

渇水期間における利水用貯水池の実時間操作方式

Real Time Operation of a Reservoir during Drought Period

神戸大学工学部 正員 ○ 神田 徹
神戸市下水道局 正員 畑 恵介

1. 貯水池実時間操作の意義と操作方式の概要

利水用貯水池の計画・管理を行なうには一般に将来の長期間にわたる流入量情報を必要とするが、その決定論的な予測には限界があるため、不確定成分の推定とそれに対処する計画手法が重要な課題である。流入量に起因する不確定性を客観的に評価し、貯水池の容量や操作ルールを最適決定する方法に関して従来、確率論を基礎とする各種の手法が提案されていることは周知の通りである。^{1),2)} 本研究で取扱う貯水池の操作問題について言えば、多数組の流況の中から何らかの基準で特定の渇水流況を選択し(わが国で用いられている基準渇水もその一種である)それを流入量時系列として設定する方法や、ある確率で期待される利益(例えば利益の期待値)を最大にする、または損失を最小にする方法などが、計画策定時に貯水池操作ルールを決定する際の通常の方法である。³⁾ しかし、いずれの方法においても貯水池操作開始後に生起可能な全ゆる流況パターンを予め考慮して操作ルールを定めておくことは事実上不可能であるから、異常渇水などに対してもそれらの操作ルールが有効であるという保証はない。そこで、計画策定時に想定した流入量よりも厳しい渇水流況が生起した場合の渇水被害をできる限り軽減せんとするならば、実時間の操作方式を有効に活用しなければならない。実時間操作では各時刻ごとに貯水量および流入量の情報が入手できるので、それを利用すれば貯水池操作に関する選択変数の幅(alternatives)は計画策定時に比べてはるかに減少し、より現実的な操作が可能になるはずである。しかし、渇水流況の予測誤差は貯水池操作に鋭敏に影響するから、ある場合には意外に大きな渇水被害を、またある場合には過剰節水という結果を招来する危険性は高い。ゆえに実時間操作が一概に有効であるとはいえず、操作ルールが種々の流況パターンに柔軟に対応しうる機能をもつかどうかについて充分の吟味が必要である。以上の観点から、本研究では厳しい渇水流況の継続期間を対象とした実時間操作方式を提案し、その適用性を検討した。

実時間操作方式の骨子は次の通りである。第1段階(計画策定時)では、まず対象とする渇水の強度(確率年)を定める。この確率年に対して各種の流況パターンが存在するので、その各々に対応する最適操作ルールを求めておく。第2段階(実時間操作)では、入手した入力情報に基づいて各時刻で流況パターンを同定し、第1段階で求めておいた最適操作ルールを適用する。時間の経過とともに流況パターンの将来予測を更新し、操作ルールをそれに適応させていく。また操作期間中に渇水流況の確率年の変更も考慮する。

2. 貯水池システムの諸量

2.1 貯水池操作期間と単位期間

貯水池操作期間は有限の長さでN個の単位期間からなるものとし、以下の数値解析ではN=36とする。貯水池流入量および放流量はこの単位期間の水量として、貯水量は単位期間の期末貯水量として取扱う。放流量の決定は単位期間ごとに行なうのを原則とするが、現実的観点から数期間ごとに決定する方式も後に考える。期間内の操作は第1期間以前および第N期間以後の貯水池管理とは独立であるとし、したがって操作期間の初期貯水量は満杯状態とし、最終期間の期末貯水量は空にしてよいものとする。

2.2 貯水池流入量と目標放流量

流入量時系列は次の1次の自己回帰モデルに従うものとする。

$$Q_t = \mu + \rho(Q_{t-1} - \mu) + \sigma\sqrt{1-\rho^2}\epsilon \quad (1)$$

ここに、 Q_t は第t期間の流入量、 μ は平均流入量(一定)、 σ は標準偏差(一定)、 ρ はlag-1の自己相関係数、 ϵ はN(0,1)の独立な確率変数。本研究で用いた数値は、 $\mu=5.0$ 、 $\sigma=2.0$ 、 $\rho=0.7$ である。

(1) 式のモデルにおいて、時刻*t*におけるlead time *i*の予測値は次のように与えられる。

$$\bar{Q}_t(i) = \mu + \rho^i (Q_t - \mu) \quad (2)$$

ここに、 $\bar{Q}_t(i)$ は第(*t*+*i*)期間の流入量 Q_{t+i} の第*t*期間における予測値である。これより、第(*t*+1)～第(*t*+*T*)期間の総流入量の第*t*期間における予測値は次式で与えられる。

$$\sum_{i=1}^T \bar{Q}_{t+i} = \sum_{i=1}^T \bar{Q}_t(i) = \mu T + (Q_t - \mu) \frac{\rho(1-\rho^T)}{1-\rho} \quad (3)$$

目標放流量は全期間にわたり一定で、単位期間の目標放流量を $R_c=4.5$ とする。

2. 3 貯水池容量と渇水の強度

目標放流量を全期間にわたって放流可能である確率が、特定の値をとるように貯水池容量を設定する。すなわち、まず36個の単位期間からなる流入量時系列を(1)式を用いて1000組発生させる。次に、各流入量時系列に対して、初期貯水量を満杯状態として目標放流量を全期間にわたって放流する(期間内で満杯のときには無効放流する)。全期間中の最小貯水量を求め満杯状態との差をとり、これを最大累加不足水量 V_d とよぶ。最大累加不足水量は、貯水池による水供給計画における、各流入量時系列の豊渇の程度を示す指標と考えることができる。そこで1000組の流入量

時系列を V_d が大きいものから順に、渇水第1位流況、渇水第2位流況、・・・とする。図-1は第1位から第200位までの V_d をプロットしたものである。渇水の強度を V_d で代表させるのは一般的には不十分であることは勿論であるが、後述の貯水池操作の結果によれば、(渇水被害)～(平均流入量)の關係に比べて(渇水被害)～(V_d)の關係ははるかに高い相関をもつことが確認された。本研究では、渇水第200位流況(V_d の超過確率20%)を貯水池容量決定に対する基準流況とした。すなわち、第200位の V_d を貯水池容量 V とした。

$$V = 22.51$$

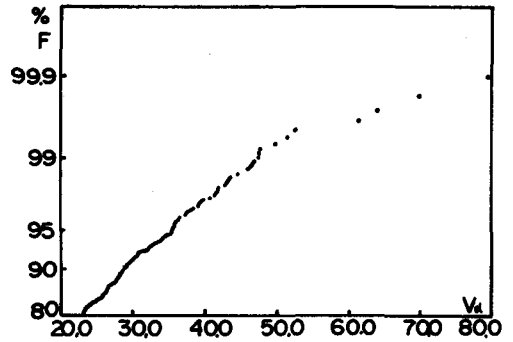


図-1 V_d の非超過確率

3. 渇水被害関数

貯水池に依存する水需要は多種、多様であるから、渇水により生ずる被害は各々異なる内容をもつことは言うまでもない。本研究では、貯水池からの放流量が目標放流量に満たない場合に生ずる被害に限定する。渇水被害に関与する基本的な量は次のようなものであろう。(a)貯水池操作期間の総節水量(目標放流量と実放流量との差の期間内の総和)、(b)期間内の最大節水率(目標放流量に対する節水量の比の期間中の最大値)、(c)節水継続期間。本研究ではこれらの量を考慮して渇水被害を以下のように定量的に表示し、貯水池操作方式の適否を評価するための指標とした。

まず、渇水被害原単位、すなわち単位節水量当りの渇水被害 a_t を節水率の1次関数と仮定する。

$$a_t = \alpha e_t = \alpha(R_c - R_t)/R_c \quad (4)$$

ここに、 $e_t = (R_c - R_t)/R_c$ は節水率、 R_c は目標放流量(全期間一定)、 R_t は第*t*期間の貯水池放流量($R_t \leq R_c$)、 α は定数である。この原単位を用いて渇水被害関数を次式で定義する。

$$P = \sum_{t=1}^N (a_t D_t) = \sum_{t=1}^N \alpha \frac{(R_c - R_t)^2}{R_c} \quad (5)$$

ここに、 P は操作開始後第1期間から最終期間(第*N*期間、 $N=36$)までの渇水被害、 $D_t = R_c - R_t$ は単位期間の節水量である。 $\alpha=1$ とする。

(5)式で与えられる評価関数 P は、総節水量 $\sum D_t$ が小さくなるほど、また一定の総節水量に対しては節水率 e_t が全期間で等しくなるほど小さい値をとる。今村ら⁴⁾によれば(4)式における原単位 a_t と節水率との

関係は全用水平平均では非線形であるとされているが、上記のように仮定しても貯水池操作方式の適否を判定する上では両者は本質的に異ならず、(5)式はかなり一般性のある評価指標と考えられよう。

4. 節水放流方式

本研究で用いる貯水池操作方式の基本的なルールは以下の通りである。

任意の第 t 期間の期末において第 $(t+1)$ 期間の放流量を次のように定める。まず、第 t 期間末において第 $(t+1) \sim$ 第 $(t+T)$ 期間の総流入量を予測する。次に、この予測流入量と現在(第 t 期間末)の貯水量との和で第 $(t+1) \sim$ 第 $(t+T)$ 期間の総目標放流量が放流可能かどうかをチェックし、可能であれば第 $(t+1)$ 期間には目標放流量を放流し(目標放流とよぶ)、不可能であれば目標放流量より少ない水量を放流する(節水放流とよぶ)。ただし、第 $(t+T)$ 期間が最終期間 N でない限り、第 $(t+T)$ 期間末の貯水量として適当な水量を以後の流量調整のために確保する、という見込みで操作を行なう。節水放流の場合は、第 $(t+1) \sim$ 第 $(t+T)$ 期間にわたって節水量が一定になるように第 $(t+1)$ 期間の放流量を決める。以上の手順を時刻 $t=0$ (初期貯水量状態)から $t=N-1$ (第 $(N-1)$ 期間末)まで適用し、それぞれ第1, 第2, ..., 第 N 期間の放流量を決定する。上記の操作ルールは次式で表わされる。

$$D_{t,T} = TR_c - (S_t + \sum_{i=1}^T Q_{t+i} - S'_{t+T}) \quad (6)$$

目標放流: $D_{t,T} \leq 0$ のとき

$$R_{t+1} = R_c \quad (7)$$

節水放流: $D_{t,T} > 0$ のとき

$$R_{t+1} = R_c - D_{t,T}/T = (S_t - S'_{t+T} + \sum_{i=1}^T Q_{t+i})/T \quad (8)$$

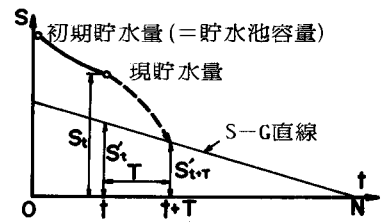


図-2 節水放流方式

ここに、 $D_{t,T}$ は第 $(t+1) \sim$ 第 $(t+T)$ 期間の総節水量、 $\sum_{i=1}^T Q_{t+i}$ は予測総流入量で(3)式で与えられる。 S_t は第 t 期間末の貯水量、 S'_{t+T} は第 $(t+T)$ 期間末に確保することを見込む貯水量、 R_{t+1} は第 $(t+1)$ 期間の放流量である。

上記の操作ルールにおいて R_{t+1} を定めるには、貯水量 S'_{t+T} および期間 T の長さを与える必要がある。まず S'_{t+T} に関しては、第 $(t+T)$ 期間が操作初期であるほど S'_{t+T} は大きく、後期になるほど S'_{t+T} は小さくするのが妥当であり、最終時刻(第 N 期間末)には貯水量を残す必要がないから(前述、2. 1), $S'_N=0$ とする。したがって S'_t ($t=1, 2, \dots, N$)は時間とともに単調に減少する関数を設定すればよい。本研究では図-2のように直線的に減少する S'_t を用いた。この直線を規準貯水量変化直線(storage guide line)と名付け、以後S-G直線と記す。この直線は $S'_t=0$ ($t=N$)であるから勾配だけで規定される。その勾配を表わす量として、 $S'_t/(N-t)$ の代りに次の無次元量 C を用いる。

$$C = S'_t / \sum_{t=t+1}^N R_c = S'_t / \{(N-t)R_c\} \quad (9)$$

すなわち、 C は以後の目標放流量に対するその時点の貯水量の平均的な供給率とみることができる。一方、期間 T は流入量の予測精度に関係する量であり、貯水池操作上はその予測精度に応じて長短の期間を適切に選ばなければならない。上述の操作ルールを節水放流方式とよぶ。

節水放流方式との比較のために次の2つの操作方式を用いる。1つは、操作期間中、貯水量がある限り将来への貯留を考慮せずに目標放流量を放流し続け、貯水量が空になれば流入量だけを放流する方式でこれを無節水放流方式(従来、筆者らは完全放流方式と呼んでいた)とよぶ。他の1つは、貯水池操作全期間の流入量を完全に予測し得た場合の最良の放流方式、すなわち節水率を全期間にわたり一定にするという理想的な放流方式でこれを一定節水率放流方式とよぶ。前者および後者の放流方式は厳しい渇水に対してはそれぞれ、不適切な貯水池操作および適切な貯水池操作の限界に相当するものであるから、これらとの比較により節水放流方式の妥当性を検討する。

5. 流入量の変動パターンに対する C , T の最適値

5.1 C, T の値による貯水量と放流量の変化特性

4に提示した節水放流方式は2つのパラメータ C, T によって規定される。この C, T の値は貯水量と放流量変化に次のように影響を及ぼす^{5), 6)}

期間 T を短く選ぶほど貯水量は $S-G$ 直線に沿って変化する。したがって、貯水量が早い時期に空になるという事態は起こらないが、放流量は流入量変動に追従するので変動が大きくなる。期間 T が長い場合には貯水量は $S-G$ 直線とあまり関係なく変化し、初期には目標放流量に近い水量を放流する。このため貯水量は早い時期に低減し、厳しい渇水状況に対しては後期は流入量を見調整のまま放流するという状態が生ずる(図-3参照)。一方、勾配 C に関しては、小さな C の値を選べば操作初期の放流量は大きくなり節水開始時期は遅れる。このため操作期間途中で貯水池は空になる可能性が高い。 C の値が大きい場合には早くから節水を開始するので厳しい渇水に対しては後期の渇水被害は軽減できるが、流入量によっては初期の節水が結果的に不要である場合も起こる(図-4参照)。

T および C の影響はこのように互いに関連しているので、節水放流方式を最適にする C, T の値、すなわち(5)式の評価関数を最小にする C, T の値は独立には定まらず、最適な組 (C^*, T^*) として与えられる。

5.2 型紙渇水流況

最適値 (C^*, T^*) と流入量時系列特性の一般的な関係を知るために、模擬発生した流入量時系列の代りに特定の変動パターンをもつ流入量を導入して以下のように検討した。図-5が変動の基本パターンを示す型紙渇水流況で、渇水期間が1回だけ継続して起こり、渇水期間中の流入量は一定で、非渇水期の流入量は目標放流量 R_c に等しいとする。ここに、渇水期間中の流入量は、 $Q_t = R_c - V_d/d$ で与えられる。この流況は最大累加不足水量 V_d 、渇水期間 d 、渇水終了時期 t_d の3つの量で特性づけられるので、これらの値を組合わせて116組の型紙渇水流況を作成した。

5.3 型紙渇水流況に対する最適値 (C_m^*, T_m^*)

型紙渇水流況に対して節水放流方式を適用した結果の1例が図-6であり、この渇水流況($V_d = 72.5, d = 18, t_d = 25$)に対する最適値 (C_m^*, T_m^*) は $(0.28, 6)$ に近い値であることがわかる。ここに、添字 m は型紙渇水流況に対する最適値を示す。このような最適値 (C_m^*, T_m^*) を全ての型紙渇水流況について求めた結果、 C_m^*, T_m^* と V_d, d, t_d との関係が次のように得られた。

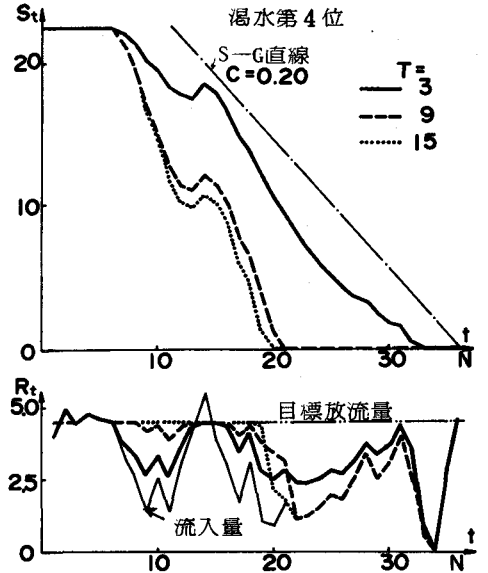


図-3 貯水量・放流量変化と T 値の関係

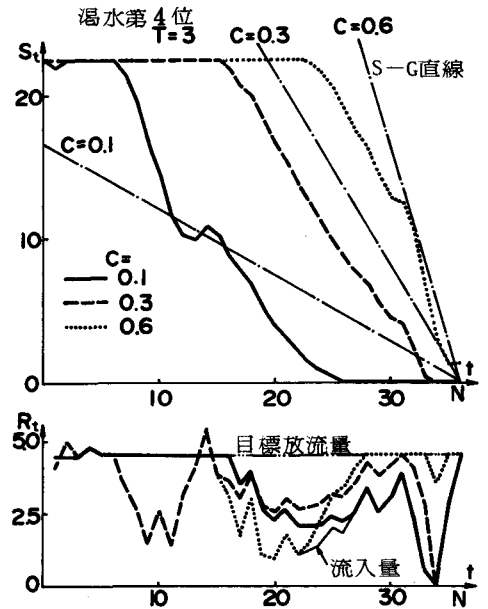


図-4 貯水量・放流量変化と C 値の関係

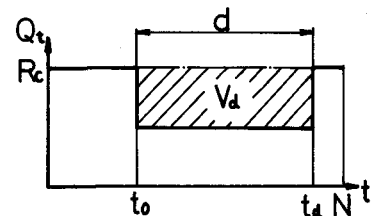


図-5 型紙渇水流況

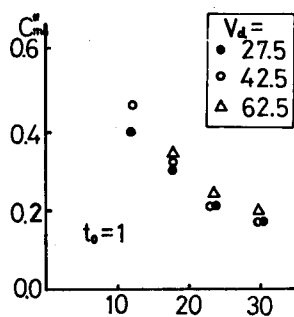


図-7 $C_m^* \sim d, V_d$

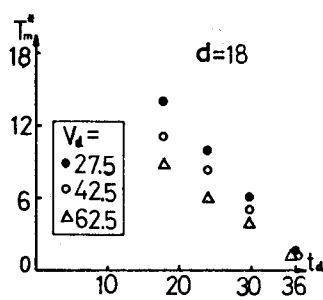


図-8 $T_m^* \sim d, V_d$

C_m^* の値は V_d , t_d にはほとんど影響されず、図-7のように d のみに関係する。貯水量がS-G直線に沿ってほぼ平行に変化する場合には、貯水量が減少し始める時期から空になる時期までの期間で貯水量はほぼ均等に消費されることになる。

その期間が渇水継続期間と等しければ渇水期間中はほぼ一定流量の放流が行なわれ、それが最適操作となる(図-6参照)。したがって、貯水量が減少し続ける期間と渇水継続期間とが等しくなるように C_m^* の値は与えられ、図-7の C_m^* と d の関係はそのような条件を満たしている。

T_m^* の値は d の値にはあまり影響されず、図-8のように V_d , t_d の値に関係する。渇水終了時期 t_d が遅くなるほど T_m^* は短くなっている。渇水期間が後期に偏るほど貯水量を最後までS-G直線に沿って保つ必要があり、このため T_m^* の値は短くなる。また、渇水終了時期が等しくとも、 V_d が大きいほど T_m^* が短い。これは V_d が大きいほど渇水期の流入量が小さいので、短い T によって比較的早い時期から節水をはじめる必要があるからである。

5. 4 流入量時系列に対する最適値(C^*, T^*)について

一般の流入量時系列に対して厳密な最適値(C^*, T^*)を用いる代りに、その流入量時系列に対応する型紙渇水流況の最適値(C_m^*, T_m^*)を用いて貯水池操作を行なうことを考える。まず、1000組の流入量時系列の各々を116種類の型紙渇水流況のいずれかにあてはめる。型紙渇水流況の要素 V_d , d , t_d のうち V_d は各流入量時系列に対して定まっているので残りの d , t_d を最小二乗法を用いて定めた。図-9にその1例を示す。次に、流入量時系列に対する C , T として、対応する型紙渇水流況の最適値(C_m^*, T_m^*)を代用して貯水池操作を行なう。いまこのときの渇水被害((5)式)を P_m^* とする。一方、流入量時系列に対する厳密な最適値(C^*, T^*)を用いて貯水池操作を行なったときの渇水被害を P^* とし、 P_m^* と P^* の差を次の指標で表わす。

$$\beta = \frac{P_m^* - P^*}{P_0 - P^*} \times 100(\%) \quad (10)$$

ここに、 P_0 は流入量時系列に対して無節水放流方式を適用したときの渇水被害である。

図-10は β の値を渇水順位別にまとめて示したものである。渇水第1位～第50位流況では β の値が

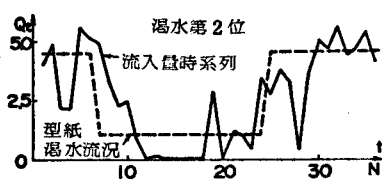


図-9 型紙渇水流況へのあてはめ

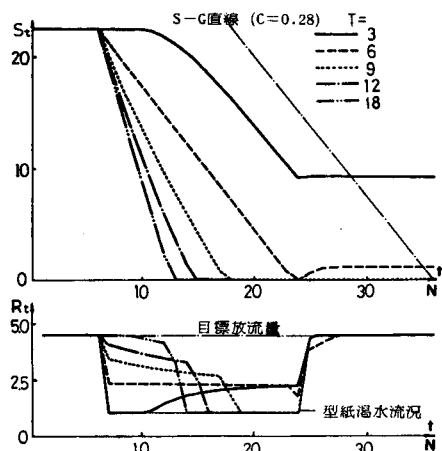


図-6 C, T 値の最適化

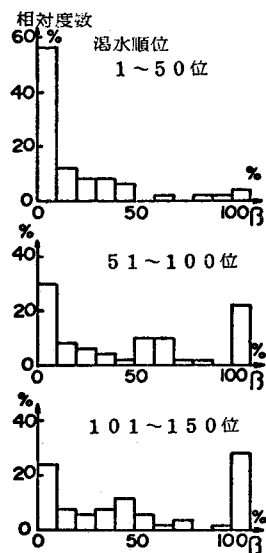


図-10 β 値の度数分布

小さいところに分布しており、型紙渇水流況との適合度が良好であることを示している。渇水強度が弱くなるとともに100%以上(図にはまとめて示してある)の差が生ずる割合が大きくなり、適合度が悪くなる。しかし、渇水強度が弱い流況の場合には渇水被害が一般に小さいから、 P^* と P_m^* の差は絶対量としてはそれほど大きな値ではない。以上の結果から、渇水強度がかなり強い流況の場合には、それに適合する型紙渇水流況の最適値(C_m^*, T_m^*)を用いて貯水池操作を行なうことが可能である見通しがついた。

6. 実時間操作

現実の貯水池操作では一般に将来流量の予測が困難であるため、型紙渇水流況を用いるにしても操作開始前では最大累加不足水量 V_d はもとより、渇水の期間 d および時期 t_d も予想がつかない。ゆえに節水放流方式を適用する際に必要な C, T の値が定まらない。そこで操作開始後の各時刻で観測流量から V_d, d, t_d を求め、これらの値から(C_m^*, T_m^*)を定めて節水放流方式を適用していく方法が考えられる。ただし本研究では各時刻ごとに V_d, d, t_d を同時に求めるのではなく、 V_d と d の値は一応固定しておいて t_d (すなわち渇水の時期)を各時刻で推定する。観測流量から判断して V_d, d を期間中で更新することもしなければならない。その場合、 V_d は渇水の確率年に対応しているの、確率年という渇水強度指標のランクを変更することになる。

6. 1 実時間操作方式

年内の一定期間(36の単位期間からなる)の実時間操作方式を考える。操作手順は次の通りである。

(1) 操作対象とする渇水流況の確率年を定める。貯水池容量は V_d によって非超過確率20%(5年確率)の流況に対応させているので、渇水流況の確率年としては10, 50, 100年(>5年)などとする。

(2) 流量資料(本研究では模擬作成した1000組の流量時系列)

からその確率年に対応する V_d を求める。同時に渇水継続期間 d 、渇水終了時期 t_d を求める。 d, t_d は便宜的に次のような値を用いた。すなわち、設定した確率年(例えば50年)に対応する渇水流況から、それより1ランク低い確率年(例えば30年)に対応する渇水流況までの全ての流況の d と t_d とをそれぞれ平均した値 $\bar{d}, \bar{t}_d$ を用いる。得られた $V_d, \bar{d}, \bar{t}_d$ の値は表-1のようである。

表-1 確率年と $V_d, \bar{d}, \bar{t}_d$ の関係

確率年	V_d	$\bar{d}$	$\bar{t}_d$
100	47.21	28	32
50	42.85	24	28
30	38.14	20	30
20	35.30	19	28
10	28.71	21	27
5	22.51	—	—

(3) 操作開始時(第1期間)のみ次のように操作する。(2)で求めた V_d, d, t_d に対応する(C_m^*, T_m^*)を用いて放流量を決める。 C_m^* は $d=\bar{d}$ の値を用いて図-7から、 T_m^* は $V_d, t_d=\bar{t}_d$ の値を用いて図-8から定める。

(4) 時間が経過して流入量観測値が蓄積すれば、その時系列特性に基づいて t_d の値を更新する。すなわち V_d, d は確率年から定められた値 $V_d, \bar{d}$ とし、 t_d (あるいは渇水開始時期 $t_0 = t_d - d + 1$)を変化させて最小二乗法により型紙渇水流況をあてはめる。このとき図-11のように t_0 が現時点 t 以前の時刻($t_0 \leq t$)であれば、その t_0 と $t_d = t_0 + d - 1$ を採用する。もし現時点では渇水状態が始まっていない($t_0 > t$)と判断されるときには、現時点 t が確率年から定まる開始時期 $\bar{t}_0 (= \bar{t}_d - \bar{d} + 1)$ を過ぎておれば $t_0 = t + 1$ とし、また過ぎていなければ $t_0 = \bar{t}_0$ を採用する。これらの t_0 から $t_d = t_0 + d - 1$ を求めたとき、 $t_d > 36$ であれば $t_d = 36$ とする。このときに限り d を次式で更新する。 $d = 36 - t_0 + 1$

(5) V_d, d, t_d から最適値(C_m^*, T_m^*)を定め、これを用いて第 $(t+1)$ 期間の放流量を決める。

(6) 時刻を1期間進めて $(t+1)$ とし、(4)にもどる。その時点までの観測流量が以前に定めた確率年と相当に異なる渇水強度をもつと判断される場合(例えば、その時点までの流入量観測値から算定できる V_d が以前の確率年に対する V_d より大きくなった場合)には、確率年のランクを変更して(4)にもどる。

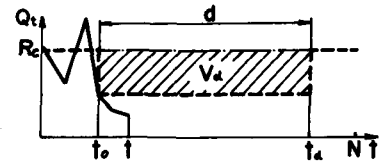


図-11 実時間操作における型紙渇水流況

上述の手順に従って実時間操作を行ない、型紙渇水流況を更新する状況を図-12に示す。第9期間では図-(a)のような型紙渇水流況をあてはめたが、その後流入量の回復期が続いたので第21期間では図-(b)のように更新し、さらに第30期間(図-(c))でも更新している。

6.2 実時間操作の有効性

実時間操作方式の有効性をしらべるために、4に述べた他の3つの操作方式の適用結果と比較する。

(a) 一定節水率放流方式 (b) 無節水放流方式 (c) 節水放流方式(C^* , T^* は操作期間中不変) (d) 実時間操作方式

これらの操作方式を渇水第1位～第150位流況の各々に適用した。ただし、節水放流方式では各流況に対する最適値(C^* , T^*)を用いる。これは将来の流入量が予め与えられるとした最良の節水放流方式である。これに対して、実時間操作方式では将来流入量は未知であり、操作前に流況の確率年のみ適当に設定する。実時間操作方式の確率年を50年(渇水第20位流況)に設定した場合の、渇水第1位流況に対する操作状況を節水放流方式と比較すれば図-13のようである。両者の操作に大差は認められない。渇水第1位～第50位流況に対する渇水被害Pを上記の操作方式について比較したものが図-14である。この図からも、厳しい渇水流況(特に第20位程度以上)に対しては実時間操作は無節水放流方式よりも明らかに優れており、最良の節水放流方式にもそれほど劣らないことがわかる。しかし渇水強度が弱い流況では節水過剰となり、渇水被害がやや大きくなる。また、実時間操作方式の確率年を10年(渇水第100位流況)に設定して操作を行なった場合には過剰節水は減少するが、厳しい渇水流況に対して渇水被害が増大する。このように当初の確率年の設定はやはり操作の適否に相当に影響している。

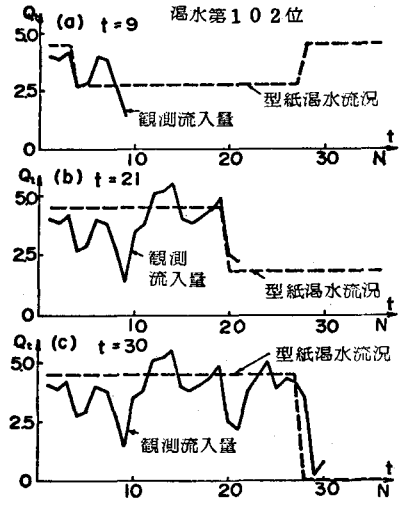


図-12 型紙渇水流況の更新

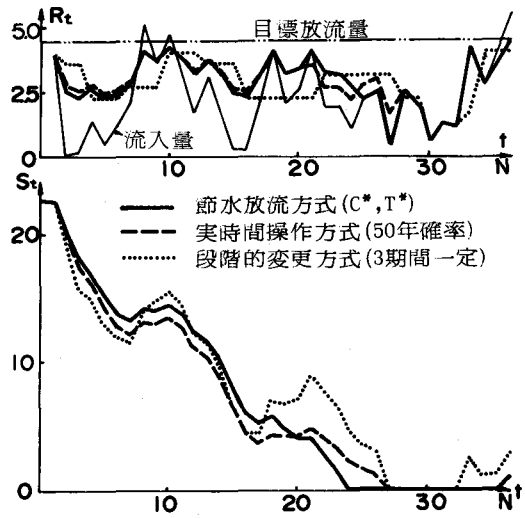


図-13 操作方式による放流量変化の相異

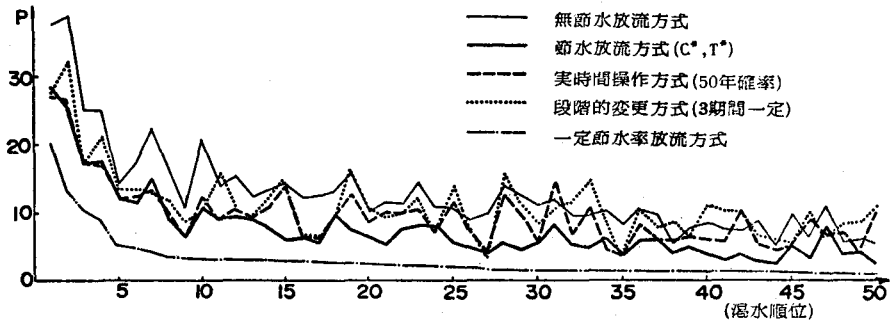


図-14 貯水池操作方式による渇水被害の比較

6. 3 実用上の問題点

この操作方式では、流入量変動に対して放流量の時間的変化が比較的敏感である。ここでは時間単位は半旬～旬程度を想定しているので、単位期間ごとに放流量がめまぐるしく変わるのは現実の貯水池操作では好ましくないだろう。この点に関して、例えば次のような方式に改変することが考えられる。貯水池が満杯もしくは空になった場合を除いて、数期間は放流量を変更せず一定流量を放流する。また放流量を変更する場合は、目標放流量の10%節水、その後20%というように節水率を段階的に変更する。1例として、放流量は3期間一定、節水率は10%ごとの段階的変更とした場合の結果を図-13、14に併記してある。

本研究で未検討の重要な問題点は、操作開始時の確率年の設定と操作期間中の確率年の変更方法である。これらの確率年の取扱いによって本操作方式がどのように改良されるのか、あるいは本操作方式の限界などについては今後の課題としたい。

7. 結 論

渇水期間を対象とした貯水池の実時間操作について考察した。本研究で得られた結果を要約すれば次の通りである。

(1) 規準貯水量変化直線の勾配 C と流入量予測期間 T とで規定される節水放流方式を提案し、 C 、 T の値による貯水量および放流量の変化特性を示した。

(2) 流入量の変動パターンに対応する C 、 T の最適値を得るために型紙渇水流況を導入し、それを特性づける最大累加不足水量 V_d 、渇水継続期間 d 、渇水終了時期 t_d と最適値(C_m^* , T_m^*)の関係を明らかにした。

(3) 比較的厳しい渇水流況に対しては、厳密な最適値(C^* , T^*)の代りに型紙渇水流況の最適値(C_m^* , T_m^*)を用いて貯水池操作を行なっても渇水被害には大差がない。

(4) 実時間操作方式は厳しい渇水流況に対して有効に機能し、渇水被害を最適節水放流方式(将来流入量を既知とする)による値とほぼ同程度に抑えることができる。

本研究では、個々の問題の取扱いにおいてかなり大胆な仮定や近似を用いた。操作方式の骨格をなす節水放流方式の改良、流入量時系列の統計的特性および型紙渇水流況との適合性、実時間操作方式における操作パラメータの設定および変更などについて今後さらに検討を行ないたい。

参考文献

- 1) 例えば、Floods and Drought, Proc. of 2nd Int. Symp. in Hydrology, Fort Collins, 1972.
- 2) Reliability in Water Resources Management, edited by McBeans, E.A., K.W. Hipel and T.E. Unny, Water Resources Publications, 1979.
- 3) 室田 明・神田 徹： 利水用単一貯水池の最適操作計画に関する方法論，土木学会論文報告集，第246号，1976.
- 4) 今村瑞穂・中沢式仁・中村 昭： 渇水被害の分析と水管理への適用に関する研究，第24回水理講演会論文集，1980.
- 5) 神田 徹・畑 恵介，他： 渇水時の貯水池操作方式の特性，土木学会関西支部年次学術講演会講演概要，1978.
- 6) 神田 徹・畑 恵介，他： 渇水期間における流入量特性と貯水池操作方式，土木学会年次学術講演会講演概要集，1978.