

各章の要約

第1章 ダム操作の何が問題か

ダムの洪水時操作の目的は流入量を貯留して放流量を減少させ、結果として下流河道の洪水量を減少させることである。

しかしながら、このダム操作を確実に実行するためには、洪水調節に至るまでの準備段階が必要であり、洪水調節操作に入ってから、ただし書き操作に移行すべきか否かを常にチェックしながら状況把握を行わなければならない。

やむを得ずただし書き操作へ移行する場合においても常に洪水調節効果の維持に留意しながら操作を継続しなければならない。

洪水調節操作後においては、貯留した洪水を流入量に上積みしながら貯水位を低下させ次の洪水に備えなければならない。

社会的にも関心の高いダムの操作においては、アカウントビリティーが可能なように、「誰が操作をおこなっても同じ答え、何時行っても同じ答え」が出来るような操作規則とするべきであろう。

そのためにはダムの操作について、洪水の始まりから終わりまでの全ての段階を定式化することが近道である。

洪水時操作においては、洪水前期の洪水前放流操作、定水位操作、洪水調節操作、場合によってはただし書き操作、洪水後期の事後放流操作等のそれぞれ目的の異なる操作が同じ重みでつなぎ合わされたものであるとの認識が必要である。

また、これらそれぞれの操作相互間の移行をどのような情報と方法論に基づき判断し実行するかといった形で洪水時操作の全体を組み立てれば比較的工学的・体系的な立場からの問題解決が可能となってくるものと考えている。

洪水時操作においてその課題を解決するためには、それぞれの操作の課題は何であるかと言った立場からの関係者の共通認識が不可欠である。

洪水時のダム操作における課題としては

1. ダム貯水池への流入量を把握することは大変難しい。
2. 洪水前の特に貯水位が低い状態で洪水の迎え方の方法論が確立されていない。(いつから放流を開始するか判断が難しい。)
3. 定水位操作は考えているよりはるかに難しい。
4. いったんただし書き操作へ移行するか、8割水位に振り回されることなく、その判断をどのような情報により行うかについて検討の必要がある。さらに、ただし書き操作に移行した後における洪水調節効果にも留意する必要がある。
5. 気象予測情報は、予測精度の向上とともに、洪水時ダム操作において

どのような形で活用していくべきかという立場からの考察が必要である。

等をあげている。

これらの課題に対して、それぞれの操作メニューの特性分析と対応策を徹底的な定式化の中で整理していくものである。

第2章 貯水池への流入量の把握方法

ダム操作において、貯水池への流入量は「貯水位の上昇又は低下の時間割合から算出するものとする。」（正確には貯水量変化の時間割合と放流量の合算値）とされている。

この流入量の算出過程において、貯水池水面を攪乱する様々な要因（風、流入量の変化、放流量の変化、ゲートの操作等）により正確な貯水位情報の把握が難しく、これが、正確な流入量算定に影響を及ぼし安全で確実な操作の支障となっている。

流入量算出に当たって、その計算誤差は貯水位の観測誤差と貯水池面積の積に比例することがわかっている。

様々な攪乱された貯水位のデータをどのような形で処理して計算に反映しているかと言うと次の通りである。

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。

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。貯水池の波動の周期は最長で数10分にも及ぶものがあり、これらの長い周期の波動は10分間程度の移動平均で除去することは出来ない。

移動平均時間を長くすれば対応の遅れ時間が大きくなる。

この結果、操作上発生する様々な課題の要因ともなっている。

本稿では、時間の2次関数による最小自乗近似法を提案しこれらの課題への対策として、その効果を計量的に評価した。

その結果、2次関数近似法によりデータ一長を最長周期の4倍程度にして、これを2回繰り返すと、波動変動による影響の消去と時間遅れの解消に相応の効果を確認することができた。

第3章 ダム操作の解析的考察

第2章で流入量を高い精度で把握することの難しさを説明したが、流入量を正しく把握する方法を追求する一方で、流入量に頼らずとも操作の目的を達成

する方法について考察することも有効な方法である。

貯水池面積の大きいアメリカにおいては流入量の計算が困難であるため、直接水位から放流量を決定しているケースが認められる。ここでは、これらの方法を「水位放流方式」と定義する。

貯水位（貯水量）から放流量を決定する場合における放流量の水理特性についての一般論とともに、放流量並びに貯水量を管理する場合における方法論に対して、解析的な立場からの考察を行っている。

たとえば、貯水量の1 / 2次関数は流入量に対する一定率放流、貯水量の1次関数は流入量に対する遅らせ操作、2次関数は流入量に対して追いついていく操作であることがわかった。したがって、これらの関数を組み合わせることによって、貯水位による洪水時操作の実行が可能である。

また、貯水位により放流量を決定する方法では、操作の安定性の確保、条件付き放流への適応性を確認することが出来た。

条件付き放流量の決定方法としては、ここでは、下流河道の水位上昇速度をコントロールしながら貯水位も管理する方法（限界流入量法）、「流入量＝放流量」を目指しながら貯水位を特定の水位にコントロールしていく方法などを紹介する。

これらの方法は洪水時操作の複数の操作プロセスにおいて適用できるものであることから、まとめて本章において紹介することとしたものである。

その他の操作方法としては、貯水位により流入量の一部を貯留する操作（一定率放流）、貯水位を一定に維持する操作（定水位操作）、任意の貯水位への定水位操作に誘導する操作、その他については本章以降それぞれの章において具体的な操作への適用というかたちで紹介することとした。

このような観点から、洪水の始まりから終わりまでのすべての操作を水位のみによって行うという姿勢で考察を展開できればと考えている。

なお、解析全体において、流入量と放流ルール（放流関数）、水の連続式を連立させて放流量もしくは貯水量の時間変化を求めるケースが多いが、この場合解析の可能性のカギは不確定な流入量をいかに定式化して数学的に表現するかということである。このような観点から、解析の簡明さと流量の時間変化の表現のやりやすさの両面を考慮して、流入量を時間の1次関数として取り扱うことで考察を展開している。

第4章 洪水前放流

多くの現場では、洪水を迎える前に「洪水初期の対応が出遅れている。」「洪水になっていないのに貯水位が制限水位を超えている。」などの指摘を耳にすることもある。「なぜこのような結果になったのか？」その原因を正確に分析して

反論も出来ないまま泣き寝入りしている現場担当者もあるのではなからうか。

このような経過の中で、この数年、ようやく現場においても行政においても洪水前放流の課題についての認識が少しずつではあるが芽生えてきたように感じられることは喜ばしいことである。

洪水前放流の条件として

- ・ 放流に当たっては下流河道に急激な水位上昇を生ぜしめないこと。
- ・ 洪水時以外は洪水期制限水位を超えないこと。
- ・ 無効放流をしないこと。

の3つが設定されている。

しかしながら、ここに至って、洪水前放流の議論が3つの条件を如何にクリアするかと言った観点からの議論ばかりが目立っているよう感じられてならない。

洪水前放流で最も大切なことは、単に3つの条件を守るのではなく、つぎに続く洪水調節や水資源の補給に如何に円滑につながるための条件を整備するかということであることを忘れてはならない。

洪水時のダム操作は前述の通りいくつかの段階における操作とそれぞれの操作間の移行にあたっての判断によって構成されている。

前段の操作のミスが次の操作にドミノ的に悪い影響を及ぼすこともある。従って、それぞれの操作とともに全体のシステムの中で個々の操作がどの様なかたちで役割を果たしたかという視点からの評価も必要である。

ダム操作システム全体をながめた場合、洪水前放流操作に対しては他の操作に較べると相当に厳しい条件を満足するような要求がなされているにもかかわらず、「なぜ難しいのか。」「何が問題なのか。」と言った議論もなされることは少ない。

ここでは、

- ① 流入量を予測して、下流河道の水位上昇速度を優先的に満足する操作を実施する。
- ② 河道の水理特性、貯水池の空き容量などを考慮して、貯水量の2次関数によって放流量を決定する。
- ③ 河道の水理特性、貯水池の空き容量などを考慮して、貯水量の楕円関数によって放流量を決定する。
- ④ 2～3時間後の流入量を予測して、①の方法を基本として、貯水量の1次関数によるつなぎの関数により予測誤差の吸収を行う。

等々、複数の試みを行った。

その結果、河道の水位上昇の管理、貯水池の管理、次の操作への移行の管理などの面から考えてそれぞれに利害得失があることがわかった。

このような認識の上に立って、システムとしての洪水時操作全体の最適化を考える中で、洪水前放流のどの条件を優先して守り、どの条件を緩和出来るかと言った点からの考察も行う必要がある。

第5章 定水位操作

定水位操作は「流入」＝「放流」という一見単純に見える操作であるが、見方によっては最も難しい操作の一つである。

計算時間間隔内の貯水量変化から放流量を求め、これと同じ量を放流するという現況定水位操作システムにおいては、貯水位を一定に維持するという意図に反して貯水位は変動する。(流入量の増加過程において水位は上昇し、減少過程において下降する。)

この原因を解析的に明らかにするとともに、これらの課題を解消するための新たな考え方にもとづく定水位放流関数を提案した。

偶然にも、この定水位放流関数は減衰振動を表現する常2階微分方程式であることを発見した。この減衰振動方程式は振動周期と減衰状況を支配する2つの定数を適正に選択することにより、定水位放流関数の特性を安定したダム操作の観点から設定できる可能性を明らかにした。

このことは、逆に言えば、適切に定数を選択されない場合には共振現象に似た異常なゲート操作を指示するとか、ゲート作動の遅れを指示する原因ともなっている。

この関数が減衰振動方程式であるということは、適切に定数を設定すれば時間経過とともに本来あるべき放流量と貯水位に漸近していくという優れた特性を有していると言うことができる。さらに、この放流関数は定水位放流が流入量＝放流量という観点からは想像もできないことであるが、流入量に頼ることなく、すべて、貯水位のみによって実行されると言う特性を有している。

つぎに、このような定水位放流関数と言っても、任意の状態から無作為に定水位状態に移行することはできない。つまり、任意の貯水位と放流量の状態から、どのようなプロセスで定水位操作としての所定の貯水位と放流量に近づけていくかという課題がある。

本稿では、安定した定水位状態に近づけるためのつなぎの関数を提案している。つなぎの関数とはいえ、定水位放流関数の一つであるが、貯水位の波動変動の影響を受けやすく、長時間の定水位放流をする場合における自動化には馴染みにくい。

従って、定水位放流関数とつなぎの関数を適切に組み合わせて、それぞれの得失を生かしながらより好ましい定水位操作システムを構築していく必要がある。

第6章 洪水調節操作

現在、我が国において採用されている洪水調節方式について、その調節特性並びに操作特性について可能な限り工学的立場から客観的かつ定量的な分析を行った。

一定率一定量放流方式と水位放流方式は、ある特定の洪水波形に対して、特定の係数を用いれば、同じ放流量を実現できることを解析的立場から明らかにした。

また、水位放流方式は、標高方向に一定の貯水池面積を有する貯水池においては、自然調節方式並びに一定開度方式と同じ水理的特性を有することも解析的に説明した。

洪水調節特性については、一定率一定量放流方式と水位放流方式について、モデル洪水群を調節することにより、調節効果ならびに調節必要容量の観点から比較評価することとした。

それぞれの洪水調節方式には特有の利害得失が存在するが、どのようなタイプの洪水波形にも対応できると言ったオールマイティーな洪水調節方式は存在しないことがわかった。

また、様々な洪水波形に対処した場合、洪水調節効果の面からも調節必要容量の面からも全体の洪水波形に対処した場合の調節量と必要容量を洪水全体で平均した場合には、ほとんど同じ洪水調節効果と調節必要容量になることがわかった。

従って、どのような洪水調節方式妥当であるかについては、洪水調節効果や調節必要容量のみによって判断することは不可能である。

洪水調節のやりやすさ、操作の安定性などの操作特性をも勘案して適応性の高い方式を選択すべきである。

洪水調節方式の操作特性について整理すると以下の通りである。

(a) 洪水調節方式を流入量を基準に放流量を決定する方式（一定率一定量放流方式に代表され「流量系」という）と、水位によって決定する方式（水位放流方式、一定開度方式、自然調節方式などを言い「水位系」という）に大別してその操作特性を比較した。

(b) 流量系においては、貯水池の水位の観測誤差に起因する流入量の推算誤差が大きく、放流量決定に際して支障となっていることがあることが明らかになった。

これに対して、水位系において水位観測誤差による放流量決定に及ぼす誤差は、貯水池面積、貯水池容量など幾つかの要因に左右されるが、水位観測誤差が放流量決定に及ぼす影響は流量系に比べると小さいことが明らかになった。

(c) 流量系において仮に誤操作がなされた場合、その後の操作に影響を及ぼすが、水位系においては時間の経過とともに自動的に修正されていくことがわかった。

(d) また、操作を行うに当たって、考え方の単純さなどを総合的に評価すると、操作のやり易さ、事前放流操作や異常洪水時操作との連携性といった点から評価する限り、水位系が優位であるといえる。

(e) さらに、水位系の中でも、水位放流方式と自然調節方式を比較した場合、以下のようなことがいえる。

自然調節方式は、ハード的に水理諸元が固められており、一旦施設が完成すれば、その後の計画変更などに際して柔軟な対応が不可能である。

これに対して、水位放流方式においては、放流施設に水理的な余裕を持たせておけば、将来の計画変更に対してもソフトな面から十分対応できるという利点がある。

以上、操作の確実さ、簡明さ、将来計画への順応性といった観点も含めて評価すると、水位放流方式は総合的に見て適応性の高い洪水調節方式であると言える。

第7章 ただし書き操作

ただし書き操作について、その定式化とともに実際の異常洪水に対する対処の仕方について実態編を含めて説明している。

ただし書き操作に関するシナリオの中で現場における関係者等の意見も踏まえて以下の5点を制約条件として挙げた。これらの条件に対して、改めてこの段階で確認してみることにする。

- ① まず、許容最高水位になって予想される最大の洪水流量が放流できること。
(予想される最大洪水流量になっても許容最高水位を超えないこと。)
- ② 放流量が流入量に追いつくまでの過程では下流河道の水位上昇速度が許容される値以下に収められること。
- ③ 8割水位にこだわらず10割水位で収まる洪水については、出来るだけただし書き操作に移行することなく洪水調節が継続されること。
- ④ ただし書き操作に移行しても可能な限り洪水調節容量を有効活用して放流量の減少に努めること。

これらの諸条件に対して以下のような形で対処することが出来た。

- ① に対しては、放流関数の設定において、許容最高水位 v_u において当該洪水の予想最大洪水流量 q_u が放流可能となるよう措置することにより対処することとした。

- ② に対しては、本稿で提案した「限界流入量」を計算し、これが流入量より大きくなならない段階でただし書き操作に移行することで下流河道の水位上昇速度を所定の値以下にコントロールする方法を提案した。
- ③ に対しては、限界流入量と流入量の関係からただし書き操作へ移行するか否かの指標として、水位上昇速度を許容値以下に抑えつつギリギリまで洪水調節を継続することで、ただし書き操作への移行を遅らせることによりこの条件に対処することとした。
- こうすることにより、調節容量が10割以下の洪水については仮に8割容量を超えたとしても予測値に頼ることなく洪水調節を継続できる可能性があることが判った。
- ④ に対しては、流入量が減少傾向になった段階で新たに提案した式に基づく放流量の設定によって、貯水池空容量の有効利用とともに最大放流量の減少を図ることが出来た。

以上、ただし書き操作について幾つかの切り口から考察を展開したが、現状で得られる情報を最大限に活用することにより相当の改善の可能性があることを説明した。

これらの方法は定式化されているから誰が何時行っても殆ど同じ答えが得られるというメリットもある。このことは取りも直さず自動化が出来るということでもある。従って、ダム管理者はこの定式化の過程の全てを理解する必要性はないのである。このシステムの有効性を理解し認識して当該ダムのただし書き操作システムとして採用するという意志決定さえすれば、あとは殆ど自動制御によって実行できるような環境の整備が可能である。

以上、これらの考察の中で背景にあるものは、「流入量と放流量が同じであれば貯水位は絶対に上昇しない。」ということである。逆に、流入量に対して放流量が著しく小さい場合（流入量から放流量が乖離している場合）において貯水位は上昇する危険性がある。

しかしながら、洪水調節は流入量から放流量を低減させてダム下流の流量を減少させることである。従って、洪水調節とただし書き操作はそれぞれの操作の目的が真っ向から対立していることとなる。この対立する操作機能相互をいかに折り合いをつけていくかが、ただし書き操作の要点であるといえる。

ただし書き操作とは、洪水調節操作において流入量から大きく乖離した放流量を限られた条件（下流の河道水位の上昇速度、貯水池の空き容量）の中で一致させていく動作であるということに帰結する。

これら洪水調節操作とただし書き操作の分岐点として「限界流入量」がある

と言える。

第8章 ダム操作よもやま話

以上、第7章までは、洪水時のダム操作の構成要素毎の定式化とその特性について記述したが、本当にこのような現象が発生するのかとの疑念がないではない。

そこで、本章では現場において実際に発生した事例をもとに、どのように対処したかについて思いつくままに記述し、第7章までの考察の有用性について認識してもらうために紹介するものである。

目次に戻る

本稿への問い合わせ

今村瑞穂

〒816-0822 福岡県春日市ちくし台5丁目17番地

電話 092-585-3479

M a i l mizu-ima@mvd.biglobe.ne.jp

H P <http://www5b.biglobe.ne.jp/~mizu-ima/dam-2/index-dam.htm>