

不確実な入力分布に対するダム操作方式

京都大学工学部 正 員 高 棹 琢 馬

京都大学工学部 正 員 小 尻 利 治

京都大学大学院 学生員 〇 大 下 静 男

京都大学大学院 学生員 西 川 肇

1. はじめに 現在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放流し残りは貯留するという固定的かつ即時的な方法である。しかし、多数のダムが建設ならびに計画されている今日、ダム群相互の有機関連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操作ではなく、近年、展開されている流出予測との結合をはかり、その精度に見合った放流量を決定する確率的操作法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は、量的および形状的な表現が必要で、将来の入力を完全に予測することが不可能である。しかし、高棹らはフィルタリング理論を用いて、ある誤差項を付加した入力予測を行っている^{0,2)}。したがって、入力かその最確値のまわりで、ある確率分布をとるとすると、次のようなダム操作が考えられる。ただし、以下では洪水防御を対象にするが、利水制御でも適用可能なことはいうまでもない。

(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

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

とおき、各時刻の平均的入力を $QI^m(t)$ ($t=1, 2, \dots, T$; T は制御期間総数) とすると、単ダムでの 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、入力系列が危険側をと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。超過確率を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ぶ。なお、これら決定論的な方法では、入力系列の決め方がそのまま制御解の信頼度とはならず、また、実流入量が予測値より大きくはずれる場合には、人工洪水あるいは貯水池越流の危険性が残っている。

(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を描いて、必要な超過確率に対応した制御解を実放流量とするのである。任意

の超過確率を選択でき、それが制御の安全率ということができるので、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) 制御の信頼性を考慮した確率的方式：ある制御値 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。すなわち、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

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

として表わされるから、制御目的は

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

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、

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

となる。この計算手順は、Fig.1に示すように貯水量と制御値を状態量としている。

3. 適用と考察

各時間の流量の最確値と、その両側に正規分布の性状を任意に与えた入力系列で各方法の比較を行った。Fig.2は超過確率が0.1の場合の方式(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るとともに制御値は前者が0.861、後者が0.791となり、超過確率方式ではかなり危険な操作結果となるのがわかる。Fig.3は方式(3)において、制御値が $K=0.5, 0.7, 0.9$ の場合の放流量系列の比較であり、信頼度はそれぞれ、 $\bar{P}^{0.5}=0.08$, $\bar{P}^{0.7}=0.25$, $\bar{P}^{0.9}=0.44$ である。信頼度が高くなるにつれて、放流量系列の類似性が強くなるのがうかがわれる。Fig.4は適応制御の例として、毎時、標準偏差の範囲内での誤差を仮定し、予測と制御を繰り返し行った結果である。制御値を $K=0.9$ と固定しているので、全体に高い流量値をとっている。一方、信頼度は $t=5$ 以後 $\bar{P}^{0.9}=1.0$ を保ち、安全性が確認されている。

4. おわりに

以上のように本方法では、入力がある確率分布をもつ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)入力あるいは誤差項がマルコフ性を有する場合の定式化、(iii)多目的操作への適用などをはかり、より実用的な方法を究明していきたい。

参考文献 1)高橋琢馬、柚葉亮晴：状態空間法による流出予測、京大工学部研究年報第23号B-2, 1980, PP211-226

2)高橋琢馬、小沢利治也：利水時におけるダム貯水量の長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

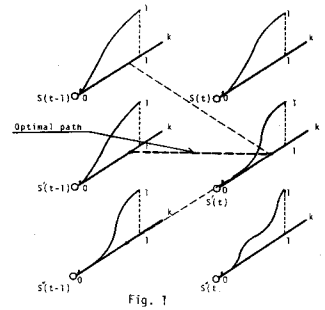


Fig. 1

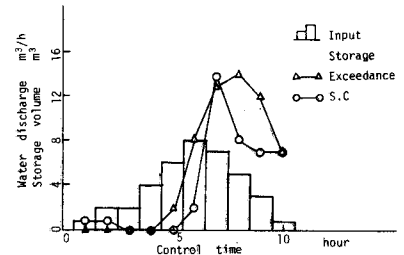


Fig. 2

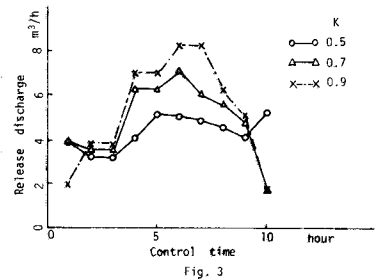


Fig. 3

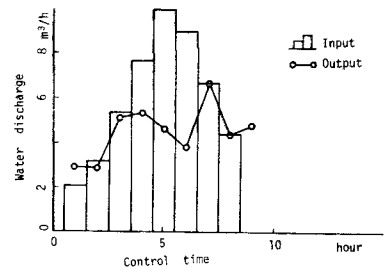


Fig. 4