

京都大学防災研究所 正員 小尻利治
 京都大学工学部 正員 高樟琢馬
 京都大学大学院 学生員 大下静男

1. はじめに 現行のダム貯水池操作は、治水時には一定率・一定量放流方式、利水時には必要量だけを放出し残りは貯留するといった、いわば、固定的かつ即時的な方法である。しかし、多数のダムが建設あるいは計画されている今日、ダム群相互の有機的関連と制御特性を考慮した実時間操作方式の確立が望まれている。そこで本研究では、予測された入力の最確値だけを取り扱う既知入力としてのダム操作ではなく、近年展開されている流出予測理論との結合をはかり、その精度に見合った放流量を決定する確率的操作方式を提案しようとするものである。

2. ダム貯水池操作の定式化 ダム貯水池への入力としては、量的および形式的表現が必要であるにもかかわらず、現在のところ、将来の入力を完全に予測することは不可能である。しかし、高樟らは、フィルタリング理論を用いて、誤差項を付加した形で入力予測を行うとともに、実流域に適用してかなりの成果を上げている^{1,2)}したがって、そうした予測方法を用いるならば、すなわち、ある誤差項を伴う確率的な入力予測をするなら、次のようなダム操作が考えられる。

(1) 平均値・超過確率方式：不確実な入力に対して、各時刻の入力をその平均値として与える方法が平均値方式である。単ダム・単評価地点系において、治水時の制御目的を

$$K = \max \{ Q_p / Q_d \} \longrightarrow \min \quad (1)$$

とおき、各時刻の平均値入力を $QI^m(t)$ ($t=1, 2, \dots, T$; T は制御期間の総数) とすると、DP の定式化は

$$f_t(S(t)) = \min_{\{O(t)\}} \left[\max \left\{ \frac{O(t)}{Q_d}, f_{t-1}(S(t) - QI^m(t) - O(t)) \right\} \right] \quad (2)$$

となる。ここに、 $O(t)$ は放流量、 Q_p, Q_d は評価地点における制御後のピーク流量と許容流量である。

次に、入力系列が危険側で発生する場合に対処するため、入力（あるいは誤差）の発生確率においてある超過確率を設定し、それに対応する流量を連ねて制御を行い放流量を決定する方法である。超過確率でもって仮想入力系列とするので、本方法を超過確率方式と呼び、その定式化は式(2)に準ずるのでここでは省略する。

(2) ストカスティック・コントロール方式：入力の統計的特性を利用し、乱数を用いて仮想の入力系列を発生させ制御を行う方法である。さらに、そうした入力を多数求め制御解の頻度分布図を描いて、設定された超過確率に対応する制御解を実放流量として決定するのである。任意の超過確率を選択でき、それが制御の安全率といふことができるので、本方法をストカスティック・コントロール(SC)方式と呼ぶ。

(3) 制御の達成度を考慮した確率的方式：ある制御の達成値 k を満足する操作のなかで、最も信頼性(確率)の高い操作を行おうとする方法である。具体的には、時刻 t において貯水量 $S(t)$ をとる確率 $\bar{P}^k(t, S(t))$ は、時刻 1 から t までの遷移確率の積として

$$\bar{P}^k(t, S(t)) = P^k(1, S(0), S(1)) \cdots P^k(t, S(t-1), S(t)) \quad (3)$$

として表わされるから、制御目的は

$$\bar{P}^k(T, S(T)) \longrightarrow \max \quad (4)$$

となる。ここに $P^k(t, S(t-1), S(t))$ は制御の達成値 k を維持しつつ、貯水量が $S(t-1)$ から $S(t)$ へ移行しうる確率である。ゆえに、DP の漸化式は

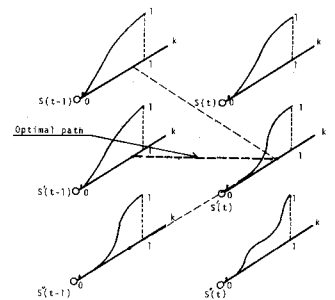


Fig.1

$$f_t(S(t), k) = \max_{\{S(t-1)\}} \{P^k(t, S(t-1), S(t)) \cdot f_{t-1}(S(t-1), k)\} \quad (5)$$

と、貯水量と制御値を状態量に、前時刻の貯水量を決定量として定式化される (Fig. 1 参照)。

3. 多目的操作への展開

利水時においては、水量だけでなく水質の管理も制御目的となる。ここでは、濁質をとりあげ、スカラー最適化手法によって³⁾制御目的を次のようにおく。すなわち、

$$J = \min \{C_d / C_{\max}, Q_e / Q_d\} \longrightarrow \max \quad (6)$$

である。ただし、 $C_{\max}$ 、 Q_e は制御後の評価地点を流下する最高濁度と最低流量であり、 C_d 、 Q_d は濁度と流量の許容値である。

流量および濁度の最確値とその誤差が予測される場合、平均値方式、超過確率方式では治水制御と同じく入力を一意的に与えるので、従来の決定論的な最適操作を用いることができる。また、SC方式においても誤差を乱数で与えることによって同様の適用が可能である。

一オ、制御の達成度を考慮する方式では、ある制御値 j を達成できる確率を $\bar{P}^j(t, S(t))$ とおけば制御目的は

$$\bar{P}^j(t, S(t)) \longrightarrow \max \quad (7)$$

となる。各時刻の流量、濁度の確率が算定できれば、式(5)の漸化式と同様になるが、前時刻の貯水池内の濁度分布によっては、同じ貯水量から貯水量への遷移であっても、当該時刻の濁質分布が異なってくるので、各時刻の濁度が状態量に加わるとともに、遷移確率の算定範囲が変動することが予想される。

4. 適用と考察

各時刻の予測流量が最確値のまわりで分散正規分布している入力系列を任意に与え、各手法の比較を行った。Fig. 2 は超過確率が0.1のときの方式(1)と方式(2)の比較である。得られた貯水量系列に相違がみられ、制御値は前者が0.861、後者が0.791となることからわかるように、超過確率方式ではかなり危険な操作結果となっている。Fig. 3 は方式(3)において、制御値が $k=0.55, 0.8, 1.0$ の場合の貯水量系列である。信頼度(最終確率)は $\bar{P}^{0.55}=0.098$ 、 $\bar{P}^{0.8}=0.497$ 、 $\bar{P}^{1.0}=0.853$ となり、制御値がゆるいと制御初期に貯水池を空けておき、きつくすると、初期より貯留を開始するので信頼度も低下するのであろう。一オ、多目的操作 (Fig. 4) では、制御値がゆる

いと入力と同様の形で貯水池を変化させ、きつくしていくにつれて、なだらかな曲線から初期に夜流を行う操作パターンに移行している。Fig. 5 は多目的操作時の頻度の累加曲線であり、任意の信頼度をを得るための制御値を逆推定し、常に予定した操作を行うことができよう。なお、実流域での適用例については講演時に述べたい。

5. おわりに

以上のように本研究では、入力がある確率的な誤差を伴う場合のダム操作方法を各種提案し、その特性を比較検討した。今後、(i) 制御結果のパターン化による操作の簡略化、(ii) ダム群の最適配置・規模決定への適用、などをほかり、より実用性を高めたい。

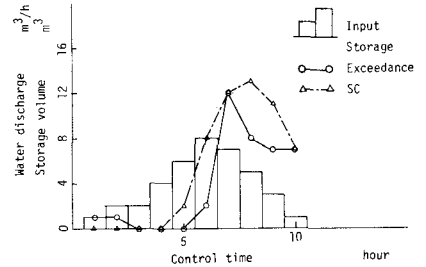


Fig. 2

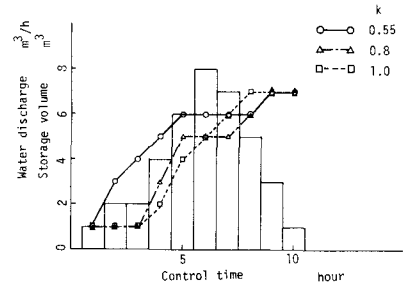


Fig. 3

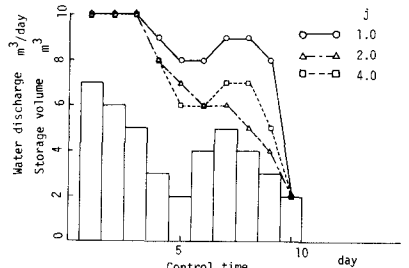


Fig. 4

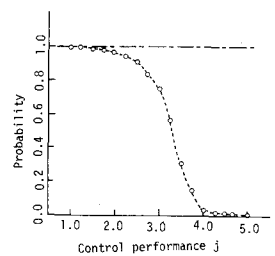


Fig. 5

参考文献 1) 高坪琢馬, 榎葉元晴: 状態空間法による流出予測, 京都大学防災研究所年報 第23号B-2, 1980, PP211-226

2) 高坪琢馬, 小尻利治: 利水時におけるダム貯水池の更時間操作に関する考察, 土木学会第35年次学術講演会, 1980, PP262-263

3) 池田周一, 小尻利治: 水量・濁質制御に関するスカラー・ベクトル最適化手法比較, 第16回自然資源科学総合シンポジウム, 1979.9, PP199-202