II－47　　貯水池の流量調整機能と流入量特性の関係

神戸大学工学部　正員　神田　徹
関西電力　正員　工藤明彦
大阪大学大学院　学生員　○下垣　久

1. はじめに

利水対象の貯水池最適操作に関して，筆者らは従来一連の研究を行ない，その主要な成果の一つとして評価関数を最適化する放流ルールの決定法を示した[1),2),3),4)]。この放流ルールが貯水池の貯水量，放流量変動に支配的に関与し，したがって貯水池流量調整機能を規定するものと考えられる。

よって，今回の報告はこれまで説明不足の放流ルールのメカニズムに関する内容を詳述し，さらに最適操作のもとでの貯水池流入量特性と放流量特性の関係より貯水池の流量調整機能について定量的評価を行なったものである。

2. 放流ルール

貯水池操作における関心事は評価基準に関して最適な一定目標放流量を供給するために，月初期貯水量Z_{in}，流入量$\bar{q}$を目標放流量と翌月の貯水量へいかに配分するかにある（図-1参照）。最適目標放流量への初期貯水量と流入量の配分率をそれぞれ，γ, βとすれば，一般にγ, βは評価関数型，月初期貯水量状態，流入量特性によって定まった値をとる。

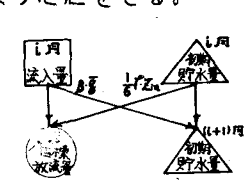

図-1　配分率

ところが，評価関数を$f(C,M)=C^aM^b$（C:目標放流量，M:信頼性，a,b:定数）と設定した場合，最適放流ルールは模式化して図-2のように示され，初期貯水量の低い部分と満杯近い部分を除き初期貯水量Z_{in}と最適目標放流量C^*の間に線形関係がある。このため，γ, βは初期貯水量状態にかかわらず一定値とみなすことができ，以降の解析に極めて好都合となる。すなわち，γ, βは評価関数型と月流入量特性によって一意的に定めることができる。ただし，終端条件の影響する月は除外する。したがって，この評価関数型に対する目標放流量は次のように定式化できる。

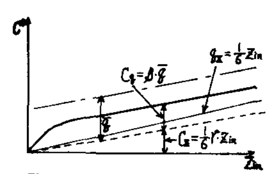

図-2　放流ルール

$$C^* = C_z + C_q = \frac{1}{6}\gamma\cdot Z_{in} + \beta\cdot\bar{q} \text{ ------------------(1)}$$

ここに，C_z:初期貯水量依存量，C_q:流入量依存量，γ:初期貯水量依存度係数（配分率），β:流入量依存度係数（配分率）である。γ, βへの関与要因のうち流入量の不確定要素が大きな影響力をもつと考えられ，これを明確にするため実測資料に基づく基準流入量の他に次の流入量系列に対しても放流ルールを求め，γ, β値について検討を行なった。すなわち，各月において流入量平均値は等しく，その標準偏差σ_{in}が基準値の0.5,0.8,1.2倍の流入量系列（$0.5\sigma(x)$, $0.8\sigma(x)$, $1.2\sigma(x)$）を用いて計算した結果，以下に述べるようにγ, βとσ_{in}の間に有意な相関が見い出せた。γ, βに関する結果を要約す

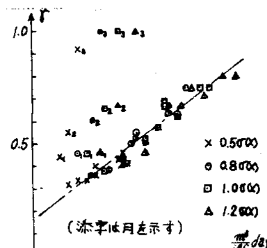

図-3　γとσ_{in}の関係（a<1.0）

れば次のようになる。

(1)評価関数C^aM^3($a<1.0$)の場合，γ, βとσ_{in}の関係はそれぞれ図-3,図-4に示されるように線形関係をうる。よって，流入量のばらつきが小さい月ほど流入量への依存度の高い目標放流量となる。ただし，終端条件の影響はγ値に現われ，1月,2月,3月の値は順次高くなり，特に3月の場合$\gamma=1.0$である。

(2)評価関数$C^{1.0}M^3$の場合には各月とも$\gamma=1.0$であり，β値とσ_{in}の関係は図-5に示される。$a<1.0$の場合と比較して総体的にβ値は低く，かつσ_{in}の増加にもかかわらずβ値は一定となる傾向が見られる。終端条件の影響は3月のβ値に現われ高い値を示す。

3. 貯水量変化特性

図-6を参照すれば，半旬間における放流から次の関係式が成り立つ。

$$R = Z_{in}^k + \bar{q} - C^* = (1-\gamma)Z_{in}^k + (1-\beta)\cdot\bar{q} \tag{2}$$

ここに，Rは半旬期末平均残留貯水量，$Z_{in}^k = \frac{1}{6}Z_{in}$，$\bar{q}$は月平均半旬流入量である。さらに，$Z_{in}^k$に対する$R$の比を貯水量残留率$r$とすれば

$$r = R/Z_{in}^k = (1-\gamma) + (1-\beta)(\bar{q}/Z_{in}^k) \tag{3}$$

となり，R, rは一般にはZ_{in}^kの関数である。$a=1.0$の場合$\gamma=1.0$であるから，式(2)より$R=(1-\beta)\cdot\bar{q}$となりZ_{in}^kに無関係に平均残留貯水量Rは一定となる。他方，$a<1.0$の場合には流入量ばらつきの小さい範囲では近似的に$\beta=1.0$とみなせるので式(3)より$r\fallingdotseq 1-\gamma$となって，どのZ_{in}^kに対しても貯水量残留率rは一定とみなせる。$C^{1.0}M^3$，C^aM^3($a<1.0$)おのおのに対する平均残留貯水量を$R_{a=1.0}$, $R_{a<1.0}$とし，両者の差をR_dとすれば式(2)から次の関係をうる。

$$R_d = R_{a=1.0} - R_{a<1.0} = (\gamma_{a<1.0}-\gamma_{a=1.0})Z_{in}^k\left(1+\frac{\beta_{a<1.0}-\beta_{a=1.0}}{\gamma_{a<1.0}-\gamma_{a=1.0}}\cdot\frac{\bar{q}}{Z_{in}^k}\right) \tag{4}$$

$\gamma_{a<1.0}-\gamma_{a=1.0}<0$, $\beta_{a<1.0}-\beta_{a=1.0}>0$であり，$Z_{in}^k$が$\bar{q}$に対しある値(図-6の$V_A$点に対応)より大きくなると$R_d=R_{a=1.0}-R_{a<1.0}<0$となる。また，$V_A$は貯水量の低い方にあるので残留量は$a<1.0$の場合が$a=1.0$の場合より大きな値となり，この累積結果として貯水量平均値は高くなる。貯水量年間変動を図-7に示せば，a値が小さいほど貯水値は高いことがわかる。

つぎに，初期貯水量Z_{in}^k, $Z_{in}^k+\Delta Z_{in}^k$に対する半旬後の貯水量差をΔRとすれば式(2)より，$\Delta R=(1-\gamma)\Delta Z_{in}^k$となる。$a<1.0$, $a=1.0$それぞれのΔRを$\Delta R_{a<1.0}$, $\Delta R_{a=1.0}$とすれば$\Delta R_{a<1.0}=(1-\gamma_{a<1.0})\Delta Z_{in}^k$, $\Delta R_{a=1.0}=(1-\gamma_{a=1.0})\Delta Z_{in}^k$となり，$\gamma_{a<1.0}<\gamma_{a=1.0}=1.0$であることを考慮すれば$\Delta R_{a<1.0}>\Delta R_{a=1.0}$となる。すなわち，

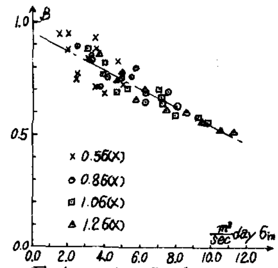

図-4 βとσ_{in}の関係($a<1.0$)

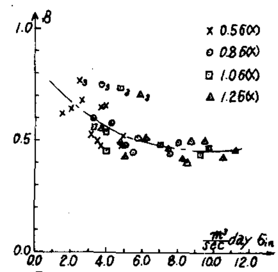

図-5 βとσ_{in}の関係($a=1.0$)

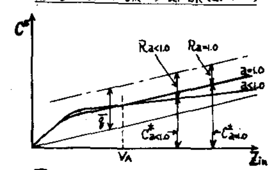

図-6 半旬間の貯水量変化

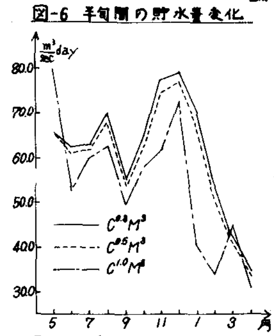

図-7 貯水量平均値

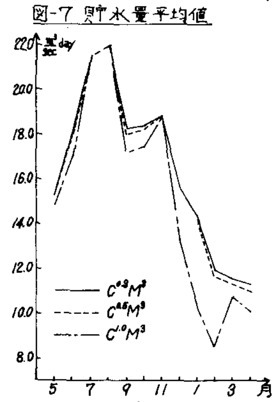

図-8 貯水量標準偏差

$a<1.0$ の場合が貯水量のばらつきは大きい。この点は図-8より明らかである。

4. 流量調整機能

貯水池の流量調整機能を流入量分布特性値と放流量分布特性値の関係から評価することができる。まず，放流量平均値の年間変動を図-9に，年間平均放流量を表-1に示す。これより，つぎの点を指摘できる。

(1) aの値が小さいほど放流量の年間変動の平滑化が行なわれる。

(2) aの値が大きいほど年間平均放流量は多い。aの値が小さいほど無効放流量の影響が強いためであり，100水年シミュレーション結果によれば$a=0.5, 1.0$の場合の年間総無効放流平均値はそれぞれ3.342, 1.050 $\frac{m^3}{sec}$day（初期条件$S_{in}=V_{25}$の場合）である。

つぎに，放流量標準偏差σ^*への評価関数型の影響は図-10で表わせる。図より，aの値が大きいほど放流量標準偏差は大きくなるが，$a<1.0$の間に大差はない。また，終端条件の影響する月に関しては評価関数型の影響は無視できる。放流量標準偏差と流入量標準偏差の関係は図-11，図-12に示されるように$a=1.0$と$a<1.0$の場合では異なる。$a=1.0$の場合，$\sigma^*_{(i)}$は$\sigma_{in}^{(i-1)}$と線形関係であるのに対し，$a<1.0$の場合には$\sigma^*_{(i)}$は$\sigma_{in}^{(i-1)}+\sigma_{in}^{(i)}$と線形関係を示す。ここに，$\sigma^*_{(i)}$は$i$月放流量標準偏差，$\sigma_{in}^{(i-1)}$，$\sigma_{in}^{(i)}$はそれぞれ$(i-1)$月，$i$月の流入量標準偏差である。これは，$a=1.0$に対する$\gamma$値がどの月も一定（$\gamma=1.0$）であるのに対して，$a<1.0$の場合にはその月の流入量ばらつきに応じて$\gamma$値が変化するためである。

5. まとめ

(1) 最適目標放流量を初期貯水量依存量と流入量依存量に分離することができる。

(2) 係数γ，βは評価関数型と流入量の標準偏差により各月について一意的に決定できる。

(3) $C^{1.0}M^3$に関する放流ルールは残留量一定型であり，無効放流量を減少させる。一方，$C^aM^3 (a<1.0)$の放流ルールは残留率一定型に近く，aが小さいほど放流量の年間変動が平滑化される代わりに無効放流量が増加する。

おわりに，本研究を行なうにあたり，適切なご指導をいただいた大阪大学，室田　明教授に感謝の意を表します。

〔参考文献〕 1), 2), 3), 4) 室田，神田「貯水池による水供給の信頼性（第1報），（第2報），（第3報），（第4報）」，第25回，第26回，第27回，第28回 年次学術講演会講演集　昭和45年，46年，47年，48年

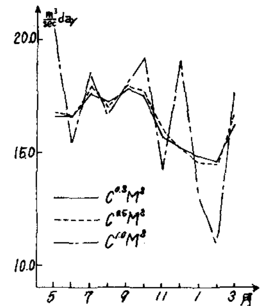

図-9 放流量平均値

評価関数	年間平均放流量
$C^{0.3}M^3$	16.3275 $\frac{m^3}{sec}$day
$C^{0.5}M^3$	16.3846
$C^{0.7}M^3$	16.3980
$C^{1.0}M^3$	16.4535

表-1 年間平均放流量

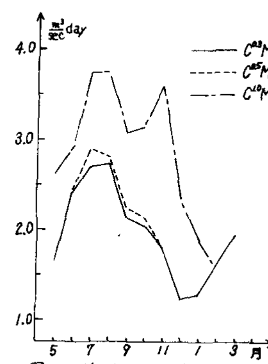

図-10 放流量標準偏差

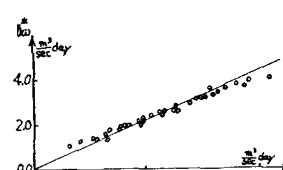

図-11 放流量標準偏差と流入量標準偏差の関係（$a=1.0$）

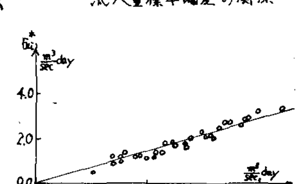

図-12 放流量標準偏差と流入量標準偏差の関係（$a<1.0$）