

ダム操作よもやま話 その1

～流入量把握をめぐる話題～

まえがき

私は、ダム操作について、現地における課題を分析しながら、その解決の方向を追求してきました。その結果、洪水時操作のそれぞれの段階において、洪水前操作、ただし書き操作への対応を考慮しながらの洪水調節操作、必要に応じてのただし書き操作、洪水終了後の水位の低下など、洪水の始まりから終わりまでの、それぞれに目的の異なる一連のしかも同じ重みを持つ操作行動の連携としてとらえる必要があるとの結論を得ました。

しかるに、ある操作から次の操作への移行を、どのような情報に基づいてどの段階で実行するか、と言った考え方に基づいて組み立てることにより、ダムの操作をよりシステムティックに考察することが可能となることも判りました。

このようなことから、それぞれの段階の操作と操作相互間の移行の判断方法を可能な限り定式化して考察することとした次第です。

これらの取り組みを通して、考察の結果を「ダム操作の理論と実際」として、とりまとめ印刷を行うとともに、HPとしてもリリースしています。

様々な角度からの意見も賜り、さらなる考察を積み重ねながらシステムの改善を図って参りました。

これらの過程で明らかになったことは、「これまで操作規則の中で要求されている様々な操作条件については、実行不可能な部分があるのではないか」、また、「仮に操作規則に定められた条件さえクリアすれば、それは合理的なダム操作となるのであるかどうか」、と言った領域の議論を展開するに至りました。

本稿では洪水のそれぞれの段階における操作を可能な限り定式化して、これを分析する過程で明らかになった課題や、その対策の方法等について、「ダム操作の理論と実際」において十分に言及することの出来なかった部分についても、よもやま話的に記述して行きたいと考えています。

流入量把握に関する課題と対応策、洪水前操作の課題と対応策、定水位操作、洪水調節ダムの操作のあり方、利水ダムの操作のありかた等々についていくつかのシリーズに分けて記述して参りたいと思います。

今回はその第一段として、ダム操作において最も基本的な情報の一つである流入量をめぐる諸課題について記述してみました。

なお、本稿における諸計算はすべて自前のパソコンのExcelによって実施しています。ということは、ダム操作の主要な部分は自前のパソコンによって実行可能であるということにほかなりません。

ダムコンとパソコンの併用により、ダムコンにトラブルが生じた場合のバックアップやダムコンの計算結果の確認など、さらに安全確実な操作に向けてのアプローチを目指すものです。このような視点から本稿をお読みいただければ幸いに思います。

1. 流入量把握精度を支配する要素

ダムへの流入量の測定は、「〇〇地点の流量をもとに算定するものとするが、水位の上昇及び低下の時間的な割合から算定した数値によって流入量を修正することが出来るものとする。」とされています。

ここで、「〇〇地点の流量」は〇〇地点のH-Qカーブの誤差が大きい場合が多く、このようにして算定した流入量と放流量の履歴から求めた貯水量と実測の貯水位の変化から求めた貯水量が一致しない場合があります。

この矛盾を回避するため、実態は後段の「水位の上昇及び低下の時間的な割合から算定した数値」を採用する場合があります。

このような背景を念頭に置きながら現場において主に採用されている流入量の計算方法について考えてみたいと思います。

具体的には、ダム操作細則への記載例として次のようなかたちで記述されています。

(流入量)

第2条 規則第〇条に規定する流入量は、規則第〇〇条に規定する水位の上昇又は低下の時間的な割合から次式により算出するものとする。」

$$Q = (V + q) / t \dots\dots\dots (1)$$

t : 計算単位時間 (単位 : sec)

V : 計算単位時間に増減した貯留量 (単位 : m³)

q : 計算単位時間内の積算全放流量 (単位 : m³)

(注・・・(1)式においてVはあらかじめ作成した貯水位(H)と貯留量(V)の関係を示したH-Vカーブより求められる。)

ここで、(1)式による流入量の計算は基本的には直線的に変化する流入量を想定していますから、図-1の上で考えてみると以下のようになります。

・ Vの計算

$$V = (V_{20} - V_{10}) \\ = (Q_{i20} + Q_{i10} - Q_{o20} - Q_{o10}) \times t / 2 \dots\dots (2)$$

ここで、V₂₀、V₁₀、Q_{i20}、Q_{i10}、Q_{o20}、Q_{o10}は各々t₂₀、t₁₀における貯水量、流入量、放流量。tは計算単位時間。

・ qの計算

$$q = (Q_{o20} + Q_{o10}) \times t / 2 \dots\dots (3)$$

(2)式と(3)式を合計するとQ_{o10}とQ_{o20}は消去されて(4)式が得られます。

$$(V + q) = (Q_{i20} + Q_{i10}) \times t / 2 = Q_{i15} \times t \dots\dots (4)$$

ここで、Q_{i15}はt₁₅における流入量です。

したがって、(4) 式から Q の値は (5) 式によって示されます。

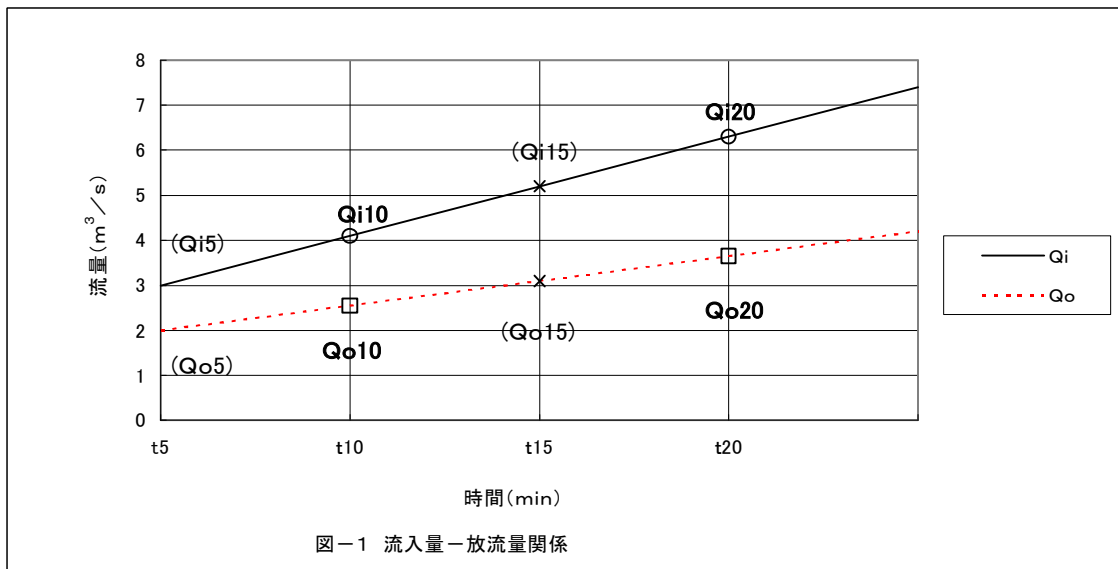


図-1 流入量-放流量関係

$$Q = (V + q) / t = Q_{i15} \dots \dots \dots (5)$$

若干まわりくどい説明になりましたが、(1) 式によって求められる流入量は (5) 式で示すように、 t_{20} における流入量ではなく、 t_{15} における Q_{i10} と Q_{i20} の平均値である Q_{i15} として与えられているということでもあります。

従って、計算単位時間 $t = 10$ 分とすれば、この段階で計算された流入量は実際の流入量に対して 5 分遅れの値として示されているということが出来ます。

つぎに、流入量計算にあたって放流量と並んで最初に必要となる貯水量把握のもととなる貯水池水位の測定値について考えてみます。

測定後の貯水位記録の扱いについて、操作規則や細則の中では、貯水位の風などによる不安定性や、それらが操作に及ぼす影響などについて、詳細には言及されていませんが、ダム管理用制御処理設備標準設計仕様書 (案) 同解説 (以下「仕様書 (案) と呼ぶ。’) に記述された内容を要約すると以下の通りです。

(1) 1 次平滑処理においては、2 秒毎 30 個のデータを移動平均したものを当該 1 分間の代表水位とする。

(2) 2 次平滑処理においては、1 次平滑処理したものを N 個 (最大 10 程度) 移動平均することとして代表水位とする。

(3) しかしながら移動平均法を用いれば $(N/2)$ 分の時間遅れが生じるため長い周期の波動には対処できない。

つまり、貯水位を平滑化した場合、図-1 において想定される V_{15} は 10 個の水位データを移動平均したものから求められるとすれば、 t_5 から t_{15} までの 10 個の水位データを移動平均したものから求めたものであり、 V_{20} は t_{10} から t_{20} までの水位データを移動平均したものから求めたものであります。

従って、(1) 式の貯水量の変化 V を求める段階ですでに貯水位の 2 次平滑化時間の 2 分の 1 だけの遅れが生じていることになります。

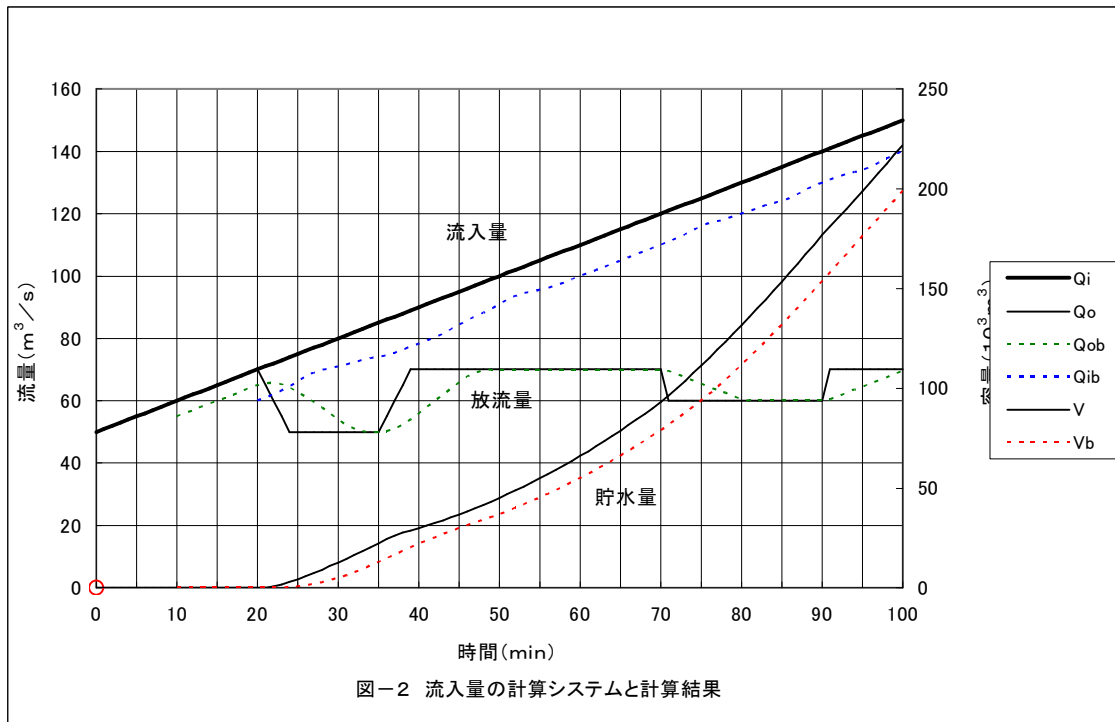
放流量をどの様にして計算するかにもよりますが、仮に貯水量計算を行うときと同じようにして求められた貯水位を用いるとすれば、この段階でも貯水位平滑化時間の 2 分の 1 だけの遅れが生じていることになります。

以上を総合すれば、貯水位の 1 次平滑化処理の平滑化時間を 1 分間、2 次平滑化処理の平滑化時間を 10 分間とすれば、(1) 式による流入量の計算においては約 10 分間の時間遅れを考慮しなければならないことになります。(この場合、1 次平滑化時間の 1 分間もカウントすべきですが、この部分の要素は省略して約 10 分間という表現にしました。)

これらの諸要素を考慮して流入量の計算を試行してみました。

- ・ケースー1 貯水位が正確に測定・把握されていると仮定した場合

図ー2 は真の流入量を Q_i 、真の放流量を Q_o として表示しています。



これらの Q_i 、 Q_o をもとに、先ず、真の貯水量の変化 V を計算します。

これらの貯水量の変化から直接的に単位時間に増減した貯留量 (V) を求めることができますが、先に述べたように実際の流入量計算においては、貯水位の 2 次平滑化を行う必要がありますから、貯水量で過去 10 分間の平均値を当該時刻の貯水量として図ー2 において V_b として表示しています。

次に、放流量の過去 10 分間の平均値を $Q_{o,b}$ として示していますが、この値に計算単位時間 t を乗じた値、 $Q_{o,b} t$ が、とりも直さず (1) 式で示す、計算単位時間全積算放流量 q ということになります。

これらをもとに（１）式により流入量 Q を計算することができます。

このようにして計算した流入量 Q を図－２では Q_{ib} として示しています。

Q_{ib} は Q_i に対して約１０分の遅れになっていることがわかります。

つぎに、貯水池水位をどの程度の精度で把握・処理すべきかとの立場から考察してみます。

まず、貯水位の測定、あるいは、測定した結果をどのような単位で処理して表示し、又はつぎの計算に対して適用するかについて考えてみることにします。

貯水池水位単位の処理方法として、仕様書（案）には以下のような記述があります。

処理単位は１ｃｍを基本とし、１ｍｍ単位を四捨五入して算出する。ただし、ダムによっては平水時に１ｍｍ単位で管理しているところもあり、この場合は０.１ｍｍ単位まで求めこれを四捨五入して１ｍｍ単位とする。

これらが、どのような分析に基づいて記述されたかは定かではありませんが、この表現が流入量計算にどのような影響を及ぼすかについて考えてみます。

・ケース－２ 貯水位がｍｍ単位で把握されている場合

図－２における場合と同様に、流入量 Q_i と放流量 Q_o をあらかじめ設定しておいて、これらの関係から貯水量を計算し、この貯水量から逆に（１）式に基づいて流入量を計算することとしました。このときの貯水池の面積は１平方キロメートルと仮定しています。

この場合、計算される貯水位はｍｍ単位で処理し、これを流入量計算の際の最小単位としました。これらの最小単位をもとに単位時間に増減した貯留量 V を求めることとしました。これらの方法をもとに（１）式により Q を計算した結果を Q_{imm} とします。

図－３には貯水池水位が正確に把握された場合の計算流入量（ Q_{ib} ）と貯水池水位がｍｍ単位で処理された場合の計算流入量（ Q_{imm} ）について、その計算結果を並べて表示しています。

図－３においては両者の計算流入量の計算結果（ Q_{ib} と Q_{imm} ）に殆ど差は出ていません。

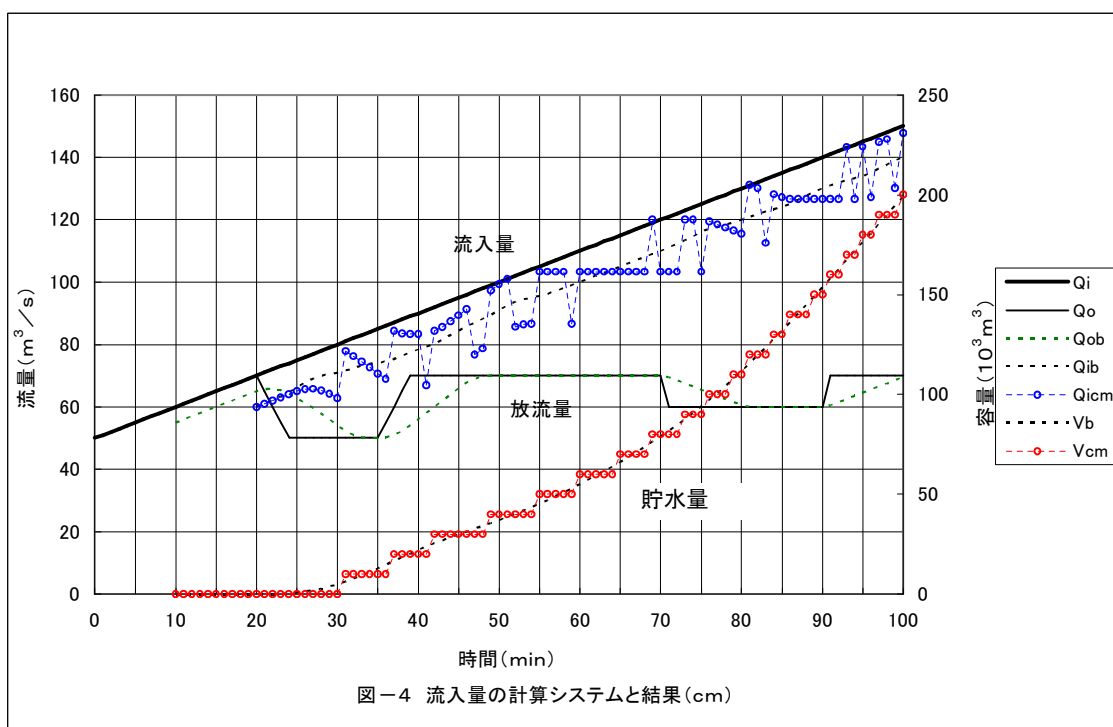
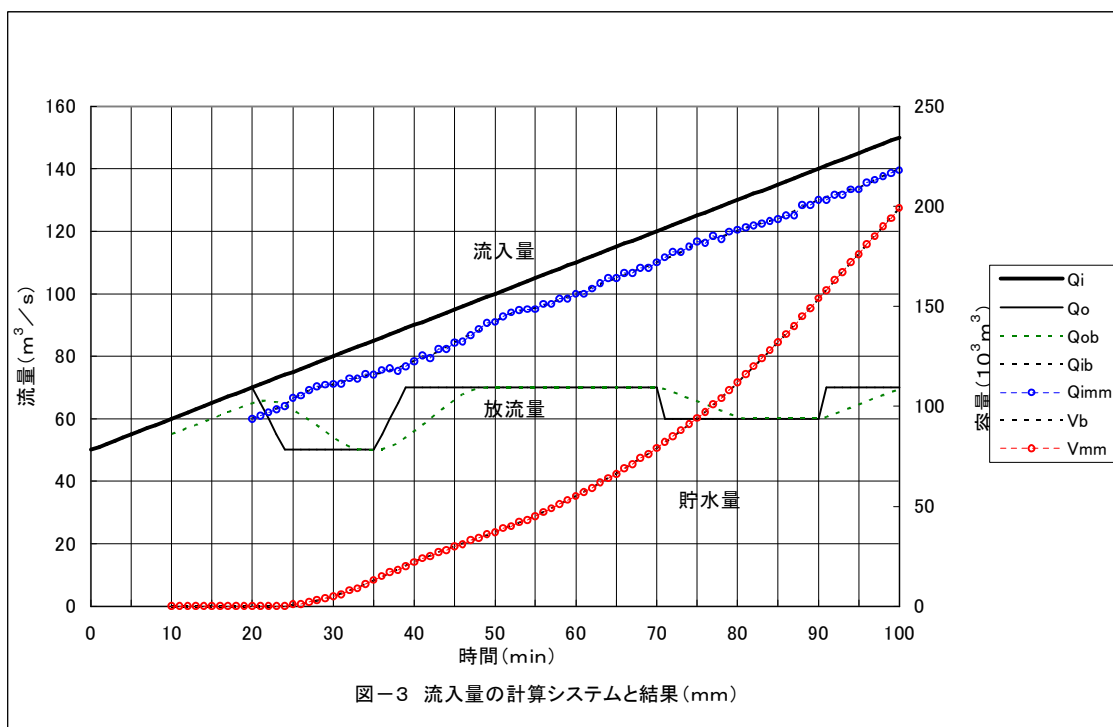
つまり、貯水池の水位の処理がｍｍ単位であれば流入量の計算単位としては妥当ではないかと考えられます。

・ケース－３ 貯水位がｃｍ単位で処理されている場合

つぎに、図－４には貯水池水位がｃｍ単位で処理された場合の計算流入量（ Q_{icm} ）を Q_{ib} と並べて表示しています。この場合は図－３の結果とはかなり乖離した結果となっています。

このことは少なくとも（１）式によって流入量を計算するとして、貯水池の水位をｃｍ単位で処理した場合には、流入量の計算精度の観点から無理があり、ｍｍ単位で処理される

必要があるということが出来ます。



貯水池水位には、単にモニターに表示する場合と、さらに流入量計算等の基礎資料として活用する場合の2通りがあります。

単にモニターに表示する場合においては、cm単位で表示しても支障ないものと思われ

ますが、さらにこれを流入量計算等に適用する場合においては、その後の放流量の計算など様々な結果に影響が及ぶことが予想され、mm単位で処理されたものを利用する必要があると云えます。

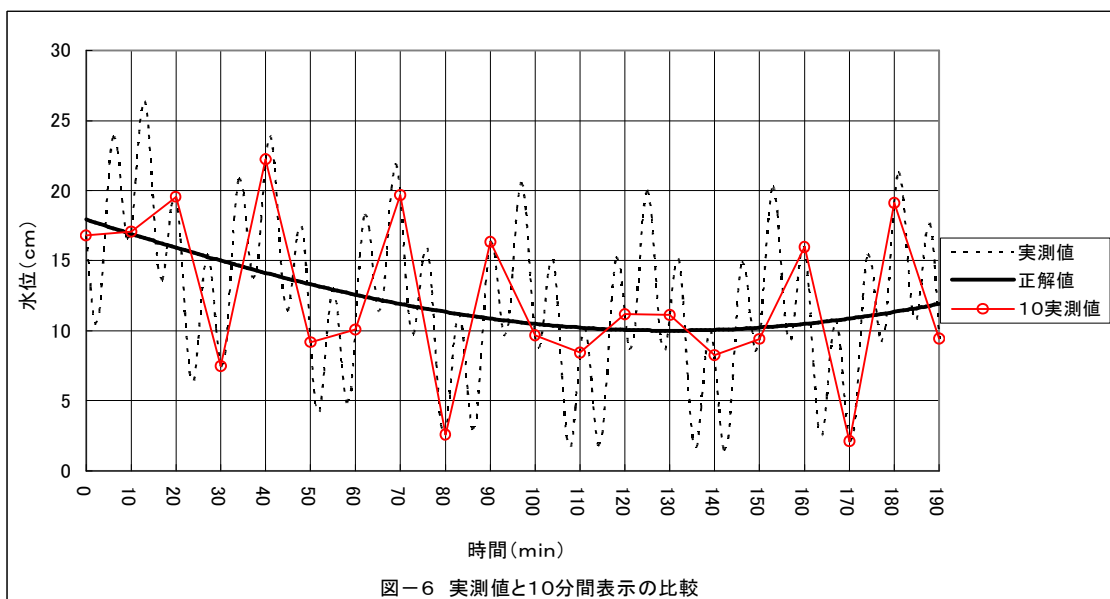
つまり、使用目的に応じてその計算精度は考慮すべきであります。しかしながら、残念なことですが、感覚的には「何かおかしいぞ!」とは思うものの、このような立場からの定量的な議論は現場では殆どなされたことはないのではないかと考えられます。

ケースー4 貯水位が波動により変動している場合

また、貯水池の水面は風、流入量の変化、ゲート操作による放流量の変化などにより攪乱されています。詳細は参考文献を参照してもらうこととしますが、このような状況の中で貯水池の水位が流入量計算に及ぼす影響について考えてみたいと思います。

図一2に示す流入量、放流量をもとにケースー2と同様に貯水量の計算をして、この貯水量(位)に振幅0.5cm、周期1100secの波動変動を付加してみました。このときの貯水池面積は1km²としています。

図一5においては、このような状況下における貯水量と流入量の計算結果を V_{bw} 、 Q_{ibw} として表示してみました。



この結果を見ると、貯水位（貯水量）の波動変動が流入量計算に敏感に影響していることが判ります。

以上、貯水位の把握の仕方と表示の仕方並びに波動の影響の度合いによって、流入量計算過程において様々な影響が及んでいることが判りました。

これらは、それぞれの要因が単独に作用することではなく、程度の差はあれ、それぞれの影響は複合して作用していることは言うまでもありません。

2. 貯水位等の変化状況はそれを見る時間間隔でイメージが異なる

つぎに、若干視点を変えて、連続的に変化する貯水位等を一定間隔ごとに見た場合のイメージの変化について考えてみたいと思います。

図一2から図一5にかけてはそれぞれの諸量を1分間ごとに表示しています。しかしながら、これらの諸量は10分間ごとに表示されることがあります。

図一6には波動のない正解の貯水位を「正解値」、波動の影響のある貯水位を1分間ごとに表示した場合を「実測値」、この実測値を10分間ごとに見た場合の値を「10実測値」として示しました。「実測値」と「10実測値」と「正解値」を比較してみてください。このように波動の影響を受けた貯水位等は図示する時間間隔により大きくイメージが変わる場合がありますので、貯水位の表示単位や波動の影響のみならず表示する時間間隔なども含めて様々な角度から評価・吟味する必要があると言えるでしょう。

まとめと今後の展開

以上、流入量計算にあたっての課題について考えてみました。これらをまとめると以下の通りです。

- (1) 貯水池への流入量の求め方としては、上流河川流量から換算する方法と一定時間間隔内の貯水量の変化と放流量の合計値として求める方法の2つの方法があるが、我が国においては後者の方法を採用している場合が多い。
- (2) 一定時間間隔内の貯水量の変化と放流量の合計値として求める方法においては、計算システムに起因する時間遅れと水位の2次平滑化に起因する時間遅れがあり、これらは的確なダム操作の支障となる可能性がある。
- (3) 貯水位の単位はモニターに表示する場合と流入量を計算する際の基礎データとして活用する場合とでは、その処理単位のあり方に留意する必要がある。
つまり、モニターに表示するのみの場合はcm単位で表示しても支障とはならない場合もあるが、貯水位をその後の流入量計算等に使用する場合で、一定以上の貯水面積の場合においてはmm単位で処理する必要がある。
- (4) これら、流入量計算における課題は的確な放流量の管理と貯水位の管理に支障となる可能性があり、適切な対応方策を講ずる必要がある。

以上、貯水位の測定から流入量計算に至る様々な特性について考えてみました。本来的には貯水位の測定精度の向上と適正な数値処理を行いながら流入量の把握制度を向上させていく必要があります。しかしながら、この方法だけに頼ることには限界があります。従って、流入量の把握制度の向上を図りつつ、一方では、変動量の少ない放流量の決定方法などの別途の方向からの考察も検討する必要があります。

流入量把握におけるこれらの課題を踏まえて、次回以降は適切なダム操作へ向けての対応方策について考察してみたいと思います。

[ダム操作よもやま話の目次に戻る](#)

参考文献

- (1) ダム管理の例規集 国土交通省河川局河川環境課監修 財団法人 ダム水源地環境整備センター編
- (2) ダム管理用制御処理設備標準設計仕様書（案）同解説 財団法人 ダム水源地環境整備センター編
- (3) HP : <http://www5b.biglobe.ne.jp/~mizu-ima/dam/index.htm>
キーワード ダム操作 今村瑞穂
- (4) ダム操作の理論と実際（未定稿） ダム操作研究会