II－82　洪水制御システムにおける河道の非線形性と分割基準

京都大学大学院　学生員　湯山芳夫
京都大学工学部　正　員　高棹琢馬
京都大学工学部　正　員　小尻利治

1）はしがき　近年、同一水系に数多くのダムが建設あるいは計画中であり、それらの有効な運営を行う統合管理方式の確立が要求されている。本研究はそうした問題に対処するため、複数ダム、複数評価地点をもつ大規模システムの分割化の基準を確立し、また河道流下機構の非線形性を考慮した、より信頼性のある制御システムの確立をはかろうとするものである。

2）洪水制御システムの分割化基準　複数ダム、複数評価地点をもつ大規模システムの最適操作は、既に、著者らによって分解原理を導入して定式化が行なわれ、計算能力の拡大がはかられている[参)]。しかし、ダム群の配置を空間的、時間的な観点よりとらえると、各ダムの制御効果の範囲もおのずと限られてくるはずである。すなわち、相関性の強いダム群で制御システムを構成すると、トータルシステムでの操作は、各サブシステムの操作結果を単純に結合しても、もとのままでの操作と比べ、制御効果が減少しないということである。その結果、記憶容量の大巾な減少、計算時間の短縮が可能となり、実際のダム管理の上からも、極めて望ましい状態となる。そこで本研究では、洪水による破堤の防御を目的として、システムの分割をはかる。

ところで、実際の河川には統計的に与えられている降雨の確率密度関数があり、計画高水流量はそれをもとに社会的条件を考慮して、ある年超過確率を定めて算定されている。したがって、各評価地点の流量を計画洪水流量以下におさえて安全に流下させることが必要であるとの観点に立つと、ダム群の分割の指標は次のようにして与えられる。（図－1参照）

まず、年超過確率より洪水の総降雨量を求め、それに降雨シミュレーション法を適用して多数の降雨分布をつくる。つづいて、流出解析法より河道への流入量を求め、以下の制御を行なう。

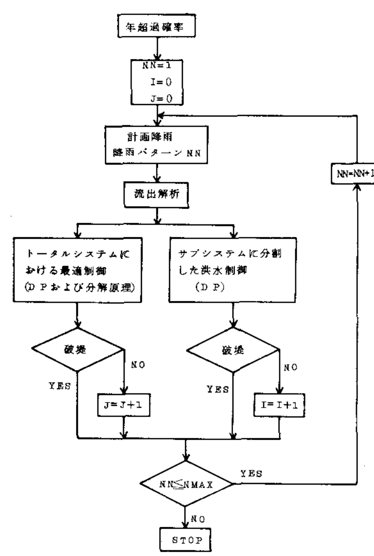
i) ダム群をいくつかの基本パターンに任意に分割して洪水制御を行なう。

ii) ダム群を分割せずに、もとの制御システムで統合操作を行なう。

この i) ii) の制御結果に対し、各評価地点で破堤が発生しているか否かを検討する。以上の手順をシミュレートした全ての降雨分布に適用し、降雨分布の総数を$NMAX$、i)で破堤しなかった回数をI、ii)で破堤しなかった回数をJとすると、次の3種類の指標が得られる。(a) $J/NMAX$；その年超過確率における現在の河川管理施設での安全率。(b) $I/NMAX$；その超過確率において、制御システムを分割した場合の安全率。(c) I/J；サブシステムに分割する指標である。いまシステムの分割基準をθ_{div} $(1 \geqq \theta_{div} \geqq 0)$ として分割指数I/Jが

$$1 \geqq I/J \geqq \theta_{div} \qquad (1)$$

を満たせば、システムはサブシステムに分割可能であると言える。ただこのθ_{div}のとり方の明確な定義はなく、現在のところ、最も厳しい $\theta_{div}=1$ としておくのが妥当であろう。



図－1

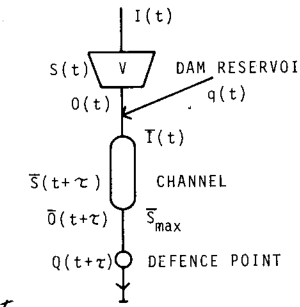
3）河道の流下機構を考慮したダム操作　ところで、サブシステム化をはかる場合、正確な制御結果を把握することが必要で、河道の流下現象の非線形性を適切に表現するとともにそれをダム操作に組み込まなければならない。DPの定式化では、最適性の原理が成立しなければならないので、本研究では洪水追跡法として、今後の流量が現時点の河道貯留量に集約される貯留関数法を導入する。いま図－2のようにダムと河道を表現すると、

連続式; $S(t)-S(t-1)=I(t)-O(t)$ (2)

$$\bar{S}(t+\tau)-\bar{S}(t+\tau-1)=\{\bar{I}(t)+\bar{I}(t-1)\}/2-\{\bar{O}(t+\tau)+\bar{O}(t+\tau-1)\}/2 \qquad (3)$$

貯留関数式; $\bar{S}(t+\tau)=K\{\bar{O}(t+\tau)\}^{P}$ (4)

評価地点流量; $Q(t)=\bar{O}(t)$ (5)



図−2

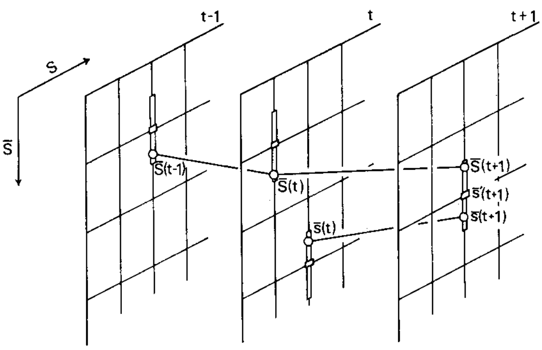
となり、評価地点の許容流量を Q_d とすると、DPの漸化式は次のようになる。

$$f_t(S(t),\bar{S}(t+\tau))=\min\left[\max\left\{Q(t)/Q_d,\ f_{t-1}(S(t-1),\bar{S}(t+\tau-1))\right\}\right] \qquad (6)$$

$$0\leqq S(t)\leqq V,\quad 0\leqq \bar{S}(t)\leqq \bar{V}$$

ただし $t=1,2$ では、ダムと河道の初期条件より漸化式は一意的に決定される。

計算の実行において、従来のDPの計算プロセスのように整数値によって計算を進めた場合、河道貯留量と河道流出量との間に式(4)(5)が同時に成立せず、河道内の水収支が保持できなくなる。そこで本研究では図−3に示すように、河道格子点 $\bar{S}(t+\tau)$ はその近傍の状態量の代表点とし、真の河道貯留量 $\bar{S}(t+\tau)$ を別に記憶させ、また図の $t+1$ にみられるように、同じ格子点の近傍に数個の河道貯留量が存在するときには、その制御時刻において、目的関数を最小とするものを選別するようにし、常に水収支が保持されるようにした。



図−3

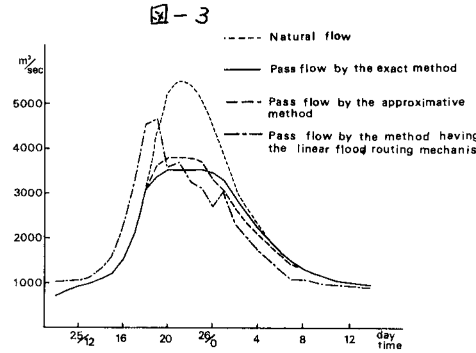
河道やダムの増加につれて次元数が増大し、DDDPの手法を採用してもまだ計算機における記憶容量、計算時間が問題となる。これに対処するため、上記の方法(仮に厳密解とよぶ)の結果、河道の貯留状態が比較的安定していることに着目し、河道貯留量を状態量と考えず、ダム貯水量だけを状態量とする近似解法を考案した。具体的な関数漸化式は

$$f_t(S(t))=\min\left[\max\left\{Q(t)/Q_d,\ f_{t-1}(S(t-1))\right\}\right] \qquad (7)$$

$$0\leqq S(t)\leqq V,\quad 0\leqq \bar{S}(t)\leqq \bar{V}$$

$$\bar{S}(t+\tau)=g_t(S(t)) \qquad (8)$$

のようになる。ここに $g_t(S(t))$ はダム貯水量 $S(t)$ で決定される河道状態量を表わす。近似解法では、河道貯留量の決定が将来に及ぼす影響は何ら考慮せずに行われるため、制御初期にダム貯留する傾向があり、結果としてピーク流量が低めとなる。



図−4

図−4は高山ダム、加茂評価地点系の制御系におけるT.5313での制御結果である。図より明らかなように、式(6)を用いた制御によれば、極めて平滑化された結果が得られている。一方、河道の非線形性を無視した方法(一点鎖線)では、実際の洪水よりもピーク流量が早く現われ、人工洪水を発生する可能性がある。また、その放流量系列の洪水追跡を行なって評価地点流量を算定しても、あまりよい結果が得られず、ダム操作時に河道効果を導入した本定式化の有効性がうかがえる。一方、式(7)の近似解法は式(6)の厳密解とかなりよく似た制御結果が得られているが、流況によって制御効果に差があるため、今後検討の必要がある。

4) あとがき　本研究は、河道の流下機構を考慮したダム操作の定式化を行ない、それを用いた実用的なダム群管理形態を得ようとしたものである。今後、本方式を計画面だけでなく実時間操作への適用をはかって、実際のダム運営に役立てたい。

<参考文献> 高棹、小尻、藤井;ダム群の大規模システムにおける最適操作 土木学会年次講演会講演概要集 1976.10