

ダム管理における流出予測システムの 精度向上に向けた一考察

陶山 武士¹

¹独立行政法人水資源機構 関西・吉野川支社 淀川本部 施設管理課

(〒540-0005 大阪府大阪市中央区上町A番12号上町セイワビル内)

異常豪雨が多発する気象状況の中では、流出予測の精度向上がダム管理上必要となっている。本論文では、木津川ダム総合管理所の所有する流出予測システムにおいて精度向上を図った事例について紹介するものである。

キーワード 流出予測システム, 貯留関数法, 精度向上, 異常洪水対応

1. はじめに

ダム管理所では、高水管理に必要なシステムとして流出予測システムが構築されている場合が多い。しかしながら、システム構築後のメンテナンス、システム改良については、各事務所の実情に応じて温度差があるものと推察される。本稿では、木津川ダム総合管理所で導入されている流出予測システム（以下、「木津総管モデル」という。）の改良内容の事例を紹介することで、他ダムの流出予測システムの改良への一助となるべく、報告するものである。

2. 流出予測モデルの概要

(1) システムの基本構成

木津総管モデルは貯留関数法を採用しており、そのモデルを図-1に示す。木津川上流域を流域として17分割するとともに、5ダムを配置、また、河川水位評価点を6地点設定している。

また、貯留関数法は次式により流出高（流量）を計算するものである。

$$\text{運動式 } s = K q P$$

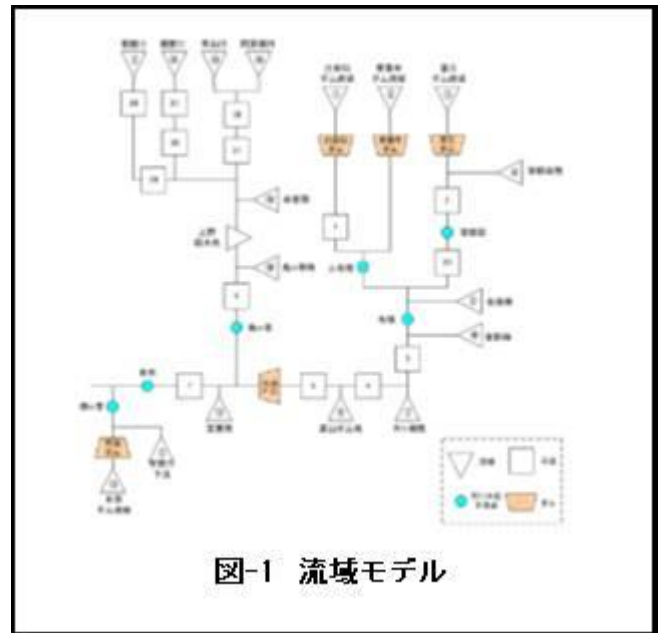
$$\text{連続式 } r_{ave} - q = ds/dt$$

K, P : 定数 s : 流域内の貯留高

q : 流出高 r_{ave} : 流域平均雨量

(2) システムの改良経緯

木津総管モデルは、平成25年度に全面更新され、その後、順次、システム改良が行われている。



従前からあったシステムでの特徴、及び全面更新後に平成29年度までに実施された主な改良内容は以下のとおりであるが、大きく分類すると、「精度向上を目的とした改良」と「システムの操作性向上を目的とした改良」に大別される。本稿では、精度向上を目的とした部分に着目する。

<従前から実装していた機能>

○ダム諸量データの自動取り込み機能

○実況補正機能

○流出定数を中小規模、大規模の2パターン採用

○パラメータは、ダム毎に設定可能

○ダム下流河川地点の水位予測表示機能

<平成25年度以降に追加した機能>

- 予測時間の延長（現在は72時間先まで演算可能）
- ステップ放流の自動計算のほか、急激放流もシステムで選択可能とした
- 異常洪水時防災操作実施有無をシステムで選択可能とした
- 小規模出水パラメータを追加し、合計で3つの規模のパラメータが設定可能
- 島ヶ原地点流量に連動した高山ダムの特別防災操作自動演算機能
- 予測降雨の定倍機能

3. ダム管理に求められる流出予測の精度とは

(1) 一般的に求められるもの

広く、河川管理者や自治体、一般の方が洪水時の予測で求められる情報は、「○○地点の河川水位が、いつごろ、どの高さまで上昇するのか」である。すなわち、洪水のピーク（タイミング・水位）を如何に精度良く計算できるかが求められている。そのため、予測システムの係数設定にあたっては、洪水波形のピークを再現できるようにパラメータが設定されることが多い。

(2) ダム管理に求められるもの

異常洪水時防災操作の判断を求められるダム管理の現場において、流出予測の精度は、一般に求められる「ピークの把握」に加え、「ダム操作により貯留されるボリュームをいかに把握するか」が重要となってくる。しかし、現在の貯留関数法のパラメータ設定はピークあわせに重点を置いており、ピーク後の低減部の精度は重要視されていない。その結果、貯留されるボリュームに対する予測精度の部分に今後の検討の余地があるものと考えられる。

(3) 実運用上の流出予測システムでの課題

平成29年台風21号出水における、比奈知ダムのハイドログラフを図-2に示す。また、防災操作後に抽出された課題は以下のとおりである。

- 貯留関数法のパラメータは適宜、見直しを行っているものの、大規模パラメータ（洪水調節規模以上）は、ピークあわせを中心にK、P値が設定されており、台風通過後の無降雨時の流入量の低減量の予測値が過少方向に計算され続け、どこまでダムが貯留できるのか、予測が困難であった。
- 更に、実況値と予測値の乖離を実況補正機能により、貯留高の増量補正がかけられるため、無降雨時にも関わらず、流出予測計算が毎時で変動が大きい状況が発生した。（実況値補正は、予測計算結果と実況値との差を補正するために、各流域の貯留高を補正する機能）

上記をふまえ、今回の改良では、①パラメータの最適化、②低減部予測精度向上策の検討、③実況補正手法の改良を行った。

4. 流出予測モデルの改良

(1) パラメータの最適化、出水規模分類の適正化

貯留関数法のパラメータは、なるべく母数を多くして解析するほうが精度良いと考えられる。近年、出水事例が蓄積されていることから、パラメータの最適化を行った。また、この作業に合わせ、各ダムの出水規模（小規模、中規模、大規模）の設定値の見直しを行った。なお、前述のピーク後の低減部の精度向上は別途行うこととし、この最適化は、ピークまでの精度を狙ってパラメータ同定を行った。

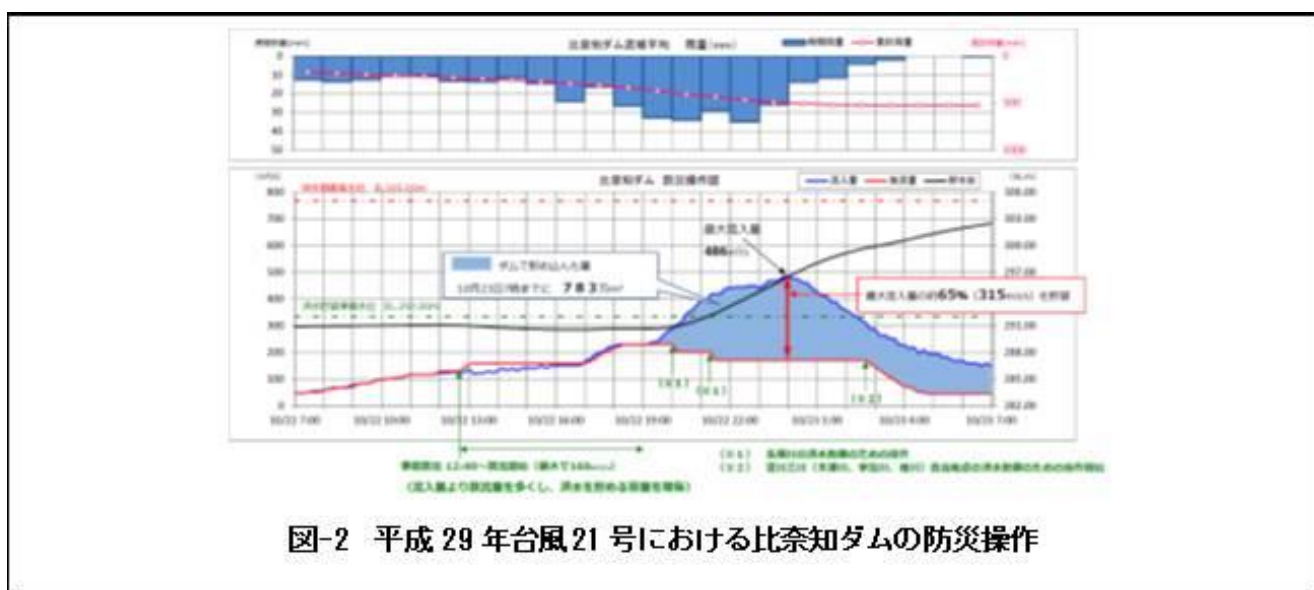


図-2 平成29年台風21号における比奈知ダムの防災操作

(2) 低減部予測精度向上策の検討

a) 検討手法

大規模出水(洪水調節規模以上)の流量ピークの1時間後から高水期間終了までの対象として、以下の三手法の精度を比較検討した。

なお、高山ダムに関しては上流に青蓮寺ダム、室生ダム、比奈知ダムがあり、ダム流入量に人為的な操作が加わっているため、他の4ダムで確立した手法を用いて、その精度を確認した。

①低減部用のパラメータ同定

低減部用の貯留関数パラメータ(K, p, t1)を同定

②低減曲線を活用

以下に示す低減曲線のパラメータを同定

$$\text{半減期 } Q = (Q_p - Q_b) \cdot \exp(-t/\tau) + Q_b$$

$$\text{VRの式 } Q = Q_p \cdot b^{-t}$$

$$\text{指数近似 } Q = \alpha \cdot \exp(-\beta t)$$

$$\text{対数近似 } Q = \alpha \cdot \log t + \beta$$

$$\text{累乗近似 } Q = \alpha \cdot t^\beta$$

③流出率から低減部分を逆算

流出率・出水時間の関係から低減部を逆算

b) 検討手法

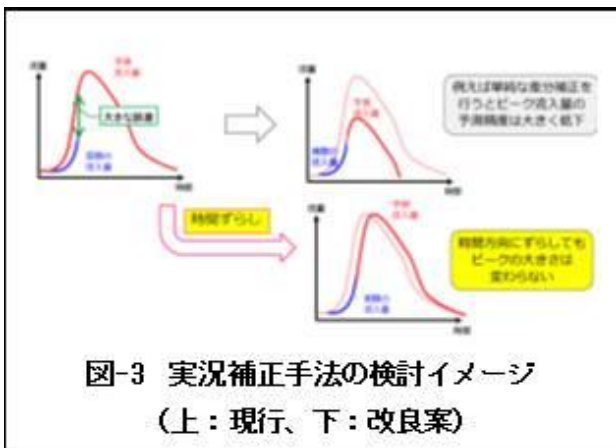
③の手法は、事例ごとに時間別流出率のばらつきが大きく、予測システムとして導入することは困難な結果となった。

①と②の手法について、洪水ピーク1時間後から計算し、相対誤差を比較したところ、いずれの流域でも低減部用のパラメータが最も精度が高い結果となった。なお、低減曲線を用いる手法はすべての解析事例の平均的な傾向を当てはめていることや、低減部の雨を考慮できないため誤差が大きい結果となった。

(3) 実況補正手法の改良

a) 現行実況補正手法の問題点

現行の実況手法では、実況値によって貯留高を直接増加、減少させている。この手法では、降雨と流出で水の量が物理的に整合する保証がないことに加え、事前に検証した予測精度が担保できない。さらに、立ち上がり付



近ではズレが大きくなりやすいため、その状態で実況補正を行うと波形が不自然になるおそれがあるほか、貯留高が直接変更されるため低減部も整合しなくなるといったことに陥る可能性がある。

これらの問題点を解消するため、貯留高を保存した状態で流量を補正する検討を行った。図-3に実況補正のイメージ図を示す。

b) 実況補正手法の検討

実況補正手法は、以下の3工程で検討を進めた。

- ①基底流量の調整: 無降雨時の流量を実況に近づける
- ②流出の遅れ時間の調整: 流量波形の位相を実況に近づける
- ③流出量(流出率)の調整: 当該時刻までの流出状況を実況に近づける

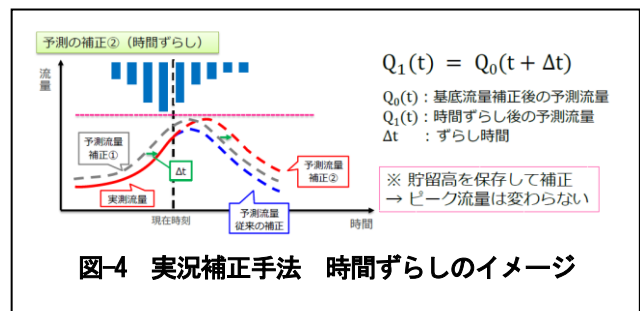
c) 基底流量の調整

7日前の無降雨期間まで遡り、その無降雨期間の平均流量と予測流量の差分で基底流量を調整することとした。

d) 流出の遅れ時間の調整

流量波形の立ち上がり部分など、予測と実況で時間的なタイミング(位相)がずれることがしばしば発生する。そこで、予測時点までの流量波形を実況と予測で比較し、時間方向に流量波形を調整する実況補正手法を検討した。具体的には、降雨開始時点から最新時刻までについて、実況雨量で流出計算を行い、その計算結果(予測流量)と実況流量を比較する。木津川ダム総合管理所の予測するデータは1時間値であるため、予測値を±1時間ずらし、流量誤差の小さいものを採用することとした。なお、この調整時間は流域面積等により調整幅が異なる場合があることから留意が必要である。

時間ずらしの調整イメージを図-4に示す。流量誤差を評価する指標は、相関係数、Nash係数、RMSEを検討した。検討の結果、相関係数及びNash係数では変化量が小さく判定が困難であることから、RMSEを使用することとした。RMSEが一定以上改善する場合、最も良好な条件(時間ずらし)を採用する。時間ずらしの調整は、予測の全時間帯について一律に実施することとした。



e) 流出量(流出率)の調整

上述の「流出の遅れ時間の調整」の時間ずらしだけでは流量の絶対値は補正できないため、極端な過大予測あるいは過少予測になる場合がある。そこで、流出が始まってある程度時間が経過した時間帯においては、実際の流出量と予測上の流出量を比較し、流出量を補正する手法を検討した。この補正は、雨量に対応する流出率を実況値にあわせて変更するイメージである。

具体的には、実況流量と予測流量の回帰係数を求め、その逆数を予測値に乗じることで予測流量を補正する。回帰係数の導出と補正のイメージを図-5に示す。

回帰係数で補正した値と実況値でRMSEを計算し、補正前のRMSEと比べて一定以上改善する場合に、補正を適用する。この補正は予測流量を定数倍するものであり、予測の全時間帯について一律に実施することとした。

なお、補正を定数倍で行うと、予測値が大きく変化する可能性があることから、補正は変化率が±30%以内に制限することとした。

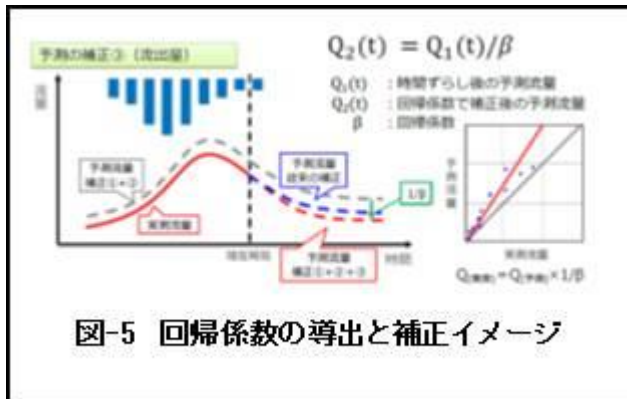


図-5 回帰係数の導出と補正イメージ

f) 実況補正手法の検証

新たに検討した実況補正手法について効果の検証を行った。ここでは入力雨量に実況値を用いて流出計算を行い、時間を1時間ずつ進めて予測流量に補正を行った。補正された予測流量と実測流量とを比較し、その補正の効果を検証した。

対象事例は、4つの系統的な誤差を含む事例(予測流量が早い、予測流量が遅い、予測流量が過少、予測流量が過大)と、雨量のピークが二山型となった事例を対象とした。布目ダムの二山型の効果の検証事例を図-6に示す。

検証の結果、低減部の予測精度を維持することができ、低減部のパラメータの予測精度を活かすことができることが確認された。また、予測の流量波形も崩すことなく誤差を低減させることが可能であることが確認された。

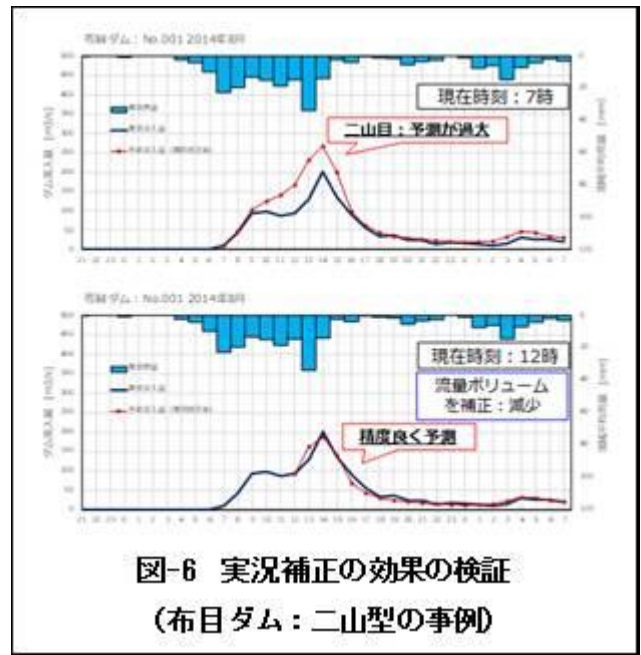


図-6 実況補正の効果の検証
(布目ダム: 二山型の事例)

5. 今後の課題

今回行った精度検証は、一部を除き実測雨量を入力値として行ったものである。実際の流出予測システムでは予測雨量を入力値として流出計算を行うため、降雨予測の精度が流出予測の精度に大きく影響する。予測技術の発展により、今後さらに利用可能な降雨モデルの精度が向上することが予想されるため、随時、木津川流域で最適な予測データを採用してシステムに組み込んでいくことが求められる。

また、今回の検証では、1998年～2018年の期間のデータを用いてモデルパラメータの再同定を行ったが、気候変動の影響によって降雨特性は急速に変化していくことが予想される。現状の最適なパラメータを持続的に見直し、継続して調整していくことがシステムの運用上、必要不可欠である。

最後に、今回の検討が、同様の悩みを持つダム管理所の課題解決の一助となれば幸いである。