

ダム流入量推定における精度向上の検討について

秋葉朋之¹・尾崎宙²

¹蓮ダム管理所 専門官（〒515-1615 三重県松阪市飯高町森1810-11）

²蓮ダム管理所 電気通信係（〒515-1615 三重県松阪市飯高町森1810-11）

蓮ダムは三重県中部を流れる櫛田川水系蓮川に平成3年に建設された重力式コンクリートダムで防災操作、流水の正常な機能の維持等を目的としている。蓮ダム流域は多雨地帯であり、洪水となる回数も多くなっており、ゲート进行操作する機会が多いダムである。ダム管理をおこなう上で「貯水位」、「放流量」、「流入量」は非常に重要な値であり、適切なゲート操作のために精度の向上は必要不可欠である。本報告は、蓮ダムにおける「流入量」の推定方式について精度向上に関する検討と成果、今後の課題についてまとめたものである。

キーワード：ゲート操作，初期放流，流入量

1. はじめに

蓮ダムが位置する櫛田川上流部は三重県中部にあたり、日本でも有数の多雨地帯である大台ヶ原に隣接しており、蓮ダム流域も降雨量が多い地域となっている。そのため、洪水警戒体制に入る回数も多く、ひとたび洪水警戒体制に入ると体制解除まで数日～1週間程度を要することとなる。その間は休日、夜間を問わず必要な人員が洪水対応にあたる。また、蓮ダム管理所と蓮ダム分室は約46km離れており、管理所職員のうち多くの職員が居住する松阪市街地からダム管理所までは通勤に片道約1時間を要している（図-1）。

これらの現状を踏まえ、蓮ダムにおいては、小規模洪水時及び後期放流時を対象に蓮ダム分室からの遠隔操作を行うことによって業務の効率化を図るとともに、平常時の発電所発電機の故障時に緊急に対応する検討を進めているところである。



図-1 蓮ダム位置図

2. 蓮ダムの概要

(1) 蓮ダムの諸元

蓮ダムの主な諸元は以下の通り。

河川名：櫛田川水系蓮川

位置：三重県松阪市飯高町森

集水面積：80.9 km²

形式：重力式コンクリートダム

堤高：78 m

洪水期：6月16日～10月31日

総貯水容量：32,600千m³

有効貯水容量：29,400千m³

(2) 蓮ダムの目的

蓮ダムは以下に示す4つの目的を有している。

① 防災操作

蓮ダム地点において、ダム地点への流入量を350m³/sの一定量放流方式により調節し、基準地点両郡橋の整備計画基本高水流量4,100m³/sを3,500 m³/sに低減させる。

② 流水の正常な機能の維持

蓮ダムにおいては、「流水の正常な機能の維持」のための放流が行われている。平成15年に河川整備基本方針が定められ、基準地点両郡橋で3.0m³/s～8.9m³/sの確保すべき流量が決められている。

③ 水道

蓮ダムでは、三重県企業庁南勢志摩水道用水供給事業の水道用水として、最大172,800m³/日の水を供給している。ただし、志摩水道に関しては、平成23年4月に志摩市へ移管された。

④ 発電

蓮ダム下流左岸のダム式発電所で、最大出力4,800kWの発電(従属発電)を行う。

以上の目的を果たすため、蓮ダムは図-2に示すように洪水調節容量、利水容量を洪水期、非洪水期に分けて設定している。

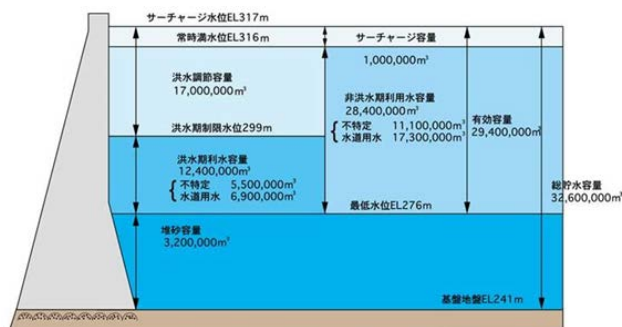


図-2 蓮ダム貯水池容量配分図

洪水期 : 6月16日より10月31日まで
非洪水期 : 11月1日より翌年6月15日まで

(3) 蓮ダムの洪水警戒体制

蓮ダムの洪水対応体制における注意体制及び警戒体制の基準は以下の通りとなっている。

① 「注意体制」

- ・津地方気象台から三重県中部に大雨に関する警報が発令された場合。
- ・流域内において時間雨量が15mmを超えると予想される場合。
- ・流域内において累計雨量が50mmを超えると予想される場合。
- ・流入量が9m³/sに達するか、又は達すると予想される場合。
- ・その他管理所長が必要と認める場合。

② 「警戒体制」

- ・相当量の降雨があり、ダムへの流入量が30m³/sを超えると予想される場合。
- ・その他管理所長が必要と認める場合。

(4) 蓮ダムにおける近年の防災操作実績

蓮ダムにおいて近年ゲート操作を行った数と延べ日数(待機のみは除く)は、24年度は14回40日、25年度は6回29日、26年度12回31日、平成27年度12回29日となっている。特に平成26年8月洪水や平成27年7月洪水では1洪水で延べ日数が1週間以上に亘っている。

また平成23年9月にあった台風12号洪水は、管理開始

以来、最大の累計雨量約1,450mmを記録、350m³/sの一定量放流によらない異常洪水時防災操作を行うなど、蓮ダムでは洪水危機管理が最重要課題のひとつとなっている。

3. ダム管理諸量

ダム管理の際に需要となる貯水位、放流量、流入量について説明をおこなう。

(1) 貯水位

ダム湖の高さ方向の位置のことで、一般的に標高[m]で表される。洪水時には洪水貯留容量がどれだけ残っているかを確認し、平常(平水)時には利水容量に注意を払うなど、ゲート操作を行うときの1つの基準となっている。

貯水位の測定には水位計を用いる。測定データからセイシュや波浪といった雑音成分を除去した値を貯水位としている。雑音成分の除去には平滑処理を行っており、一次平滑処理では、2秒毎に計測される貯水位データを30個用いて1分間の平均値を算出し、二次平滑処理では、一次平滑データの5分間の平均値を算出し、その値を貯水位としている。また、「主貯水位」、「副貯水位」と2箇所所で測定を行っており、もしもの時のために二重に対策を取っている。

(※セイシュ：強風等によりダム湖水面が揺れる現象)

(2) 放流量

ダムから防災・利水等の目的で、下流河川に流す水の量のことで、1秒あたりに放流(放水)される水の体積[m³/s]で表される。放流量はゲート毎に貯水位とゲート開度による演算式が決まっており、ダムコンで設定した値から算出される。

そのため、任意に値を設定してゲート操作をおこなうことが可能である。ダムの放流により下流河川に与える影響は非常に大きく、最悪の場合、人命に被害を及ぼす恐れがある。そのため、放流量の増減については『放流の原則』という基準が定められており、ゲート操作の際は原則を厳守して放流を行っている。

(3) 流入量

ダムの上流域からダム湖に流れ込んでくる水の量のことで、1秒あたりに流れ込んでくる水の体積[m³/s]で表される。流入量は、前述した放流量と貯水位の変化から算出することができ、蓮ダムでは3つの演算方式を採用している。平水時や洪水の初期放流等の場合には、貯水位変化方式や時間方式により算出し、洪水時で一定の流入量を超えた場合は最小二乗方式により算出をおこなう。各演算方式について、以下に示す。

① 貯水位変化方式

一定時間における『貯水量の変化量から求めた貯留流量』と『ダム湖から放流した平均全放流量』の和から算出する方法であり、初期放流時や後期放流時などでよく使用される。計算式を(3a)に示す。

この方法は図-3に示すように、貯水位が変化した時間が、前回変化した時間からT分以上経過していた場合、その間の貯水量と放流量の平均値を加算して算出する方法である。また、T分が経過する前に貯水位が変化した場合、P点からT分経過したら算出され、それまでは前回の流入量が引き続き適合される。

$$Q_{it} = \frac{V_h(t) - V_h(t-T)}{T \times 60} + \frac{\sum_{i=0}^{T-1} Q_{ot}(t-i)}{T} \quad (3a)$$

$$\left[\begin{array}{l} Q_{it}: \text{流入量}[\text{m}^3/\text{s}], V_h(t): \text{有効貯水量}[\text{m}^3], \\ V_h(t-T): \text{T分前の有効貯水量}[\text{m}^3], \\ Q_{ot}(t-i): \text{流入量算出時からi分前の全放流量}[\text{m}^3/\text{s}], \\ T: \text{貯水位変化に要した時間}[\text{分}] \end{array} \right]$$

式(3a) 貯水位変化方式の計算式

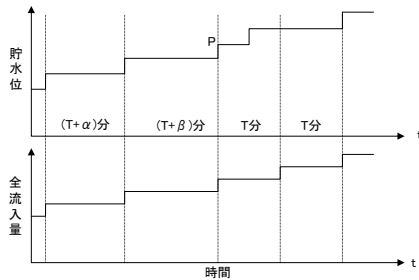


図-3 貯水位変化方式の計算チャート

② 時間方式(仮想流入量方式)

各時間におけるT分間の流入量を仮想流入量と定義し、現時刻から数分前のまでの平均値を流入量として算出する方法であり、平水時や初期放流時などでよく使用される。計算式を(3b)、(3c)に示す。

この方式は国土交通省標準仕様(平成17年度版)には記載されていない方法であるが、今まで蓮ダム管理所で採用していた方法である。貯水位変化方式の場合、貯水位がセッシュ等により二次平滑をしても短い時間で変化する時がある。その変化を読み取って流入量を算出しが短時間に大きく変わってしまう場合がある。また、条件によっては、流入量が0以下になってしまう場合もある。そのため、状況に合わせて流入量の算定方式を変えられるように、蓮ダムでは時間方式も採用している。

$$Q'_{it} = \frac{V_h(t) - V_h(t-T)}{T \times 60} + \frac{\sum_{i=0}^{T-1} Q_{ot}(t-i)}{T} \quad (3b)$$

$$Q_{it} = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} Q'_{it}(t-i)}{n} \quad (3c)$$

$$\left[\begin{array}{l} Q'_{it}: \text{仮想流入量}, T: \text{仮想流入量の算出時間間隔}, \\ n: \text{平滑サンプリング数} \end{array} \right]$$

式(3b,c) 時間方式の計算式

③ 最小二乗方式

貯水位変化方式では、T分間の平均全放流量を移動平均で出しているため、T/2だけ時間遅れが生じる。この遅れを解消するため、最小二乗法の外挿により補正を行う方法である。つまり、この方式では各時間における仮想流入量 Q'_{it} を求め、そのT/2時間だけ外挿した値を現時刻流入量として算出する。

この方式は国土交通省標準仕様(平成17年度版)で洪水時の流入量を算出する方式として設定されている。蓮ダムでは150[m³/s]以上の流入があった場合、この方式に変更し、ゲート操作を行うようにしている。

$$Q_{it} = A + B \left(t + \frac{T}{2} \right) \quad (3d)$$

$$A = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} Q'_{it}(t-i)}{N} - B \frac{\sum_{i=0}^{N-1} (t-i)}{N} \quad (3e)$$

$$B = \frac{N \sum_{i=0}^{N-1} (t-i) Q'_{it}(t-i) - \left(\sum_{i=0}^{N-1} t-1 \right) \left(\sum_{i=0}^{N-1} Q'_{it}(t-i) \right)}{N \sum_{i=0}^{N-1} (t-i)^2 - \left(\sum_{i=0}^{N-1} (t-i) \right)^2} \quad (3f)$$

$$\left[\begin{array}{l} A, B: \text{最小二乗法係数}, T: \text{仮想流入量算出時間間隔} \\ N: \text{最上二乗法サンプル数} \end{array} \right]$$

式(3d,e,f) 最小二乗法の計算式

4. 流入量の精度向上

ダム貯水池への流入量推定の精度を向上することは、適切なダム管理を行う上で非常に大切なことである。特に近年は局地的豪雨に伴う急激な洪水流出も予想され、正確なダム流入量の把握は益々重要な課題となっている。

本検討では、流入量の推定方式の内、蓮ダム管理所で独自に導入している時間方式の流入量の精度向上について示す。

図-4は2015年7月15日からの実際の流入量の時間変化の曲線である。図-4において、四角で囲んだ枠内が貯水位変化方式及び時間方式で計算が妥当とされている、流入量が150[m³/s]以下の部分である。流入量が150[m³/s]以上の部分については、最小二乗方式での計算が妥当とされている。今回は丸で囲んだ部分(7月16日0時22分～17時25分)について、時間方式による流入量の検討を行う。以後、この期間を「検討期間」と呼ぶ事とする。



図-4 2015年7月15日における流入量と時間の関係

① 時間方式の流入量計算

時間方式における任意の値である T と n の設定を変えると、流入量波形にどのような影響を与えるかを確認する。図-5に T と n の値を $T=10, n=100$ 及び $T=100, n=100$ を用いたときの曲線を示す。2つの曲線を比較すると、流入量が $100[\text{m}^3/\text{s}]$ のときにおいて、 $T=100$ の波形の方が、 $T=10$ の波形よりも $100[\text{m}^3/\text{s}]$ に達する時間が遅くなっているが、波形のギザギザが少なくなっている事が分かる。また、図-4と図-5の $n=10$ の曲線のグラフと比較すると、 $n=100$ の波形の方がなめらかになっている事が分かる。以上の事から、 T と n を変化させることで、「 T と n を大きくすると波形がなめらかになる。」「 T を大きくすると流入量の計算が遅れる」ことが分かる。

ここで、 T と n の最適な値を決める上の条件を、下記のとおりとする。

- 実際の流入量と計算された流入量が近い
- 波形のギザギザが少ない
- 流入量演算の遅れ時間になるべく小さい

ただし、ここで問題になるのが『実際の流入量』とは何か、ということである。前項で述べたとおり、流入量は全て計算により算出しており、実際おこなっていないため、実際の流入量かと問われると疑問が残る。本検討では、実際の流入量に近しいと思われる値を『実際の流入量』と呼ぶ事とする。

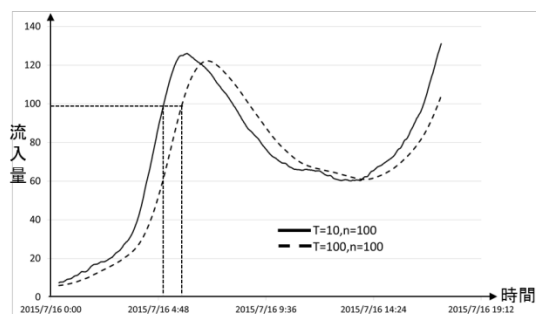


図-5 T 及び n を変更したときの流入量の変化

② 実際の流入量

流入量の精度の向上を考えるには、『実際の流入量』がわからないと、検討した結果を比較することができない。①で説明したが、 T と n の値が大きいくほど、流入量の算出時間は遅れ、実際の値と大きくずれることになる。本検討では、 T と n の値を小さくすることで、実際の流入量に近い値になると考え、その値を『実際の流入量』とする事とした。

そこで、 T と n を10とした場合の時間方式を『実際の流入量』の元にする演算方式と定め、曲線のギザギザを除去して流入量を算出した。図-6に実際の流入量の曲線を示す。『実際の流入量』を算出するのに使用した方法は下記のとおりである。

- フーリエ変換により周波数軸の曲線に変換
この手順により、1つの曲線を複数の波形の曲線に分解することが出来る。これにより、流入量の主とな

る曲線とギザギザの元になっている曲線とを分けることが出来る。

- ギザギザの元になっている周波数成分を除去
i で分けた曲線のうち、ギザギザの元となっている曲線を削除し、キレイな波形になるようにする。
- 逆フーリエ変換により時間軸に再変換
ii の手順で残った曲線を、再度、時間軸の曲線に戻すことで、ギザギザ成分が除去された波形の曲線にする。

以上の手順によりギザギザ成分を除去した、『実際の流入量』の曲線を作成した。図-7に実際の流量の曲線を示す。この曲線を元に、時間方式における流入量の精度向上について検討を行う。

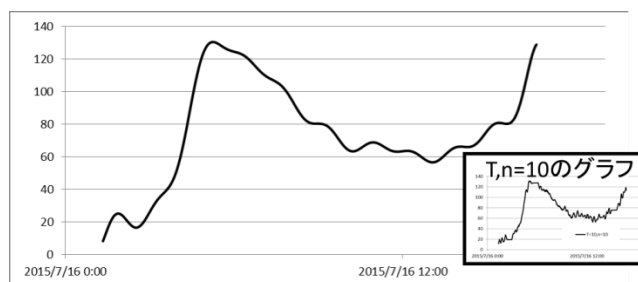


図-6 実際の流入量

③ 検討結果

T と n をそれぞれ20~60の間で変化させ曲線を作成し、『実際の流入量』の波形と比較して一番近い曲線を最適な値とした。図-7に $n=10$ で T を10ずつ変化させた曲線を、図-8に $T=60$ で n を10ずつ変化させた曲線を示す。図-8から、 T については50~60の間で、 n については10の周辺で『実際の流入量』の曲線に近い変化をしていると判断できる。

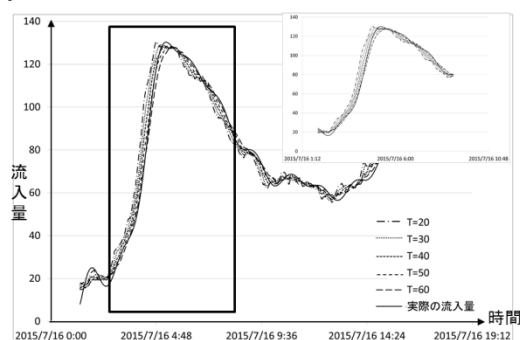


図-7 T を変化させた場合の流入量

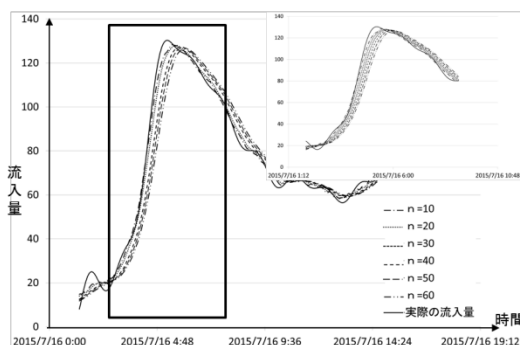


図-8 n を変化させた場合の流入量

次にTを50～60の間で、nについては5～15の間でそれぞれ1ずつ変化をさせてみたところ、T=56、n=11で図-6に最も近い曲線が作成することが出来た。図-9にT=56、n=11の時間方式の流入量の曲線を示す。比較のために現在の時間方式の設定値 T=60、n=10の曲線も記載した。図-9より、T=56、n=11の曲線の方が現状の設定よりも3分ほど早く流入量を算出することが可能となった。『実際の流入量』に近い流入量を早期に算出することが出来れば、適切な放流操作が可能となるため、時間方式においては精度が向上したといえる。

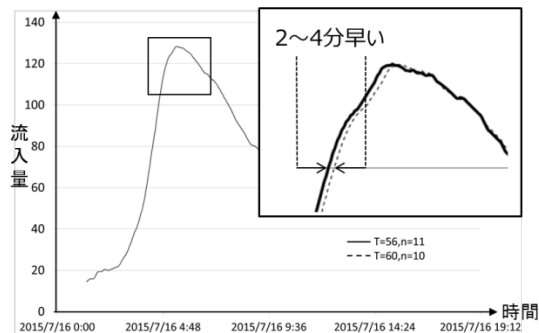


図-9 検討後の流入量曲線

5. 今後の課題と対応方針

本検討では、現在の流入量算出結果に対して、近似した流入量波形の算出が3分ほど早まるだけであった。換言すれば、これまでの蓮ダムの設定はかなり精度が良く、放流操作での遅れはほとんど無かったということである。しかし、今回検討を行ったのは時間方式のみで、貯水位変化方式と最小二乗方式については、精度向上の検討を終えていない。また、一つの放流操作のデータでしかおこなっておらず、今回の結果が他の放流で適応されない可能性もある。

以上のことから、本検討の課題を以下にまとめた。

- 時間方式のみの検討である。
- 複数の放流について検討していない。
- 『実際の放流量』の出し方について検討の余地がある。

今後、適切なダムの運用に向けて、複数の放流のデータにおける流入量演算方式の検討も行い、流入量の精度向上を進めていきたいと考えている。

特に、現在、進められている蓮ダムの遠隔操作において、対象となっている初期放流、後期放流に関わってくる150[m³/s]以下の流入量演算方式について、より正確な流入量管理が可能となれば、早期の対応が可能になると考えられる。