

京都大学防災研究所 正 員 小尻利治
京都大学 工学部 正 員 高井琢馬
京都大学 大学院 学生員 四宮圭三

1. はじめに 近年、河川表流水の利用率を高めるために河道堰が一つの有力な方策となりつつあり、各地で建設もしくは建設を計画されている。そこで、本研究では、従来より展開されているダム貯水池操作の成果を導入し、システム論的にとらえた河道堰の最適操作について考察するものである。

2. 河道堰システムの構成 貯水池状態の評価や最適放流量の決定に係わる因子を空間、目的、時間の3つの因子に分け、これらを互いに独立な因子として河道堰システムを構成すると次のようになる。(i)空間軸とは堰の立地条件・貯水池規模条件を中心に最も基本的な制御系である単一堰・単一評価地点系から、それらを拡張した堰と他の施設(ダム)の結合システムによる水系一貫した制御系までを表わすシステム因子である。(ii)目的因子とは、高水時や低水時の水量だけを対象とした単一目的での最適操作から、水量は言うに及ばず、各種水質・堰周辺の地下水位等の環境条件を同時に評価する多目的操作までを表わすものである。また、(iii)時間因子とは、堰貯水池への既知の入力

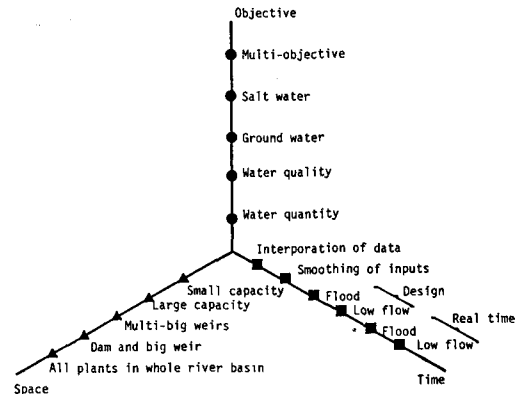


図-1 河道堰システムの空間的表現

情報に対する計画操作から、未知入力に対する実時間操作までを表わす入力因子である。既知入力あるいは未知入力に対する操作では、いずれも、高水、低水に分けた短期間操作からそれらを統合した長期間操作へと発展している。以上述べた3因子をもとに、河道堰システムを空間的に表現すると図-1のようになる。

3. 河道堰操作の定式化 まず、水量だけの単一目的で、かつ既知入力・単一堰系という基本システムの操作を考察しよう。

(1)堰貯水池と流量観測地点が離れている場合 : 観測流量より堰貯水池への真の流入量を推定し、堰操作を行わなければならないが、既知入力ときは、流量の推定と操作を別々に行うことができる。その結果、ダム操作と同様のDPによる定式化が可能となる。ただし、目的関数としては、堰より必要な需要量を取水した後に、放流量を平滑化するものとおく。したがって、常に需要量を満たすことを第1とし、需要量が満たされなくなると貯水池は空となり別の操作基準に従うものとする。

(2)流入量の観測時間ステップが長い場合 : 河道堰の貯水池容量はダムに比べて小さく、きめ細かい操作が要求される。欠測時や貯水量が異常に低下、あるいは上昇した時の問題であり、操作効率からみて極めて重要になる。たとえば、3次の曲線近似や流出解析法によって流量を発生させることができ、堰操作はやはりDPにより決定することができる。

(3)水面変動を考慮する場合 : 洪水時には支川との合流や流下機構によって貯水池内の水面が一様ではなく、流下方向に沿って変化していることが予想される。その対策として、貯水池内で不定流解析を行うと同時に、解析地点での水位を状態量とみなすと、DPによる定式化が可能になる。具体的には、貯水池をJ箇の点で分割し、各地点の水位 $Sh_j(t)$ を状態量、

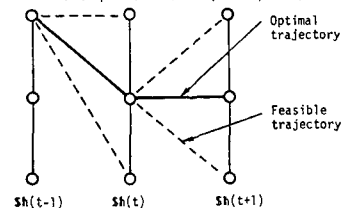


図-2 DPの計算手順

堰からの放流量 $Q_0(t)$ を決定変数とすると、ある放流量ごとに不定流解析が行われるのでDPの関数漸化式は

$$f_t(SH_1(t), \dots, SH_J(t)) = \min_{\{Q_0(t)\}} [D\{Q_0(t)\} + f_{t-1}(SH_1(t-1), \dots, SH_J(t-1))] \tag{1}$$

となる。ただし、 $D(\cdot)$ は評価関数である。なお、不定流解析を行うと、河道内の水位の離散化に対して流量の連続式が成立せず、実質的な解が得られない。そこで、制御期間 $\tau-1$ の計算で真の河道水位 $SH_J(t-1)$ が計算されると、その真値を並隣の代表状態量 $\overline{SH}_J(t-1)$ で記憶し、期間 τ での状態量を求めるには、 $\overline{SH}_J(t-1)$ より可能な状態量 $SH_J(t)$ を前進的に提案していくのである(四-2参照)。いくつかの状態量、放流量より同じ代表状態量に到達する場合は、その時点での最小関数値を取る系列を最適経路としていけばよい。

4. ダムと河道堰の有機的操作 つぎに、実システムでよく見られるダム貯水池と河道堰の統合操作について考えよう。一般に、ダムと堰の位置は離れているので、その間の河道流下機構を考慮する必要がある。河道効果を貯留関数法で表わし、式(1)と同様に河道の貯留量を状態量とみなすと、DPの関数漸化式は次のようになる。

$$f_t(SD(t), \overline{SR}(t+\tau), SG(t+\tau)) = \min_{\{Q_0(t), \{Q_0(t)\}} [D\{Q_1(t+\tau), Q_2(t+\tau)\} + f_{t-1}(SD(t-1), \overline{SR}(t+\tau-1), \overline{SG}(t+\tau-1))] \tag{2}$$

さらに、ダムと堰の間の貯留関係として

$$\overline{SR}(t+\tau) = K \{ \overline{Q_0}(t+\tau) \}^P \tag{3}$$

$$\overline{Q_1}(t) - \overline{Q_0}(t+\tau-1) = \overline{SR}(t+\tau) - \overline{SR}(t+\tau-1) \tag{4}$$

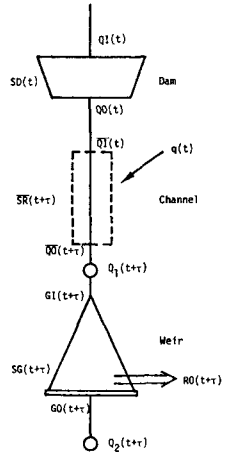


図-3 ダムと堰システム

を設定する(四-3参照)。ここに、 $Q_1(t)$ はダムへの流入量、 $SD(t)$ はダムの貯水量、 $Q_0(t)$ はダムの放流量、 $\overline{Q_1}(t)$ は河道への流入量、 $\overline{SR}(t)$ は河道の貯留量、 $\overline{Q_0}(t)$ は河道からの流出量、 $GI(t)$ は堰への流入量、 $SG(t)$ は堰の貯留量、 $GO(t)$ は堰の放流量、 $RO(t)$ は堰からの取水量、 $Q_2(t)$ は評価地点 i を通過する流量、 τ は河道による流下遅れ時間、 K, P は河道に固有な定数である。評価関数としては、洪水の危険率関数を用いており

$$D\{Q_1(t), Q_2(t)\} = \sum_{i=1}^2 \frac{1}{Q_i(t) + 1.0 - Q_{id}} \tag{5}$$

とする。ただし、 Q_{id} は評価地点 i における確保流量である。図-4はダムと河道堰の結合システムを任意流況に対して適用した結果である。計算時には、やはり、水収支を成立させるために真の状態量を代表値で置き換える方法をとっている。

初期条件は $Q_{id} = 1.0$ 、 $Q_{2d} = 1.0$ 、 $RO(t+\tau) = 1.0$ (m^3/sec) であり、 $K=2$ 、 $P=0.5$ とした。黒丸で示した堰の放流量は、初期貯留が少ない時点はあまり放流していないものの後半は平滑化している。これは河道の貯留量が安定していることにも対応しており、河道特性を考慮することにより、容量の小さい堰でも、ほぼ平均的な放流を実施しうることを表わしている。

5. おわりに 本研究は、堰操作の基本システムを明らかにしたものであり、今後、水質を含む多目的操作、水系全体の諸施設群との統合操作、実時間操作などについて検討していきたい。

(参考文献) 高橋、池田、川尻：ダム群制御システムにおける分割基準と河道流下の非線形性、京都大学防災研究所年報第20号B-2、1977、pp 169-183

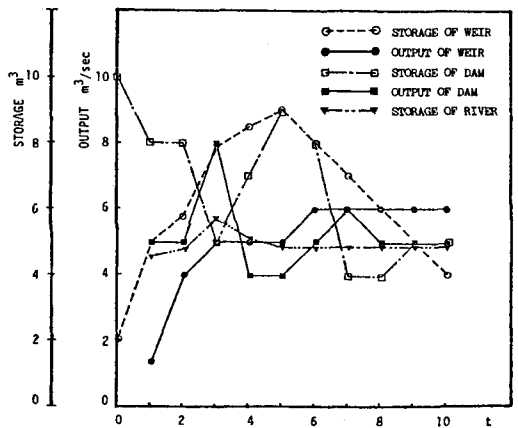


図-4 適用結果