

降雨の時・空間構造を考慮したダム貯水池操作に関する研究

京都大学工学部 正員 高 樟 琢 馬
 京都大学防災研究所 正員 小 尻 利 治
 (株) 大 本 組 正員 ○ 片 山 勉

1. はじめに 本研究は、流域の急激な変貌に対処するため、降雨の時・空間分布構造をもとにした水管理施設、とくにダム貯水池群の最適操作方式を確立し、より合理的かつ普遍的な治水計画の策定手順を明らかにしようとするものである。

2. 治水計画の策定手順 流域内の各防災対象地点を同一の重さとし、被害の発生頻度を治水の基準値とすれば、水系一貫した治水計画の目的は、流域に設定された頻度(非超過確率)を達成するうえで、最も効率的もしくは経済的な施設群の配置・規模問題となり、次式のように定式化される。

$$O_b = \sum_{n=1}^N C_0(n) \longrightarrow \min \quad (1)$$

$$\text{sub. to } \max_{\{m,t\}} \{P_{em}(t)\} \leq P_e \quad (m=1,2,\dots,M; t=1,2,\dots,T_e) \quad (2)$$

ここに、 $C_0(n)$ は計画地点 n における施設の建設費用、 $P_{em}(t)$ は時刻 t における防災地点 m での氾濫確率、 P_e は計画確率、 N, M, T_e は施設の計画および防災地点の総数と治水制御期間の総数である。具体的な策定手順は以下になる。

(i) まず、多数の代替案の中から、最適解に近い幾つかの上位解を抽出するスクリーニング段階である。降雨条件として、時間的には1時間前の降雨の従属性と、空間的には隣接する部分流域間の従属性を考え、 T 時間連続雨量の条件付確率分布を用い、さらに、流量条件として部分流域間の流量の条件付確率分布を算定する。上位解の選抜は、スクリーニング段階での評価という意味で、システムの操作条件が導入しやすい乱数によるランダム探索手法とする。ここでの貯水池の操作目的は、氾濫確率の最小化

$$\max_{\{m,t\}} \{P_{em}(t)\} \longrightarrow \min \quad (m=1,2,\dots,M; t=1,2,\dots,T_e) \quad (3)$$

である。

(ii) つぎに、最適配置・規模を決定するシミュレーション段階である。すなわち、より正確な氾濫確率を求めるため、降雨の条件付確率に従う乱数を用いてハイレートグラフを与えるのである。さらに流出解析法によりハイドログラフを求め、貯水池最適操作を行う。こうしたハイレートグラフを多数発生させ、各上位解における氾濫の確率を算定し、基準値を満たす解群の中で最も経済的なものが最適解となる。ただし、貯水池操作は1つのハイドログラフが対象であるから、式(3)を目的とした従来のDPを用いることができる。

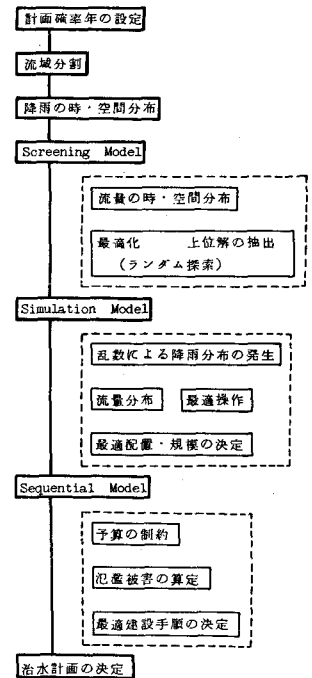


図 - 1

(iii) 最後に、決定された配置・規模計画に対して、その着工順序を決めるシーケンシャル段階である。各施工期間の期待被害額のうち、施工完成後の最終的な期待被害額を除いたものの全期間の総和が最小になることと建設順序目的を定義すると、DPによる定式化が可能であり、関数漸化式は次のようになる。

$$\bar{f}_l(x_l) = \min_{\{x_{l-1}\}} \left\{ \frac{1}{(1+r)^{\sum_{t=1}^{l-1} \Delta T(x_t) + \frac{1}{2} \Delta T(x_l)}} \left\{ \Delta T(x_l) \cdot DA_l^T \left(\sum_{t=1}^{l-1} \Delta T(x_t) + \frac{1}{2} \Delta T(x_l) \right) \cdot \bar{S}(l-1, x_{l-1}) \right\} + \bar{f}_{l-1}(x_{l-1}) \right\} \quad (4)$$

$$DA_l^T(\cdot) = \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^{T_l} \int_{Q_{md}} \bar{f}_{lm}(Q_m(t)) D_m\{Q_m(t)\} dQ_m(t) \quad (5)$$

ただし、 x_l はステップ l での工事変数、 $\bar{S}(\cdot)$ は状態ベクトル、 $\bar{f}_l(\cdot)$ はステップ l での建設順序、 $\bar{f}_{lm}(\cdot)$ は施工後の流量 $Q_m(t)$ の確率密度関数、 $D_m(\cdot)$ は被害額、 Q_{md} は地点 m の河道の疎通能力である。上式は、ステップ l において期待被害額が施工期間 $\Delta T(x_l)$ にわたって続くとし、割引率 r で現在価値に変換したものである。

3. 降雨の時・空間構造を考慮したダム貯水池操作

スクリーニング段階での貯水池操作は、流量が部分流域間の条件付確率の行列表示になっているので、それに適合した最適化を行わなければならない。いま、時刻 $t-1$ と時刻 t の貯水量が $S(t-1)$ 、 $S(t)$ のときの氾濫の期待確率 $P_R(S(t)|S(t-1))$ は

$$P_R(S(t)|S(t-1)) = \int_0^\infty \bar{g}_1(I(t-1)) \int_{Q_{md}} \bar{g}_2(O(t)+S(t)-S(t-1)|I(t-1)) dO(t) dI(t-1) \quad (6)$$

となるから、DPの関数漸化式は単ダム系では

$$\bar{f}_t(S(t)) = \min_{\{S(t-1)\}} \left\{ \max \{ P_R(S(t)|S(t-1)), \bar{f}_{t-1}(S(t-1)) \} \right\} \quad (7)$$

となる。ここに、 $\bar{g}_1(\cdot)$ 、 $\bar{g}_2(\cdot)$ は流量の確率密度関数と時間的な条件付確率密度関数である。本定式化は入力のマルコフ性のために最適性の原理は成立しないが、入力条件を考慮した概略的な制御解が得られるので、第1段階での操作方式として用いることにする。また、水系全体にわたる複数流域での氾濫確率を算定するには、Shift operation²⁾ による合流流量の確率算定手法を用いなければならない。ただし、貯水池と支川の合流条件により行列演算の手順が異なっており、P-1型(図-2参照)では、合流流量の確率は $Q_1^t = (Q_1^t * Q_2^t)$ となる。ただし Q_i^t は流域 i の条件付流量確率の行列、 $*$ はShiftを表わしている。一方、貯水量の変化に対応するダム入力の変換行列を O_0^t とすると、P-2型の確率分布は $Q_1^t = (O_0^t \cdot Q_1^t) * Q_2^t$ となり、P-3型では $Q_1^t = Q_1^t * (Q_2^t \cdot O_0^t)$ 、P-4型では、 $Q_2^t = (O_0^t \cdot Q_2^t) * (Q_1^t \cdot O_0^t)$ で求められる。このようにして、ある2期間の貯水量が指定されているときの各河道の流量確率が得られるので、それを式(7)中の $\bar{g}_2(\cdot)$ とおけば、各防災地点の氾濫確率が算定でき、式(8)より貯水量系列が得られる。なお、水系内に多数のダムが存在する場合は、支川との合流条件に応じて流量確率行列の成分移動を行う必要があり、詳しくは文献(2)を参照されたい。

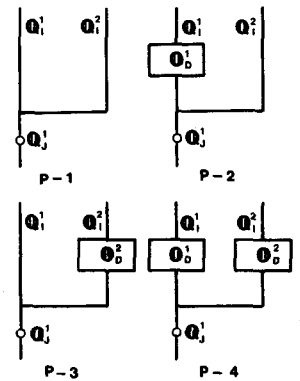


図-2

4. あとがき 本策定手順の有効性を確認するために、現在、各計画段階のプログラム化や貯水池操作の適用を行っており、結果については講演時に述べる。

<参考文献> 1) 高橋・池淵・清水：洪水の時空間発生確率とその治水計画への適用，京都大学防災研究所年報 第27号 B-2，1979，pp.179-194。

2) 高橋・池淵・小沢：水系一貫した治水計画の策定に関する研究，京都大学防災研究所年報，投稿中。