

京都大学工学部 正員 小尻利治

近畿日本鉄道 正員 北沢雅文

京都大学工学部 正員 高梅琢馬

1. はしがき 本研究は、出水時における流域の被害を軽減するため、とくに台風性降雨に限ってではあるが、水文情報収集の時間的かつ精度的向上をはかるとともに、降雨予測法やシミュレーション法などを最大限に利用した適応制御方式を提案するものである。また、本方式で使用するダム群操作法としては、PEAK-CUT (P.C) 方式と呼ぶ、合理的かつ実用的な方法を提案する。

2. 制御目的とダム群操作 ダム貯水池群による洪水制御の目的は、各評価地点におけるピーク流量を可能な限り小さくし、堤防の安全をはかると定義すると、次式のように表現できる。

$$K = \max(Q_{ip}/Q_{id}) \longrightarrow \min. \quad (i=1, 2, \dots, n; n \text{ は評価地点の総数}) \quad (1)$$

ここに、 Q_{id} 、 Q_{ip} は評価地点 i における許容流量、および制御後のピーク流量である。この目的を満たす放流量系列は、従来より定式化されている DP によって一意的に求めることができる。しかし、DP は、大規模なダム群システムでは計算機上の問題（計算時間あるいは記憶容量）が生じ、即時的な判断を要する洪水制御の場合、まだ、実用段階にいたっていない。一方、実際の台風性降雨が主に 1 山型であることを考えると、式 (1) を満たす系列は次のような手順でも得ることができる。具体的に、Fig. -1 で示す並列型貯水池群を例にとりて説明しよう。まず、式 (1) の K を初期値として設定し、各評価地点流量が次の制約条件を満たすか検討する。

$$\text{ピーク流量の条件: } H_i = Q_{id} \cdot K \geq Q_i(t) \quad (i=1, 2, 3) \quad (2)$$

貯留増加量の第 1 条件:

$$C_1(t) = \max\{I_1(t) + Q_1(t) - H_1, 0\}, \quad C_2(t) = \max\{I_2(t) + Q_2(t) - H_2, 0\} \quad (3)$$

$$C_3(t) = \max\{I_3(t) + I_2(t) + Q_1(t) + Q_2(t) + Q_3(t) - C_1(t) - C_2(t) - H_3, 0\}$$

貯留量の第 1 条件:

$$\int_0^T C_1(t) dt \leq V_1, \quad \int_0^T C_2(t) dt \leq V_2, \quad \int_0^T \{C_1(t) + C_2(t) + C_3(t)\} dt \leq V_1 + V_2 \quad (4)$$

$$\text{貯留増加量の連続条件: } C_3(t) = C_{D1}(t) + C_{D2}(t) \quad (5)$$

$$\text{貯留増加量の第 2 条件: } C_1(t) + C_{D1}(t) \leq I_1(t), \quad C_2(t) + C_{D2}(t) \leq I_2(t) \quad (6)$$

$$\text{貯留量の第 2 条件: } \int_0^T \{C_1(t) + C_{D1}(t)\} dt \leq V_1, \quad \int_0^T \{C_2(t) + C_{D2}(t)\} dt \leq V_2 \quad (7)$$

ここに、 T は制御終了時刻、 $C_{Di}(t)$ ($i=1, 2$) は貯留増加量 $C_3(t)$ を各ダム

が負担する貯留増加配分量である。その配分基準としては、現在の貯水池の空容量の比を将来の流入量の比に等しくして、将来の破壊の危険性を避ける方法が考えられる。これは、無効放流量を 0 にする考え方とも一致しており、数式で示すとダム 1 の配分量は

$$\frac{V_1 - \left\{ \int_0^T C_1(t) dt + \int_t^{t+\Delta t} C_{D1}(t) dt \right\}}{V_1 + V_2 - \left\{ \int_0^T \{C_1(t) + C_2(t)\} dt + \int_0^T \{C_{D1}(t) + C_{D2}(t)\} dt + \int_t^{t+\Delta t} C_3(t) dt \right\}} = \frac{\int_{t+\Delta t}^T \{I_1(t) - C_1(t)\} dt}{\int_{t+\Delta t}^T \{I_1(t) - C_1(t) + I_2(t) + C_{D2}(t)\} dt} \quad (8)$$

となる。設定した K において式 (2) ~ (7) が満たされることが確認されると、つぎは、 K を下げて再び同じ操作を行なう。こうして K を順次下げていき、上記の制約条件が満たされなくなると、限界値、つまり求める放流量系列が得られたことになる。なお、適用の結果、従来の DP 計算より次元数が約 1/4、計算時間で並列型なら約 1/40、直列型なら約 1/50 の改良が可能であった。たしかに、本方式は図式的な手法であり、複数ダム・複数評価地点問題では、最適系列に到達するという保証はないが、多数の任意流況において、DP の解とほぼ同じ系列が得られていることを考えると、極めて実用性の高い手法といえよう。

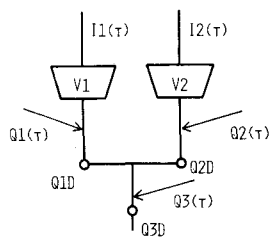


Fig. -1

3. 期待降雨による適応制御 台風に起因する洪水に対して、時々刻々入手される観測データを最大限に生かし、また、降雨予測・流出解析によるハイドログラフの推定およびシミュレーション法を導入した実際的な適応制御方式を考えよう。まず降雨予測であるが、台風の任意の位置における、今後の進路の遷移確率・平均速度・対象地点の平均降雨強度と過去の統計資料から算定しておき、以下のような手順で推定する。すなわち、(1)台風経路の遷移確率を用い、乱数を発生させて今後の進路を仮想する。(2)つづいて、その進路において次式より得られる α 、 β を平均場(統計資料)での降雨強度、平均速度に乗じてハイトグラフを求める。

$$\alpha = \text{観測降雨の和} / \text{平均場における降雨の和} \quad (\text{主降雨域内では過去の3時間の和}) \quad (8)$$

$$\beta = \text{台風の平均速度} / \text{平均場における速度} \quad (9)$$

ただし、前線性降雨と台風性降雨の分離をはかるため、主降雨域(台風性降雨域)を設け、台風の位置によって降雨強度の算定を変えている。(3)こうして得られるハイトグラフを多数予測し、その時間的平均をとって予測降雨とする。(4)予測降雨に流出解析法を適用し、ハイドログラフの推定を行ない、前述のダム操作法を適用して今後のゲート操作を決定する。(5)最後に、流出流量の推定値と観測値より流出解析法における諸係数を修正する。なお、仮想する進路数としては、シミュレート結果より考えて、予想降雨の形状が一定になる100回程度が必要であろう。また、本研究で用いた流出解析法は、計算時間や修正の容易さより、貯留関数法とした。

4. 木津川流域への適用 Fig-2は青蓮寺ダム、空生ダムと各張評価地点での制御結果であり、Fig-3は高山ダムと加茂評価地点による制御結果であり、いずれも1953年の13号台風である。同時に、現行の操作基準でゲート操作を行なった場合の流量系列も記載してあるが、その相違は明らかである。さらに、同様の制御結果が多数の出水で得られていることを考えると、本方式は極めて有効であるといえる。ただ、Fig-4の α 、 β の推移図を見てもわかるように、 β はほぼ一定であるが、 α の時間的変動はかなりはげしい。いいかえると、 α の推定をより正確に行なうことによつて、よりすぐれた制御が期待できることになる。そこで、Fig-5において、ある時間内の降雨予測が正確に行なわれた場合の制御結果を比較した。

図より明らかなように、正確な予測時間が長くなるにつれてピークがてい減し、約6時間で、ハイトグラフが既知の場合と同程度の制御が可能になる。これは前述の α の予測精度とともに、台風性降雨での洪水制御において重要な点であり、今後検討を加えたい。

5. あとがき 本研究で提案した適応制御方式は、ダム管理者の特別な経験を必要とせず、いかなる規模の台風に対しても同程度の制御効果が期待でき、一般的かつ普遍的なゲート操作が可能となった。今後、台風の進路予測・降雨予測・流出解析などの精度を高めることにより、実時間洪水制御方式を確立していきたい。

