

IV-4 渇水対策ダムの整備が利水システムの渇水に対する信頼性に与える影響に関するモデル分析

鳥取大学工学部 学生員 ○中川 浩作

鳥取大学工学部 正会員 多々納裕一

鳥取大学工学部 正会員 岡田 憲夫

1. 研究の目的と概要 ダム貯水池の利水容量は10ヵ年第1位相当の渇水に対処できるように設計されている。ところが、10ヵ年第1位相当の渇水の程度を超えるようないわゆる「異常渇水」が発生した場合、渇水による被害は甚大なものとなる。そこで、このような異常渇水による被害をなるべく食い止めるために、利水容量の下に渇水対策容量を確保し、通常の利水運用では使用せずに備蓄を図り、異常渇水時のみに使用するという渇水対策ダムについての調査・研究が進められている¹⁾。本研究では、図-1のような渇水対策ダムの整備が当該利水システムの渇水に対する信頼性の向上にいかなる効果をあげられるかについて検討する。具体的には、渇水対策ダムをもつ利水システムの信頼性評価モデルを構築し、渇水対策ダムが整備された結果、異常渇水による被害がどの程度改善されるかについてモデル分析を行う。

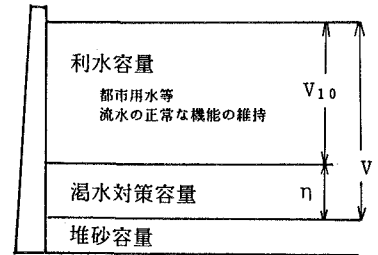


図-1 渇水対策ダムの容量配分の一例

2. 信頼性評価モデルの定式化 本研究では、図-2に示すような流域モデルを想定し、貯水池操作に異常渇水時の補給ルールを考慮した信頼性評価モデルを構築した。また、渇水対策ダムの貯水量が一定量 η （渇水対策容量）以下になったとき、貯水量 S_n と放流量 O_n の比が渇水対策容量 η と必要放流量 $A(R_n)$ の比に一致するように放流量 O_n を定めるという補給ルール（図-3参照）を想定した。ここでは、渇水対策ダムを有する利水システムの信頼性評価モデルについて定式化を行う。本モデルにおける連続式、放流量方程式、貯水量方程式はそれぞれ式(1)、(2)、(3)のように表される。

$$S_{n-1} + I_{n-1} = O_n + S_n \quad (1)$$

$$O_n = \chi \left(0 \leq S_{n-1} + I_{n-1} \leq A(R_n) + \eta \right) \cdot \frac{A(R_n)}{A(R_n) + \eta} (S_{n-1} + I_{n-1}) + \chi \left(A(R_n) + \eta < S_{n-1} + I_{n-1} \leq A(R_n) + V \right) \cdot A(R_n) + \chi \left(A(R_n) + V < S_{n-1} + I_{n-1} \right) \cdot (S_{n-1} + I_{n-1} - V) \quad (2)$$

$$S_n = \chi \left(0 \leq S_{n-1} + I_{n-1} \leq A(R_n) + \eta \right) \cdot \frac{\eta}{A(R_n) + \eta} (S_{n-1} + I_{n-1}) + \chi \left(A(R_n) + \eta < S_{n-1} + I_{n-1} \leq A(R_n) + V \right) \cdot (S_{n-1} + I_{n-1} - A(R_n)) + \chi \left(A(R_n) + V < S_{n-1} + I_{n-1} \right) \cdot V$$

ただし、 $\chi(\kappa)$ は、 κ が真ならば1、そうでなければ0をとる関数である。

ここに、 I_{n-1} :期間 $[n-1, n)$ の流入量、 S_n :時点 $[n]$ の貯水量、 O_n :期間 $[n-1, n)$ の放流量、 R_n :期間 $[n-1, n)$ の残流域流出量、 Q_n :期間 $[n-1, n)$ の地点cにおける流量、 V :渇水対策ダムの貯水容量(=利水容量 V_{10} +渇水対策容量 η)、 d_b :地点bでの必要流量、 d_c :地点cでの必要流量、 $A(R_n)$:必要放流量($A(R_n) = \max(d_b, d_c - R_n)$)で、単位はすべて単位時間当りの流量である。

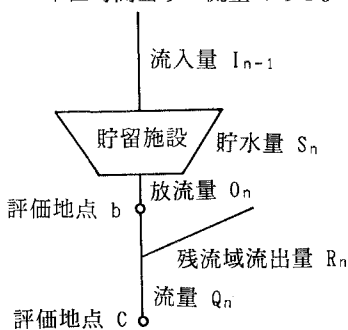


図-2 想定した流域モデル

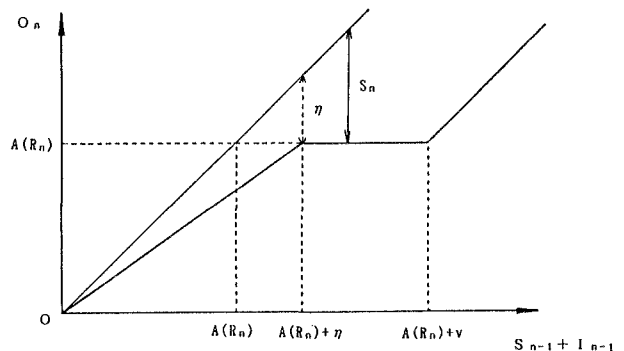


図-3 想定した補給ルール

3. 信頼性評価指標の定式化 利水システムの渇水に対する信頼性を評価するにあたっては、深刻さ・頻度・期間といった三つの側面からの評価の必要性が指摘され、これらに対応した評価指標が提案されている²⁾。ところで、渇水対策ダムを整備する目的は、渇水頻度を10年に1度程度に抑えたいと、異常渇水による被害を軽減させ、当該利水システムの信頼性の向上を図るところにある。したがって本研究では、これらの中、深刻さおよび頻度の二つの側面に着目して、(1)期待渇水損失 $EL(\beta, V, \eta)$ および(2)渇水頻度 $FR(V, \eta)$ を用いて利水システムの渇水に対する信頼性を解析することとした。

ここで、流入量および残流域流出量はともに時間的に独立で、かつ、どの時点においても同一の確率分布に従うものと仮定し、流入量および残流域流出量の確率分布はそれぞれ $\Theta(i|r) \equiv \Pr(I_{n-1} < i | R_n = r)$ および $\Phi(r) \equiv \Pr(R_n < r)$ と定義する。また、 $\Pi(s)$ は $\Pi(s) \equiv \lim_{n \rightarrow \infty} \Pr(S_n < s)$ によって定義される貯水量状態の定常分布である。

(1) 期待渇水損失 $EL(\beta, V, \eta)$: 渇水発生時の深刻さ（被害程度）を計量化する指標として、単位期間内の渇水による損失 $\{x/A(R_n)\}$ の期待値で表し、式(4)のように定義する。ただし、 x は単位期間内において不足している水量を表し、 $x = A(R_n) - 0_n$ である。このとき、 EL は次式で表される。

$$EL(\beta, V, \eta) \equiv \lim_{n \rightarrow \infty} \int_0^\infty \int_0^{A(r)} \{x/A(r)\} \cdot \Pr(0_n = A(r) - x, R_n = r) dx dr = \int_0^\infty (1 - s/\eta)^\beta d\Pi(s) \quad (4)$$

(2) 渇水頻度 $FR(V, \eta)$: 渇水頻度 FR の定式化を行うにあたり、「渇水状態 F 」および「正常状態 S 」を次のように定義しておく。つまり、図-2の利水システムについて、放流量が必要放流量を上回るとき当該システムは正常状態 S にあり、放流量が必要放流量を下回るとき当該システムは渇水状態 F にあるとする。このような想定のもとで、渇水の発生する頻度を表す評価指標として式(5)のように定義する。

$$FR(V, \eta) \equiv \lim_{n \rightarrow \infty} \Pr(0_n \in S, 0_{n-1} \in F) = \Pi(\eta) - \int_0^\eta \int_0^\infty \Theta(A(r) + \eta - z | r) d\Phi(r) d\Pi(z) \quad (5)$$

4. モデル分析 ここでは、小瀬川流域（広島県・山口県）の夏期(6/1～9/30)の流況を対象としてモデル分析を行った結果について概説する。具体的には、貯水容量 V および渇水対策容量 η をパラメータとして数値計算を行い、期待渇水損失 EL および渇水頻度 FR を算定した。この結果を図-4に示す。ここで、貯水容量 V の特定の値に対して10年に1度(730期に1度)未満の渇水頻度 FR を与える渇水対策容量 η のうち、期待渇水損失 EL を最小とする最適な渇水対策容量 η^* を求めてプロットした。この図より次のようなことがわかる。①この数値計算事例では、渇水対策容量をもたない通常ダムの整備を想定すると、渇水頻度 FR が10年に1度となる利水容量は $V_{10} = 9(\text{m}^3/\text{s})$ 程度である。②渇水頻度が10年に1度未満となる領域では、各貯水容量に対して、利水容量を $V_{10} = 9(\text{m}^3/\text{s})$ とした場合の渇水対策容量 η が最適渇水対策容量 η^* より大きくなっている。したがって、この事例では最適渇水対策容量 η^* を超える容量を渇水対策容量として確保するよりも、通常の利水容量を10年に1位程度の渇水よりもさらに厳しい渇水に対応

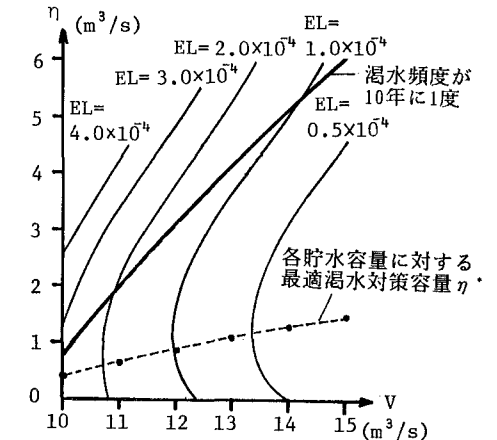


図-4 渇水対策ダムの規模に関するパラメータ (V, η) と期待渇水損失 EL の関係

できるような、その分大きめに設計しておくことが効果的であるという結果を示している。③利水容量 $V_{10} = 9(\text{m}^3/\text{s})$ とすれば、渇水頻度 FR を10年に1度とした場合、渇水対策容量 η の増加に伴って期待渇水損失 EL は通減する。本研究を行うにあたり、(株)ダイセル工業の平山真治氏の協力を得たので感謝の意を表す。

[参考文献]

- 1) 室 馨：水資源システムにおける確率論的モデルと手法の評価に関する研究，京大防災研究所，1989
- 2) 多々納裕一，岡田憲夫，河合 一：残流域流出量を考慮した利水用貯留システムの信頼性評価モデル，第12回土木計画学研究発表会講演集，1989