

渇水時の貯水池管理方式の特性

神戸大学工学部 正員 神田 徹
 首都高速道路公団 正員 二宮 節夫
 神戸大学大学院 学生員 ○畑 恵介

1. まえがき

利水を目的としたダム貯水池の放流操作問題に関しては、従来多くの研究が行なわれている¹⁾。しかし、それらの多くは、必要貯水池容量の算定や放流ルール²⁾の最適化を計画段階で検討したものである。異常渇水時の実際の操作においては、この計画段階での最適操作方法に各時刻での情報を導入して、オンライン的にこれを改良していくことが肝要であろう²⁾。このために、本研究では貯水池流入量の予測に関係する操作上の問題について検討を行なったものであり、流入量特性は自己相関係数で代表させた。また、貯水池規模の大小に対応する操作方式についても考察を加えた。

2. 渇水時の貯水池操作目標

渇水時の放流操作は、貯水池の流況調整機能面と需要者側の利水目的の面から次のような基本的目標のもとに行なわれると考えてよいだろう。(1) 操作期間中、貯水池を空にしない。すなわち貯水池の流況調整機能を失わない。(2) 強度の水不足をなくして、節水の程度を平滑化する。(3) 放流量の総量を最大にする。これらのうち、本研究ではとくに(1)、(2)の目的に対する最適化を考える。

3. 節水放流ルール

節水放流ルールは、現時点からある将来までの一定期間の流入量の予測を行ない、その期間の総予測流入量と現時点の貯水量で目標放流量を放流可能かどうかをチェックし、放流可能、不可能に対応して、それぞれ目標放流、節水放流とすることを基本方針とする。

まず、目標放流を行なうか、節水放流を行なうかを決定する条件を次式で与える。

$$S_t + \sum_{l=1}^T \hat{Q}_t(l) - S'_{t+T} \begin{cases} \geq T \cdot R_c & \text{のとき目標放流} \\ < T \cdot R_c & \text{のとき節水放流} \end{cases} \quad \text{----- (1)}$$

ここに、 S_t は第 t 期末貯水量、 $\hat{Q}_t(l)$ は第 t 期から l 期後、すなわち第 $(t+l)$ 期の予測流入量、 S'_{t+T} は第 $(t+T)$ 期末の維持貯水量(後述)、 T は流入量の予測期間、 R_c は目標放流量である。放流量は次のように与える。

目標放流: $R_{t+1} = R_c$

$$\text{節水放流: } R_{t+1} = \frac{(S_t - S'_{t+T}) + \sum_{l=1}^T \hat{Q}_t(l)}{T} \quad \text{----- (2)}$$

ここに、 R_{t+1} は第 $(t+1)$ 期の放流量。

上式において、 S'_{t+T} に関して次のような放流操作を仮定する。操作期間始めから期間末まで、保持すべき貯水量を時間に比例して直線的に減少させるものとする(これを維持貯水量直線とよぶ)。このとき、任意の時刻における維持貯水量直線上の貯水量とその時刻から最終期間までの総目標放流量との比を維持貯水量係数 C とする。

4. 貯水量変化の特性

Fig.1によって予測期間前後の貯水量変化について説明する。現貯水量を点Pとし、時刻A, Bまでの予測期間をそれぞれ T_A , T_B とする。貯水量が点Pから維持貯水量直線に平行に変化するような操作をしたときに、 T_A , T_B の期間に使用される総水量をそれぞれ S_A , S_B とすれば、単位期間当りの放流量は、

$$R_t = \frac{S_A}{T_A} = \frac{S_B}{T_B} = R_c \cdot C \quad \text{----- (3)}$$

すなわち、このときの放流量は、 $R_t = Q_t + C \cdot R_c$ で与えられる。このような操作を基底放流操作と呼ぶことにする。

維持貯水量直線を越える貯水量を余裕水量 S_0 と考えると、 $T_A < T_B$ として、予測期間 T_A , T_B における単位時間当りの利用可能な水量には次の関係がある。

$$\frac{S_0 + S_A}{T_A} = \frac{S_0}{T_A} + R_c \cdot C > \frac{S_0 + S_B}{T_B} = \frac{S_0}{T_B} + R_c \cdot C \quad \text{----- (4)}$$

したがって、維持貯水量直線を目指す操作を行なおうとすれば、予測期間が長いほど、節水開始時期は早く、節水量が多くなり、また、貯水量は高く保たれる。

次に、現時点の貯水量が維持貯水量直線より下にある場合には、同様に次の関係がある。

$$\begin{aligned} \frac{S_0 + S_A}{T_A} &= \frac{S_0}{T_A} + R_c \cdot C \\ < \frac{S_0 + S_B}{T_B} &= \frac{S_0}{T_B} + R_c \cdot C \quad \text{----- (5)} \end{aligned}$$

すなわち、予測期間が短いほど節水開始時期が早く、節水量も多くなり、貯水量は高く保たれる。

結局、現時点の貯水量の大小にかかわらず、予測期間 T を短かく選ぶほど、貯水量は維持貯水量直線に追従して変化する。

つぎに、流入量時系列として1次のマルコフ過程を仮定すれば、予測流入量の単位期間当りの値には次の関係がある。ただし、自己相関係数を ρ 、 $T_A < T_B$ として、 $0 \leq \rho < 1$ 、 $z > 0$ のとき

$$\begin{aligned} &\frac{\mu_{T_A} - (z\rho + z\rho^2 + \dots + z\rho^{T_A})}{T_A} \\ &\leq \frac{\mu_{T_B} - (z\rho + z\rho^2 + \dots + z\rho^{T_B})}{T_B} \quad (6) \end{aligned}$$

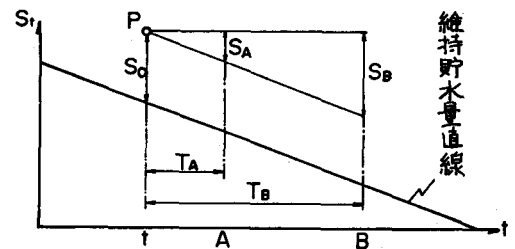


Fig.1 貯水量変化と予測期間

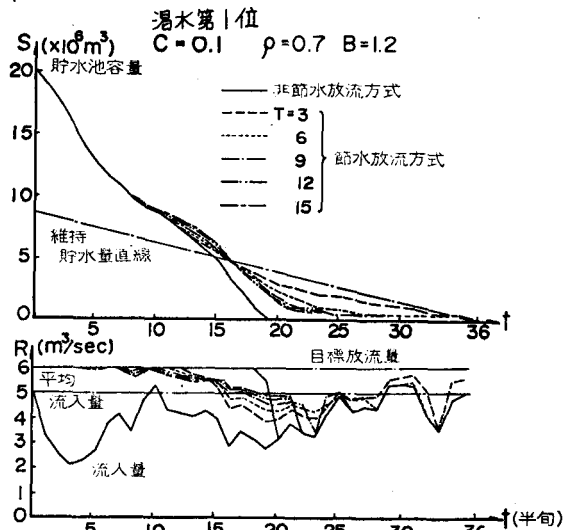


Fig.2 貯水量変化と放流量変化(a)

ここに Z は現期間の流入量を Q_t として、 $Z = \mu - Q_t$ で、渇水流況を取り扱っているため、 $Z > 0$ のときを考えている。したがって、予測期間 T が長いほど利用可能な水量は増加し、貯水量の低減速度が大きい。この傾向は(6)式より自己相関が強いとき顕著である。

以上のような貯水量変化に関する2通りの性質は、現時点の貯水量が維持貯水量直線より上にある場合には相反する性質であり、維持貯水量直線より下にある場合には同じ傾向をもつ性質である。よって、貯水量が維持貯水量直線より上にあるときには、貯水量変化は T にあまり影響されず、下にあるときには、 T が短いと維持貯水量直線に従従し、 T が長いと維持貯水量直線から離れて変化する傾向がある(Fig. 2 参照)。

5. シミュレーション

貯水池操作のシミュレーションに際しては、次の条件を用いた。

- (i) 操作期間、操作時間単位；貯水池の操作期間は6ヶ月、操作時間単位は半月とする。
- (ii) 流入量時系列、予測流入量；流入量時系列として1次のマルコフ過程を用い50年間の流況を発生させた。なお、流入量平均値 $\mu = 5.0$ 、流入量標準偏差 $\sigma = 1.0$ (m^3/sec)とした。流入量予測には、平均二乗誤差予測を用いた。
- (iii) 目標放流量 R_c ； $R_c = B \times \mu$ とした。 $B = 1.0, 1.5$ 。操作期間中一定とする。
- (iv) 貯水池容量；50年中、第10位の渇水流況に対して、リップル法を用いて決定した。

(1) 流入量の自己相関の影響

(i) 流入量の自己相関係数が大きいときには、渇水強度が大きい(渇水継続期間が10半月程度)。これに対処するには、余裕水量をやや多くとり、予測期間を少し長くする操作を行なえば余裕貯水量を有効に使うことができる(Fig. 3 参照)。

(ii) 流入量の自己相関係数が小さいときには、渇水強度が比較的小さく継続期間も5半月程度であるため、余裕水量を少なくとり、予測期間を短くした操作がよいと考えられる。すなわち、ほぼ一定水量を流入量に上載せしたような放流である。貯水量が維持貯水量直線より上にあるときには節水をする必要はなく、下がったときに節水をすればよいと考えられる。

(2) 貯水池規模の影響

(i) 貯水池規模が大きいときには、目標放流量 R_c と流入量平均 μ との差が大きいので、無調節操作期間を生じると被害は

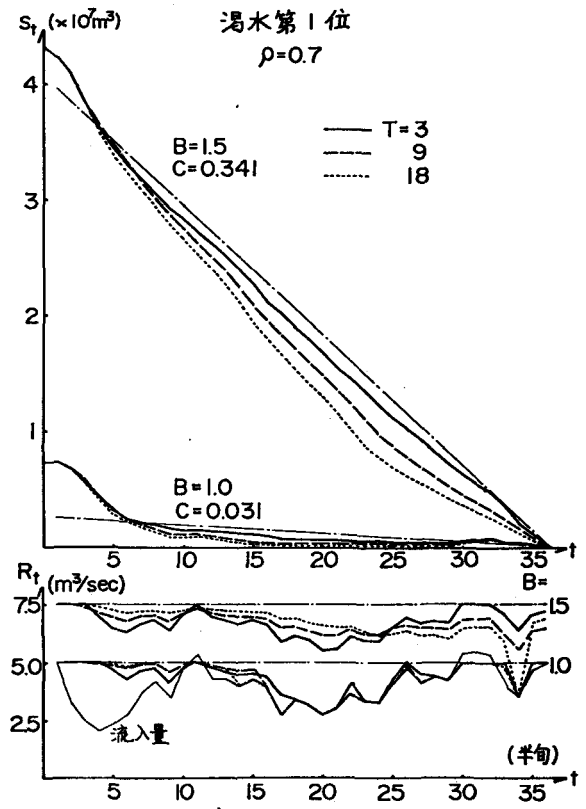


Fig. 3 貯水量変化と放流量変化 (b)

非常に大となる。いま基底放流操作において貯水量からの供給分 CR_c が

$$CR_c = R_c - \mu \quad \text{----- (7)}$$

となるように C の値を定めておけば、無調節期間の生ずる危険度は抑えることができる。

T に関しては、貯水量が維持貯水量直線の下にあるとき、 T を長くにとって貯水量をやや下げる操作を行っても、基底放流量が多く、無調節期間が生ずることはない。したがって、流入量の変動パターンにそのまま追従した放流量が生じることなく、平滑化された放流量を得ることができる。 T の最適値は $T \approx 9$ 半旬である (Fig. 4 参照)。

(ii) 貯水池規模が小さいときには、目標放流量と流入量平均との差が小さいため、(7) 式の関係から維持貯水量直線を低く保ち、貯水量をほとんど余裕水量にあてる操作がよい。また、 T は比較的短くする方がよい。流入量が目標放流量を越え

るときや両者に差のないときが多くなるため、貯水量を維持貯水量直線に追従させるような操作を行なっても、かなり平滑化した放流量が得られる (Fig. 4 参照)。

6. 結語

本研究では、渇水時を対象として一つの節水放流方式にもとづく貯水池操作を行なった場合の、貯水量変化のメカニズムを分析し、その特性を考察した。得られた特性から、流入量の自己相関係数、貯水池規模の相異に対応する最適操作が明らかになった。

今後は、流入量のより詳細な特性を導入して現実の貯水池操作に反映すべく研究を行ないたい。

<参考文献>

- 1) 室田明, 神田徹; 利水用単一貯水池の最適操作に関する方法論, 土木学会論文報告集 1976.
- 2) 神田徹, 二宮節夫; 渇水時の流況調整のための貯水池管理方式, 水資源シンポジウム 1977.

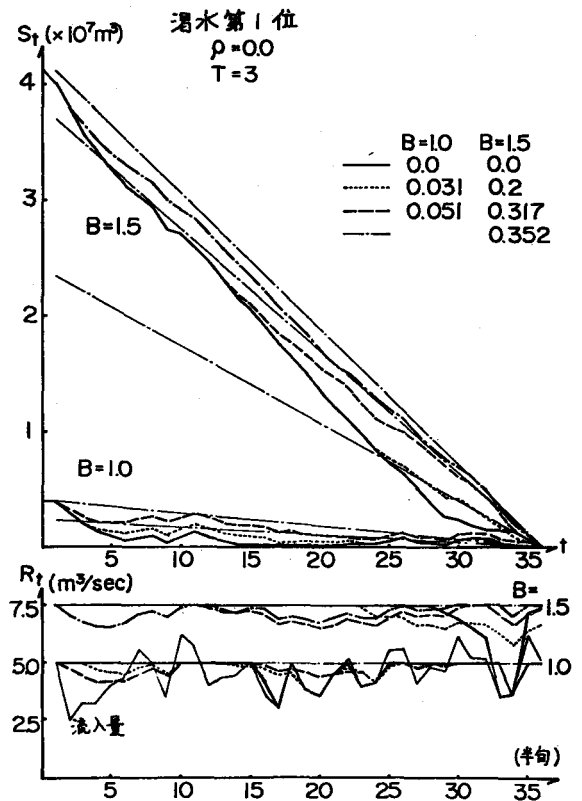


Fig. 4 貯水量変化と放流量変化 (c)