

京都大学防災研究所 正員 小尾 利治

京都大学工学部 正員 高橋 琢馬

大阪 ガ ス 正員 大下 静男

1. はじめに

現行のダム操作方式は、洪水時には一定量あるいは一定率方式、利水時には過去の実績もしくは需要に追従した方式であり、水資源の有効利用を考えると、十分活用できているとはいえない。一方、最適操作の研究は多数行われているが、治水、利水、渇水、それぞれ独立して展開されている。そこで本研究では、洪水終了時より次の洪水までの低水時を対象に、種々の特殊な入力条件に対する最適操作、および適度の操作を考慮し、長期にわたる一貫した実時間操作方式を提案しようとするものである。

2. 実時間操作の概要

実時間でのダム操作は、多数の水量、水質、雨量観測所から送られてくるデータを即時解析し、将来の入力分布を考慮した適切な放流量を迅速に決定するシステムが要求される。ニミで貯水池操作を治水制御終了直後の貯水池水位低下操作、高濁度の続く日数を減少させる操作、通常の利水操作、さらに、流入量のよめめて少ない渇水操作に分類すると、一連の実時間システムは次のようになる。

- i) 現在の貯水池の水量・水質状態を把握し、次時刻における放流量決定の初期値とする。
- ii) 現在および次時刻の降雨発生、流入ハイドログラフの形状を検討し、治水操作を行うかどうかを決定する。
- iii) 治水操作の場合は、制御期間、制御目的、入力推定法が低水時とは異なるので、別操作ルールへ移る。
- iv) 現在の貯水池の水量が利水容量より多くなっているときは、高水時の流入量予測を行うとともに、治水操作終了時の放流を続ける。ある制御期間内に水位が低下しないことが予測されれば、放流量を変化させる（水位低下操作）。貯水量が利水容量を下回ることで観測あるいは予測されると利水操作を行う。
- v) 現在の観測流入量が需要水量を下回っているときは、ただちに渇水操作を行う。
- vi) v)が発生しないときは利水時の流入量予測と放流量決定を行う。ただし、放流量が需要水量を下回っているならば、渇水操作に移る。
- vii) vi)の渇水操作が発生せず、しかも放流濁度が許容値を下回っているならば、iv)の利水操作を続ける。
- viii) 放流濁度が許容値を上回っているときは、高濁度の日数をできるだけ少なくするような操作を行う（濁質操作）。
- ix) 新しい施設の建設、制御目的の追加がない限り、本実時間操作が続くものとして、次時刻へ移りi)に戻る。

3. サブシステムの定式化

上記のようにして結合される各サブシステムは、具体的には、以下のような操作ルールに従って運用される。

3.1 水位低下操作 治水終了後の制御目的は、高水防御、低水管理、濁質管理であるから、それぞれ、

$$K = \max \left\{ \frac{Q_{mp}}{Q_{md}} \right\} \longrightarrow \min, \quad K \leq 1 \quad (1) \quad P \equiv \min \left\{ \frac{Q_{ml}}{Q_{md}} \right\} \longrightarrow \max, \quad P \geq 1 \quad (2)$$

$$D \equiv \max \left\{ \frac{C_{mmax}}{C_{md}} \right\} \longrightarrow \min, \quad D \leq 1 \quad (3) \quad (m = 1, 2, \dots, M)$$

となる。ここに、 Q_{mp} , Q_{ml} , C_{mmax} は基準地点 m ($m = 1, 2, \dots, M$; M は総数) におけるピーク流量、最低流量、最悪濁度、 Q_{md} , $\bar{Q}_{md}$, C_{md} 、高水、低水、濁度の許容値である。入力予測としては、状態方程式、観測方程式を

$$\frac{dx(t)}{dt} = \{ r(t) - f(x(t)) \}, \quad f(x) = C_1(t) \cdot \{ x(t) \}^2 \quad (4), \quad y = C_2(t) \cdot \{ x(t) \}^2 \quad (5)$$

においてハイドログラフを算出した¹⁾。なお制御期間は時間単位という点より48時間とし、目的はスカラー最適

化手法を用いて統合化をかけた。ただし、濁度は流量との一般関係式より一意的に推定する。その結果、DPによる最適操作が可能であり、貯水量は速やかに利水容量に近づくことになる。

3.2 利水操作 通常の利水

時は、低水管理と濁質管理であり、

式(2)、(3)が制御目的となる。制御

期間(T_E)は図に示す無降雨期間 t_b^{NR}

($NX=1,2,\dots,NR$)の確率密度関数 g 指数

分布で表わされることを用いて、

$$T_E = \hat{W}_{NR}^{-1} = \frac{\hat{W}_{NR-1} t_b^{NR} + (MR+NR)}{\hat{W}_{NR-1} (MR+NR+1)} \quad (6)$$

で推定される。²⁾ここに、 $\hat{W}_{NR}$ は指

数分布のパラメータ、 NR, MR は現在および母集団での無降雨期間の番号、 t_b^{NR} は現無降雨期間の長さである。

入力は自然てい減曲線と一般関係式より、流量 $QI(t)$ と濁度 $CI(t)$ を

$$QI(t) = e^{-a} QI(t-1) \quad (7), \quad CI(t) = e^{-ab} CI(t-1) \quad (\text{ただし、} CI(t) = a \{QI(t)\}^b) \quad (8)$$

で表わせば、カルマン・フィルタにより予測される。ここに、式(8)の a, b はパラメータである。さらに、経年的な水収支を考慮した仮想最終貯水量を設定すると、制御目的を達成しうる放流量の決定が行える。

3.3 濁質操作 洪水終了後数日間、高濁度が継続し、式(3)の制御目的ではかえって濁質の長期化現象をもたらす場合がある。その対策として、許容値を越える範囲内での被害レベルは同一にし、高濁度日数を減少しようとするものである。すなわち、基準地点の濁度を $C_m(t)$ とすれば、評価関数が

$$C_m(t) > C_{md} \text{ のとき } D_m\{C_m(t)\} = 1 \quad \text{かつ} \quad C_m(t) \leq C_{md} \text{ のとき } D_m\{C_m(t)\} = 0 \quad (9)$$

の制約をもち、制御目的 J_c は

$$J_c = \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^{T_E} D_m\{C_m(t)\} \longrightarrow \min \quad (10)$$

となる。

3.4 濁水操作 濁水時は水量に関する目的式(2)が他の目的より卓越する。しかし、心理的側面から濁水期間が長期間連続することに対する不満も考えられ、その制御目的は、濁水日数を TD_m で表わすと、

$$P' = \max\{TD_m\} \longrightarrow \min \quad (m=1,2,\dots,M) \quad (11)$$

となる。したがって、2目的最適化問題となる。フザに、制御期間 T_E' であるが、上図に示すように、利水時には異なっており、ある基準量以下の流量を生じる無降雨期間だけが対象になる。そうした無降雨期間が指数分布に従うとするならば、利水操作と同様にして T_E' を求めることができる。入力予測も、自然てい減時であるから利水時と同様になる。これに対して、仮想最終貯水量 $S(T_E')$ は現無降雨期間だけを対象にすればよく、期待値は、

$$S(T_E') = S_0 + \frac{QI_0}{\alpha_0} (e^{-\alpha_0} - e^{-\alpha_0 T_E'}) - e^{-\alpha_0} \left(S_0 + \frac{QI_0}{\alpha_0} \right) \cdot \int_1^{\infty} \frac{e^{-\tau}}{\tau} d\tau + \frac{QI_0}{\alpha_0} \cdot e^{-\alpha_0} \cdot \int_{1+\alpha_0 T_E'}^{\infty} \frac{e^{-\tau}}{\tau} d\tau \quad (12)$$

となる。ここに、 QI_0, α_0, S_0 は現時点での流入量、てい減係数、貯水量である。

4. あとがき

本研究は、治水操作終了後の低水時全般に及ぶダム貯水池操作システムの確立を目指したものである。適用例については講演時に述べるが、得られた成果としては、各サブシステムの操作手順とその結合によって、水資源のより有効な利用が可能になったことがあげられよう。また、今後の課題としては、実用化に向けて長期気象予報、気象衛星、レーダー情報を活用した予測精度の向上と最適解導出の簡略化があらう。

参考文献：1) 高橋、椎葉、宮：流水系へのフルタイム予測に関する基礎的研究(第2報)、土木学会第4回水資源講演会、報告集、II-94、1980。

2) 高橋、池淵、小泉：ダム貯水池における利水時のオンライン・リアルタイム操作、土木学会水理講演会論文集 No.26、1982。