

神戸大学工学部 正員 ○神吉 和夫

神戸大学工学部 正員 松梨 順三郎

1. まえがき 貯水池下流に支川合流がある場合、合流部の洪水波形を Peak Cut とする操作法を(身替りカット) Substitutive Cut と言う。この操作では、貯水池からの放流波形が凹形になる場合が多く、Concave Cut あるいは Bucket Cut とも呼ばれる。ここでは、治水および利水目的を評価指標とした最適制御問題としての Substitutive Cut の定式化を試みる。

2. Substitutive Cut の定式化 ダムの貯水容量を $S_{\max}$ 、時刻 t の貯水量を $S(t)$ 、貯水池への流入量、放流量を $I_1(t)$ 、 $R(t)$ 、支川流量を $I_2(t)$ とする。図-1。通常、貯水池での水の挙動は連続の式で与えられ、

$$dS(t)/dt = I_1(t) - R(t) \quad (1) \quad \text{ここで } I_1(t), R(t) \geq 0, 0 \leq S(t) \leq S_{\max} \quad (2)$$

河道流下および合流は線形であると仮定し、流下時間を無視すると合流部流量 $Q(t)$ は、

$$Q(t) = I_2(t) + R(t) \quad (3) \quad \text{ここで } I_2(t), Q(t) \geq 0 \quad (2')$$

今、 $t=0$ より制御を始めるものとし、制御指標として治水・利水の両方を考え、次のように表わす。

治水：合流部波形のピークを可能な限り下げる。

利水：制御途中における一時的な水量低下は許容するが、終了時には貯水位を高くする。

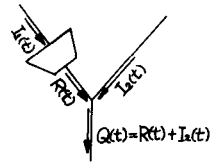


図-1

3. $I_1(t)$ 、 $I_2(t)$ が完全に予測される場合 現実には洪水の生起は不確実性を持ち、予測を必要とする。しかし、 $I_1(t)$ 、 $I_2(t)$ が既知の場合の制御は、予測精度の評価とか予測の価値を知る上で重要である。そこで、洪水が既知の場合、以下に示すような合成波ピークを下げる制御により、治水および利水目的は達成される。この方式の基本的な考え方は、次の3段階の手順により理解される。図-2。

(i) 両支川の洪水を仮想合成する。(ii) 仮想合成洪水をダムへの仮想流入量として、仮想の Peak Cut を実行する。(iii) 合成洪水の時系列カット量と、そのまゝ、貯水池流入洪水の時系列カット量に置き換える。

ダムへの流入量 $I_1(t)$ 、支川流量 $I_2(t)$ および仮想合成波 $(= I_1(t) + I_2(t))$ が単峰性を持つ場合を考えると、合成波ピーク $Q_{\max}$ は次のように与えられる。

今、 $S(0)=0$ の場合の合成波ピークを Q^* 、その範囲を $[t_1^*, t_2^*]$ とする、図-3-a

$$Q^* = I_1(t_1^*) + I_2(t_1^*) = I_1(t_2^*) + I_2(t_2^*) \\ = \frac{1}{t_2^* - t_1^*} \left\{ \int_{t_1^*}^{t_2^*} (I_1(\tau) + I_2(\tau)) d\tau - S_{\max} \right\} \quad (4)$$

a) $Q^* \geq \max I_2(t)$ かつ時刻 $t=t_1^*$ までに $Q=Q^*$ 以下の合成流量でダムを空にできれば、 $Q_{\max} = Q^*$ (5)

b) $Q^* \geq \max I_2(t)$ かつ時刻 $t=t_2^*$ までに $Q=Q^*$ 以下の合成流量でダムを空にできない場合、予備放流時と洪水制御時の合成波ピークを一致させてやれば良く、図-3-b

$$Q_{\max} = I_1(t_1^*) + I_2(t_1^*) = I_2(t_2^*) + I_1(t_2^*) \\ = \frac{1}{t_2^* - t_1^*} \left\{ \int_{t_1^*}^{t_2^*} (I_1(\tau) + I_2(\tau)) d\tau - (S_{\max} - S(t_1^*)) \right\} \quad (6)$$

$$\text{ここで } S(t_1^*) = S(0) + \int_0^{t_1^*} (I_1(\tau) + I_2(\tau) - Q_{\max}) d\tau \quad (7)$$

c) $Q^* < \max I_2(t)$ かつ $Q = \max I_2(t)$ の合成流量が可能な場合

$$Q_{\max} = \max I_2(t) \quad (8)$$

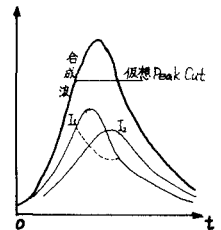


図-2

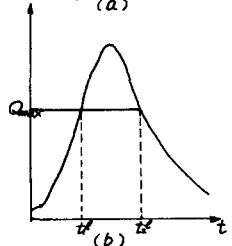
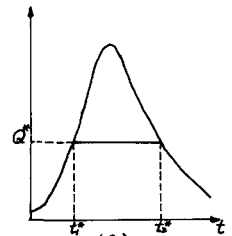


図-3 (a),(b)

この場合、貯水池に空容量が生じるのなら、適当な補助操作ルールにより貯水し、利水目的を達成する。

d) $Q^* < \max I_2(t)$ かつ $Q = \max I_2(t)$ の合成流量が不可能な場合 予備放流時と洪水制御時の合成波ピークを一致させれば良く、合成波ピークは式(6)、(7)で与えられる。

任意波形の洪水の場合は、合成波ピーク Q_{max} が $\max I_2(t)$ と $\max \{I_1(t) + I_2(t)\}$ の範囲にあることを考慮して、適当な一変数探索手法により求めれば良い。

4. $I_1(t)$, $I_2(t)$ が確率的に予測される場合 ここでは、貯水池流入量 $I_1(t)$ および支川流量 $I_2(t)$ が図-4 K 示すような三角形ハイドログラフによりモデル化され、そのパラメータ (P , t_0 , t_L , I_p) が確率的に予測される場合を考える。現状では、洪水の不確実性を確率モデルで明確に定量化することは非常に困難であるが、このようなモデル化により不確実性が制御に及ぼす影響を知ることができる。

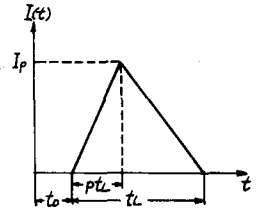


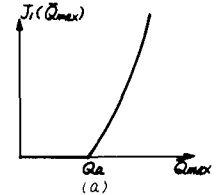
図-4

洪水が既知の場合、治水・利水目的は同時に達成された。しかし、洪水の生起が不確実性を持つ場合は、過大な予備放流による利水損失もしくは過小なそれによる治水損失が生じる恐れが多分であり、両目的の Trade Off 関係となる。したがって、各評価指標を数量化する必要がある。評価は損失の形で表わすことにする。

治水目的 $J_1 = \begin{cases} 0 & \bar{Q}_{max} < Q_a \\ f(\bar{Q}_{max} - Q_a) & \bar{Q}_{max} \geq Q_a \end{cases}$ (9) ここで $\bar{Q}_{max}$ は実際に生ずる合成波ピーク Q_a は合流部の許容通過流量である。

利水目的 $J_2 = g(S_e)$ (10) ここで S_e は制御終了時における貯水量である。

関数 f , g は図-5-a, b に示すような凸関数、線形関数を用い、同一の初用尺度（例えば貨幣尺度）で表現されているとする。このとき、貯水池の制御を治水・利水損失の合計の期待値を最小にするよう決定する。



$$J = E \{ J_1 + J_2 \} \rightarrow \text{MIN} \quad (11)$$

一方、貯水池操作方式は単純化して、次のように与える。洪水時の貯水池操作過程を(a) 予備放流, (b) 洪水調節, (c) 水位回復の3段階に分けて

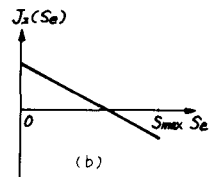


図-5 (a), (b)

(a) 予備放流 合流部において合成波が Q_p となるよう放流し、放流総量を V_p とする。

(b) 洪水調節 計画合成波ピークを Q_{max} とし、仮想合成波が Q_{max} を越えれば、その残余を貯留する。

(c) 水位回復 仮想合成波がその時刻以降 Q_{max} を越えないことが確定な場合で、貯水池に空容量があれば貯水する。

以上により、問題は式(11)の期待損失を最小にする (Q_p, V_p, Q_{max}) の組合せを求めることとして定式化された。式(11)を (Q_p, V_p, Q_{max}) の関数として陽示することは困難なので、実際の計算ではモンテ・カルロ法を用いて、 $(I_1(t), I_2(t))$ の組を多数発生させ適当に選んだ (Q_p, V_p, Q_{max}) の組合せに対して式(11)の期待値を求める。最適な (Q_p, V_p, Q_{max}) の組合せは系統的な一変数探索法により求めることができる。このとき、 (Q_p, V_p, Q_{max}) の組合せにより式(11)の値がどのように変化するかを見れば、制御の重要な参考となる。なお、この制御の決定は新しい情報が追加されると行なえば良く、制御は逐次その時点において最適と考えられるものに更新することが可能である。

ここでは、Substitutive Cut 制御の一つの定式化を試み、その概略を述べた。具体的計算モデルおよび計算結果については当日発表を行なう。

参考文献 1) 藤原敬朗：貯水池群の運用計画について、土木学会関西支部講習会テキスト、S.47.6. 2) 中村・小野・花籠・稲村：気象予測に基づく防災対策の決定モデル、土木学会論文報告集 第216号、S.48.8 3) 神吉・松梨：Peak Cut 制御についての一考察、第30回年次学術講演会概要集 II-112。