

利水ダムの施設規模最適化手法について

(株)建設技術研究所 正会員 下田 明
北海道開発局 正会員 許士 達広
北海道開発局 非会員 大田見 定

1. はじめに

近年ダムの新規の建設が困難さを増す中で、毎年のように大きな渇水が生じており、現在のところダムに代わるような大きなポテンシャルを有する対策が無いのが実情である。

こうした中で水資源の効率的運用は実行すべき大きな課題であり、ダムによる利水運用及び計画の最適化は直接的効果を持つ。ダム利水運用については過去に数多くの研究がなされてきたが、「確保容量の節水率を各時点で等しくとった確保容量自体が最適運用を誘導する性質を持つ」という理論解が見い出された。

通常のダム利水計画では観測状況を考慮して10年第1位相当(20年2位、30年3位程度)の施設規模が採用されているが、この範囲の中で、異常渇水時の状況は2~3例しか得られず、長期にわたる渇水被害の検討には流量データが不足すると考えられる。

本論文では、実水文学と類似の確率統計的特性をもつ流量時系列を模擬発生させて、確率確保容量による運用を行い、ダム規模の最適化について考察した。

2. 確率確保容量による最適運用

確率確保容量は次式で表わされ、図-1のように描かれる。

$$V_t^j = V_{t+1}^j + (1 - \alpha) O_t^j - I_t^j \dots\dots\dots 1)$$

$V_t^j < 0$ の時 $V_t^j = 0$ として時点をさかのぼって累加

$$V_t^k = k - \text{th largest } V_k^j \dots\dots\dots 2)$$

V_t^j : j 年目の流況で時点 t に対する確保容量(流量単位)

I_t^j : 時点 $t \sim t+1$ における流入量

O_t^j : 時点 $t \sim t+1$ における放流量

N : 既往資料年数 k : 確率順位 α : 節水率(一定)

V_t^k : N 年中 k 位の渇水確率で、 $\alpha \times 100\%$ の節水を行った時にダムが渇水しないための確保容量

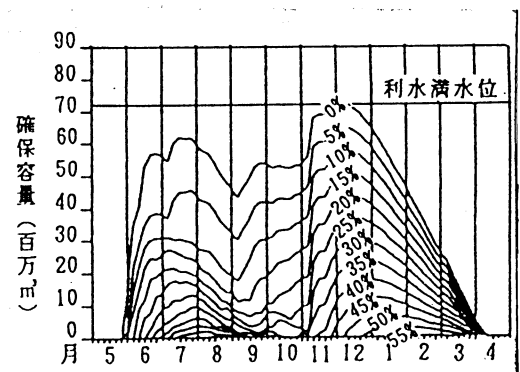


図-1 確率確保容量

図-1の曲線の数字が節水率を表わし、将来流量が分かっている時は、その将来流量で描かれた確保容量の曲線群が、最適運用を誘導する。実際には将来流量が分からないため、別途渇水被害の評価関数を定め、既往の流量データから各確率規模の確保容量曲線を描いて、それぞれの曲線に対して既往流量データの年数分の運用を行い、その被害合計が最小となる確率確保容量曲線を選定する。

3. 流量時系列の模擬発生

3.1 AR(1)モデルによる年流量時系列の模擬発生

水文学時系列のデータジェネレーションとして従来、最も多く用いられているものは自己回帰モデルであり、特に1次の自己回帰モデルは降雨量や流量時系列のシミュレーションに適用され、実用的価値が確かめられている。

ここでは、期間合計量の特徴性を42ヵ年の原資料に合致させるため、

(1) 年流量時系列の長期持続性を保存した時系列 X を自己回帰・移動平均 (ARMA) モデルにより模擬発生

キーワード: ダム最適利水運用、確率確保容量、データジェネレーション、渇水被害関数

(株)建設技術研究所 北海道支社 技術部 (〒060-0042 札幌市中央区大通西9丁目3協栄生命ビル・TEL 011-281-3747・FAX 011-261-4108)

させる。

(2)Disaggregation(分解)モデルを用いて従属系列 Y (半旬流量)を模擬発生させる。

という2段階の手順を踏み、確率分布形として3母数正規分布を用いた。

なお、下限定数 a はクオントイル法、平均値 μ と分散 σ は最尤法を用いて推定した。この結果、年流量時系列の対数標本値の1次自己相関係数 $\rho_{t-1,t}$ は0.106 となり、標準正規分布 $(N(0, 1))$ に従う年流量時系列は次式により模擬発生される。

$$Y_t = \rho_{t-1,t} \cdot Y_{t-1} + \sqrt{1 - \rho_{t-1,t}^2} \varepsilon_t \quad \dots\dots\dots 3)$$

$$y_t = \sigma_t \cdot Y_t + \mu_t \quad \dots\dots\dots 4)$$

$$X_t = \exp(y_t) + a_t \quad \dots\dots\dots 5)$$

ここに、 Y_t : y_t を標準正規分布 $(N(0, 1))$ に変換したもの、 y_t : 水文量 x_t を正規分布に変換したもの、 $\rho_{t-1,t}$: y_{t-1} の自己相関係数、 μ_t , σ_t : y_t の平均値、標準偏差、 ε_t : $N(0, 1)$ に従う正規乱数、 a_t : 定数。

3. 2 Disaggregation モデルによる半旬流量時系列の模擬発生

Disaggregation モデルは次式で示される。

$$A = S_{YX} S_{XX}^{-1} \quad \dots\dots\dots 6)$$

$$Y = AX + B\varepsilon \quad \dots\dots\dots 7)$$

$$BB^T = S_{YY} - S_{YX} S_{XX}^{-1} S_{XY} \quad \dots\dots\dots 8)$$

ここに X , Y : それぞれ、平均0をもつように変換された基幹系列からなるベクトル、 ε : 標準正規乱数からなるベクトル、 A , B : 係数行列、 S_{XY} : 添字 X , Y に関する共分散行列。

式6)~8)で、 Y と X (1地点の年流量時系列であるので X はスカラー量となる)を共に標準正規変量として扱うと、式4)と5)の変換式を直接適用できるので解析が容易となる。

まず、半旬・年流量標本値を正規変換した $\log(Z_t - a_t)$ 時系列の標本相関係数 r_{yy} を計算する。

この結果をもとに式8)の行列 $B B^T$ の要素について B を下三角行列とする平方根法を用いて計算する。

以上のようにして求めた式7)の Y の行列表示を係数行列 A , B の要素を用いて表現し、 $AR(1)$ モデルで模擬発生させた年流量標準正規変量系列 X_t と標準正規乱数を発生させて作った (72×1) 列ベクトルを逐次7)式に代入していき、半旬流量の標準正規変量系列を任意の長さ発生させる。

4. 模擬発生流量による最適利水運用

ダム規模は実績流量を用いた場合の $5/42 (\approx 1/10)$ 規模 (71.9 百万 m^3) とした。

流量の模擬発生期間は50年間、70年間、100年間、150年間、200年間の5種類とした。なお、200年間は大河川での高水解析の確率を参考に設定した。また、50年間から150年間については200年間のうちの一連期間を数ケース抜き出した。

その結果、代表的渇水指標である(不足%)²dayと(不足%)³dayの値及び200年計算値に対する比率は図-2に示すとおりとなり、実流量年数(42年間)に対し、3倍程度の期間長(150年間)をとれば少ない誤差で渇水被害関数を推定できることがわかった。

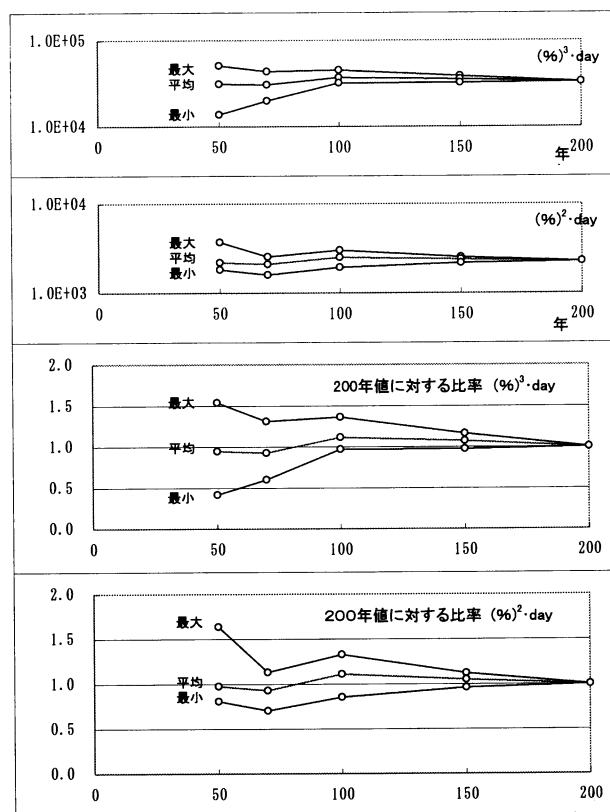


図-2 流量年数と渇水被害関数との関係