

九州大学 正会員 上田 年比古

九州大学 学生員 河村 明

九州大学 学生員 石本 俊亮

1. まえがき 水利用の増大と新規水資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、これに伴って利水上の貯水池操作が重要な課題となっている。本報は昭和53、54年度の福岡市の大渇水時のEダムについて各種利水操作方式を適用し、これと取水ルールを設定しない場合及びDP(ダイナミックプログラミング)法と比べ、各種利水操作方式の利水効果を比較検討した。

2. 各種利水操作方式について 流域を図-1のようにモデル化する。以下各変数に対する記号は次のように定めた。t期の貯水池流入量 I_t ・残流域流入量 g_t ・放流量 R_t ・目標放流量 R_t^* ・取水量 T_t ・目標取水量 T_t^* ・需要量 D_t ・t期末貯水量 S_t ・貯水池総容量 V とした。t期の渇水被害値 L_t はここでは一応不足流量の2乗すなわち $L_t = (D_t - T_t)^2$ ——(1)と定義する。ただし $T_t > D_t$ の場合は $L_t = 0$ 。以下8ケースの利水操作方式について説明する。ケース1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要求される需要量だけ放流し、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。以下ケース2よりケース6はt期の目標給水率 α_t ($0 \leq \alpha \leq 1$)を定め、 $T_t = \alpha_t \cdot D_t$ ——(2)とする場合である。なお実際の取水量 T_t は $T_t = D_t$ (if $T_t^* < g_t$ かつ $g_t \geq D_t$)、 $T_t = g_t$ (if $T_t^* < g_t$ かつ $g_t < D_t$)、 $T_t = T_t^*$ (if $T_t^* \geq g_t$ かつ $T_t^* - g_t \leq S_{t-1} + I_t$)、 $T_t = S_{t-1} + I_t + g_t$ (if $T_t^* \geq g_t$ かつ $T_t^* - g_t > S_{t-1} + I_t$)——(3)で求められる。このうちケース2は図-2のように α を一定とする場合で、 $\alpha = 1$ (if $S > S_s$)、 $\alpha = \alpha_c$ (if $S \leq S_s$)——(4)とする。ここで $\alpha_c \cdot S_s$ はパラメーターとし S_s ($0 \leq S_s \leq V$)は節水開始貯水量で S_s を下まわると節水を始めることになる。ケース3は $T_t^* = S_{t-1} / r$ ——(5)とする場合で、 r ($r > 0$)はパラメーターである。この方式はt期の目標給水率 $\alpha_t = T_t^* / D_t = S_{t-1} / (r \cdot D_t)$ ——(6)とした場合に相当する。この場合の S と α の関係を図-2に示す。ケース4は図-3に示すように α を貯水量の関数とする場合で、貯水量の減少に応じて目標給水率 α を直線関係で小さくする方式である。 $\alpha_t = \{(1 - \alpha_0) / S_s\} \cdot S_{t-1} + \alpha_0$ ——(7)となる。ここで α_0 ($0 \leq \alpha_0 \leq 1$)は貯水量が空のときの目標給水率であり、 S_s と同様パラメーターである。ケース5は図-3のように貯水量がK期先までの総需要量 ΣD を下まわったとき節水を開始するのでケース4の変形であり、 $\alpha_t = \{(1 - \alpha_0) / \Sigma D\} \cdot S_{t-1} + \alpha_0$ ——(8)となる。Kはパラメーターである。ケース6は向こうN期間に見込まれる流入量を推定して α を決定する方式であり、 $\alpha_t = \omega / \Sigma D = (\Sigma I + \Sigma g + \beta \cdot S_{t-1}) / \Sigma D$ ——(9)で与える方式である。ここで ω は向こうN期間に供給できる供給可能量であり、 $\Sigma I + \Sigma g + \Sigma D$ はN期先までの総貯水池流入量・総残流域流入量・総需要量であり、 β ($0 \leq \beta \leq 1$)はN期間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。ここで $N \cdot \beta$ はパラメーターである。この場合の S と α の関係を図-6に示す。ケース7は確率DPを適用する場合である。第t期以後渇水末期までの累加渇水被害の総和の期待値 $L_t(S_t)$ を最小化するように第t期の R_t を決定するものとする、 R_t は次式のように表わ

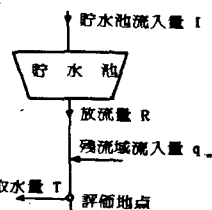


図-1 利水用単一貯水池

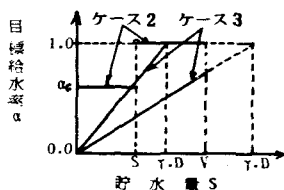


図-1 ケース2、3の場合

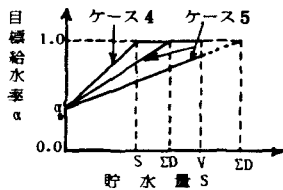


図-2 ケース4、5の場合

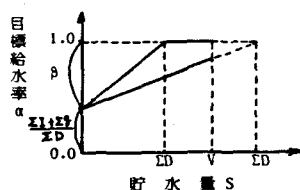


図-3 ケース6の場合

せる。 $f_t(S_t) = \min_{R_t} \sum_{I_t, g_t} \{ L_t + f_{t+1}(S_{t+1}) \} \cdot P(I_t, g_t)$ — (10) $P(I_t, g_t)$ は t 期の貯水流入量・残流域流入量の同時確率分布である。実際に (10) 式を解くには各変数を離散化し数値計算により最終期から出発して 1 期毎に $f_t(S_t)$ を計算し、(10) 式の右辺の値を最小化するように目標放流量 R_t を決定してゆくことになる。ケース 8 は渇水期間中の流入量 I 及び g を既知として DP 法を適用する。(詳しくは参考文献 (1) を参照) これは実際には不可能な理想的な操作であり、この方式よりも渇水被害を小さくすることはできない。この方式は他のケースとの比較のために計算する。

3. 実流域への適用例 2 節において定式化した各種利水操作方式を福岡市の E ダムの上水分について適用し利水計算を行なった。各変数の離散化は単位期間に勾をとり、単位水量を 10 万 m^3 、単位流量を 10 万 m^3 /勾とした。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 ダムの上水分貯水容量 $V = 79 (10^5 m^3)$ とした。ケース 2・4 の節水開始貯水量 S_s は 79, 60, 40, 20 の 4 ケースを想定した。ケース 6 においては N 期間(最大 15 勾とした。)に見込まれる流入量の推定値としては実流入量を与えた。ケース 7 の確率 DP においては残流域流入量 g を貯水流入量 I の回帰式で与え、各勾の貯水流入量 I を対数正規分布として与えた。各種利水操作方式の算定結果すなわち終端貯水量レベル S_E と各期の渇水被害値の総和との関係を図-5 に示す。ここでケース 2 よりケース 6 の各パラメーターはすべし最小となったパラメーターについて示し、その時のパラメーターの値も併せて示した。

4. おまじ ケース 1 の取水ルールを設定しない場合は終端貯水量 S_E も小さく各期の渇水被害値の総和も大きくなっている。ケース 2 は簡単な操作の割には結果は良好である。これは渇水被害関数を (1) 式のように与えているので、可能な限りある最適の一定給水率 α_c で操作した方がすべし小さくなるからである。今回の場合 $\alpha_c = 0.7$ となったが、この α_c を渇水期前より決定することは困難であり実際的でない操作である。ケース 3 は今回の場合がかなり劣った操作であるといえる。ケース 4 はケース 2 と同様、節水開始貯水量 S_s を満水にした方がいすれもすべし小さくなった。実際問題としては満水時より節水運用を行なうことは考えられないが、今回の大渇水期には満水時より節水を始めた方がよい結果となった。この操作は比較的簡単で実際的であり今回の場合比較的良好な操作といえる。ケース 5 はかなり良好な操作であったといえる。この場合 K 勾先までの需要量の総和が現在の貯水量を下まわると節水を開始するのであるが、今回は $K = 15$ 勾の場合がすべし最小となりこれは満水時よりすでに節水を開始することを意味する。ケース 6 は向こう $N (= 15)$ 勾の流入量実績を与えた割には S_E は小さくすべしそれ程小さくはならなかった。以上ケース 2 よりケース 6 までのすべし最小となるようにパラメーターを選んだ結果であり、実際には前もってこれらを確定に決定することは困難である。ケース 7 の確率 DP は今回の場合結果はケース 1 よりも悪く S_E も小さい。この原因は今回の福岡市大渇水の流入量の確率分布が過去のような確率分布にならなかったためであると考えられる。このように確率 DP はその渇水期独自の流入量確率分布が想定できないと役に立たないと考えられる。すなわち確率 DP は長期にわたる利水操作には有効であるかもしれないが、今回のような大渇水には効果的な操作ではなかった。このような場合には別個にその渇水特有の流入量確率分布を与えなければならぬがそれはかなり難しいと思われる。ケース 8 は 2 節で記したように最適操作である。図-5 より S_E が大きくなると最小渇水被害は急激に増大する。以上の結果は対象ダム、用水需要量、渇水期間、渇水被害の評価法が異なれば当然変わってくる可能性がある。

参考文献 1) 上田, 河村「単一貯水池の渇水期における利水操作の検討」昭和 54 年度土木学会西部支部研究発表会講演集 PP203
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 1977.10 ~204

- × ケース 1 $\alpha_c = 0.7, S_s = 79$
- ケース 3 $T = 10$
- △ ケース 4 $\alpha_c = 0.6, S_s = 79$
- ▲ ケース 5 $\alpha_c = 0.5, K = 18$ 勾
- ケース 6 $\beta = 0.4, N = 15$ 勾
- ケース 7 確率 DP
- ケース 8 DP

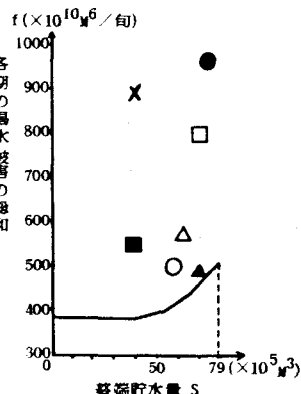


図-5 各種利水操作方式の算定結果