

多目的ダム放流設備の最近の諸問題

藤 本 成

1. まえがき

昭和57年度を初年度とする第6次治水事業5箇年計画においても、多目的ダム建設事業は治水の安全度の向上とともに水需要のひっ迫に対処し国民生活の向上及び産業の発展に不可欠な水資源を確保するための河川総合開発事業の中核をなす事業として事業の強力な推進が約束されている。

昭和57年度現在、建設工事段階の多目的ダムは建設省直轄で43ダム、補助で86ダム、実施計画調査段階の多目的ダムは建設省直轄で14ダム、補助で55ダムあり、水資源開発公団関係の多目的ダム事業を合わせれば実施計画調査段階以上の多目的ダムの総数は200ダム以上に達している。

戦後の我が国の多目的ダムは荒廃した国土の保全と経済再建という国家的要請を受けて治水、農業用水、発電を主たる目的として華々しくスタートしたが、昭和30年以後は経済の高度成長と相俟って都市用水の比重が著しく高まり、最近では治水、流水の正常な機能の維持ならびに都市用水を主たる目的とする多目的ダムが大半を占め、これに国産のクリーンエネルギーの適正化利用としての発電が参加する形式が徐々に増えつつある。

ダム放流設備とはダム貯水池に貯留された流水をダム下流の河道等に導くための設備の総称であって、その主たる機能は流水に対してダムの安全を確保するための機能、ダム築造後の河道としての機能ならびにダム貯水池に貯留された流水あるいは貯留効果を計画にしたがって有効に利用するための機能に要約される。

ここに最初の機能とは、ダムの堤体および基礎はある特定の貯水位を限度としてその安全性が検討されさらにダムの非越流部は絶対に越流されないことを前提として設計されるため、これらの設計上の基本となった前提条件を満たすように貯水位の異常な上昇を防止する機能のことである。また、この機能の一部としてダムの堤体の点検、修理等のため貯水位を低下させる機能が要求される場合もある。次の河道としての機能とは、ダムの築造によって減退した河道としての機能を貯水池と放流設備を組合せることによって積極的に除去あるいは緩和させるための機能であり、河道としての機能の中には洪水の伝播、流砂ならびに水質に関する事項が含まれている。最後の機能とは、ダムの築造の目的を適切に発揮させるための機能であり、洪水調節、用水補給等が貯水池使用計画に基づき適切に行い得るための機能のことである。

ダム放流設備は各種の型式、規模の放流設備を組合せることによってこれらの機能が全て適切に発揮できるものでなければならない。また、当然のことではあるが、ダム管理体制ならびに放流におけ

る操作方式等に適合する設備であることが必要である。

このため、ダム放流設備の計画・設計では常にハードおよびソフトの両面からの検討が必要であり最近の多目的ダムの放流設備における諸問題の多くはこの両者の不均衡から生じている。

ダムの放流設備は言うまでもなく一度施工されれば修正のほぼ不可能な設備であるから、計画・設計段階では管理段階を想定しこれに適合する設備とすることが最も重要なことである。これは、ダム管理者にとって管理の容易な、日常的表現を借りれば使い易い設備とすることである。

ここでは、最近の多目的ダム放流設備におけるこれらの問題について、計画設計の立場から2、3の話題を紹介している。

2. 異常出水に対するダムの安全

2.1 ダム設計洪水流量

ダムの設計では、貯水池の最高水位は最も基本となる設計条件の1つである。ダムの堤体および基礎はこの最高水位以下の貯水位の状態が生ずることが予想されるあらゆる荷重の組合せに対して十分な安全性が確保できるように設計される。また、堤体の非越流部はこの水位に対して越流を生ずることのないよう種々の余裕（付加高さ）を考慮した高さとされる。ダムの洪水吐はこの水位を越える異常な水位の上昇が生ずることのないよう十分な放流能力を有するように設計される。これらはいずれもダムの設計の基本事項であり、この前提となった貯水池の最高水位の設定が適切であること、すなわちこの水位を越える異常な貯水位の上昇を防止する洪水吐の機能が適当であることがダムの安全性を保証する要件となる。

戦後、我が国の多目的ダムは、洪水調節用ダムとしての適応性（洪水調節用貯水池では、必要な治水容量を確保するためには利用水深を大きくする必要があり、ダムの洪水吐の一部として中あるいは高圧の放流設備の設置が必要となるが、フィルダムでは堤体にこれらの設備を埋設することができないため、コンクリートダムに比して著しく不利になる。）、異常出水に対するダムの耐久性等を考慮して、ダム構造形式を例外を除きコンクリートダムに限定して事業を進めてきた。しかし、近年、基礎地盤の工学的性質がコンクリートダムの基礎として適当でないダム地点においてもダム建設の要請が強く、フィルダムを回避することが不可能な状況になっている。

フィルダムは周知のように、何んら補強されない堤体非越流部に堤体越流が生ずれば堤体材料の流出を招き破壊に直結する恐れが大きいため、異常な出水に対するダムの耐久性はコンクリートダムと同一の状況が生ずることを前提として比較すれば著しく小さいものと考えられている。このため、フィルダム計画を具体化するにあたっては、流水に対する耐久性の向上を図るための検討がなされるとともに、貯水池の最高水位の設定方法ならびに洪水吐の放流能力に対してより厳密な検討が必要となった。

コンクリートダムが大半を占めていた昭和50年以前の我が国のダム技術基準では、コンクリートダ

ムの設計対象流量は100年確率洪水流量、ダム地点の既往最大洪水流量、近傍類似河川の水象、気象の観測記録より推定される最大の洪水流量のうちいずれか最大の流量を設計洪水流量とし、この20%増の流量を異常洪水流量として、フィルダムに対してはいずれもこの1.2倍の流量を設計対象流量として、ダムの堤体、基礎、非越流部の高さおよび洪水吐の設計を行うこととしていた。

なお、実際には100年確率洪水流量を設計対象流量の基礎値とした例がほとんどを占めている。

フィルダム計画が具体化した後に制定された河川管理施設等構造令ならびにこの関係法令（昭和51年）では、ダムの設計で想定する最大の設計対象流量を「ダム設計洪水流量」と呼び、この流量がダムの洪水吐を流下するときの貯水位を「設計洪水位」と定義するとともに、コンクリートダムのダム設計洪水流量としては、

- (1) ダム地点の200年確率洪水流量
- (2) ダム地点の既往最大洪水流量
- (3) ダムの流域と水象、気象の類似する他の流域における水象、気象の観測結果より推定される最大の洪水流量

のうち、いずれか最大の流量を採用することとしている。また、フィルダムに対しては、コンクリートダムとしてのダム設計洪水流量の1.2倍の流量をダム設計洪水流量とすることとしている。

構造令に示されるこのダム設計洪水流量の算定基準は、政令としての性格上、従前の算定方法をそのまま是認したものであるが、より合理的かつ厳密に運用することを試みており、少なくとも既往の洪水の観測資料から推定される最大の洪水流量以上の流量をダム設計洪水流量として採用することを意図としている。

従前の基準と比較してみると、まず筆者らの行った検討結果から、我が国においては100年確率洪水流量の1.2倍の流量と200年確率洪水流量とはほぼ一致することから、ダム設計基準における100年確率洪水流量を基礎値とした場合の異常洪水流量と構造令のダム設計洪水流量の(1)の流量とは一致するものと見做することができる。また、(2)の流量は従前の設計洪水流量の基礎値と同一であり、(3)についても同様なことが言えることから、構造令の規定は決して新しく提案された算定基準ではない。しかし、構造令では、従前の取扱いにおいては異常洪水流量として設計のチェックに用いられていた値を設計の基本量に格上げしダム設計洪水流量としたことおよび(3)の取扱いにおいて従前の近傍類似河川の範囲を拡大しさらに厳密に実施すべきであることを示唆していることが大きく異っている。

これは構造令に付随して出された通達にみることができる。

この通達においては、(3)の水象の観測結果より推定される最大の洪水流量の算定方法として次式を用いてよいことが示されている。

$$q = C \cdot A^{\alpha} \quad (1)$$
$$\alpha = A^{-0.05} - 1$$

ここに、 q は比流量 ($\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$)、 A は集水面積 (km^2) であり、 C は地域係数と呼ばれる値であって

地域別にそれぞれ次の値が与えられている。

地域係数 C : 北海道47, 東北34, 関東43, 北陸43, 中部44, 近畿41, 紀伊南部30, 山陰44, 瀬戸内37, 四国南部34, 九州・沖縄50。

なお、地域区分の詳細については同通達を参照されたい。

ここで示される地域別比流量算定式は土木研究所の調査結果に基づくものであり、適用範囲は集水面積 20 km^2 以下の小流域を除く範囲とされ、地域区分の境界付近では実態に即した適切な運用を行うべきであることが付記されている。

この算定式は、我が国を水象および気象の類似する11の地域に区分し、各地域ごとに観測された洪水流量資料を比流量と集水面積の関係に整理しこれらの観測値を全て包絡する曲線を描くことによって導いたものである。なお、この方法はクリーガ他の“ダム工学”に示される方法と同一のものであるが、単位系が異なるため係数は同一ではない。

ここで最も問題となる地域区分については、地域の諸特性をどの程度考慮するかについて多くの議論がなされたが、最終的にはこの11地域区分案が採用されたとされている。

このうち、北海道および沖縄地域については観測資料が乏しく地域区分に際して問題を生じたが、北海道は気象特性よりみて東北地域と同一視することは困難であると判断されたため独立地域とされ、沖縄地域については資料が全くないことから九州地域に含めて取扱うこととされている。

なお、地域区分の境界付近の地域については通達にも示されるように実際に即した適切な運用が必要であり、とくに前述の北海道の南部については東北地域とほぼ類似した気象特性を示しておりこの地域の値を参考にすることが必要となろう。また、同一の地域の中においても気象特性よりみて特異な性状を示す小地域が多数存在することは事実であるが、小地域にまで細分することは構造令の意図に反する結果となるため、この地域区分においては長野県に属する信濃川および天竜川流域のみを特異な地域としてとりあげている。

なお、この算定式の作成に用いた洪水観測資料はいずれも既設のダムにおいて観測された既往最大の洪水資料であって、河川における資料は参考として使用するにとどまっている。これは流量観測所の位置の問題があり、ダム地点がいずれも河川の中、上流域に位置するため資料としてはダムの観測資料が主体となったためにとられた措置である。

このため、算定式より求まる流量は、厳密には河川における洪水のピーク流量とは性格を異にし、ある時間内の洪水ピーク流量の平均値と言える。これは、ダムにおいて観測される洪水流量の多くは貯水位の時間変化を基礎にして次式によって推定されるからである。

$$\bar{Q}_{in} = \bar{Q}_{out} + \Delta V / \Delta T \quad (2)$$

ここに、 $\bar{Q}_{in}$ および $\bar{Q}_{out}$ はそれぞれ貯水池流入量およびダムからの放流量の ΔT 時間の平均値であり ΔV はこの時間の貯水池貯留量の変化量である。また、 ΔT としては10～30分程度とされる。

したがって、算定式の基礎となった流量資料は時間平均流量であり、瞬間的な洪水のピーク流量ではない。しかし、貯水池においては流入量に対して貯留効果が常に作用することとなるから、同程度の規模の貯水池を対象としかつこの流量をダムからの放流量の設計対象流量として利用する限りにおいてはこの算定式で十分対応できることになる。ただし、このような性格の基礎資料に基づく算定式であるため、当然のことではあるが洪水到達時間の短いダムすなわち一般的にみて集水面積の小さいダムの資料が欠落しており、通達においても同式の適用を集水面積 20 km^2 以上に限定しているわけである。

なお、この算定式はあくまでもダム設計洪水流量を検討するための参考資料であって、実際には少なくとも地域内で生じた最大の洪水に係る気象の観測資料を用い適切な方法によって流出解析を行い流量を算定する必要のあることは言うまでもない。しかし、この算定結果をこのような方法で検討することが可能となったことにより流水に対する安全性を検討する指標の精度がより高まることが期待でき、安全性の一般的水準の向上につながるものと考えられよう。また、このような方法を導入することによって従来明確でなかった取扱いがより厳密になされることは確実であるから、ダムは少なくとも既往最大の洪水までは対処できるものと考えられる。

したがって、生起することが合理的に想定できる最大の洪水流量を基礎値とし、この20%増の流量をダム設計洪水流量とすることによって、フィルダムの流水に対する安全性の最低条件は満たされるものと考えられている。

しかし、この生起することが合理的に想定できる最大の洪水流量の算定方法については、さらに調査研究が必要であることは言うまでもない。

2.2 非常用洪水吐

ダムには構造令第7条の規定により洪水吐を設けることが義務づけられている。また、減勢工を除く洪水吐はダム設計洪水流量以下の流水を安全に流下させることができる構造とし、かつ洪水吐はダムの堤体及び基礎地盤並びに貯水池に支障を及ぼさない構造としなければならないことも同条に規定されている。ダム設計洪水流量として妥当な値を選定すればダムの流水に対する安全性を確保するための必要条件は設定できるが、ダムの安全性に直接関係する設計対象基本量は設計洪水位であるから、この設定が適切でなければ実際にはダムの安全性が確保されないことになる。ここに設計洪水位とはダム設計洪水流量がダムの洪水吐を流下するものとした場合の貯水位のことであるから、洪水吐の水利機能とその放流に関する操作ルールが定めれば自動的に算定できる。

この場合、洪水調節を含む多目的ダムの洪水吐は、一般に洪水調節を計画的に行うための常用洪水吐と洪水調節計画で想定した最大の洪水を超える流水に対処するための非常用洪水吐の2種により構成される。

初期の多目的ダムにおいては常用、非常用兼用の洪水吐を設けた例が数多くみられたが、最近では洪水調節容量を確保するために必要な水深が深くなり、洪水調節開始水位において必要な放流能力を

確保するためには常用洪水吐を放流管などの中あるいは高圧の管路式洪水吐とすることが必要になっている。これに対して、非常用洪水吐は、貯水位の異常な上昇を防止することがその設置目的であり、貯水位の上昇に対して放流量が急激に増大する型式の放流設備が好ましくかつ経済的にも有利な越流式洪水吐とすることが必要だからである。

したがって、設計洪水位は、ダムの非常用越流式洪水吐の水理機能とその放流の操作ルールによって定まることになる。

ダムの流水に対する安全性を確保するうえで最も確実な方法は、この非常用洪水吐を非調節型越流式洪水吐（自由越流式洪水吐）とすることである。堤頂標高を貯水池使用計画における最高水位であるサーチャージ水位と一致させ、かつ常用洪水吐から放流されることが操作ルール上確実である放流量と合せてダム設計洪水流量が放流できる越流水深が得られる高さを設計洪水位に定めておけば、貯水位の上昇にともなって設計洪水位に達すれば操作ルールに無関係にダム設計洪水流量が放流できることになるから、ダム管理上最も確実な方法と言える。

しかしこの設計は、自由越流頂の構造が適切であれば非常用として最も理想的な姿であるが、我が国の水資源開発の実情よりみれば過度に理想的すぎる点が指摘されている。これは、この設計では、サーチャージ水位以上に常時使用することができない空容量を異常な出水のために確保することが必要になり、貯水池の容量が有効に利用されないことになるからである。

なお、この空容量を小さくするためには必要とする越流水深を小さく、すなわち越流頂の幅を大きくとればよく、越流頂の幅を無限長にとることが可能であれば空容量を0に近づけることも可能になる。しかし、この場合はダム下流への洪水伝播上問題が生ずる。これは、サーチャージ水位以下ではダムからの放流量は洪水調節計画における最大放流量以下の流量に制限されるのに対して、サーチャージ水位を超えるとダムからはその時点の貯水池流入量にはほぼ等しい流量が瞬時に放流されることになり、ダム下流では急激な流量の増大を生ずる結果となるためである。

自由越流頂の構造は、貯水池の貯留効果が適切に作用するように設計することが必要であり、サーチャージ水位における湛水面積の小さい貯水池では越流頂の幅を小さくすることが必要になる。また非常用洪水吐から越流を生ずることによってダム下流に急激な流量増加を生ぜしめないためには、自由越流頂の高さを全幅に亘って同一にしないなどの配慮も必要になる。

このように非調節型洪水吐とする設計は、ダムの安全を確保するうえで最も有利な方法であるが、貯水容量が有効に利用できないこと、ダム下流に急激な流量増加を生ずる恐れのあることなど不利な点もある。そこで、非常用洪水吐の一部もしくは全部をゲートを有する調節型洪水吐とし、放流量の制御を積極的に行うことによってこれらの欠点を緩和する試みがなされる。

ただし、この設計では、ゲート操作が適切でありダムからの放流が確実に実施されることが前提条件であり、適切に操作されない場合にはダムならびにダム下流の安全は損なわれる結果となる。

非常用洪水吐ゲートに関しては、十分な代替措置が考えられないことから、とくに、(1)異常出水時

においても確実に開閉できること、(2)ゲートの操作ルールが的確であること、(3)ゲートの開閉に要する時間を含め操作を円滑に行うに十分な時間的余裕があることが設置に対する主たる条件となる。

ここに、(3)の条件はゲートの機能とダム集水域の出水特性ならびに貯水池の貯留機能に関する条件であり、降雨一流出の応答が短時間で行われる集水面積の比較的小さいダムあるいは貯水池の容量が相対的にみて小さく貯水位の上昇が急激に行われると予想されるダムにおいてはゲートを設置すること自体が問題になる。

現行の河川砂防技術基準案においては、集水面積が概ね 20 km^2 以下のダムまたは洪水調節容量の相当雨量（洪水調節容量を集水面積で除した値）が概ね 50 mm 以下のダムの洪水吐は常用、非常用を問わずゲートを有しない構造とすることが推奨され、とくにダムがフィルダムの場合にはゲートを設けないことを原則としている。また、集水面積が概ね 100 km^2 以下のダムの非常用洪水吐は、まずゲートを有しない構造として検討を進め、フィルダムの場合にはゲートを有しない構造とすることが望ましいとされている。

したがって、これらに該当するダムの非常用洪水吐はゲートを有しない洪水吐となり洪水伝播特性を考慮した構造とすることが必要なため、貯水池の貯水効率は著しく低下することになるが、ダムの流水に対する安全の確保はさらに重要なダム築造の条件であり、洪水予測の未熟な現段階においてはやむを得ない措置と言えよう。しかし、これはあくまでも暫定的な措置であり、近い将来洪水予測技術が実用化された段階においては空容量の有効利用が可能となるものと思われる。

(1)の条件に対しては、ゲートの開閉装置に常用動力設備のほかに(3)の条件を満たす予備動力設備をダム独自で設置すれば技術的に克服できると考えられ、この設置が義務づけられている。また、現在浮力を利用して無動力で行う型式についても各種の提案があるが、開閉動作制御の確実性に疑問もあり、まだ完全に実用化するに至っていない。

つぎに、(2)の条件であるゲートによる放流が的確に行われるためには、ゲートの操作ルールを単純かつ明快にしてダム管理者に指示しておくことが最も必要なことであり、予測による判断もしくは複雑な制御を意図とした操作はこの場合には適当でない。このため、計画を超える洪水の放流に関しては、放流操作開始水位を予め定めておき、これ以上の貯水位の上昇に対しては貯水位とダム放流量、実際にはゲート開度の関係を予め計画により定めた関係に固定して行う操作ルールが一般に採用されている。

したがって、この操作では、貯水位が把握できればゲート開度が与えられているから、ダム管理者がゲートの開動作を忠実に実施すればダムの設計条件に適合するゲートによる放流が可能になる。

なお、放流操作開始水位としては、洪水調節計画に基づく調節放流から計画を超える洪水の放流へと円滑に移行させるために必要となる貯水容量を確保するために、サーチャージ水位以下の貯水位で洪水調節容量の80%程度以上が確保できる貯水位を選定することが多い。これは、洪水調節容量に含まれる計画上の余裕を計画を超える洪水であることが確実に予測される場合には円滑に移行させるた

めの事前放流に利用することを意図したものである。

一般に採用されている操作ルールに規定される貯水位～ダム放流量の計画曲線は貯水位の上昇速度が最大の場合であってもダム下流の流量増加の割合が許容し得る範囲内に収まることが必要であり、非常用洪水吐をゲートを有する構造とした場合の設計洪水水位の高さはこの条件を満たす高さとするとともに、実際のゲート操作で過放流を防止するために必要となるゲート動作間隔に対する時間的制約によって生ずる貯水位の上昇量も付加した高さとする必要がある。

これは、実際のゲート操作においては、ダムによる過放流を防止するためゲートの開動作は断続的に実施され、1回の動作終了後は新しく設定されたゲートの状態に対する貯水池の挙動を把握するためある時間ゲートを停止させておくことが必要であり、ゲートの操作に要する時間としてはゲートの開閉に要する実動時間とともにこの待ち時間を加えた時間が必要となるからである。

非常用洪水吐のゲートは、この操作ルールに示される放流に適合し、(3)の条件を満たす型式、規模ならびに機能とすることが必要である。

この場合、我が国においては、ゲート型式としてはラジアルゲートやローラゲートなどの引上げ式ゲートとし、開閉速度としては 0.3 m/min として、ゲートの高さを調整することによってこの条件に適合するよう選定するのが通例となってきたが、最近では越流式ゲートの採用も検討されている。

これは、非常用洪水吐の設置目的である貯水位の異常な上昇の防止に対して常に越流状態が確保できる越流式ゲートが有利であると考えられることおよび非常用洪水吐の操作対象となる異常出水時におけるゲートの操作が引上げ式ゲートより容易であると考えられることによる。また、引上げ式ゲートにおいて部分開放状態から全開状態に移行するに際して流量制御が不可能になることも越流式ゲートが着目される理由でもある。

越流式ゲートとしては転倒式、ドロップ式あるいはドラム式ゲートが想定され、高さ $4\sim 5\text{ m}$ 程度以下のゲートが検討の対象となっている。

越流式ゲートをダム洪水吐に採用した例は我が国では皆無に等しく、実用化するためにはさらに調査研究を要するものと思われるが、近い将来においては引上げ式ゲートと同様ダムの非常用洪水吐ゲートとして一般化することが予想される。

非常用洪水吐におけるゲートの設置は我が国の数少ない水資源開発地点の貯水容量を最大限に活用するためにとられる措置であるが、ゲートの操作によってダムの安全が左右されることから、ダム管理者が十分な余裕を持って操作しえるゲートの範囲を逸脱することのないよう特に慎重に行うべきであり、またそのためにはゲート操作をより適切に行いえるようダム管理設備の充実を図る必要があることは言うまでもない。

3. 多目的ダム放流設備の操作

3.1 多目的ダムからの放流

多目的ダムにおいては、貯留された流水を放流することができる場合、また、そのときの放流量ならびに放流量の増減の方法等については、ダム操作規則によって厳密に規定されている。

ダム操作規則とは、(1)洪水期間、かんがい期間等の別を考慮して定める各期間の最高および最低の水位ならびに貯留および放流の方法、(2)ダム本体および操作に必要な機械器具等の点検および整備、(3)ダムを操作するために必要な気象および水象の観測ならびに放流の際にとるべき措置に関する事項、(4)その他ダムの操作に関し必要な事項について規定したものであり、多目的ダムの操作はすべてこの操作規則にしたがって実施される。

このダム操作規則において貯留された流水を放流することができる場合は、次のように規定されている。

1. 貯水位がサーチャージ水位を超えるとき。
2. 貯水位が常時満水位を超えるとき。
3. 非洪水期間から洪水期間に移るに際し、貯水位を制限水位に低下させるとき。
4. 洪水期間において貯水位が制限水位を超えるとき。
5. 予備放流を行うとき。
6. 洪水調節を行うとき。
7. 洪水調節等の後に貯水位を低下させるとき。
8. 洪水に達しない流水の調節を行うとき。
9. 流水の正常な機能の維持及びかんがい用水の補給のための放流を行うとき。
10. 水道用水、工業用水の補給のための放流を行うとき。
11. ゲート等の点検または整備を行うため特に必要のあるとき。
12. その他、やむを得ない理由により放流を行うとき。

なお、これらの事例が全て適用されるのは、洪水調節、流水の正常な機能の維持及びかんがい、水道用水、工業用水を目的とする多目的ダムで、洪水調節容量の確保はサーチャージ、制限水位、および予備放流を併用する場合である。また、発電を目的に含む多目的ダムでは、発電の使用水量を差し引いた流量がダム放流設備から放流すべき量となる。

放流量の増減の方法に関しても規定があり、放流は下流に急激な水位の上昇を生じないように行うことが原則とされる。実際には、ダム下流において流量変動に対して水位変化が最も激しい箇所を数箇所選定し、これらの基準点において放流開始後1時間までは30分間の水位上昇量が50cm、開始後1時間以後は30分間の水位上昇量が1m以内であれば許容できるものとし、基準地点の水位流量曲線より30分間に増加させ得る流量を求め、これを流量増加の制限とする方式が採用されることが多い。また同時に、ゲート操作の最小時間間隔についても放流開始後1時間までは5分、それ以後は10分間隔とする例が多い。

なお、この規定には、気象、水象その他の状況により特に必要と認められる場合においては流入量

の時間的増加の割合を限度として放流できるただし書きがある。また、緊急かつやむを得ない理由により放流を行わなければならないときは、この規定によらないことができるとされている。

3のように長期間貯留された流水を放流することによって貯水位を低下させる場合は、できるだけ緩やかに行うことが必要とされている。これは、貯水池周辺の地山は長期間の湛水によって水圧的には平衡状態にあるが急激に貯水位を低下させると残存間隙水圧によって地山の安定が損なわれやすく地すべりの発生する恐れがあるためであり、貯水位の低下速度を1日当り1～1.5 m以内に規定している場合が多い。

また、5の洪水調節における予備放流の採用は円滑に実施することができれば、同一の貯水容量を多目的に有効に利用できるため、治水利水の両者にとって最も都合の良い方法である。しかし、洪水予測精度に問題があり、ダム管理者からは予備放流の開始時期の判断決定が非常に難しいことが指摘されているため、最近のダム計画では採用しないことが原則となっている。

多目的ダムの放流設備は、これらの放流が確実に実施できる機能を有することが要求されるとともにそれらの放流がダム築造後の河道の機能を維持するものでありかつ操作規則に示される放流の諸条件を満たすものであることが要求される。また、同時に、ダム設計の前提となった流水に対する安全弁としての機能を適切に発揮できるものでなければならない。

3.2 河道としての機能維持

河道にダムが築造されると洪水時における従前の機能維持がまず問題とされる。これは、洪水時におけるダム操作が適切でないと河道貯留の減少、洪水伝播速度の増大あるいは背水、背砂の影響等の機能の減殺が生ずるからである。

ダムが洪水調節を含む多目的ダムの場合、洪水時には貯水位を下げて洪水を迎えかつ計画的に洪水調節を実施するため、これらの機能の減殺は特に問題とならない。しかし、堆砂による貯水容量の減少とこれにともなう背砂の影響については、多目的ダムにおいても深刻な問題となりつつあり、何んら措置することなく放置すれば将来重大な問題を生ずる恐れのあるダムも少なくない。これらのダムでは、人為的な堆砂除去の方法が積極的に検討されているのが現状である。

多目的ダムでは、ダム堆砂については貯水池機能保全上利水専用ダムと同様な問題をかかえているが、これとともに流水の水質保全に関する問題が最近ではより重要な課題となりつつある。

現在、我が国のダム貯水池において流水に関して環境保全上問題となっている事項としては、流水の正常な機能の維持に係る水量に関する事項とともに、水温、濁度、貯留水の富栄養化などの水質に関する事項がある。

貯水池におけるこれら水質の問題は、河川流況を平滑化するため一時的に貯留（停留）させた結果生ずる副作用であって、貯水池の効能に対する宿命的な性格のものであるが、自然環境に及ぼす影響を考えかつ広範な社会的要請に対処するためこの制御に最大の努力が要求されている。このため、これらの問題は近年の水工学における重要課題の1つとしてとりあげられ、多くの研究者の努力によ

て数多くの優れた成果が発表されていることは周知のとおりである。

構造令においてもこの問題に対して慎重な配慮が望まれることから、ダムには河川の流水の正常な機能を維持するために必要な放流設備を設けることを規定している。

ダム放流設備によるダム放流水ならびに貯水池貯留水の水質制御への適応性は、貯水池内流水の流動形態と密接な関係を有する問題として取扱われている。これは、貯水池内流水が水質に関して完全に一様であれば、現在のダム放流設備のように物理的あるいは化学的な水処理機能を有しない設備では水質の制御は通常の方法では不可能だからである。

この場合のダム放流水の水質制御は、放流設備として貯留水を直接放流する型式を採用せず、貯水池流入水を貯水池を迂回する水路に導きこの流水を貯水池から直接取水される流水と混合させることによって間接的には行うことができる。また、この方法により貯水池内流水の水質制御も一部可能になるであろう。

しかし、我が国の大規模貯水池では、水質指標に関して一様にならず、主として水温によって成層化することが知られている。また、これが、ダム放流水における冷水問題や濁水の長期化を発生もしくは助長させる要因でもある。

外部条件が水温成層の形成維持の条件を満たす場合、実際に貯留された流水に水温成層が形成されるか否かを判定する指標については、すでに多くの調査研究があり各種の提案がなされているが、水温成層の形成過程は水象、気象、貯水池の運用、放流設備の配置等の要因が複雑に関連する現象であるため、これらを包含する統一の指標を見出すことは困難であるとされている。

建設省が実施した全国既設ダムのうち85ダムについての貯水池内流水の流動形態と水理指標との調査結果によれば、次の結果が得られている。

I 類 $\alpha < 10$, $F_b < 0.01$, $\alpha_7 < 1$

II 類 $10 < \alpha < 30$, $0.01 < F_b < 0.05$, $1 < \alpha_7 < 5$

III 類 $30 < \alpha$, $0.05 < F_b$, $5 < \alpha_7$

ここに、I 類：成層が形成される可能性が十分ある。

II 類：成層が形成される可能性がある程度ある。

III 類：成層が形成される可能性がほとんどない。

であり、 $\alpha = V_i / V_t$, $\alpha_7 = V_7 / V_t$ であって、 V_i は年間総流入量、 V_7 は7月の総流入量、 V_t は総貯水容量である。また、 F_b は内部フルード数の1種であって次式で表わされる。

$$F_b = \left(\frac{LQ}{HV_t} \right) \sqrt{\frac{\rho_0/g}{(-d\rho/dz)}} = \frac{v}{\sqrt{gH}} \sqrt{\frac{\rho_0/H}{(-d\rho/dz)}} \quad (3)$$

ここに、 L は貯水池長、 Q は平均流入量、 H は貯水池平均水深、 v は貯水池内平均流速、 g は重力加速度、 ρ_0 は基準密度、 $d\rho/dz$ は平均密度勾配である。

I 類および II 類に区分される貯水池では、外部条件が水温成層の形成維持の条件を満たす期間は貯

水池内流水は成層化することが予測できる。また、成層状態にある貯水池では、放流に際して水深方向に放流する層の選択を行えば水量とともにその層に含まれる水質の制御が可能になる。さらに、この放流操作によって貯水池内流水の水質制御も可能となる。

ダム放流設備にこの選択放流による水質制御を含めて行わせるためには、放流すべき層を選択できる機能を具備させることが必要になる。

構造令で義務づけられる流水の正常な機能を維持するための放流設備として、成層化する貯水池では選択放流の方法が有効であり、最近の多目的ダムにおいてはほとんど全てのダムにおいてこの機能を具備した設備が設けられている。

しかし、この方法が有効になるのは成層状態が形成維持される貯水池に限定され、これ以外には効果がない。この場合、Ⅲ類に区分される貯水池では貯水池内流水の回転が早いのが特徴であるからダムに起因する水質問題は生じにくく環境保全上の問題は少ないが、Ⅰ類あるいはⅡ類に区分される貯水池ではダムの影響が継続することとなるので適当な対応策の開発が必要になっている。

また、多目的ダムにおいては洪水調節あるいは用水補給による貯水位の変動が大きいのが特徴であり、このような水位変動の激しい貯水池における選択放流操作の有効性ならびに最適操作法については富栄養化防止対策としての効果を含めさらに調査研究の必要な課題となっている。

3.3 操作の自動化

多目的ダム放流設備の操作においても自動化の要請が非常に強い。これはダム管理に要する人員の削減を図るためにも必要であるが、さらに、各種の放流制限を満たす放流操作を長期間に亘り正確に実施するために必要だからである。

このため、最近ではほとんど全てのダムの放流設備制御装置の中にこの自動制御の機能が組み込まれている。また、ダム放流設備の計画設計においても、この自動化の要請に適合した型式、規模の選定が必要になっている。

多目的ダムにおいて貯水池に貯留された流水を放流できる場合についてはすでに述べたとおりであるが、これらの放流をその操作目的によって分類すれば次のようになる。

1. 洪水時に定められた貯水位を維持するための放流（前出 1，以下同様）
2. 非洪水時に定められた貯水位を維持するための放流（2，4）
3. 非洪水時に定められた貯水位へ水位を低下させるための放流（3）
4. 洪水調節にともなう一連の放流（5，6，7）
5. 非洪水時に基準点において定められた流量を確保するための放流（9，10）
6. その他の放流（7，8，11，12）

これらの放流をゲートあるいはバルブの調節操作により行う場合、放流設備の操作方式として、1～5の放流区分の選択を含めて完全に自動化する試みもあるが、通常は非洪水時の放流である2，3および5については自動的に算出される目標開度に対して放流設備も自動的に操作される全自動操作方

式が、また、洪水時の放流である1および4については自動的に算出される目標開度に対して操作員が確認し放流設備の開度操作も人為的に行う半自動操作方式が志向されている。また、6については恒常的に必要となる放流ではないため、自動化の対象から除外される。なお、ここに目標開度とは、各種の放流制限を満たすように修正された開度のことであり、放流設備の操作順位あるいは異なる放流設備間の開度差の条件、起動時間差等もこの中に含まれる。

非洪水時の放流に全自動操作方式が志向される理由は、前述の自動化の要請の理由がそのまま該当するとともに、放流設備の規模が適当であれば放流のダム下流に及ぼす影響は十分小さいと考えられることによる。これに対して、洪水時の放流を半自動操作方式とするのは、ダムから放流する流水が洪水規模であり、下流に及ぼす影響が非常に大きいため、放流設備の誤動作を完全に防止することが必要だからである。

非洪水時の放流で全自動操作方式が採用される2、3および5のダム操作は、それぞれ定水位制御、減水位制御および設定流量制御と呼ばれる。

定水位制御は一般に水位偏差方式により行われる。水位偏差方式とは、設定水位を上限水位としこの下側に制御水位幅を設け貯水位をこの範囲内に維持する制御方式で、実際には定水位制御開始水位（＝設定水位－制御水位幅）からの水位上昇量に対して予め定められた流量が放流できるようゲート等を動作させる方式である。制御水位幅としては20～40 cm程度とされ、ゲート等の動作の対象となる単位水位変化量は1～2 cm程度とされる。また、水位変化量（ ΔH ）と放流量（ Q_o ）の関係としては、ダム下流の放流制限に適合させるため、一般に $Q_o \propto (\Delta H)^2$ が採用される。 ΔH ＝制御水位幅として算出される定水位制御操作時の最大放流量は洪水調節開始流量と等しい流量とされる。

減水位制御は定水位制御と全く同一の水位偏差方式により行われる。ただしこの場合には、設定水位は時間の関数となり、計画で定められた水位低下速度にしたがい時間の経過とともに自動的に更新される水位となる。

設定流量制御は、設定される流量に対して流量許容変動量（不感帯）を定め、これを超える流量変動を自動的に修正する形で行われる。

なお、これら以外に定水位制御の関連動作として事前放流制御がある。この事前放流制御とは、貯水位が用水補給等のため定水位制御開始水位より低下している場合に、この水位まで流水を全て貯留し、この水位を超える水位の上昇に対して定水位制御を作動させるとダムからの放流量を急激に増大させる必要が生じ好ましくないため、定水位制御開始水位以下の水位より除々に放流を開始し、定水位制御への移行をより円滑にするための制御である。

したがって、最近のダム放流設備の計画設計においては、これらの制御が自動操作方式により行われることを前提としてその型式、規模の選定を行うことが必要であり、個々の放流設備の適用範囲ならびにそれに基づくダム放流設備としての組合せが特に問題となる。

これは、放流設備の適用範囲を安定した流量制御が可能な範囲に限定すれば、それらは開度0%か

ら100%までとは限らないからである。

例えば、越流頂に設置されたラジアルゲートやローラゲートのような引上げ式ゲートにおいては、流水が安定した部分開放流状態となりゲートによる流量制御が適切に行い得る範囲は、ゲート開きが水深の50%程度より小さい範囲に限られるとされている。これは放流管に設置される高圧ゲートの場合にも同様なことが言える。放流管では、ゲート刃先が流水に接しない完全な全開状態では当然のことではあるがゲートによって流量制御を行うことができない。また、この完全な全開状態以下にゲート刃先が位置する場合であっても、全開状態に近づくにつれて流量係数が急変し完全な全開状態では工学的には不連続に変化すると見做されるので、ゲートによる流量制御の可能範囲もこの領域を除外した方が好ましいためである。

大形の引上げ式ゲートや高圧ゲートは微小開度状態で部分開放操作を継続して行わないことが原則とされている。これは、ゲート刃先の形状や水密構造等のため微小開度状態ではゲートから放流される流水による振動やキャビテーションが生じ易く、また、流量制御上はゲート開度の設定誤差が大きくなることおよび放流量の推定精度が著しく低下することなどの問題があるためである。この微小開度と指定される開度の範囲は、ゲート構造により当然異なるが、通常はゲート開きが10～15cm程度以下の状態とされることが多い。したがって、この範囲は流量制御の適用範囲から除外されることになるから、この最小開度以下の開度で放流することとなる流量に対しては別に放流設備を設置することが必要になる。

小容量放流設備の流量調節構造物として利用されるバルブ類には各種の機種があり、この機種ならびにその設置状況等によってその水理特性が大きく異なるため、一括して適用範囲を述べることは適切ではないが、流路形状が全閉から全開まで連続して変化するものがバルブに共通する特徴であって、一般には全ての開度で流量制御が可能であるとされている。ただし、水中に設置する場合など開度制限を設けることが好ましい場合もある。

このように、ダム放流設備は洪水を放流するための大容量放流設備のみでは常時の放流に支障を生ずるため、常に大容量放流設備と小容量放流設備とを組合せて設置することが必要になる。また、大容量放流設備を用いて小流量を放流制御することができないため、放流すべき流量によって大小の設備を切換えることが必要になる。

この場合、小容量放流設備の総容量は流下浮遊物ならびに流水の濁度等の問題が生じない範囲でできる限り大流量まで放流できる容量として、常時の放流には単独で対処できるよう配慮するとともに大容量放流設備の下限となる流量との差を大きくしておくことがダム操作管理上非常に有利になる。

各放流設備の型式、規模は放流量許容変動量に対して適合することが要件であり、とくにこの許容変動量に対するゲート等の最小動作量が問題となる。これは、ゲート等の開閉速度あるいは1回の動作に要する時間が適切でなければゲート等の安定した動作が期待できなくなり、この範囲内での流量制御ができなくなるからである。

自動操作に用いられる放流設備の1条あるいは1門当りの規模すなわち流量制御断面の寸法あるいは口径ならびにゲート等の流量調節構造物の機種、機能の選定にあたっては、放流量許容変動量に対する最小動作量、自動制御における動作の安定性あるいは切換え動作に対する適合性等に対してとくに慎重な配慮が必要になっている。

これらは放流設備の操作の自動化にとともに、より厳密な取扱いが望まれる事項であり、現在ハード、ソフトの両面から検討がなされている事項である。

また、これら放流設備の機能に関する問題とともに、操作の自動化に適合する貯水位の把握の方法についても現在調査研究が進められている。

貯水位は貯水池操作の最も基本となる情報量であり、この精度ならびに安定性によって全ての貯水池操作が影響されることは言うまでもない。また、放流設備を全自動操作方式により操作する場合、自動制御の安定性がこの貯水位の変動特性によって多大の影響を受けることは容易に理解できるであろう。

現在、貯水位はダムの堤体もしくは近傍に設けられた測水井内の水位をフロート式水位計により測定して求めることが標準とされ、処理単位は原則として1cm単位で行うものとされている。

しかし、この水位は当然のことではあるが多種の外的要因により変動しており、貯水池操作の基準となる水位としてはこの測定値より変動成分を除去した値を用いることが必要になる。変動成分としては、周期が数分から数十分で数時間以上に亘り継続する変動も観測されており、主たる外的要因は風あるいは貯水池流入量、ダム放流量の変動であるが、これら以外にも測水井の位置、構造によると推定される変動、あるいは土砂の崩落、地震等の突発的な要因による変動も観測されている。

変動成分の除去の方法としては測水井の位置の変更あるいは構造の改良等の機械的方法とともに移動平均あるいはフーリエ級数を用いた平滑化の方法等の数学的方法が検討されているが、いずれの方法を用いるにしても時間の遅れが少なくかつ安定した値が得られることが操作の自動化の前提条件であり、操作の自動化が志向されるなかで現在この問題が最も解決の急がれる研究課題となっている。

4. あとがき

ここでは多目的ダム放流設備の最近の諸問題として2、3の話題を紹介したが、いずれも説明不足である点は否めない。これらは与えられた紙数を有効に活用できなかった筆者の能力不足によるものであり、誠に申し訳なく思っている。

現在、多目的ダム建設事業は従前以上に活発かつ強力に推進されているが、これらのダムがやがて管理段階に移行してのちには、操作管理に関する問題はさらにクローズアップされるものと予想される。また、管理段階のダム数の増加にとともに、現行のダム管理体制あるいは操作方式も大幅な変更が余儀なくされる事態の到来も予想される。

このため、現段階でどのような放流設備を計画、設計するべきかについては早急に結論を得ること

は困難であるが、ダム放流設備の基本はダム管理者にとって使い易い設備とすることであるから、放流設備の計画設計では水理機能に偏重することなく、少なくとも将来の管理体制を含めハード、ソフトの両面から検討すべきものと考えられる。

最後に、本文がいささかでも諸氏の御参考になれば幸いである。

なお、本文の執筆に際し次の資料を参考にしている。

- 1) 堀和夫；多目的ダムの計画と調査 全建技術シリーズ 全日本建設技術協会
- 2) 河川管理施設等構造令研究会；解説 河川管理施設等構造令 日本河川協会 山海堂
- 3) 中村俊六他；飛騨川濁水長期化現象軽減について 電力土木 Vol. 177, 1982. 3
- 4) 建設省真名川ダム工事事務所；同ダム工事誌 昭54. 7
- 5) 北海道開発局；大雪ダム工事誌 昭52. 12
- 6) 水資源開発公団草木ダム管理所；同ダム工事誌 昭53. 3
- 7) 建設省河川局開発課；ダム管理の例規 1978年版 日本河川協会
- 8) 建設省河川局開発課；ダム貯水池(湖)の水質に関する調査 昭53. 2
- 9) 水門鉄管協会；水門鉄管技術基準付解説 昭56. 11
- 10) 日本大ダム会議；ダム設計基準 1969. 11
- 11) 建設省訓令第4号；大石ダム操作規則 昭54. 9
- 12) 建設省河川局，土木研究所；多目的ダムの管理に関する研究（第27回建設省技術研究会）
昭48. 11
- 13) 中村昭他；貯水池水位変動が流入量把握に及ぼす影響とその対策 土木技術資料 Vol. 23-5，
1981
- 14) 安芸周一；貯水池の流動形態と水質，第6回ダム技術講演討論会テキスト，日本大ダム会議
1975. 3
- 15) 建設省河川局開発課，国土開発技術研究センター；排砂対策工法検討要領(案) 昭55. 3