

九州大学 正会員 上田 年比古

九州大学 学生員 〇河村 明

1. まえがき 水利用の増大と新規水源開発が困難になりつつある現在、都市用水の貯水池への依存度が高くなり貯水池の取水操作の最適化が重要な課題となっている。本報は単一貯水池について貯水池流入量及び残流域流入量は推定されているとして、DP(ダイナミック・プログラミング)を用いて貯水池の初期状態から渇水末期に向って前進的に計算して、渇水被害の総和が最小になる状態を求め、貯水池の放流量を決定する算定法を試みた。次に昭和53、54年の福岡市の大渇水時のEダムについて上記の最適取水操作及び他の取水方式による算定結果を比較検討した。

2. DPによる貯水池運用モデルの定式化(詳しくは参考文献1を参照) 図-1の貯水池流入量 I 及び残流域流入量 q は想定できるとして確定変数とする。水需要量 D 、取水量 T 、水不足量 $(D-T)$ は評価地点で考える。入力変数は貯水池流入量 $I(t)$ 及び残流域流入量 $q(t)$ 、状態量は貯水量 $S(t)$ 、決定変数は放流量 $R(t)$ である。ここで t 期の貯水池流入量 I_t 、残流域流入量 q_t 、需要量 D_t 及び渇水期始め(計算出発点)の貯水量 S_0 は既知とし、本計算法では渇水期終端(第 n 期末)の貯水量 S_n は始めには指定しない。いま t 期末の貯水量 S_t に対する初期より t 期末までの渇水被害の総和の最小値 $f_t(S_t)$ はDPの最適性の原理より、 $f_t(S_t) = \min_{S_{t-1}} \{L_t(S_t, S_{t-1}) + f_{t-1}(S_{t-1})\}$ ($t=1, 2, \dots, n$) — (1)、ただし $f_0(S_0) = 0$ 。ここに S_{t-1} は $t-1$ 期末の貯水量、 $L_t(S_t, S_{t-1})$ は t 期間内の渇水被害値である。渇水被害は単に不足水量だけでなくその時期の水需要量の大きさ、水不足の持続日数、渇水の波及効果などの要因が関係するが、ここでは一応渇水被害値を不足流量の2乗すなわち(需要量-取水量)²と定義する。これは簡単な指標ではあるが、渇水被害の非線形性がある程度よく現わすことができるものとしてしばしば用いられているものである。放流量 $R_t = S_{t-1} + I_t - S_t$ — (2)であるから t 期の取水量を T_t とすると $L_t = (D_t - T_t)^2 = \{D_t - (R_t + q_t)\}^2 = \{D_t - (S_{t-1} + I_t - S_t + q_t)\}^2$ — (3) ただし $T_t > D_t$ の場合は $L_t = 0$ 。また、 $f_{t-1}(S_{t-1})$ は $t-1$ 期末の貯水量 S_{t-1} に対する $t-1$ 期末までの渇水被害の総和の最小値であり、これは初期から順次(1)式を計算することにより算定されている。

3. 実流域への適用例 2節において定式化したモデルを用いて福岡市のEダムの上水分について最適操作の計算を行った。各変数の離散化は単位期間に旬をとり、単位水量を10万 m^3 、単位流量を10万 m^3 /旬とした。計算期間は昭和52年6月中旬から昭和54年8月中旬とし、Eダムの上水分貯水池容量 $V=79$ ($\times 10^5 m^3$)とした。DPによる最適操作の貯水量及び取水量[渇水期終端での貯水量を69($\times 10^5 m^3$)($\times 10^5 m^3$)の場合]を図-2、3に示す。図-3には I 、 q 、 D も示す。表-1(ケース1)にこの場合及び終端貯水量が79(満水)、41(無効放流をしないで最小終端貯水量)の場合の渇水被害値を示す。

4. 他の取水方式について DPによる最適操作では計算期間内の貯水池流入量と残流域

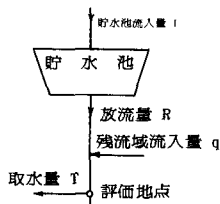


図-1 利水用単一貯水池

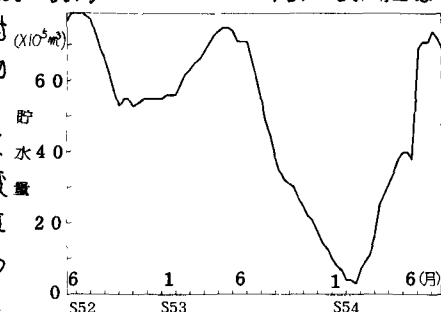


図-2 最適操作による貯水量の変化

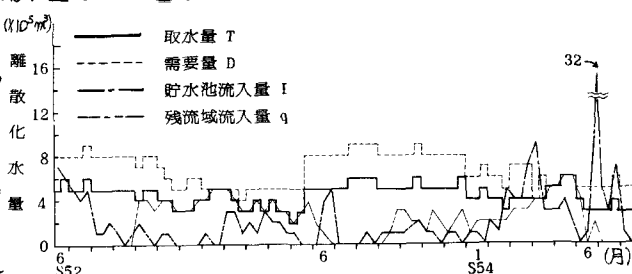


図-3 最適操作による取水量の変化

流入量が既知の必要があるが、この推定が困難な場合、これらの流入量を用いずに算定する取水方式について算定してみよう。これは目標給水率 α を定め、 t 期の目標貯水量 $T_t = \alpha_t \cdot D_t$ — (4) とする。

なお、実際の取水量 T_t は $T_t = D_t$ ($T_t < g_t$ かつ $g_t \geq d_t$)、 $T_t = g_t$ ($T_t < g_t$ かつ $g_t < d_t$)、 $T_t = T_t$ ($T_t \geq g_t$ かつ $T_t - g_t \leq S_{t-1} + I_t$)、 $T_t = S_{t-1} + I_t + g_t$ ($T_t \geq g_t$ かつ $T_t - g_t > S_{t-1} + I_t$) として定める。目標給水率 α として、ケース2は貯水量だけで判断して α を決める場合で図-4のように貯水量の減少に応じて α を直線関係で小さくする6通りの方式をとった。ケース3は貯水量及び需要量から判断して α を決める場合で図-5のように4旬先までの総需要量を $4D$ として $\alpha = S / (4D)$ の目標給水率直線を考えた。ケース4は向こう2カ月間に見込まれる各旬流入量を推定して α を決める場合で、 $\alpha = (ΣI + Σg + β \cdot S) / ΣD$ とした。ここで $ΣI$ 、 $Σg$ 、 $ΣD$ は2カ月先までの総貯水流入量、総流域流入量、総需要量であり、 $β$ は考える期間内で貯水池から使用する水量の、その期間始めの貯水量に対する比率である。($0 \leq β \leq 1$)。ケース2、3、4では $\alpha > 1$ のとき $\alpha = 1$ とする。以上による算定結果を表-1に示す。ケース4は漏水被害値が最小となる $β$ について示した。なお表-1のケース5は取水ルールを設定しない場合すなわち先のことを考えずに必要な(需要量)だけを放流し、貯水池が空になれば流入量をそのまま放流する方式である。

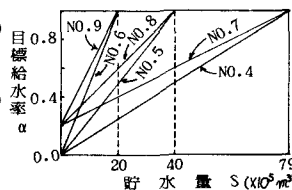


図-4 ケース2の場合

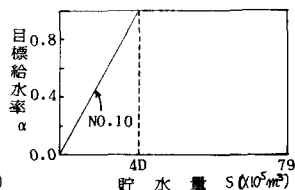


図-5 ケース3の場合

表-1 漏水被害値 ($S_{52.6}$: 中旬 ~ $S_{54.8}$: 中旬 貯水池容量 = $79 \times 10^6 \text{ m}^3$)
* 単位は ($\times 10^6 \text{ m}^3/\text{旬}$)

ケース	取水方式	No.	漏水被害値	終端貯水量	節水開始貯水量
1	最速操作	(1)	451*	$69(10^6 \text{ m}^3)$	— (10^6 m^3)
		(2)	509	79	—
		(3)	387	41	—
2	貯水率を貯水量の関数とする場合 α_g 貯水量が0の時の目標給水率	(4)	739	69	79
		(5)	785	69	40
		(6)	843	57	20
		(7)	679	69	79
		(8)	734	64	40
		(9)	828	56	20
		(10)	836	62	—
3	$\alpha = S / 4D$ の場合	(11)	621	41	79
4	2カ月間の流入量 $\beta = 0.3$ の実績を与えた場合	(12)	681	41	40
		(13)	703	41	20
		(14)	843	41	—

5. むすび ケース2、4より貯水量がある値より下ったとき節水に着手する貯水量(節水開始貯水量)を大きくした方がいずれも漏水被害値が小さくなった。実際問題としては着水時から節水運用を行なうことは考えられないが、今回の大漏水の場合においては着水のときより節水をしておいた方がよい結果となった。また最速操作でも節水開始時点は図-3の昭和52年6月中旬となっていて(図-3の昭和52年6月中旬の取水量は需要量に達してなくて、節水が開始されている。)その時点の貯水量は図-2のようにほぼ満水となっている。これは今回の漏水が異常な大漏水のためと考えられ、漏水規模により節水開始時点(節水開始貯水量)は異なるものと考えられる。ケース2は比較的に簡単な取水方式であるが、その終端貯水量(これが大きい方が漏水期間内の漏水被害は大きくなる傾向にある。)と漏水被害値からみて今回の場合かなり良好な取水方式といえる。特にその内のNO. 7は良好である。ケース3は今日の大漏水においてはかなり劣った運用といえる。ケース4は2カ月先の流入量実績を与えた割には終端貯水量は小さく漏水被害値もそれ程小さくはならなかった。ケース4では向こう2カ月間に貯水池から使用する割合 β は今回の場合0.3~0.4が漏水被害が小さくなった。ケース5は終端貯水量も小さく漏水被害値は最も大きくなっている。なお、ここに挙げた各取水方式による漏水被害値はいずれも最速操作に比べてまだかなり大きいといえる。

終りに資料を提供していただいた福岡市総務局水資源対策室の各位に感謝申し上げます。
参考文献
1) 上田、河村 「単一貯水池の最適利水操作の算定法に関する一試案」 九州大学工学集報 第52巻 第5号 昭和54年10月
2) 萩原、中川、辻本 「漏水被害の計量化と貯水池群運用について」 第15回衛生工学研究討論会講演論文集, PP. 181-186, 1979.1.
3) 中村 「ダムによる長期流況制御について」 水資源シンポジウム 1979.10.