

京都大学工学部	正 員	高 棹 琢 馬
京都大学工学部	正 員	○ 小 尻 利 治
建 設 省	正 員	丸 岡 昇

1. はしかぎ 洪水時における現行のダム操作は、一定量調節方式・一定率調節方式、あるいはこれらを組み合わせた調節方式等、洪水予知や降雨予知を避けた形での操作方法が採用されているが、ダム貯水池効果の点で疑問が残る。本研究では、こうした現状を打破すべく、特に台風性降雨に起因する洪水に対する、柔軟かつ一般的な適用制御方式を追求するものである。

2. 降雨予測とストカスティックコントロール 洪水時にダム貯水池を有効に利用するためには、降雨の予測が絶対的必要条件であることはいうまでもない。本研究では、台風性降雨に起因する洪水を制御の対象とし、統計的解析資料を用いて降雨を予測し、制御を進めていく適用制御方式を考える。統計的解析資料としては、望月氏の論文からつぎのものが得られる。¹⁾ すなわち、昭和15年から43年までの29年間の台風329個について、北緯20度から40度、東経122度から146度までの解析対象領域を一度四方のマス目に分割した時、台風が各マス目を通過する時の、 α 条件付遷移確率 α 経路別平均滞在時間 β 対象地点の経路別降雨確率 γ 対象地点の平均降雨強度、また β , α を

$$\beta = \frac{\text{実際の台風が各マス目で要した滞在時間の累加値}}{\text{同一経路での平均滞在時間の累加値}}$$

$$\alpha = \frac{\text{実際の台風が各マス目でもたらした降雨の累加値}}{\text{同一経路での平均降雨強度の累加値}}$$

と定義して、過去の台風について調べると、各時刻における値が一つの台風についてはほぼ一定となることが確認されている。これらの解析資料を用いたダムの適用制御方式を具体的に述べると以下のような手順になるが、その意志決定に確率的な基準を導入していることから、この方式を stochastic コントロール方式（以下 SC 方式と略す）と名付けた。（図-1 参照）

まず、制御対象領域に台風が進入すると将来の経路は確率的に推定でき、条件付遷移確率にしたがう乱数を生じさせることによって一つの仮想進路を得ることができる。つぎにこの仮想進路に対する降雨を求めるわけであるが、前述の β , α の推定値 $\hat{\beta}$, $\hat{\alpha}$ を次のように考える。

$$\tilde{\beta} = \frac{T}{\sum_{i=1}^I T_{mi}} \quad \tilde{\alpha} = \frac{\sum_{t=1}^T R(t)}{\sum_{i=1}^I R_{mi} T_{mi}} \quad \text{-----} (1)$$

ここに、 T ；制御開始時より現時点までの時間

$$T_{mi}; i\text{番目のマス目の平均滞在時間}$$

$R(t)$: 制御開始後 $t-1$ 時 $\sim t$ 時の降雨

 R_{mi} : i 番目のマス目での平均降雨強度

j : 台風の現位置に対するマス目番号

また $\gamma = \alpha/\beta$ と定義すると γ の推定値 $\tilde{\gamma}$ は.

$$\hat{f} = \frac{\sum_{t=1}^T R(t)}{\hat{\beta} \sum_{i=1}^n R_{mi} T_{mi}} \quad \text{-----} (2)$$

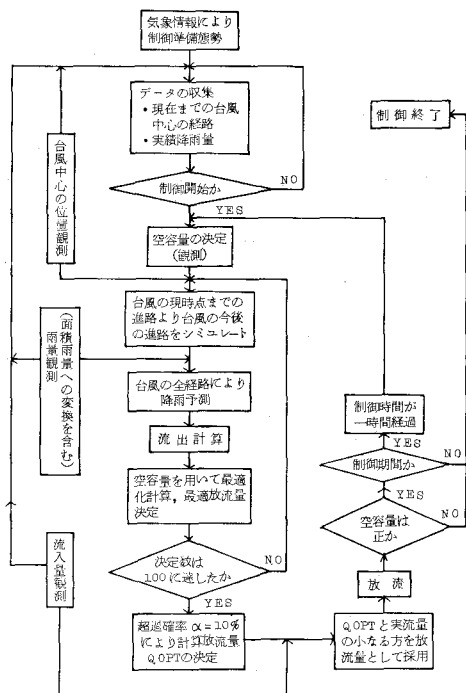


図-1 ストカスティックコントロール (単ダム) のフローチャート

として求めることができる。これらの推定値より、仮想進路に対する予想降雨は、各マス目での滞在時間を βT_{mi} 、降雨強度を γR_{mi} とし、単位時間区切りの降雨に変換することにより求められる。さらに、この降雨分布をもとに流出量を推定するのであるが、本研究では、Kinematic wave法を用いて流出解析を行なった。²⁾

上述のようにして得られたハイドログラフに対して、最適な放流量系列を決定する。ここに、最適放流量系列とは、ダム貯水池の役割りを考えると、下流部河道における洪水ピーク流量を可能な限り小さくする放流量系列と定義できる。具体的に言えば、防災対象地区を評価地点として代表させ、各地点における許容流量を Q_{id} 、洪水ピーク流量を Q_{ip} とすると、

$$k = \text{MAX}_i \left(\frac{Q_{ip}}{Q_{id}} \right) \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad \Longrightarrow \quad M_{IN} \quad \text{-----} (3)$$

と考えられる。また、ダム群の統合操作は治水の安全上極めて必要であるが、計算時間、シミュレートの精度、流出解析の精度を考えて今回はつぎのようにした。すなわち、最上流に位置するダムは、ダム直下流を評価地点と考えて放流量の平滑化をほかり、下流に位置するダムについては、上流からの放流量を既知として、残流域からの流入量も考慮して放流量の平滑化を行なう。一方並列の場合は互いに独立な操作とする。

以上によって一つの仮想進路に対する最適放流量が求まったわけであるが、仮想進路は遷移確率より定められるものであるから、それに対応する最適放流量もまた確率的なものであるといえる。そこで多数個の仮想進路を発生させることによって最適放流量の度数分布図を求め、それをもとにして、その時点から次の一時間の放流量を決定する。この決定に対する考え方として、一つには発生した最大の最適放流量を次の一時間に放流するという方策が考えられる。しかし、これは非効率な制御になる可能性が強く、また流出解析法や降雨予測の精度を考慮に入れるとあまりに悲観的な意思決定といえる。また確率50%に対応する最適放流量を放流するという方策も考えられるが、これは、放流量が小に過ぎる可能性が50%あることになり台風が危険な経路をたどった時に空容量を非効率的に使用する恐れが強く、治水の強い公共性より見て不適当である。結局のところ、台風が危険な経路をとる場合に備えるけれども、シミュレートの精度や、流出解析法の誤差を考慮して、超過確率10%程度の放流量をとることが現実的な方策であろう。このようにして、ある時刻から次の一時間の放流量が決定できると、その放流量(Q_{OPT})が、または実流入量の小なる方を次の一時間の放流量とする。これは人為的な洪水をひきおこす可能性を防止するための基準として設けたもので、この値と流入量との差だけ治水容量が減少する。なお、一時間経過すると台風中心の位置が一時間分移動し、新たな実測雨量データが得られ、再度次の放流量の決定を行なう。この手順を台風が制御領域を通過するまで続行することによって適用制御方式が終了するわけである。

3. 適用と考察 以上に述べた方式を実際の台風と流域に適用し、その制御結果について考察するとともに従来の操作法との比較検討を行なう。適用台風は1972年の20号台風で、対象流域は淀川流域で、青蓮寺ダム・高山ダムでの最適操作を試みる。

1). 青蓮寺ダム：ダム直下流を評価地点として鋸底調節を目標として調節を実施する。シミュレート台風の発生個数は計算放流量系列の変化と計算時間を考慮して100個とした。図-2に発生個数を100個とした時の各時刻における最適放流量の度数分布図と計算放流量を示す。降雨初期の分布形において、かなり不安定な部分が見られるものの、不確実性が時間の経過とともに減少する様

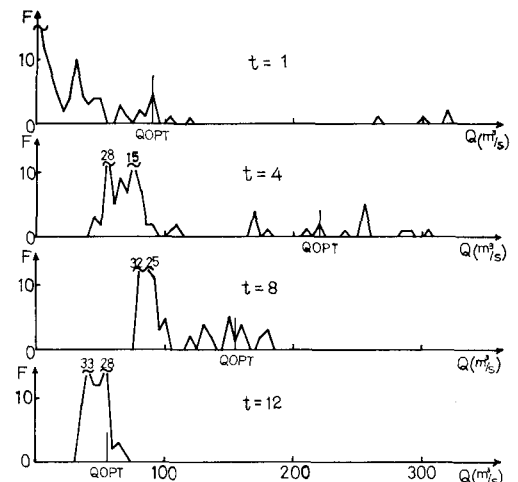


図-2 最適放流量の度数分布図

子が読みとれる。図-3に青蓮寺ダムの制御結果を示す。S.C方式による放流量の平滑化が不十分であるが、これは7220号台風の前期降雨が多いことからパラメータの推定値の精度が悪く、制御前半ではほとんど上限値とした1.6(90%点)をとっているためであり、またこの手法は、出水のピーク付近に対して十分な容量を確保するという性格上、予備放流量的な制御前半の放流量が大きいことはある程度やむをえない。従来の方法においても同様な傾向を持っており、治水の性格上慎重な制御を行なっていることが読みとれる。図-4と図-5はそれぞれ β 、 $\tilde{r}$ の値の時間的な推移を示す。 β の値の変化が小さいのに対して $\tilde{r}$ の値の変動が大きいことがわかる。特に降雨初期においてほとんどの値が上限値1.6を超えていることが読みとれ、 $\tilde{r}$ の制御初期における効果的な決定がS.C方式の有効性を高める第一義的に重要な要素と考えられる。

4) 高山ダム；上流の青蓮寺ダムからの予測放流量系列と残流域からの予測流入量をもとに放流量の平滑化を行なう。図-6は高山ダムの制御結果を示す。従来の制御結果と比較してかなり良い結果が得られたが、これは流出の遅れ時間が大きく、制御初期の不確実性が解消されたためであろう。

図-7は青蓮寺ダムのS.C方式において、評価地点を上名張とした場合に比奈知川流域からの予測流入量を考慮する場合と考慮しない場合の制御結果を示したものである。図より比奈知川からの流出量を考慮せずに、単に青蓮寺ダムからの放流量を平滑化する様に操作を実施した場合の方が上名張でのピーク流量が低下していることがわかる。この原因としては、比奈知川からの予測流出量を考慮することによって、予測の段階における誤差が相殺されていくことが考えられる。

4. 結語 本研究で提案したS.C方式はつぎのようなすぐれた点をもっている。1)統計的解析資料が整えばいかなる地域にも適用可能なこと、2)いかなる規模の洪水に対しても同程度の制御結果を期待できること、3)操作担当者による経験的なダム操作から安全率を考慮した普遍的な操作が可能なること。4)過去の台風資料を用いて本研究の方法を適用すれば、今後のダム建設計画でのダムの治水効果に関して重要な情報を提供しうることである。最後に今後の課題としては、制御初期における降雨予測の精度を上げるために、降雨発生 の物理機構を考慮することが考えられる。また超過確率についても10%が妥当な値と考えられるものの、次の一時間の放流量を決定するのみであり、修正は逐次可能であることから少し悲観的過ぎる意志決定とも考えられるので、今後検討が必要であると思う。

<参考文献>

- 1) 望月邦夫 淀川の治水計画とそのシステム工学的研究 昭45年 学位論文
- 2) 高柳琢馬 洪水流出系の分析と総合に関する基礎的研究 昭46年 学位論文

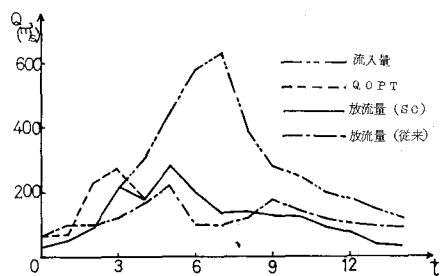


図-3 青蓮寺ダムの制御結果

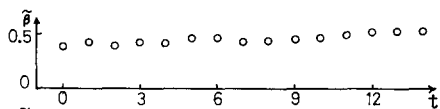


図-4 β の時間変化

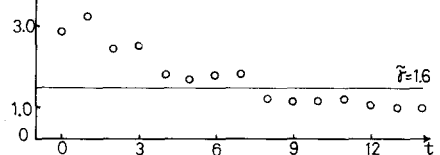


図-5 $\tilde{r}$ の時間変化

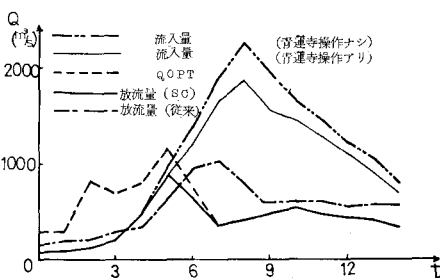


図-6 高山ダムの制御結果

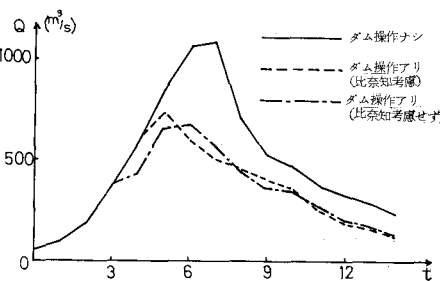


図-7 上名張の通過流量