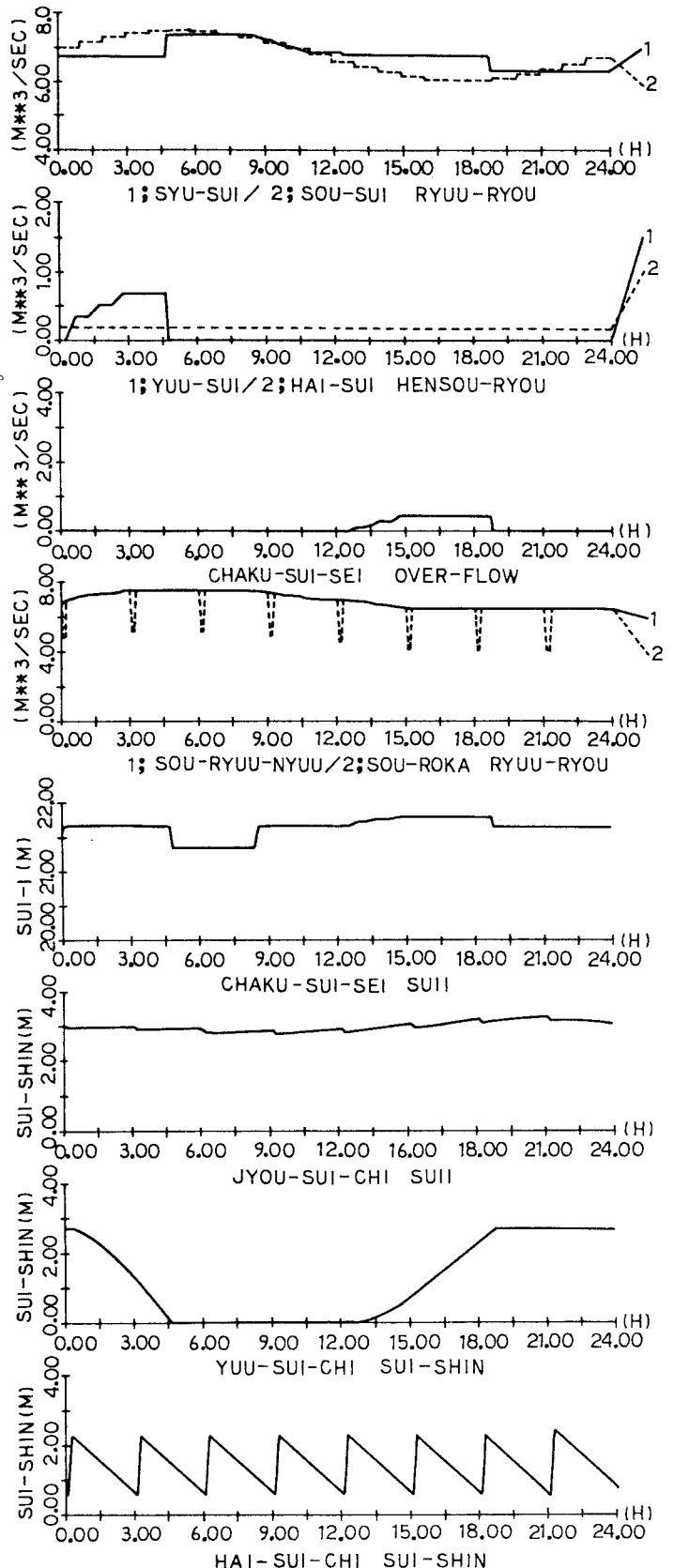


図 6 計算機シミュレーションによる数値実験結果