Ⅱ－25　洪水調節池の確率論的評価

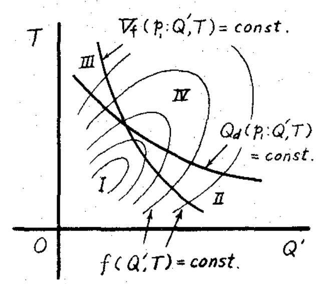
京都大学防災研究所　正員　工博　石原安雄
同　上　　正員　○工修　長尾正志

洪水調節池は有効な貯水容量を十分に活用して洪水を調節し，下流における洪水被害の防止または軽減を目的としていることはいうまでもない。しかし洪水調節池の効果を正しく評価するためには，主として，つぎの二方向から考察する必要があろう。

第一に，放流量に着目していえば，ダムからの放流量と残流域からの流量の合流量が，下流の計画高水流量を越すおそれがあるかどうかということである。この放流量は残流域からの合流量とも関連するが，主として有効な調節用貯水容量と調節方式とによって定められるはずである。第二に，洪水調節容量に着目して，ダムの洪水調節容量決定の基準となった洪水以上のピーク流量を持たないにしても，その継続時間が長いために，所期の洪水調節が不可能となるおそれがあるかどうかということである。この場合には，貯水池に流入する洪水の規模と調節方式によって，洪水調節容量が規定されるはずである。

さて以下の考察を明確にするために，調節方式を確定して考えることにする。すなわち，洪水の流入量をある基準量Q_0からは調節率pで調節し，ピーク流量Q_pに達すれば，$(1-p)Q_p$の一定量放流を採るものとする。また，このような調節によった場合の洪水の規模は，近似的に，洪水のピーク流量が一定流量Q_0をうわまわるときの最大流入量$Q'=Q_p-Q_0$と，Q_0以上の流入量の継続時間Tによって表現できるであろう。

したがって，洪水生起の確率密度関数をf，下流の計画高水流量および洪水調節用有効貯水容量をQ_dおよびV_fとすれば，$f=f(Q',T)$，$Q_d=Q_d(p:Q',T)$，$V_f=V_f(p:Q',T)$と書ける。いま，調節率pとして一定値p_1を採用したならば，図-1のように$Q_d=const.$および$V_f=const.$を表わす二曲線によって，Q'～T平面はⅠ～Ⅳの4領域にわけられる。

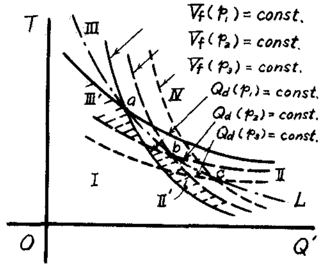


図－1

各領域のもつ意味について述べると，Ⅰの領域は調節後の放流量，ダムの洪水調節容量の点から，下流が安全である洪水に対応する。Ⅱの領域は調節後の放流量の点からは，下流は安全であるが，貯留量が洪水調節容量を超え，調節不可能となる洪水に対応する。Ⅲの領域はダムにはまだ貯留できるが，調節による放流量が下流の計画高水流量以上になる洪水に対応する。Ⅳの領域は放流量からも，洪水調節容量からも危険となる洪水に対応する。以上各領域の洪水生起確率は，その領域内の確率密度曲面fの下の体積を計算することによって求められる。

全領域のうちⅡ～Ⅳは調節率がp_1という一定率調節である限り，下流に対して危険を生ずるおそれのある領域であるが，この関係はpをかえることによってかわってくる。たとえば，$p=p_2$とした場合の放流量が計画高水流量に等しくなるような洪水は，図-2の$Q_d(p_2)=const.$の曲線に対応し，貯留量が洪水調節容量に等しくなるのは$V_f(p_2)=const.$に対応してい

る。すなわち，許容放流量と洪水調節容量の二点から考えて，下流が安全であるような洪水の生起に対応する領域が，調節率を p_1 から p_2 にかえることによって I より（I＋II′－III′）になる。同様にして II～IV の領域も図示したようにかわる。したがって，こうした各領域に対する洪水被害の期待値を比較することによって，調節率の合理性が評価できるわけである。たとえば，下流が安全である領域（I＋II′－III′）において，II′ に対応する洪水被害減少の期待値と，III′ に対応する洪水被害増加の期待値を基準として，もっとも効果のある調節率を決めることができる。



図－2

つぎに，図-2 で $Q_d = const.$，$V_f = const.$ の交点は調節率を $p_1, p_2, p_3, \cdots$ とかえることによって，$a, b, c, \cdots$ と移動する。この交点を結ぶ曲線 L の意味を考えると，L より上の領域では，いかに調節率をかえても，調節不可能な洪水の生起に対応している。逆に，L より下の領域では，調節率をかえることによって，洪水の貯留量を洪水調節容量以下に，放流量を計画高水流量以下にすることが可能である。したがって，洪水調節が合理的に行なわれた場合の下流の無受害確率は，この L 曲線の下側の確率密度曲面 f の下の体積として計算される。よって，正確な洪水予報ができれば，調節率を適当に定めることによって，無受害確率をこの値に近づけることができる。

さて，以上の考え方を木津川水系名張川に建設中の高山ダムに適用した計算例を示そう。洪水資料としてダム直上の月ヶ瀬地点の昭和24年以後の出水記録によった。基準流量 Q_0 として指定水位に対応する流量 $330\,m^3/s$ を用いた。したがって，Q' は $(Q_p - 330)\,m^3/s$，また T は $330\,m^3/s$ 以上の流入量の継続時間とし，これらが対数正規分布に従うとして，標準正規化された座標 x_1, x_2 に変換した。よって，洪水の生起確率密度関数 f はつぎのようになる。

$$f(Q', T) = \frac{1}{2\pi\sqrt{1-\rho^2}} \exp\left\{-\frac{x_1^2 - 2\rho x_1 x_2 + x_2^2}{2(1-\rho^2)}\right\}$$ ，ρ は x_1, x_2 の相関係数で 0.69 ……（1）

高山ダムのある名張川はすぐ下流で伊賀川（観測点島ヶ原）と合し，木津川（大河原）となる。月ヶ瀬流量 Q_1 と島ヶ原流量 Q_2 の間には，ほぼ $Q_2 = 0.759Q_1$ の関係がある。一方，大河原水位は，ほぼ $Q_1 + Q_2$ によって定まるから，大河原の計画高水位に対して $Q_1 + Q_2 = 4{,}540\,m^3/s$ となる。洪水調節後もこうした関係が成立つならば，放流量に対する許容限界は，

$$pQ_1 + Q_2 = (p + 0.759)(Q' + 330) = 4{,}540 \quad , \quad Q' : m^3/s \text{ 単位} \qquad (2)$$

のように，Q' と p で表現される。

つぎに，ダムに貯留される貯留量を $\alpha(Q'T)^\beta$ の形で表わし，α, β を決めると定まる定数であると考える。高山ダムの洪水調節容量は $3.54 \times 10^7\,m^3$ であるから，これに対して，

$$\alpha(Q'T)^\beta = 3.54 \times 10^7 \;,\quad Q' : m^3/s \;,\quad T : sec \qquad (3)$$

が貯留量に対する許容限界を与えることになる。

こうした関係式を用いて，p を種々かえて，下流が安全である確率が最大となるようなものを求めると，$p = 0.4$ となり，このとき下流が安全である確率は 94.8％ となる。また，曲線 L の下の無受害確率は 95.4％ となった。