II-6

ＤＰによる洪水調節方式の決定に関する２,３の考察

京都大学工学部　正員　高棹琢馬
建設省九州地建　正員　○横田穣二
公成建設　正員　辻子茂

1．はしがき

洪水時におけるダム貯水池群の一般的かつ合理的な管理方式を確立するための基礎的研究として，著者らはＤＰ(Dynamic Programming)利用による洪水調節方式の決定に関する考察を進めてきた。解決を要する問題点が水理学，水文学，気象学など多分野にわたるため，適当な仮定を設けて研究を進めていかざるを得ないが，ここでは，最適洪水調節方式の明確な定義を試みるとともに，それを求めるための数学的手法としてＤＰが有効であることを示す。また，多次元性の問題に対しては逐次近似法を適用し，その可能性を検討する。

2．ダム貯水池による洪水調節の目的

洪水調節の目的を定義するためには，洪水の破壊力および堤防の抵抗力の問題や防災対象地区間の重要度の問題などを解決する必要があり，現在，洪水制御の厳密かつ客観的な最適基準を設けることは，ほとんど不可能といえる。しかしながら，著者らはダム貯水池の機能を下流部河道の評価地点における洪水ピーク流量を低減させることと考え，$Q_{ip}/Q_{id} \leq 1$，かつ左辺の値がすべてのiに対してできるだけ均等になるような調節方式を追求してきた。[1] ここに，Q_{ip}は洪水調節の結果，評価地点iを通過するピーク流量，Q_{id}は地点iにおける計画高水流量である。ところで，数値計算によって調節方式を決定するためには，時間および流量を離散的に取扱う必要があり，それゆえ可能な調節方式の数は膨大なものとなるが有限である。したがって，上述の洪水調節の目的はつぎのように数学的に表現されることになる。　$k \equiv \mathrm{Max}(Q_{ip}/Q_{id})$，$(i=1,2\cdots m) \longrightarrow$ 最小化　------ (1)

ここに，mは評価地点の総数であり，kはある調節方式の結果生じるQ_{ip}/Q_{id}の評価地点を通じての最大値を意味する。このkの値を最小にするような調節方式を最も望ましいものと考えるわけである。もし$k>1$となれば，どんなダム群操作を行なっても，すべての評価地点において洪水ピーク流量を計画高水流量以下に制御することは不可能と判断できることになる。

3．目的関数の設定

著者らはすでに洪水調節の問題を最適化問題として解釈し，そのＤＰによる定式化を行なっている。[2] 簡単に書けば，目的関数Jを$J \equiv \sum_{i=1}^{m}\sum_{t=1}^{T} D_i(Q_i(t))$ ------ (2)　と定義して，洪水流の流下合流機構を線型と仮定し制御時間座標を導入し，$Q_i(t)=\sum_{(k)_i} O_k(t) + \sum_{(j)_i} g_j(t)$と考えた。そして最適洪水調節の問題を(2)式の$J$を最小にする放流量系列$O_k(t)$を求める問題に帰着させ，その数値解法としてＤＰの手法を利用した。一般的な洪水制御系に対する最適洪水調節のＤＰによる定式化はつぎのように表現される。

$$f_T(S_1, S_2, \cdots, S_N) = \sum_{i=1}^{m} D_i\Big(\sum_{(k)_i}(S_k(T)+I_k(T)-C_k)+\sum_{(j)_i} g_j(T)\Big) \quad \text{------ (3)}$$

$$f_t(S_1,S_2,\cdots,S_N)=\min_{0\le S_k\le V_k}\left\{\sum_{i=1}^{m}D_i\left(\sum_{(k)_i}O_k(t)+\sum_{(j)_i}q_j(t)\right)+f_{t+1}\left(S_1(t)+I_1(t)-O_1(t),\ S_2(t)+I_2(t)-O_2(t),\ \cdots,\ S_N(t)+I_N(t)-O_N(t)\right)\right\} \text{--------}(4)$$

ところで，上の定式化において最も重要な量は目的関数Jであるが，評価地点が一般に洪水制御系内の防災対象地区の数に等しく与えられる必要があることから，評価関数$D_i(Q_i)$の具体的な関数形の設定が非常に重要となる。そこで，著者らは(2)式の目的関数の最小化によって，(1)式の洪水調節の目的が達成されるような評価関数として，つぎの関数を提案する。

$$D_i(Q_i)=(mT_0)^{a_iQ_i-b},\quad a_iQ_{id}=p,\quad a_i\ge 1,\quad p>0 \quad (i=1,2,\cdots,m) \text{-------}(5)$$

ここに，T_0は洪水ごとに変化すると考えられる洪水制御期間Tに対してつねに$T_0>T$となる定数で十分に大きな値を与えておく。pおよびbは任意定数であるが計算機の制約に注意して適当に定めればよい。(5)式の評価関数を用いて(3)式,(4)式の関数方程式を解けば，(1)式の洪水調節の目的を満足させる放流量系列$O_k(t)$が決定されることは理論的に証明されている。[3] また，(5)式の関数を用いると，$Q_{ip}=kQ_{id}$ $(i=1,2,\cdots m)$となるピーク流量の継続時間の洪水制御系内の総和が最小にされることも明らかとなる。

4. 逐次近似法の適用

ダム数Nの制御系における最適洪水調節方式は(3)式,(4)式を解けば求まるが，一般にダムの個数が多くなると解決定に要する時間は急激に増す。[3] それゆえ，DP利用による洪水調節方式の決定が計算の迅速性がとくに要求される洪水時のダム群操作に適用されるためには，こうした多次元性の問題が解決されねばならない。ここでは，図-1に示される並列配置の洪水制御系に対する次元の節減化手法として，逐次近似法の適用を試みた結果を示す。適用の仕方は図-2に示す。すなわち，(a)ダム1と評価地点1のみからなる系の解$O_1^0(t)$を求め，これを最初の推量値とし，つぎに(b) $O_1^0(t)$をダム2と地点2,3より構成される系の支川流量と考え，解$O_2^1(t)$を求める。(c)今度は，この解$O_2^1(t)$をダム1，地点1,3の系の支川流量と考え，解$O_1^1(t)$を決定する。これで1次の近似解$O_1^1(t)$, $O_2^1(t)$が得られたことになり，これを用いて(b),(c)の手順を繰返せばさらに高次の近似解が求まる。2,3の数値計算例によれば，1次あるいは2次の近似解で収束する傾向がみられ，次元の節減化にきわめて有効であるので今後さらに検討したい。

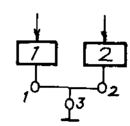

図-1

5. あとがき

以上，一試案として洪水調節の目的を明確に定義し，DPによる最適洪水調節の定式化における目的関数の決定法を明らかにした。そして，次元の節減化手法として逐次近似法を適用したが，解の収束に関してさらに考察を進める必要がある。また，洪水流の非線型効果の導入ならびに単位時間・単位流量の決定については，今後現実河川への適用を試みつつ検討を行ないたい

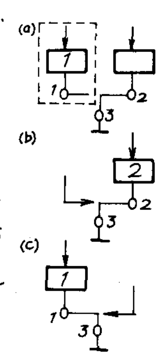

図-2

参考文献

1) 高棹・瀬能・横田；ダム貯水池による洪水制御におけるDP利用の問題点，土木学会第24回年次学術講演会講演集，1969

2) 高棹・瀬能；ダム群による洪水調節に関する研究(I)－DPの利用とその問題点－，京大防災年報 第13号B，1970

3) 横田；洪水時におけるダム貯水池の適応制御に関する基礎的研究，京大修士論文，1971

4) たとえば，小田中敏雄；ダイナミック・プログラミング，丸善株式会社，1962