

ダム操作よもやま話 そのー6

～現場からの提言～

(株) テクノ 今村瑞穂

まえがき

これまでに「ダム操作よもやま話」として、「ダム技術」において、5つの課題について記述しました。(参考文献1～5)現場における課題を聞き取り、可能な限りダム操作を定式化しながら課題の原因を究明するとともに、その解決策について考察してきた結果を取りまとめたものです。

ダム操作の定式化と改善の方向付けという観点から、それなりの成果が得られたと思っています。しかしながらダム操作は極めて行政的な色彩が強く、そのために操作の一つ一つは細かく規則や規程等としてマニュアル化されています。

具体的には、「ダムの管理 例規集 国土交通省河川環境課監修 財団法人ダム水源地環境整備センター」(以下「例規集」という。),「ダム管理用制御処理設備設計仕様書(案) 同解説 財団法人ダム水源地環境整備センター」(以下「仕様書(案)」という。)などとしてまとめられています。

また、現場担当者は規則等と異なった操作を行って不都合が生じれば、規則等に従わなかったことによる責めを受けることとなります。

従って、現場担当者は規則等に対して極めて厳格であり、仮に、他により好ましい操作方法であったとしても、規則等に記載されていないことを理由に、現場で実行に移されることは困難な状況にあるといえます。

一方、ダム管理に関する規則等は、昭和40年新河川法が制定された段階から取りまとめられ、その後、殆ど改善されないまま今日に至っている部分もあります。

その間、ダム操作の現場では多くの経験をもとに操作技術的立場からの研鑽が積み重ねられ、今日に至りました。また、IT技術や気象予測の進歩などダム操作を巡る背景も大きく変化してまいりました。

しかしながら、このような中でダム操作に関する新たな知見が得られたとしても、それらは、規則等やその解説という形で整理されない限り現地での適用は不可能であると言えます。

従って、ここでは、これらのダム操作における新たな知見をどの様なかたちで規則等の中に織り込んで行くかについて「提言」とそれに対する「説明」という形で記述してみました。

提言ー1

モニターに表示されている貯水池への流入量はその計算過程から実際より時間遅れとなっている。このことがダム操作上において様々な課題を提起しているとの共通の認識に立って操作のあり方を考察する必要がある。

説明－１

ダム貯水池への流入量の計算方法としては「一定時間内（ ΔT ）の平均放流量と貯水量の変化の割合の合計値。」として計算される場合がほとんどです。

しかしながら、この方法には２つの課題が考えられます。

その第１は、流入量を計算するに当たっての時間遅れの問題があります。

ここで、流入量を計算する時間間隔を１０分間、 $\Delta T = 600 \text{ sec}$ と仮定しますと、当該時間内の貯水量の変化を ΔT で除した値と放流量の平均値の合計値として計算される流入量は基本的に実際の流入量より $\Delta T / 2 = 300 \text{ sec}$ の遅れとなります。

その第２は貯水池水位の波動変動に対する対処方法にあります。貯水池の水位は風、ゲート操作などにより攪乱されており、波動が発生しています。このことに起因して生じる貯水池水位の測定誤差を１cm、貯水池面積を 1 km^2 とそれぞれ仮定すると流入量の計算誤差は約 $17 \text{ m}^3 / \text{s}$ となります。

従って、流入量を正確に求めようとすれば、貯水面の波動による攪乱を除去して純粋に流入量と放流量の差を反映した値としての貯水位を得る必要があります。このようなことを踏まえて、貯水位の時間方向の平滑化を行う必要があります。

この平滑化時間を $T1$ とすれば、平滑化後の貯水位そのものは $T1 / 2$ の遅れになります。

従って、２つの処理過程における遅れ時間の合計値（ $T1 / 2 + \Delta T / 2$ ）が計算された流入量の遅れということになります。

貯水池水位の平滑化時間をどの程度にするかについては、波動の固有周期に支配されますが、この周期は貯水池の形状に支配され、長いものでは３０分（ 1800 sec ）を超える場合もあります。平滑化効果を期待して平滑化時間を長くすれば計算される流入量の遅れ時間が大きくなり、逆に短くすれば平滑化効果が減退いたします。このようなことから、その妥協点として、操作の現場では $T1 = 600 \text{ sec}$ 程度とすることが多いようです。（ 600 sec はあくまで平滑化による遅れ時間との妥協点であり、平滑化のために十分な時間という意味ではありません。）したがって $\Delta T = T1 = 600 \text{ sec}$ とすれば、貯水池の平滑化過程の遅れと流入量の計算過程の遅れの合計の遅れ時間は 600 sec ということになります。

この計算結果を、真の流入量として取り扱えば、ダム操作は当然の結果として 600 sec 遅れの操作となります。このことが、ダム操作の現場において様々な予期せぬ支障を及ぼすこととなります。

以上、貯水池への流入量の計算においては計算される流入量の遅れの問題と、貯水面の波動変動に基づく計算誤差の問題の２つの課題があることを説明しました。

これらの課題を正確に認識し、それぞれの誤差を回避するとともに、さらには、これらの貯水位の波動変動の影響を受けにくい放流量の決定方法と言った異なった角度からも考察する必要があります。

(この項における詳細な考察については文献 1 を参照してください。)

提言－ 2

適切に放流量を決定するためには正確な流入量と貯水位を把握する必要がある。

流入量や貯水位の把握の不確実性への対処方法としては流入量や貯水位の把握精度の向上を図ることはもとより、一方では流入量や貯水位の把握精度に左右されにくい操作方法について考察することが効果的である。

説明－ 2

我が国においては、ダムへの操作は一定率一定量放流方式に見られるように、主に流入量を基準に放流量が決定されるケースが多く認められます。

従って、正確な放流量を実現するためには正確な流入量を把握する必要があります。

しかしながら、流入量の把握精度は、説明－ 1 でも述べたように、精度の高い操作を実現するにおいては必ずしも十分であるとはいえません。また、放流量は、たとえば、「流入量が洪水流量に達して貯水位が洪水期制限水位になったときに洪水調節開始流量を放流する。」等といった、貯水量（位）との関係においてコントロールされる場合があります。

このような場合、流入量をもとに放流量を決定するより、貯水量（位）によって放流量を決定すれば、自動的に放流量と貯水量（位）の関係はコントロールできることになります。

また、貯水量（位）で放流量を決定する場合、貯水位の測定誤差にもとづく放流量決定誤差の方が流入量をもとに決定する場合より小さくなる場合があります。さらに言うと、貯水量（位）によって放流量を決定する場合は、仮に途中で何らかの理由により放流量に誤差が生じて時間経過とともに自動的に本来あるべき貯水位に収束していくという特性も持っています。

以上のような観点から、放流量決定の指標としては流入量のみならず、貯水量（位）の活用なども含めて総合的観点から合理的に設定されるべきものと考えられます。

以下、放流関数のかたちとして、どのようなものがあるかを以下の①～⑪のように定式化して整理してみました。

① 一定量放流操作

$$Q_o = q_o \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 Q_o ：放流量、 q_o ：計画放流量。ただし、 $Q_i > q_o$ のときに限る。

時間 t にも貯水量 V にも関係なく一定量 q_o を放流する方式です。一定量放流方式か、一定率一定量放流方式の後半部分にも適用します。

② 一定率放流操作

$$Q_o = \frac{(q_u - q_s)}{(q_p - q_s)} (Q_i - q_s) + q_s \dots\dots\dots(2)$$

ここで、 Q_i ：計算流入量、 q_u ：計画最大放流量、 q_p ：計画洪水流量、 q_s ：洪水調節開始流量

従来から採用されている一定率放流方式です。(1)式と併せて一定率一定量放流操作とすることもあります。

③ 貯水量の1/2次関数（一定率放流関数）

$$Q_o = K_1 \sqrt{(V - v_s)} + q_s \dots \dots (3)$$

ここで、 v_s ：洪水期制限水位時貯水容量、 K_1 ：定数、 V ：貯水量。

K_1 を適切に選択すると(2)式と同じ一定率放流を実現することができます。

④ 穴あきダムの放流量（自然調節ダム）

$$Q_o = C A \sqrt{H - h_0} \dots \dots \dots (4)$$

ここで、 C ：流量係数、 A ：放流管の断面積、 H ：貯水位、 h_0 放流管の中心標高

(2)式や(3)式に近い特性を持っていますが、放流管の諸元によって支配されます。従って、一旦放流管の構造を決定してしまうと放流特性を修正することが出来ません。

⑤ 貯水量の1次関数（遅らせ操作関数）

$$Q_o = K_2 (V - v_s) + q_s \dots \dots \dots (5)$$

ここで、 v_s ：放流開始時貯水容量、 q_s ：放流開始時放流量、 K_2 ：定数。

後述のように流入量に対して時間遅れ $1/K_2$ の遅らせ操作を実現することができます。

⑥ 遅らせ操作関数並びに定水位放流関数（流入量＝放流量）

$$Q_o = Q_i (t - T_1) \dots \dots \dots (6)$$

ここで、 T_1 ：放流量の流入量に対する遅らせ時間。

(6)式は、流入量に対して時間遅れを T_1 とするような放流関数です。

(6)式において、 $T_1 = 0$ とすると、従来から採用されている定水位操作の放流量です。計算する流入量が貯水位の変動により安定しないことがあり、計算流入量の時間遅れも加わるため貯水位を一定に保つことが出来ない場合があります。

(5)式で $K_2 = 1/T_1$ とすると(5)式と(6)式は基本的には同じ放流量を実現することができます。

⑦ 改良型定水位放流関数

$$Q_{o,n} = Q_{o,n-1} + k_3 (V - v_0) + k_4 (V_n - V_{n-1}) \dots (7-1)$$

ここで、 k_3 、 k_4 ：定数、 v_0 ：目標貯水量、 n ：階差式における計算ステップ。

階差式で表現した定水位操作の改良型のものです。(10)式で $T_1 = 0$ の場合と比較すると貯水位の管理が大幅に改善され、決定される放流量の安定性も改善されています。

仮に、初期放流量が流入量と同じでない場合においても、時間とともに流入量に対して収束して行くという優れた特性を持っています。 k_3 は放流量の目標に対する収束のスピードを支配し、 k_4 は振動しながら収束する放流量の周期を支配する定数です。

$$\frac{d Q_o}{d t}=K_3(V-v_o)+K_4 \frac{d V}{d t} (7-2)$$

(7-1) 式は階差式で示していますが、これを一般化して示すと (7-2) 式のようになり、この形で解析的な分析を行います。(7-1) 式も (7-2) 式も (6) 式で $T_1 = 0$ の場合と同じ目的の放流を実現することができます。

⑧ 擦り付け操作関数 (定水位操作)

$$Q_o = \frac{(V-v_s)}{(v_u-v_s)}(Q_i-q_s)+q_s (8)$$

ここで、 v_s : 初期貯水量、 v_u : 目標貯水量、 q_s : 初期放流量。

$V=v_s$ で $Q_o=q_s$ 、 $V=v_u$ で $Q_o=Q_i$ となります。任意の貯水量 v_s と任意の放流量 q_s の状態から、定水位状態 ($V=v_u$ で $Q_o=Q_i$) に誘導して、定水位操作を継続するという便利な式です。

⑨ 自由越流関数

$$Q_o = C B(H-h_1)^{\frac{3}{2}} (9)$$

ここで、 C : 流量係数、 B : 越流幅、 H : 貯水位、 h_1 : 越流頂標高

自由越流の際の放流量で、流下形態がオリフィス状態になれば (4) 式の形態になります。(4) 式と (9) 式の間には遷移領域が存在し水理的に不連続となる場合がありますから注意が必要です。

⑩ 貯水量の 2 次関数 (追いつき操作)

$$Q_o = A(V-B)^2 + C \dots\dots\dots (10)$$

ここで、 V : 貯水量、 A 、 B 、 C : 定数で、初期放流量と貯水量 (q_m 、 v_m)、上限放流量と貯水量 (q_u 、 v_u) の 2 点を通るように設定します。

放流量は流入量に追いついていく操作になります。

⑪ ただし書き操作関数

$h_m < H < h_d$ の時

$$a = \frac{(a_d - a_m)}{(h_d - h_m)}(H - h_m) + a_m (11-1)$$

$h_d < H < h_u$ の時

$$a = \frac{(a_u - a_d)}{(h_u - h_d)}(H - h_d) + a_d (11-2)$$

ここで、 a : ゲート開度、 a_m : 8 割水位時の開度、 a_d : サーチャージ水位時の開度、 a_u : 設計洪水位時の開度、 h_d : 8 割水位、 h_m : サーチャージ水位、 h_u : 設計洪水位、 H : 貯水池水位

ただし書き操作ルールを定式化するとこのような形になります。

以上、11ケースの放流量の決定方式について列挙してみました。これらの式の表現と説明としては不十分な点があるかも知れませんが、洪水時操作における放流量がどのような情報に基づき、どの様なかたちで決定されているかといった視点から見て頂ければ十分に目的を達成するものであろうかと思います。

これらの式について若干の分析を試みてみたいと思います。

これまで操作規則等において主に採用されてきたものは、①、②、④、⑥、⑨、⑪と言えます。新たに、③、⑤、⑦、⑧、⑩を加えて、ダム操作全体のあり方を考えてみることにしました。

これらの式について大まかに分類し、整理してみるとつぎのようなことが言えようかと思います。

- ・ 何らの指標にも左右されずに決定される放流量。

①の一定量放流量はほかの指標と関係なく決定される放流量です。

- ・ 流入量をもとに放流量を決定するケース。

②の一定率放流方式、⑥の定水位操作ならびに遅らせ操作は流入量をもとに放流量を決定します。

- ・ 貯水位により放流量を決定するケース

⑪はただし書き操作要領を定式化したものですが、貯水位によって放流量（直接的にはゲート開度）を決定するケースです。④は穴あきダムの放流量を示す式です。⑨は④がオリフィス流であるのに対して自由越流による放流量ですが、いずれの場合も水位によって放流量が決定されます。

- ・ 貯水量によって放流量を決定するケース

③は貯水量の1/2次式により、⑤は貯水量の1次式により、⑧は貯水量の2次式により決定されますが、Vの次数によってそれぞれ決定される放流量は独自の特性を持っています。また、⑦については貯水量のみによって放流量を決定することの出来る定水位操作関数です。

なお、貯水位によって放流量が決定されるケースと貯水量によって放流量が決定されるケースでは特性的傾向はほぼ同じといえますが、貯水位と貯水量の間にH-V関係が介在し、この関係が必ずしも定式的に整理できない場合があります、ここでは区別して整理しています。

- ・ 貯水量と流入量によって決定されるケース

⑧は貯水量と流入量によって決定されるケースです。

貯水量と流入量の関係を同時にコントロールすることが出来ます。

以上、様々な形の放流関数があることを紹介しました。これらは操作のそれぞれの段階で要求される特性に合わせて適用されることとなります。

例えば、

- ・ 洪水前操作やただし書き操作においては放流量が流入量に追いついていく操作で最終

的には「流入量＝放流量」になる操作ですから、⑧、⑨、⑩の関数が適用可能です。また、これに加えて⑪の関数もただし書き操作関数として適用されていますが、この場合は放流量というよりゲート開度を決定するルールですから放流量の特性との関連で直接的に議論することはできません。

- ・ 洪水調節操作においては、一定量放流操作については①の関数、一定率放流操作については②の関数と③の関数が適用可能です。④の関数はどちらかというと③の関数に近い特性を有していますが、H－Vカーブを介在していますから解析的にその特性を論じることはできません。
- ・ 定水位操作については、従来から⑥の（６）式で $T_1 = 0$ とした場合が適用されていますが、⑦と⑧の関数も効果的に活用することが出来ます。
- ・ 利水ダムにおける河川の従前の機能を維持していくための遅らせ操作としては、従来から実施されてきた⑥の（６）式のほか、⑤の関数も効果的に活用できる可能性があります。

以上のように、幾つかの放流関数の組み合わせからなる洪水時ダム操作のそれぞれの目的を達成するためには複数の放流量の決定方法があることが判りました。

それぞれの放流関数はダム毎に適用条件が異なりますから、それぞれの関数の特性を的確に捉えながら、適切な組み合わせを取捨選択して考えていく必要があるでしょう。

例えば、ダムの貯水池内に発生する波浪は流入量の把握に影響を及ぼしますから、そのような場合には波浪の影響の少ない貯水容量から放流量を決定する関数を選択するなどの対応が効果的であると考えられます。

この様な場合、貯水量で放流量を決定する放流関数においては、あらかじめ貯水量との関係において所定の放流がなされるよう諸定数を定めておけば自動的に貯水量と放流量の同時管理がなされることとなります。

この様な観点から、貯水量（位）により放流量を決定する操作方法（③、④、⑤、⑦、⑧、⑨、⑩、⑪）をまとめて「水位放流方式」と定義して、その他の放流量の決定方法と区別することとします。

貯水池の特性に合わせて上記操作方法から最も適切な方法を総合的観点から評価して選択する必要があります。

（この項における詳細な考察については文献５を参照してください。）

提言－３

貯水量（位）により放流量を決定する方法（水位放流方式）は貯水量（位）と放流量を同時に管理するという観点から効果的な方法である。この方法はケースによっては多くの利点を有することから検討の価値がある。

説明－３

貯水量（位）により放流量を決定する方法を「水位放流方式」と前述しました。

例えば、「洪水期制限水位において洪水量を放流する。」という条件があるとすれば、洪水期制限水位の容量で洪水量を放流するような放流関数を設定すれば、自動的にこの条件は満足されることとなります。

また、アメリカにおいては貯水位により放流量を決定する方法が採用されていますが、これは、アメリカの場合、貯水池面積が大きく流入量の計算が不可能に近く、このため流入量の計算誤差から派生する様々な課題を回避するための措置としてこのような方法が講じられているものと推察されます。

我が国においては、貯水池の面積は比較的小さいとはいえ、貯水池の波動現象から来る流入量の把握誤差にもとづく課題は程度の差こそあれアメリカの場合と本質的には同じであると言えます。

我々は、洪水調節と言え、図－１に示すようなハイドログラフとして見るのが一般的ですが、同じハイドログラフを図－２に示すような縦軸に貯水量、横軸に放流量として貯水量と放流量の関係として見ると異なった切り口から洪水調節を見ることが出来ます。

図－１と図－２の関係を時間経過とともに比較しながら相互の関係を確認してみてください。

例えば、先の、「制限水位で洪水量を放流する。」という条件は、図－１では放流量の変化と貯水量の変化を別途に見ながら、その都度、条件との整合性を評価する必要がありますが、（実際に自分で試行してみてください。この操作は意外に難しいことに気がつくはずです。）図－２においては貯水量と放流量の相関曲線が洪水期制限水位と洪水量から定まるポイントP1～P3を通るか否かによってその操作が適切であるか否かを判断することができます。また、相関曲線が、ポイントP1の上側を通過すれば放流の遅れ、ポイントP1の下側を通過すれば放流が早すぎたことを示します。

また、アメリカにおいて水位放流方式が採用されているということは、この方法によれば貯水位の把握誤差に対して効果的に対処できることを示している証と言えるでしょう。

さらに言うと、流入量から放流量を決定する方法は、一旦誤操作をすれば、その貯水位への影響はその後の操作に及ぶこととなりますが、水位放流方式においては、仮に誤操作をしたとしても、その後の操作により本来の操作による貯水位に自動的に収束していくという素晴らしい機能を有しています。

これらの図－１、図－２を大型の方眼紙に時間を追ってプロットしていけば全体の洪水調節の状況を異なった角度から確認しながら継続できますから誤操作の防止と今後の操作の方向付けの判断にあたってきわめて有効な情報となると考えられます。また、図－２に基づいて貯水位から放流量を図解的に決定していけば十分に精度の高い放流量を決定することも出来ます。是非、現場で試してみてください。これまで見えなかった部分が見えてくるはずです。

その他、水位放流方式による放流量決定の計算では同じ貯水位の測定誤差の下では、流入量をもとに放流量を決定する場合より放流量の決定に際しての誤差が小さいことが明ら

かになっています。

つまり、貯水池波動変動に対して決定する放流量の安定性が高いということです。

(この項における詳細な考察については文献3、文献5を参照してください。)

提言－4

洪水調節操作に入るまでの「洪水前操作」については考えられるすべてのルーチンを想定して戦略を策定しなければならない。

説明－4

洪水前操作においては、操作規則上は以下の3つの条件を満足する必要があります。

- 1) 放流量が洪水量を超える前に貯水位が洪水期制限水位を上回ってはならないこと。
- 2) 放流にあたっては下流の河道の急激な水位上昇を回避すること。
- 3) 無効放流とならないよう留意すること。

しかしながら、これらの3つの条件を同時に満足することは至難の業と言えます。

洪水前操作について、例規集などにおいても3つの守るべき条件のみは記述されていますが、これらの条件をどの様にすれば満足できるかについては記述されていません。

これらの3つの条件のうち1)と3)の条件を同時に満足するということは、放流量が流入量に追いつくまでの流入量を正確に予測しなければなりませんから、その操作は、いわゆる神様運転に相当します。更に加えて2)の条件を満足しなければなりません。

洪水前の操作の本質を正しく理解しようとすれば、まず、このことを認識しなければなりません。正しい認識の無いまま安易に洪水を迎えようとする、明確に原因を特定できないまま不安定な操作を強いられることとなり、多くの現場で洪水を迎える前に現場の担当者は疲れてしまうというのが現状であると言えるでしょう。

また、多くのダムで予期しないところで放流の出遅れにより洪水期制限水位を超過して当局より指導を受けるケースが少なくありません。

これには3つの要因があります。1つは、提言－1で触れたように、流入量の把握誤差によるもので予定したよりも貯水位が上昇してしまうことによるものです。

もう1つは、無効放流の防止に気をとられすぎて放流のタイミングを失したことによるものです。最後は、流入量による河道の水位上昇速度が制限値より大きく $30\text{ cm}/30\text{ min}$ で放流量を増加しても放流量が流入量に追いつけないケースが有ることです。

それぞれのダムで1度自然流入量による河道の水位上昇速度をチェックされてみては如何でしょうか？自然流入による河道の水位上昇が $30\text{ cm}/30\text{ min}$ を越えているケースが特に流域の小さいダムにおいて意外に多いことに驚かされます。このような状況では正しい洪水前操作を実行できるわけがありません。

「河道の許容水位上昇速度を小さく設定して置けば、より好ましい操作につながるのでは？」との勘違いからか、河道の許容水位上昇速度を小さめに抑えようとする操作計画を

策定する段階における雰囲気があるようです。このことが結果的に管理段階で現場担当者を苦しめることになります。河道の許容水位上昇速度の決定にあたっては後々の管理の重荷とならないように総合的観点から慎重に決定する必要があります。

また、細則に定められた放流量の増加ルールが下流河道のどの地点の水利特性に基づいて定められたかを説明できない場合が少なからずあります。それぞれのダムがどの地点のどのような観測所の水利特性をもとに策定されているかをそれぞれのダムで再確認しておく必要があると考えられます。

つぎに、洪水前操作は「放流を開始して、放流量が流入量に追いつき、定水位操作を実施した後に洪水調節操作に移行する。」という我々が頭の中に想定しているシナリオどおりには必ずしもなってはくれず、洪水は全く気まぐれに展開します。

したがって、洪水前操作は考えられる流入量、放流量、貯水量などの様々な状況の変化に対応して、適宜、柔軟に対応していく必要があります。

図一3、洪水前操作概念図として示したフローチャートをご覧ください。（丸数字で、1桁の数字は判断内容を示し、2桁の数字は操作の種類を示す。）

このフローチャートには利水放流操作⑩の状態から洪水調節操作⑭に至るまでの考えられるすべてのプロセスを示しています。このフローチャートにおいて、主なプロセスの展開を示すと以下の通りです。

- (1) 放流開始の判断に到らないため利水放流操作を継続する。

s t → ⑩ → ① n o → s t

- (2) 放流開始の判断をして、利水放流操作から、すり付け操作に移行したものの、流入量が洪水調節開始流量に達しないために水位上昇操作をして利水放流操作へ戻る。

s t → ⑩ → ① y e s → ⑪ → ② n o → ④ n o → ⑤ y e s → ⑬ → ⑥ y e s → s t

- (3) すりつけ操作に移行するものの定水位操作に移行しないまま放流量が洪水調節計画放流量に追いついたために洪水調節操作に移行する。

s t → ⑩ → ① y e s → ⑪ → ② n o → ④ y e s → ⑭

- (4) 定水位操作に移行して流入量が洪水調節開始流量を超えたため洪水調節操作に移行する。

s t → ⑩ → ① y e s → ⑪ → ② y e s → ⑫ → ③ y e s → ⑦ n o → ③ n o → ⑭

- (5) 定水位操作に移行するが流入量が洪水調節開始流量を超えないため、洪水調節操作に移行することなく、利水放流操作へ戻る。

s t → ⑩ → ① y e s → ⑪ → ② y e s → ⑫ → ③ y e s → ⑦ y e s → s t

それぞれ5つのプロセスをフローチャートと見比べながら洪水前操作の展開を考えてみてください。

このフローチャートの中で洪水流量に達する前に放流量が流入量に追いつき定水位状態になり、その上で洪水調節操作へ移行する、我々が通常想定している典型的な洪水前放流

とも言える、ケース（４）は洪水前操作全体の展開の一部に過ぎないことがわかっていただけたものと思います。

ここで、最も現場で苦勞することは、⑩の利水放流操作状態から⑪のすりつけ操作状態へ移行するか否かについての①の判断です。

⑩の利水放流操作状態から⑪のすりつけ操作状態への移行が遅れば洪水調節操作へ移行する前に洪水期制限水位を超える可能性があり、逆に、早すぎれば仮に流入量が洪水量に達しない場合には無効放流となってしまいます。

次に、仮に放流を開始したとしても、我々は、⑪すりつけ操作→⑫定水位操作→⑭洪水調節操作といった、定まった（４）のケースのみを想定しがちですが、洪水調節操作に移行する展開としては必ずしも⑫定水位操作を経由しない（３）のケースがあることも認識しておく必要があります。

つまり、上記（４）のケースのみを想定していて、その他の（２）、（３）、（５）のケースを想定していない場合、いわゆる想定外の展開に対して対応不可能となり、本番の洪水調節前に混乱が生じる場合があるので注意が必要です。

従って、洪水前操作といえども、起こりうるすべての展開されるケースを想定してあらかじめ操作上の対処方針を準備しておく必要があるというわけです。

それぞれのダムで具体的な貯水池の諸元、洪水量の諸元をもとに試行されることをお奨めします。

これら、洪水前操作の段階で混乱が生じれば、次に続く正常な洪水調節操作の実行に支障を及ぼすことになります。

アメリカにおいては、まず、水資源の確保を優先しつつ下流で必要とする水量のみを放流して貯水位の上昇をはかり、水資源の確保を確認した後、下流河道の水位上昇速度を守りながら放流量を増加することとし、その結果、貯水位が洪水期制限水位を超えることを許容しています。

こうすることにより洪水前操作の煩雑さを回避しているわけですが、貯水池容量の大きいアメリカにおいてはこのような対応が可能となるものの、比較的貯水池容量の小さい日本のダムにおいて、この考え方を適用するには無理があるように感じられます。

（この項の詳細な考察については文献３を参照してください。）

提言－５

現状の流入量計算方式と操作条件のもとでは厳密な意味での定水位操作は実質上実行不可能である。別途に放流量の決定方法と操作条件の設定が必要である。

説明－５

定水位操作は「放流量＝流入量」（（６）式において $T_1 = 0$ とする。）により実施され、容易に実行可能であるとの誤った認識が定着しています。しかしながら、この方法で定水

位操作を実行することは前述のように流入量の把握に時間遅れがあることにより実質的に不可能です。

仕様書（案）には定水位操作における放流量の計算式が提案されていますが、貯水位の波動変動に対する安定性に不安があります。そこで、（７－１）式または（８）式に示すような改良型定水位放流関数を提案しました。

しかしながら、貯水位を完全に目標水位以下に制御すること、また、流入量に対して決定される放流量も完全に「流入量＝放流量」とすることは、この関数においてもその数学的性質上不可能であることが解析的に説明されています。

このような観点から、目標とする管理水位は幅を以て設定すべきです。また、この関数とゲート操作の特性上、決定される放流量が流入量のある程度上回ることは許容すべきであると考えられます。

仕様書（案）では「洪水前操作」と「定水位操作」の２つの操作をまとめて「定水位操作」と定義して説明がなされています。しかしながら、これら２つの操作を１つにまとめて定義することには無理があり、さらに、定水位操作関数として提案されている放流関数についても安定性に疑問が残ります。

このような現状を踏まえ、新たな観点から（７－１）式又は（８）式に示すような放流関数の設定を行う必要があります。

（この項における詳細な考察については文献２を参照してください。）

提言－６

ただし書き操作においては利水ダムにおいて実施されている洪水処理のあり方とともに、これと並行的に考察し、河川の従前の機能を維持するとの観点から操作のあり方を考察しなければならない。

説明－６

ただし書き操作の方法については昭和５４年河川局長通達によっていますが、幾つかの改善が必要であると考えられます。

具体的には、河川の従前の機能の維持がなされていない可能性があるということです。「異常洪水時においては、ダム構造物の安全に留意することが第１であり、河川の従前の機能は必ずしも守る必要はない。」と受け止められるような見解を述べる人もありますが、次の２つの点から再考すべきであるといえます。

第１点目は、近年、「洪水時に急激に水位が上昇して逃げる余裕もなかった。」という一般の声が聞かれること。

第２点目は、利水ダムにおいては異常洪水時においても河川の従前の機能の維持を前提として洪水処理操作の条件付けがなされているということです。例規集の解説では「放流開始時点で放流に関する問題は発生しやすい。」との記述がありますが、異常洪水時の河道

の水位上昇も同様またはそれ以上に問題を発生する要因の1つであると考えられます。

このような観点から、ただし書き操作においても下流河道の水位上昇の制限を付け加えるべきと思います。ただし書き操作水位を8割水位と限定しなければ操作技術上河道の水位上昇速度の制限を加えることは十分に可能であると考えられます。

次は、ただし書き操作要領そのものの不備によるものです。

例規集の解説には「貯水位ゲート開度表は、ただし書き操作開始水位から設計洪水水位（または上限水位）までの1cm毎に作成するものとし、オリフィスゲートによる放流量も含め、ただし書き操作開始水位で計画最大放流量、サーチャージ水位で計画高水流量、設計洪水水位でダム設計洪水流量を放流できるものとする。」とあります。

しかしながら、この表現にも2つの点で問題があります。

1つは、「ただし書き操作開始水位で計画最大放流量を放流する。」とありますが、ダラダラ洪水で貯水位がただし書き操作開始水位になっても必ずしも放流量は計画最大放流量になっていないケースがあるということです。従って、別表-2「貯水位ゲート開度対応表」1枚では対応できず無数のケースを想定する必要があります。逆に1枚で対応しようとするればただし書き操作開始水位のところで放流量が不連続になると言うことを認識すべきです。

2つは、「サーチャージ水位で計画高水流量を放流する。」ということになっていますが、こうすれば、開度決定関数が2次曲線から直線に移行する点でスムーズに繋がらず折れ線となる可能性があります。そうすればこの点で水理的に不連続となってしまいます。このような観点から「サーチャージ水位で計画高水流量を放流する。」という表現は削除して別途の放流関数（例えば8割水位から設計洪水水位まですべて2次曲線とするなど）を考えるべきです。

これらの課題に対して、8割水位に拘ることなく、ただし書き操作について、次のような考え方で対処することを考えてみました。

異常洪水時の貯水位の過上昇を防止するために放流量を流入量に近づけるためには、現在の空き容量のみならず、現時点の流入量と放流量の差も同時に考慮して判断することとしました。

つまり、現時点の流入量と放流量の差が大きい場合には空き容量は8割水位時より低い段階から対処する必要があります。

逆に、現時点の流入量と放流量の差が小さい場合には空き容量が8割水位を越えたとしても十分に対応することが可能です。

そこで、流入量と放流量の差、空き容量、下流河道の水理特性の3つの要素を考慮して、「限界流入量」なる指標を定義しました。

「現在の流入量が限界流入量より大きい段階ではこれまで通りの洪水調節を継続し、流入量が限界流入量を下まわる段階でただし書き操作に移行する。」というルールを考えてみました。

その結果、大きな異常洪水では8割水位より早い段階でただし書き操作に移行し、比較的小さな異常洪水では8割水位を超えても現在の放流（計画的な洪水調節）が継続できるという結果になりました。つまり、異常洪水時においても8割水位以上の貯水容量を洪水調節容量として通常の洪水調節が継続できるケースがあるということが判りました。

また、逆に大きな異常洪水では8割水位より低い段階でただし書き操作に移行しますが、放流量の立ち上がり速度は許容の河道水位上昇速度以内にコントロールされて緩やかになるとともに最大放流量も現行のただし書き操作方式による場合より小さくなる傾向があることが判りました。

この「限界流入量」は洪水時操作における放流開始の判断においても有効です。（図—3における①の判断）

（この項における詳細な考察については文献4を参照してください。）

提言－7

気象予測結果の活用については、先ず、操作のあり方を確定し、その上に立って予測の活用を考えるべきであり、予測結果が操作のあり方に先だってはならない。

また、予測が外れた場合の対処方法をあらかじめ事前に講じておかなければならない。

説明－7

気象予測は操作の安全性と効果を増加させる有効な手段であることは言うまでもありません。「何時から降るか、降るか降らないか」の予測精度は人工衛星のデータを活用することにより格段に向上しました。しかしながら「何時、何ミリ降るか」の予測については多くの課題が残されており、ダム操作の現場においても同様の認識と評価がなされています。

予測値をダム操作に効果的に活用するためには、まず、ベースとなるべきダム操作のルーチンを築き上げ、その上に立って、予測の結果を活用すると言った方法で対処すべきだと思います。逆に言えば、予測に振り回されてダム操作の本質をないがしろにしてはいけないということです。

また、予測はあくまで予測ですから、その的中率にもよりますが、予測が外れた場合、（大きい方に外れた場合と小さい方に外れた場合）のバックアップの方法を必ず講じておく必要があります。

提言－8

新技術の現地導入にあたっては、例規集等の解説において従来方法と併記して現場での理解の促進を念頭におきながら、従来方法からの円滑な移行に留意しつつ慎重に対処すべきである。また、「ダム操作技術文献集」等を当局において監修され、技術情報の提供をはかることも一つの方法である。

説明－８

ダム操作技術はその検討成果を例規集や仕様書（案）（またはそれらの解説）として整理されています。一方、ダムの操作の現場はこれらの規定などと異なった対応をして失敗すれば厳しく咎めを受けることになります。従って、現場担当者は新技術とはいえその現場適用にはきわめて慎重であります。このようなことから、新たな技術提案についても、例規集や仕様書案に記載されない限り、現場ではなかなか実施されないのが現状であり、現場における操作技術の進歩の足かせとなっていることも考えられます。

また、これまで慣れ親しんできた従来の技術から新しい技術へ移ることへの不安もあるかも知れません。そこで提案ですが、例規集の解説の中で、従来技術と新しく提案された技術を併記して記載することとすれば、現場では新たな技術情報の提供とともに新しい技術の現場適用への免罪符となるのではないかと考えます。こうすることにより、従来技術と新技術を比較検討しながら新しい技術へ移行することが可能となります。

なお、従来技術と新技術の併記により記述内容が煩雑化することも懸念されます。このような場合においては、当局において推奨または容認できダム操作に関する新技術についての文献集としてまとめられるのも一つの方法かと考えられます。

参考文献

1. ダム操作よもやま話 その１ ～流入量把握をめぐる話題～
ダム技術 2012. 12
2. ダム操作よもやま話 その２ ～定水位操作について～
ダム技術 2013. 01
3. ダム操作よもやま話 その３ ～洪水前操作について～
ダム技術 2013. 04
4. ダム操作よもやま話 その４ ～洪水時の対応（利水ダムを通して見た洪水調節ダムの洪水処理）～ ダム技術 2013.05
5. ダム操作よもやま話 その５ ～様々な切り口からダム操作を見る～ 2013. 09
ダム技術 2013. 09
6. ダムの管理 例規集 国土交通省河川環境課監修 財団法人ダム水源地環境整備センター
7. ダム管理用制御処理設備設計仕様書（案）同解説 財団法人ダム水源地環境整備センター
8. HP1 文献.1～文献.5 までを下記のURLからアクセスできます。
<http://www5b.biglobe.ne.jp/~mizu-ima/dam/yomoyama.html>
9. HP2 「ダム操作の理論と解析」と題して下記のURLからアクセスできます。
<http://www5b.biglobe.ne.jp/~mizu-ima/dam/index.htm>
キーワード ダム操作の理論度実際 今村瑞穂