

入力のマルコフ性を考慮した利水システムの安全度評価

京都大学防災研究所 正 員 池淵 周一
 京都大学防災研究所 正 員 小尻 利治
 前田建設工業(株) 正 員 〇飯島 健
 京都大学大学院 学生員 武村 彰文

1. はじめに 本研究では渇水が利水システムに与える影響をその継続性や深刻性といった観点から検討するために、入力である流入流量のマルコフ性を考慮し、水量・水質の利水安全度を評価指標とした安全度評価を行なう。

2. 利水システムの安全度評価手法

(1) 安全度評価指標 利水安全度の指標として、次の3指標を取り扱う。すなわち、

a) 信頼度；システムが水量・水質の基準値を満足する確率

$$REL^t = \text{pr}(X_t \in S) \quad (1)$$

b) 回復度；システムがt期において基準値を満足しないとき、t+1期において基準値を満足する状態に回復する条件付確率

$$RES^t = \text{pr}(X_{t+1} \in S | X_t \in F) \quad (2)$$

c) 深刻度；システムに生じた異常事態の深刻性のある深刻性指標で定義し、その期待値で表現したもの

$$VUL^t = \sum_{i \in F} \left(\frac{x^* - x_i}{x^*} \right)^\beta \cdot \text{pr}(X_t = x_i) \quad (3)$$

の3指標である。ここに X_t はt期におけるシステムの出力(水量・水質)であり、Sは安全領域、Fは危険領域を表わす。またiは出力のレベル、 x^* はその基準値を表わす。

(2) システムのモデル化 空間的に複雑な利水システムは、水利用、水処理、分岐、合流といった水量・水質変換施設の組合せにより構成されていると考えられる。そこで各施設の持つ特徴を施設通過前の水量・水質に対する通過後の水量・水質の条件付確率行列(変換行列)として表現する。

3. 時間的従属性を考慮した安全度評価 渇水の時間的継続性を検討するには、流量の時間的従属性を把握する必要がある。また多くの利水システムは上流にダム貯水池を持ち、その貯留効果もまた時間的な継続性を有している。そこで、貯水池に流入する半旬流量の時間的継続性を単純マルコフ過程と仮定し、流入量推移確率行列 P^t を設定する。ダム操作ルールも半旬を時間単位とし、t期の放流量 O^t はt期初期貯水量 S^t より決定されるダム放流行列で与えられる。放流行列が与えられると、t期終期(t+1期初期)貯水量 S^{t+1} は、t期初期貯水量 S^t とt期貯水池流入量 Q^t とに依存し、貯水量の推移は、i行

Shuichi IKEBUCHI, Toshiharu KOJIRI, Takeshi IIJIMA and Akifumi TAKEMURA

j 列 k 段の要素が、

$$T_{ijk} = \text{pr}(S^{t+1}=j | S^t=i, Q^t=k)$$

で示される 3 次元行列 T で表現できる。したがって、 S^t と Q^t の同時確率行列 $S Q^t$ が与えられると、その転置行列 $Q S^t$ の第 m 行と 3 次元行列 T の第 m 段行列との行列積は、

$$\sum_i \text{pr}(Q^t=m, S^t=i) \cdot \text{pr}(S^{t+1}=j | S^t=i, Q^t=m) = \text{pr}(Q^{t+1}=m, S^{t+1}=j) \quad (5)$$

となり、この行ベクトルを第 m 行とする行列 $\overline{Q S^t}$ は、 Q^t と S^t の同時確率行列となる。さらに、 $\overline{Q S^t}$ を転置し P^t をかけることにより、 S^{t+1} と Q^{t+1} の同時確率行列 $S Q^{t+1}$ が得られ、時間軸にそった同時確率行列の逐次更新が可能となる。

また、T (要素 T_{ijk}) を配置変換して T' (要素 T_{kji}) をつくれば、 $S Q^t$ の第 m 行と T' の第 m 段行列との行列積を第 m 行とする S^t と S^{t+1} の同時確率行列を得る。この行列に放流行列による変換をほどこすと、 O^t と O^{t+1} の同時確率行列が得られ、ダム下流の利水システムにおける時間的従属性を考慮した安全度評価が可能となる。

4. 適用例 ある流域の15年間の流量資料より夏期、冬期2種類の半旬流量推移確率行列を算定し、Fig.1 に示すダム操作ルールと、Fig.2 に示す利水システムを例に安全度評価を行なった。流域に最適な利水システム策定のアプローチとして直交配列表に従う実験計画法により、システムの安全度に大きく寄与する施設（因子）の抽出を行なった (Table 1)。

水量・水質ともに各取水施設の取水ルールが、また水質では下流端処理施設が、それぞれシステムの安全度を大きく左右する因子であることがわかる。また Fig.3 に各評価指標の時間的推移を示すが、流入特性の変化により若干の不連続性を示しながらも、一定値に収束する様子

Table 1 抽出された有意性因子

REL _Q	RES _Q	VUL _Q	REL _C	RES _C	VUL _C
X	X	1, 2, 3, 4*	1, 2, 3, 4*	2*, 6, 9	X

X: (誤差分散の推定値) = 0

•: 交互作用によるものと思われる因子

Q は水量 C は水質を表す。

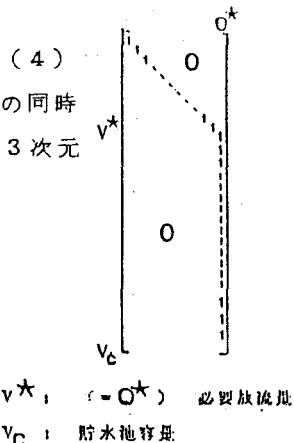


Fig. 1 ダム操作ルール

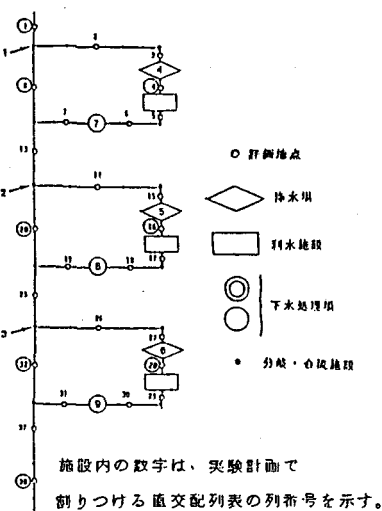


Fig. 2 直列型システム

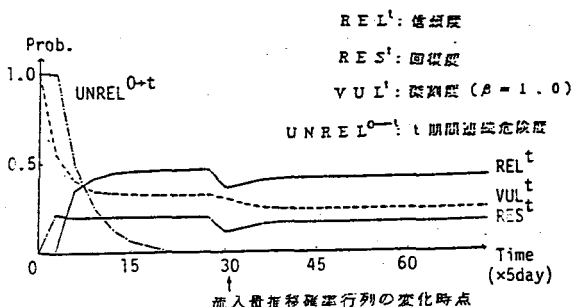


Fig. 3 評価指標の時間的推移