濁水基準を含んだダム貯水池の最適操作

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
京都大学大学院　学生員　阿佐美一郎
アイ・エヌ・エー新土木研究所　正員　大舘洋一

1．まえがき

洪水防御，あるいは渇水対策として多数のダムが建設，もしくは，建設を計画されている。ところが，現在のダム操作方式は極めて固定的なルールに基づいており，治水・利水の危険時にはあまり有効とは言えない。とくに，洪水と共に流出する濁質水に対しては，ほとんど制御効果を表わさない。これは，ダム設計時における取水口（以下ではゲートと呼ぶ）の位置・規模に関する重大な問題である。そこで本研究は，従来より進めてきたダム群の量的制御[1]に加えて，水質，とくに濁質水などの質的側面を含んだ総合的なダム群最適操作方式を確立しようとするものである。

2．制御目的と評価関数

(1)量的目的　流域内に設けられたいくつかの基準地点（評価地点）で，ある期間，常にある需要量を満足する流量が流れていて，それを決して下回らないことと定義すると，数学的に次のように表現できる。

$$P \equiv \min.\left\{\frac{Q_{me}}{Q_{md}}\right\} \longrightarrow \max. \quad ----(1)$$

かつ，

$$P \geq 1$$

ここに，Q_{me}は制御後の評価地点mを流下する流量の最低値，Q_{md}は評価地点mでの需要量，Mは評価地点の総数である。

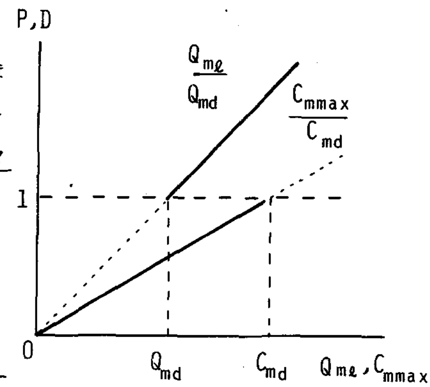

Fig-1

(2)質的目的　濁質水を対象にする場合，流域内の評価地点で，ある期間，常に濁度のある上限値を上回らず，できる限り濁度を低下させることと定義すれば，

$$D \equiv \max.\left\{\frac{C_{mmax}}{C_{md}}\right\} \longrightarrow \min. \quad -----(2)$$

かつ

$$D \leq 1$$

と表現できる。ここにC_{mmax}は制御後の評価地点mを流下する濁度の最大値，C_{md}は濁度の上限値である。

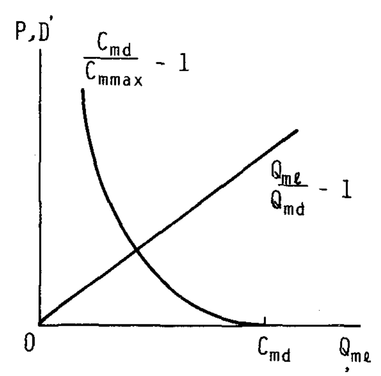

Fig-2

(3)評価関数　式(1)，(2)の評価値P，Dは相反した領域にあり，しかも，流量と濁度の間に従属関係が成立しないので，両者を単純に結合することは困難である

（Fig-1 参照）。そこで著者らは各種の結合方法を考察したが，ここでは，“評価関数の近似による方法”について述べる。具体的には，濁質水の制御対象領域を $0 \le D \le 1$ から $1 \le D' \le \infty$ となるようにし，各基準量からのずれの比で評価する方法である。（Fig-2 参照）
結局，水量，水質目的を含む評価関数は

$$\min\left\{ \frac{C_{md} - C_{mmax}}{C_{mmax}},\ \frac{Q_{me} - Q_{md}}{Q_{md}} \right\} \longrightarrow \max. \quad \cdots\cdots \quad (3)$$

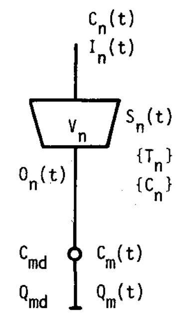

Fig-3

となり，最大化問題として統一される。この場合，濁度の評価は曲線で行なわれることになり，もとの評価値とは差異が生ずる。しかし，傾きの変化率の関係より，濁度が $0 \sim \sqrt{C_{md}}$ では濁質よりも水量を重視し，$\sqrt{C_{md}} \sim C_{md}$ では濁質を重視した操作をする特性がある。

3．ダム操作の定式化

(1) 簡略的に，Fig-3 のような単ダム・1評価地点系を考えよう。まず，各制御期間において，ダムに多数設けられたゲートのうち，1箇所しか作動しないとする。各制御期間毎のゲート位置は互いに独立であるので，ダムの貯留量とゲート位置を状態量に，ダムの放流量とゲート位置を決定量にとれば，定式化が可能となる。すなわち，

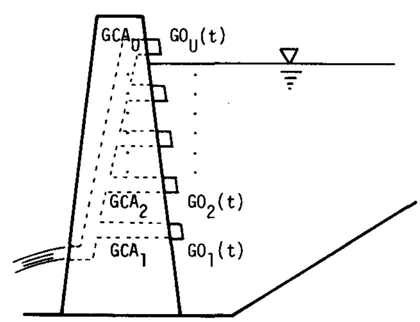

Fig-4

$$f_t(S(t), GP(t)) = \max_{\{GP(t-1)\},\{O(t)\}} \left[\min\left\{ \frac{C_{md} - C_m(t)}{C_m(t)},\ \frac{Q_m(t) - Q_{md}}{Q_{md}},\ f_{t-1}(S(t-1), GP(t-1)) \right\} \right] \quad \cdots\cdots\cdots \quad (4)$$

$$O(t) = \alpha_1 GO_1(t) + \alpha_2 GO_2(t) + \cdots\cdots + \alpha_u GO_u(t) \quad \cdots \quad (5)$$

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \cdots\cdots\cdots + \alpha_u = 1 \quad (\alpha = 0 \text{ or } 1) \quad \cdots \quad (6)$$

となる。ここに，$GO_u(t)$ $(u = 1, 2, \cdots, U)$ は時刻 t でのゲート u の放流量，GCA_u はゲート u の最大放流可能量，$GP(t)$ はゲートの位置である（Fig-4 参照）。

(2) つぎに，複数のゲートが同時に作動する場合であるが，ゲートの組み合わせによって水量，濁度が異なることになる。したがって，ゲートの組み合わせ方を状態量および決定量とし，貯留量，放流量は逆算して求めなければならない。定式化は以下のようになる。

$$f_t(g_t(k)) = \max_{\{g_{t-1}(k)\}} \left[\min\left\{ \frac{C_{md} - C_m(t)}{C_m(t)},\ \frac{Q_m(t) - Q_{md}}{Q_{md}},\ f_{t-1}(g_{t-1}(k)) \right\} \right] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (7)$$

$$O(t) = GO_1(t) + GO_2(t) + \cdots\cdots\cdots + GO_u(t) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (8)$$

ここに，$g_t(k)$ はゲート組み合わせの順序付番号を表わしている。

4．あとがき

現在，一次元モデル[2]による貯水池内の挙動解析法を用いて上記の制御系の適用を行なっており，結果は講演時に述べる。ただ，挙動解析モデルの導入にあたって種々の仮定があり，今後，検討を加えなければならない。

参考文献　1) 高棹，池淵，小尻：水量制御からみたダム群のシステム設計に関するDP論的研究，　土木学会論文報告集 第241号 1975.9.
2) 安芸　　：貯水池濁水現象，　第11回水工学に関する夏期研修会講演集 A-1　1975.8.