

国立防災科学技術センター 正会員 岸井徳雄

(まえがき) 近年、ダムの統合管理という考え方が、有限な水資源というものを考慮してできるだけ、洪水時においても貯水池からの放流の制御を有効に行つて、水資源の有効利用を計ろうという考え方が出てきている。従来においては、一定量、一定率放流等の方式が多かったが最近では下流の流量を観測しながら放流量の調節を行う不定量調節方式も提案されている。しかし、どの調節方式にせよ洪水通過後の最終貯水量をあらかじめ決めねばならないためには流入量の正確な予測、さらには降雨量の過去から現在までの降雨分布、面積雨量ばかりでなく、将来にわたる正確な降雨情報が必要とされる。本報告はまず第一歩として一つの多目的ダムにおいて、モデル洪水のもとで、かつ、計画地帯はダムに近い下流として、各単位時間ステップ毎に最適放流量を決定し、最終的にあらかじめ定めた貯水量にしようとするもので、手法としては、R. Bellman が創始したダイナミック・プログラミングを用いた。(以下 D.P. と略す)

(計算方法) D.P. とはあらかじめ与えられた量の資源を与えられた条件のもとで時間毎に最適決定を行い、最後の時点で結果あるいは利益が最大になるようなプロセスを決定する方法である。この方法を仮定として、ある時点での状態を S_i 、その時点での決定を $\bar{Q}_i$ とする。今、考えているダムからの放流の場合はダムの貯水量を S とし放流量を Q とする。この時、 $S_i, \bar{Q}_i$ によって決まる次の段階の状態を S_{i+1} とすれば

$$S_{i+1} = S_i (\bar{Q}_{i+1} | S_{i+1}) \quad (1)$$

と仮定する。すなわち、ある時点の状態 S_i はそれより1ステップ前の状態 S_{i-1} と $\bar{Q}_{i-1}$ のみの函数となる。次に一連の $\bar{Q}_i$ は洪水を生ずる場合は負の利益、発電に使われれば正の利益を主する。この利益を R と書くとき R は次の様になる。

$$R(\bar{Q}_1, \bar{Q}_2, \dots, \bar{Q}_N) = g_1(\bar{Q}_1) + g_2(\bar{Q}_2) + \dots + g_N(\bar{Q}_N) \quad (2)$$

ここで g_i はそれぞれの決定 $\bar{Q}_i$ によって生ずる利益である。一般には $\bar{Q}_i$ は有限であるから、それと $\bar{Q}$ とすると

$$\sum \bar{Q}_i = \bar{Q}, \quad \bar{Q}_i \geq 0 \quad (3)$$

と書くか数学的には(3)の条件のもとで(2)を最大にすればよい。 R の最大値は $\bar{Q}$ と N によって決まるから、その最大値を $G_N(\bar{Q})$ とおくと

$$G_N(\bar{Q}) = \max_{\bar{Q}_i} R(\bar{Q}_1, \bar{Q}_2, \dots, \bar{Q}_N), \quad \sum_{i=1}^N \bar{Q}_i = \bar{Q}, \quad \bar{Q}_i \geq 0 \quad (4)$$

である。関数 $G_N(\bar{Q})$ は $\bar{Q}$ を N 時間ステップに配分したときの最大利益を表わしている。一般には $g_i(0) = 0$ だから

$$G_n(0) = 0, \quad n = 1, 2, \dots, N \quad (5), \quad G_1(\bar{Q}) = g_1(\bar{Q}) \quad (6) \quad \text{となる。}$$

次に任意の $\bar{Q}$ 、 n について具体的に $G_n(\bar{Q})$ の関数形を求めるため $G_n(\bar{Q})$ と $G_{n-1}(\bar{Q})$ との間の関係を見つけねばならない。そのために N 時間ステップでの決定を $\bar{Q}_N$ ($0 \leq \bar{Q}_N \leq \bar{Q}$) とすれば残り $\bar{Q} - \bar{Q}_N$ は $N-1$ 個の決定による最大値は定義より $G_{n-1}(\bar{Q} - \bar{Q}_N)$ とかけるから N 回目の決定に対する $\bar{Q}_N$ から得られる全過程を通した利益は

$$g(\bar{Q}) + G_{n-1}(\bar{Q} - \bar{Q}_N) \quad (7)$$

と書ける。 $\bar{Q}_N$ を適当に選択すれば(7)を最大にすることができる。これと $n = 2, 3, \dots, N$ に対して非負の $\bar{Q}$ と式(6)を用いて $G_n(\bar{Q})$ は

$$G_n(\bar{Q}) = \max \{ g(\bar{Q}_N) + G_{n-1}(\bar{Q} - \bar{Q}_N) \} \quad (8)$$

となる。(8)式のような漸化式が成り立つことを Bellman の最適性原理とよんでいる。この式は最初ステップでの最大値 $G_1(\bar{Q})$ が決まると関数列 $\{G_n(\bar{Q})\}$ を求める方法を示している。次にこれらの結果を用いてダムの放流量の

最適決定を行う。

今、最終貯水量を固定して、初期の貯水量を種々変化した場合の最適放流量系列を求めるために、Fig. 1に示すように、後述型の漸化式に書きなおして

$$G_{n-1}(S) = \max_{\bar{a} \leq \bar{a}_n \leq \bar{a}} \{g(\bar{a}_n) + G_n(S + i_{n-1} - \bar{a}_{n-1})\} \quad (9)$$

ここで $\bar{a} = S + i_{n-1} - \bar{s}$, $\bar{a} = S + i_{n-1} - s$

$\bar{s}$: 最大貯水量, s : 最小貯水量.

となる。ここで最終ステップでの $G_N(S)$ は

$$G_N(S) = g(S + i_N - S_{N+1}) \quad (10)$$

である。(9)式に代えて11に $G_{N-1}(S)$, $G_{N-2}(S)$, ..., $G_1(S)$ と求めることができ $G_1(S)$ において $S = S_1$ とおけばこれが11期間における評価函数の最大値を与えることになる。

(計算条件) 評価函数としては、河運障害 g_1 , 洪水はん濫被害 g_2 , 発電による利益 g_3 を考へる。

$$\begin{aligned} g &= g_1 + g_2 + g_3 \quad (11) \\ g_1 &= -a_1 \bar{o} \quad (100 \leq \bar{o} \leq 3000, a_1 = 10^3) \\ g_2 &= \begin{cases} 0 & (\bar{o} \leq 3000) \\ -a_2 \bar{o}^2 & (\bar{o} > 3000) \end{cases} \quad a_2 = 10 \\ g_3 &= a_3 H_e \bar{o}_p \quad (a_3 = 0.01, H_e = H - 75) \quad H_e: \text{有効落差} \end{aligned}$$

貯水池への流入量としては次の流出関数形を用いた。

$$i_n = 2.78 r \alpha^2 f A (\pi \Delta) e^{-\alpha n} \quad ()$$

($\alpha = 0.0625$, $A = \text{集水面積 } 120/\text{km}^2$, $f = 0.75$, $r = 7/\text{mm/hr}$, Δ : 単位時間 = 3hr)
(Δ 水の条件: $\bar{s} = 5200 \times 10^6 \text{ m}^3$, $s = 3450 \times 10^6 \text{ m}^3$, 限界放流量 $3200 \text{ m}^3/\text{s}$, 放流量の上限値 $200 \text{ m}^3/\text{s}$.)

(まとめ) Fig. 2 に計算結果を示す。縦軸に貯水量 ($\times 10^7 \text{ m}^3$), 横軸に Time step を示す。初期貯水量はそれぞれ、① 4880 万 m^3 , ② 4600 万 m^3 , ③ 4400 万 m^3 , ④ 4000 万 m^3 , ⑤ 3460 万 m^3 である。最終貯水量は初期制限水位相当に固定してある。11期間のケースの場合には洪水ピーク (5step) までに貯水量を減少して、その後ピーク通過後、貯水量の回復も行っている。⑤のケースの場合のように初期貯水量が小さい場合には減りきってしまう貯水量と維持し洪水ピーク後貯水量の回復も行っている。又、初期貯水量が小さい程、貯水量の回復の過程において、貯水量増加率が大きくなり回復に時間がかかる。

このモデルの場合のように流入量が既知である場合は問題は少ないが実際のダムゲート操作においては、洪水防衛を第一義的に考へるから、何よりも flexibility を常に維持することが重要である。その他、流入予測値と実測値で訂正しつつダムの放流量を決定して行く、いわゆる適応制御方式の検討、評価函数の決定方法、複数のダムの場合、調整をともなう流入情報による放流制御の問題等が残されている。

以上

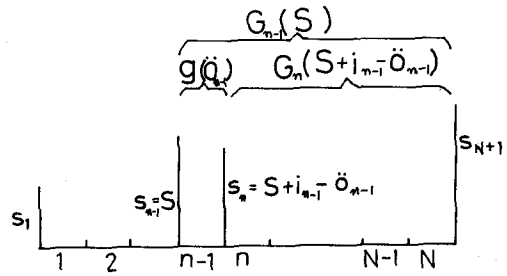


Fig. 1

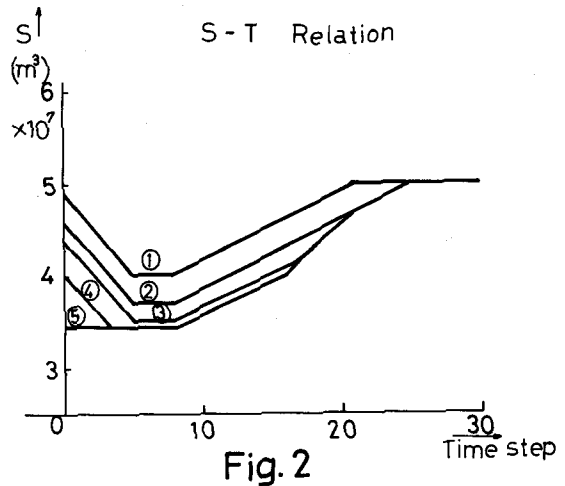


Fig. 2