II—12

確率マトリクスを用いたダム群の利水安全度に関する研究

岐阜大学工学部　正会員　　小尻利治
岐阜大学工学部　学生員　○竹中一成

１．はじめに　　利水システムの策定に際しては、その時・空間的な相関構造が問題となる。特に、ダム貯水池においては、貯留効果によって時間的な相関性を生じており、貯水池容量、操作方法による安全度解析を行わなければならない。そこで本研究では、飯島(1985)、武村(1987)の提案しているダム貯水池群における安全度評価手法をもとに、マトリクス演算法と流量の条件付確率分布を結合し、利水時における直列ダム貯水池、及び、地下水を利用した利水システムの安全度を評価しようとするものである。さらに、既存の利水システムにおける安全度評価を基本情報として、システムの安全度をより高めるべく、操作ルールの改善、貯水池の配置・規模・建設費用問題を展開しようとするものである。

２．貯水池の安全度評価　　ダム貯水池に流入する流量は不確定要素を持つ確率変量であるが、時間的・空間的には、ある種の従属関係を有している。そこで、貯水池流入量の時間的従属性を単純マルコフ過程と仮定すれば、流入量の遷移確率ベクトルとダム貯水池操作より、貯水量遷移確率マトリクスが得られる。この貯水量遷移確率・放流量遷移確率からシステムの信頼度・回復度・深刻度を求めることができる。ただし、信頼度、回復度、深刻度は次式で定義する。

（１）信頼度：$REL(t)=\sum_{i\geq Q^*} p_i(t)$　　　　Q^*：基準水量レベル　　(1)

ここに、$p_i(t)$は、水量レベルがｉである時の生起確率行ベクトルの要素である。

（２）回復度：$RES(t)=\sum_{i<Q^*,\, j\geq Q^*} p_{ij}(t) \Big/ \sum_{i>Q^*,\, \mathrm{all}\ j} p_{ij}(t)$　　(2)

ここに、$p_{ij}(t)$は、同時生起確率マトリクスの要素である。

（３）深刻度：$VUL(t)=\sum_{i<Q^*} \{(Q^*-i)/Q^*\}^r\cdot p_i(t)$　　(3)

３．貯水池群の安全度評価　　貯水池群のパターンとして、（Ｉ）単一ダム、（II）直列ダム、（III）並列ダム、（IV）ダムと地下ダムの有機的運用があるが、ここでは、直列型と地下涵養型について議論を進めよう。

（１）直列型：まず、図－１のような残流域を有する直列型ダムについて安全度評価の定式化を行なう。残流域流量ｑとダムＡ流入量Ｉとの間の空間的な相関を考慮することにより、次式のようなダムＢの貯水量遷移確率マトリクスの要素が得られる。

$$j<S_{BMAX}:\ P^{SB}_{ij}(t)=\sum_{r,\,j-i+m-k}^{Qmax} p^{SA}_r(t)\cdot p^q_{j-i+m-k}(t) \quad (4)$$

$$j\geqq S_{BMAX}:\ P^{SB}_{ij}(t)=\sum_{k=SBmax-i+m}^{Qmax}\{\sum_{r,\,i-k} p^{SA}_r(t)\cdot p^q_{i-k}(t)\} \quad (5)$$

$p^{SA}(t)$：ｔ期ダムＡ貯水量生起確率行ベクトル、$p^q(t)$：ｔ期残流域流量生起確率行ベクトル

また、次式のようにダムＢ放流量同時生起確率マトリクスの要素も得られる。

$\overline{P}^{OB}_{ij}(t)=\sum_{k,m} p^{SB}_k(t)\cdot P^{SB}_{km}(t)$　　$p^{SB}(t)$：ｔ期ダムＢ貯水量生起確率行ベクトル

$p^{SB}(t)$：ｔ期ダムＢ貯水量生起確率行ベクトル、$P^{SB}(t)$：ｔ期ダムＢ貯水量遷移確率マトリクス

（２）並列型：図－２の並列型ダムに関しては、ダムＡとダムＢとの間に空間的な相関を考慮して$P^{IAB}_{ij}(t)=Pr[IB(t)=j\mid IA(t)=i]$なる流入量の条件付きマトリクスを定義することによっ

て、貯水量遷移確率マトリクスの算定とシステムの安全度評価は可能である。

（３）地下水涵養型：図－３のような地下ダムを有するダム貯水池群に関しては、涵養ルールが必要であり地表ダム放流量をＱ（ｔ）、需要流量をＱｄとして、Ｑ（ｔ）＞Ｑｄなら地下ダムへ流入し、Ｑ（ｔ）≦Ｑｄならば、Ｑｄを放流するが地下ダムへは流入しないものと仮定する。その結果、合成放流量生起確率行ベクトルの要素は次のようになる。

（Ａ）$l \geqq Qd$のとき

（ａ）$j < S_{MAX}$ ：$p^Q{}_i(t) = p^l{}_{j-i+m+g}(t)$　（ｂ）$j \geqq S_{MAX}$ ：$p^Q{}_i(t) = \sum_{K=S_{max}-i+m+g}^{imax} p^l{}_K(t)$ (6)

（Ｂ）$l < Qd$のとき　$p^Q{}_i(t) = \sum_{r,s} p^S{}_r(t) \cdot p^{SG}{}_n(t)$ (7)

ここで、ｉ、ｊは各々ｔ期、ｔ＋１期の地表ダム流入量、また、ｍ、ɡはｔ期の地表ダムからの水利用者側と地下ダム側への放流量の水量レベル、ｌは地表ダムから水利用者側への放流量の水量レベルであり、ある要素で$d_{ig}(t) = 1$、$d_{im}(t) = 1$、$d^S{}_{rk}(t) = 1$、$d^{SG}{}_{ni-k}(t) = 1$　(k=0,1,…,i)が成立する。また、合成放流量同時生起確率マトリクスの要素は、次式のようになる。

$$\overline{P}^Q{}_{xy}(t) = \sum p^S{}_r(t) \cdot P^S{}_{ra}(t) \cdot p^{SG}{}_s(t) \cdot p^l{}_{Smax-i+m}(t) + \sum p^S{}_r(t) \cdot P^S{}_{ra}(t) \cdot p^{SG}{}_s(t) + \sum p^S{}_r(t) \cdot P^S{}_{rSmax}(t) \cdot p^{SG}{}_s(t) \cdot p^l{}_{Smax-i+m}(t) + \sum p^S{}_r(t) \cdot P^S{}_{rSmax}(t) \cdot p^{SG}{}_s(t) \quad (8)$$

なお、上式において右辺の第１項はr、s、a、b、第２項はr、s、a、第３項はr、s、b、第４項はr、sについての和で、r、s、a、b、v、wは、それぞれ、ある要素で$d^S{}_{rk}(t)=1$、$d^{SG}{}_{si-k}(t)=1$、$d^S{}_{vm}(t)=1$、$d^{SG}{}_{wj-m}(t)=1$、$d^S{}_{am}(t)=1$、$d^{SG}{}_{bj-m}(t)=1$、a<Smax、b=∞　(k=0,1,…,i)、(m=0,1,…,j)を満たす。

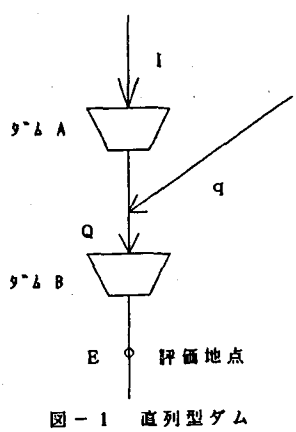
４．適用と考察

適用対象流域として揖斐川上流の横山ダムを用いよう。季節によって流入量が大きく変化するので、１年を冬期と夏期に分け、さらに、その間の変動期とを考慮し、４期に分けて解析を進める。ダム貯水池としては、仮想の直列ダム、地下ダムなどの涵養型を取り上げ、それらの安全度を算定する。なお、結果は講演時に述べる。

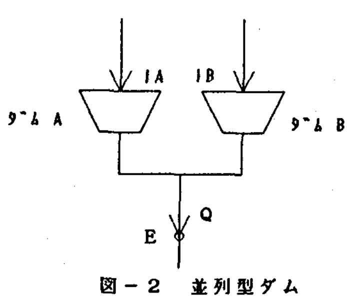
５．おわりに

本研究では、地下水を含む貯水池群の安全度評価手法を明らかにした。ここに、流入量の遷移確率構造の変動を加味することによって、近年の長期気象変動に対応しうる、耐渇水性のあるシステムの評価・設計が可能となろう。

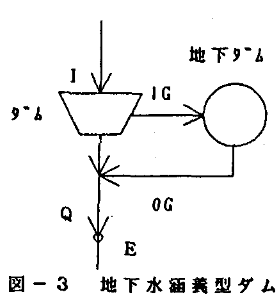
参考文献　１）飯島　健：「利水システムの安全度評価に関する研究」　1985　京都大学修士論文
２）武村　彰文：「確率マトリックス演算による利水システムの安全度評価に関する研究」　1987　京都大学修士論文



図－１　直列型ダム



図－２　並列型ダム



図－３　地下水涵養型ダム