

貯水池の有効利用を目的とした 「必要最小放流テーブル」の活用方

久保 菌 忠典¹・山本 鉄男²

¹日本メンテナンスエンジニアリング(株)第二事業部 (〒618-0071京都府乙訓郡大山崎町鏡田10番地9)

²京都府 大野ダム総合管理事務所 管理課 (〒602-0777京都府南丹市美山町檜原48-5) .

近年の気候変動によって洪水被害が集中化、激甚化の様相を呈している。こうした気象現象を背景に、洪水調節を目的に含むダムでは「ただし書き」操作への移行が増える事が懸念されている。大野ダムでは2013年9月の台風18号による洪水処理に土木研究所が提案した「必要最小放流テーブル」を試験的に用いてその有用性を確認した。本稿では、テーブルの考え方や特徴を述べると共に、テーブルを用いた「ただし書き」操作開始水位の妥当性の評価や、「特別防災操作」及び「異常洪水時防災操作」の実施に当たって、貯水池を有効活用し、ダム管理者の負担を大幅に軽減させる事を目的に開発した、放流判断支援ツールの概要を述べる。

キーワード 貯水池有効利用, 必要最小放流テーブル, ゲートオペレーション, 負担軽減

1. はじめに

昨年の関東・東北豪雨に象徴されるように、近年の気候変動によって洪水被害が集中化、激甚化の様相を呈している。こうした気象現象背景に、洪水調節を目的に含む既存ダム（以下「ダム」）では、異常洪水時防災操作（以下「ただし書き」操作）への移行が増えることが懸念されている。

大野ダムでは、2012年に土木研究所が京都府の依頼を受け提案した「必要最小放流テーブル」¹⁾（以下「テーブル」）を、管理開始後初めて「ただし書き」操作に移行することとなった翌年（2013年9月）の台風18号に於ける洪水処理に試験的に用いることで、テーブルの有用性を確認した。

そこで、本稿では洪水処理に当たってテーブルの考え方や特徴を述べると共に、本テーブルがダムで一般的に調節容量の7～8割に相当する値に設定してある「ただし書き」操作開始水位（以下「開始水位」）の妥当性の評価に用いることが出来ることや、事前承認を前提とした「ただし書き」操作への移行判断を適時・的確に行うための判断基準にもなり得ることなどを説明する。

さらに、異常洪水を含むあらゆる洪水に対して貯水池の有効利用を図りつつ、管理者の負担を大幅に軽減するために開発した放流判断支援ツールを紹介する。

2. 背景

大野ダムは、洪水調節を主目的に造られた多目的ダムで、昭和 37 年の管理開始から半世紀余りが経過している。図-1 に大野ダムの位置図を示す。流域面積は 354km² で、由良川流域全体の約 20% を占めている。有効貯水容量は 2,130 万 m³ で、相当雨量は 60 mm であり、流域面積に対し洪水調節容量の比較的小さいダムである。また、計画規模は既往最大の 2,400m³/S で 500m³/S から調節を開始し、流入ピーク時に 1,000m³/S を貯留、1,400m³/S を放流する定率・定量の調節を行っている。一方で洪水調節容量に対する余裕は 2 割²⁾ を満たしていない。

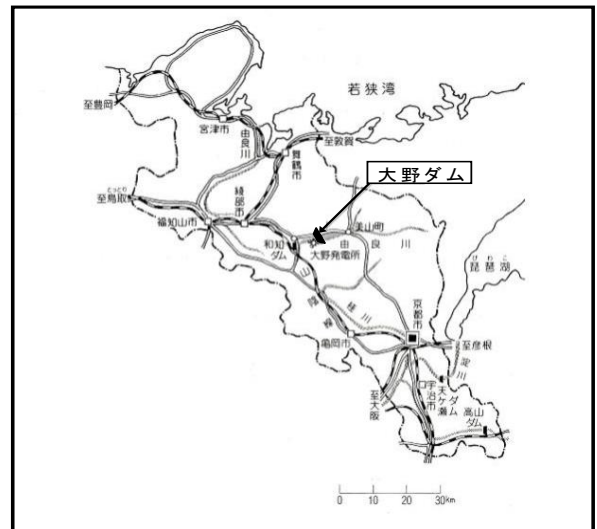


図-1 位置図

3. 必要最小放流テーブルの概要

テーブルの考え方は、2012年に土木研究所によって、放流量の最小化と洪水調節から超過洪水へ至る操作の連結を目的としてその原型が作られた。テーブルを一言で言うと設計洪水流量を(3,510m³/S:地域比流量図)上限とする過去最大の増加量の流入を想定。この流入に対して、貯水位が設計洪水水位に達するまでに、その後のゲート操作で放流が流入に追いつくために今、放流しておかなければならない最小の放流量を示したものである。

必要最小放流量の考え方のイメージを図-2に示す。図中のグラフは上が貯水位の変化を、下が流量の変化を表している。今、図中のQtに従って最大3,510m³/Sまで増加する流入量を想定する。

ここに、ある時点での貯水位と放流量がある。この時の放流量を放流の原則に従って増加させて行った時、貯水位が設計洪水水位に達するまでに放流は流入に追付く事が出来る。

しかし、開始時の貯水位はそのまま、放流量を徐々に減少させて行くと、放流が流入に追付いた時の貯水位は上昇し、設計洪水水位に達した時、ようやく追付くことが出来るようになる。この流入に追付いた時の最小となる放流量を、必要最小放流量と定義する。

ここで、必要最小放流量の算出方法を図-3のブロック図で説明すると次のようになる。必要最小放流量算出の基本は貯留計算である。そのポイントは放流の原則に加え、ゲートの動作を拘束するあらゆる条件を設定していることである。

具体には、ハード面というゲート動作速度(30cm/min)、各ゲートの起動遅らせ時間(10sec)、更にダム管理用制御処理設備(以下「ダムコン」という。)の放流操作装置を使用した場合、30cm毎の休止時間(5sec/30cm)が設定される。ソフト面では、操作演算時間さらにダムコンの貯水位の計算処理や流入量の演算時間などである。このようにゲート操作は実に様々な時間的制約を受けていることが解る。

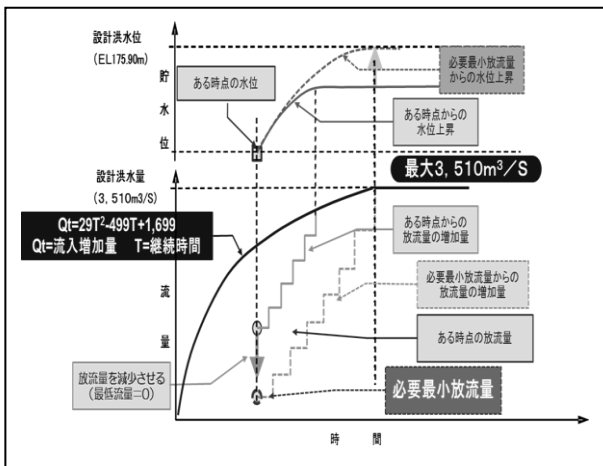


図-2 必要最小放流量の求め方のイメージ図

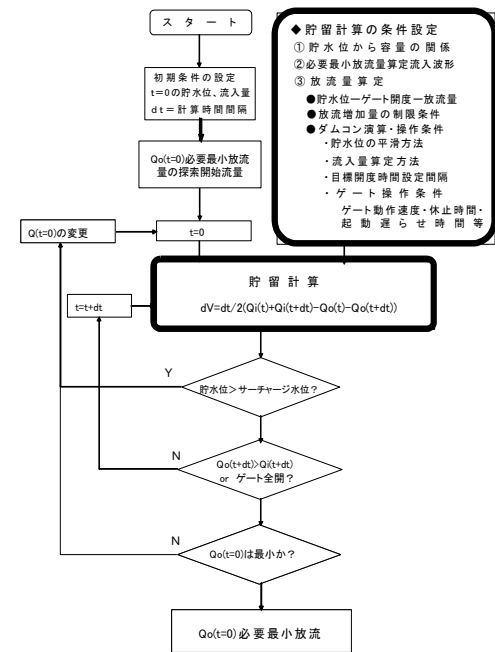


図-3 必要最小放流量演算ブロック図

| 貯水位 (EL.m) | 流入量 (m ³ /s) | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|-------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|--|--|
| | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 1100 | 1200 | 1300 | 1400 | 1500 | | |
| 175.90 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 1100 | 1200 | 1300 | 1400 | 1500 | | |
| 175.50 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 1100 | 1200 | 1300 | 1400 | 1500 | | |
| 175.25 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 988 | 1024 | 1075 | 1147 | 1203 | 1278 | | |
| 175.00 | 300 | 373 | 438 | 505 | 565 | 637 | 725 | 788 | 852 | 929 | 987 | 1070 | 1141 | | |
| 174.75 | 182 | 258 | 300 | 376 | 456 | 526 | 611 | 683 | 765 | 850 | 934 | 1013 | 1101 | | |
| 174.50 | 100 | 179 | 262 | 308 | 386 | 470 | 559 | 635 | 737 | 816 | 900 | 983 | 1072 | | |
| 174.25 | 76 | 122 | 203 | 288 | 335 | 423 | 530 | 611 | 695 | 778 | 871 | 978 | 1070 | | |
| 174.00 | 0 | 84 | 157 | 242 | 300 | 398 | 486 | 568 | 663 | 749 | 864 | 943 | 1043 | | |
| 173.75 | 0 | 38 | 112 | 203 | 300 | 357 | 450 | 540 | 632 | 744 | 833 | 936 | 1019 | | |
| 173.50 | 0 | 1 | 94 | 180 | 265 | 322 | 425 | 509 | 623 | 720 | 820 | 915 | 996 | | |
| 173.25 | 0 | 0 | 54 | 147 | 235 | 300 | 388 | 481 | 584 | 702 | 799 | 895 | 968 | | |
| 173.00 | 0 | 0 | 38 | 118 | 206 | 300 | 359 | 467 | 570 | 663 | 777 | 865 | 934 | | |
| 172.80 | 0 | 0 | 0 | 91 | 165 | 268 | 323 | 442 | 549 | 642 | 735 | 814 | 875 | | |
| 172.50 | 0 | 0 | 33 | 122 | 221 | 299 | 365 | 485 | 589 | 682 | 772 | 847 | 905 | | |
| 172.20 | 0 | 0 | 0 | 56 | 131 | 232 | 339 | 446 | 545 | 630 | 695 | 747 | 799 | | |
| 171.50 | 0 | 0 | 0 | 11 | 115 | 212 | 305 | 401 | 505 | 571 | 625 | 672 | 728 | | |
| 170.00 | 0 | 0 | 0 | 4 | 124 | 201 | 266 | 330 | 389 | 427 | 497 | 532 | 557 | | |
| 169.50 | 0 | 0 | 0 | 9 | 99 | 182 | 225 | 303 | 348 | 393 | 446 | 492 | 531 | | |
| 169.00 | 0 | 0 | 0 | 10 | 89 | 157 | 209 | 274 | 324 | 351 | 393 | 444 | 483 | | |
| 168.50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 77 | 128 | 187 | 241 | 298 | 337 | 376 | 407 | 451 | | |
| 168.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 48 | 127 | 155 | 223 | 259 | 304 | 344 | 377 | 399 | | |
| 167.50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 33 | 97 | 152 | 192 | 244 | 284 | 305 | 333 | 367 | | |
| 167.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 85 | 120 | 167 | 210 | 243 | 275 | 306 | 367 | | |
| 166.50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16 | 64 | 104 | 149 | 186 | 209 | 250 | 282 | 367 | | |
| 166.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 38 | 91 | 119 | 150 | 184 | 215 | 268 | 357 | | |
| 165.50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 21 | 59 | 101 | 134 | 162 | 186 | 268 | 320 | | |
| 165.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 33 | 76 | 116 | 142 | 169 | 259 | 284 | | |
| 164.50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16 | 55 | 89 | 116 | 169 | 232 | 260 | | |
| 164.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 37 | 65 | 86 | 168 | 213 | 230 | | |
| 163.50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 | 36 | 72 | 167 | 191 | 210 | | |
| 163.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18 | 69 | 145 | 176 | 193 | | |
| 162.50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 69 | 123 | 147 | 180 | | |
| 162.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 70 | 103 | 127 | 153 | | |

図-4 必要最小放流量演算ブロック図

こうして求めたテーブルを抜粋したものを図-4に示す。表は縦の欄に貯水位を横の欄に流入量を示し、中を縦横に対応した必要最小放流量で埋めたものである。

4. 必要最小放流量から見た「ただし書き」操作開始水位妥当性の評価

「ただし書き」操作は、言いかえると「洪水調節によって乖離した流入量と放流量の差を、貯水位が設計洪水水位に到達するまで完全に収束させる操作」であると言

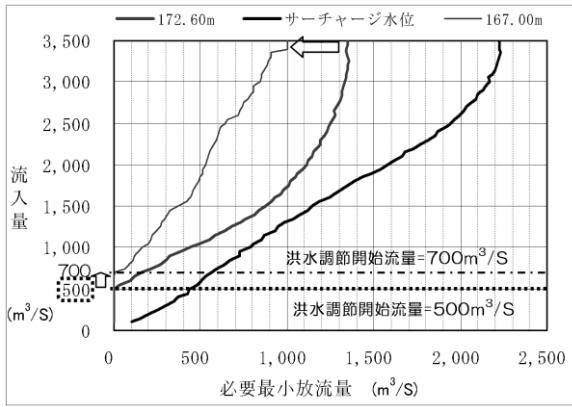


図5 洪水調節開始流量と開始水位の関係

える。その意味で、洪水調節開始流量は両者の乖離の始点であり、開始水位は、収束のための起点として捉えることができる。

つまり、その後のゲート操作によって貯水位が設計洪水水位に達するまでに放流が流入に確実に追いつく事が出来る水位に設定する必要がある。

一般的に開始水位は調節容量の7~8割にあたる貯水位に設定されており、それなりに根拠のあるものと考えが、何より前述したゲートオペレーションを踏まえたうえでその妥当性を確認しておく必要がある。この評価ための基準となるのがテーブルに示された必要最小放流量である。

本来、開始水位での必要最小放流量は、本則操作による放流量より小さい必要がある。図-5はそれぞれの貯水位における必要最小放流量と流入量の関係を表している。また、グラフ中には洪水調節開始流量(500m³/S)と開始水位(EL.172.60m)の関係も示している。図から必要最小放流量が極小値 (0 m³/S)の時、流入量が洪水調節開始流量になる時の貯水位は開始水位に当たる事が解る。つまり、現状の開始水位の設定は必要最小放流量から見ても妥当であることを意味している。

そこで例えば、下流の河川整備によって河道の流下能力が増し、洪水調節開始流量を仮に700m³/sに引き上げた場合、開始水位はどのように変化するかを見ると、前述したように必要最小放流量が0の時、流入量が洪水調節開始流量の700m³/Sとなるような貯水位をテーブルから求めると図に示すようにEL.167.00mになる事が解る。つまり開始水位を、現行の水位から5.6m下げる必要がある事を示している。これは、洪水調節開始流量が大きくなることで、その時点から、放流が流入追いつくために必要となる空き容量は増えることを意味している。

このようにテーブルは開始水位の妥当性の評価に用いることができる。異常洪水処理に重大な影響を与える開始水位を定量的に評価する方法は、これまで確立していなかったように思う。特に開始水位が必要最小放流から求めた値より高く設定してあるダムについては、その貯水位からのゲート操作では、設計洪水水位に達するまでに放流が流入に追いつかないことが想定されるため、適正な開始水位に改める必要がある。

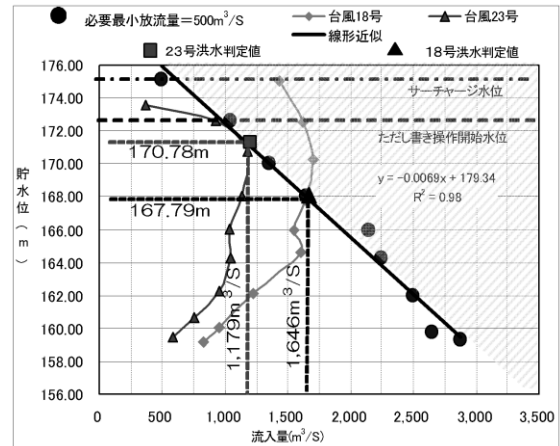


図6 ただし書き移行判断基準(500m³/S)と開始水位の関係

5,必要最小放流量を基準値とした「ただし書き」操作移行判断の考え方

次に必要最小放流量を基準値とした「ただし書き」操作移行判断 (以下「移行判断」) について述べる。前述したように、テーブルは、洪水調節から超過洪水へ至る操作を連結することで移行判断を不要にするものであった。しかしながら、現行ルールでは、「ただし書き」操作の移行が、事前承認を前提としていることや、将来起こりうる放流量の増加を出来るだけ早く下流住民に知らせることで、避難時間を確保する意味では、適切な時期での移行判断は当然のことながら必要になると思われる。そこで、テーブルを用いた移行判断が出来ないか検討してみた。図-5に示すように、洪水調節中において貯水位がサーチャージ水位(EL.175.00m)を超える領域での必要最小放流量は500m³/Sであることが解る。同時に、貯水位が開始水位以下の時、必要最小放流量が500m³/Sを超える場合は、その後の貯水位がサーチャージ水位を超える可能性があることを示唆している。図-6は必要最小放流量が基準値500m³/Sに達する時の貯水位と流入量関係を示したものである。基準値は傾きを持った直線上に分布している様子が解る。今、貯水位と流入量の交点がグラフの下側にある時は移行の可能性は低く、上側(網掛け部)に移った時は移行の可能性が高い事を示しており、基準値(500m³/S)が移行判断の指標になる事を示している。

参考までに過去に開始水位に達した二洪水(2004年-23号台風, 2013年-18号台風)における基準値を中心にした貯水位と流入量の変化を図中に示す。

6,「ただし書き」操作移行判断アラート・システムについて

テーブルは、洪水調節から異常洪水処理にいたる操作をシームレスに繋ぐため、たとえ、貯水位が開始水位に達したとしても、その時点の放流量が必要最小放流量よ

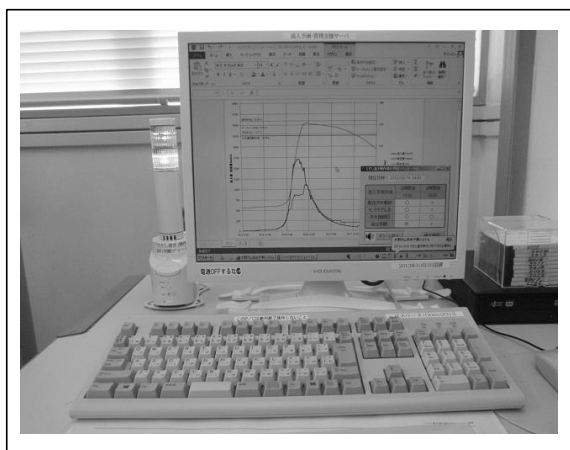


図-7移行判断アラート・システムの写真

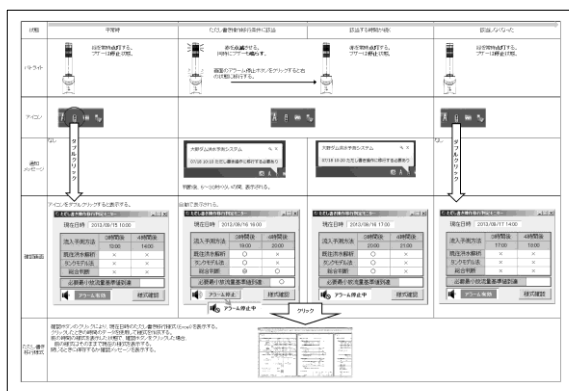


図-8アラート・システムの動作状況

り大きければ、今直ぐ放流量を増加させる必要はなく、その時の放流量を維持することで放流量の増加を遅らせる事が出来る。これは下流住民の避難時間を確保することに繋がるものである。

ここでは、前項で述べた必要最小放流量が基準値に達したことで移行判断を行う機能を付加した「移行判断アラート・システム」について述べる。

図-7はシステムの写真を示す。必要最小放流量が基準値に達したことを知らせるパトライトがモニターの左側に設置してあり、赤色点滅と共に警報音が鳴動し知らせる仕組みになっている。図-8は、基準値到達からアラート動作までのシステムの動きを具体的に示したものである。このシステムにより、それまで職員の経験や勘に委ねられてきた移行判断が10分毎の自動判定機能によって確実に報知出来るため、下流住民の避難時間を確保するタイムラインの検討にも活用出来るものと考え。

7,テーブルを用いた「特別防災操作」と放流判断支援ツールの考え方

次に、テーブルを用いた「特別防災操作」と放流判断支援ツール³⁾(以下「ツール」)の考え方について述べ

る。

言うまでもなくダムは、計画規模の洪水に対し最も効果を発揮するよう操作規則を定めている。一方で下流域や支川流域の卓越した降雨によるはん濫の危険性が高まる中、ダム操作への柔軟な対応が求められている。

こうした特別操作は、「ただし書き操作」の一つに当たる。河川砂防基準維持管理編(ダム編)⁴⁾によると、この操作は「洪水の見通し及びダム貯水状況を踏まえ、操作規則等のただし書きの規定により、本則操作よりも放流量を減少させる弾力的運用を行い、下流域の洪水被害の軽減を図る操作」と位置づけられており、実行に当たっては、下流自治体の首長や河川管理者からの要請を受けたダム管理者の長(京都府では建設交通部部長)の判断に依ることとなっている。しかし、ダムを操作する現場(「現場」という。)に於いては、特別操作を実行するとなった場合の操作方法は定まっていなのが現状である。

加えて、放流量の絞り込みによるダムの負うリスクを意識しながらの特別操作は、これまで幾度も実施されてきたが、その操作は、ある意味神業ともいえる現場職員の経験と感に委ねられてきた。

特別操作は放流量の絞り込みによって上昇する貯水位を「サーチャージ水位迄に納める」ことに尽きる。これは、一見簡単のように思えるが、何より流入予測の精度に左右されることになり、「放流量を絞込んだものの、その後増加させる時、貯水位がサーチャージ水位に達するまでに、放流量が流入量に追いつくことが出来るか」の判断を迫るもので、現場職員に過度の負担を強いるものであった。

こうした負担を軽減するため、現場の使用に耐え得る実用的な支援ツールが必要となり開発したものである。

支援ツールの最大の特徴は、放流判断それ自体を不確実な予測に依ることなく、計画規模の洪水を最大値として許容しているところにある。その要となっているのがテーブルである。

ここで支援ツールに求められる具体の要件を述べると以下のとおりとなる。

- (1) 下流水位の低減効果を可能な限り最大化する。
- (2) 規則操作との連続性を確保する。・・・下流水位が開始水位以下に低下した場合は、いつでも本則操作へ戻れること。
- (3) 適応操作開始時点の貯水率の上限を設ける。・・・調節容量の2割の余裕の範囲。
- (4) 操作後の貯水率は「ただし書き操作」開始水位以下に抑えることを念頭に最大70%までとする。
- (5) 仮に洪水が計画規模に至った場合でも、貯水位はサーチャージ水位迄に治めること。

8,支援ツールを用いた「特別防災操作」

次に支援ツールを用いた「特別防災操作」について述べる。操作方法は、下流基準点水位が操作開始水位に達した場合、一定量放流量に移行、その後、実放流量が必要最小放流量と等しくなって以降は、必要最小放流量に従って放流する。さらに基準点水位が開始水位以下に

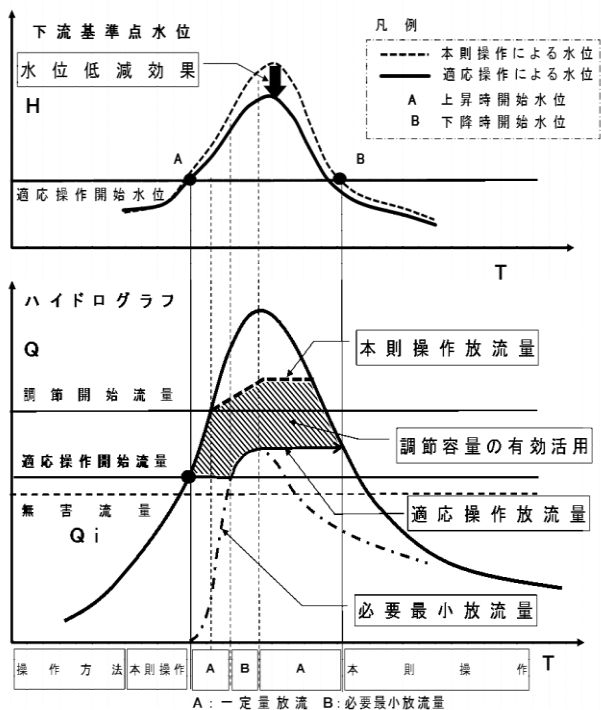


図-9下流水位の変化と適応操作の概念図

低下または、必要最小放流量が最大に達した後は、定量放流で本則操作へ戻ること、操作の連続性を確保しようとするものである。

本稿ではこうした一連の操作を「適応操作と呼ぶことにする。図-9は適応操作における下流基準点水位の変化と適応操作でのハイドログラフを示したものである。

図-10は実際に適応操作に用いる操作支援ツールの画面を示している。

詳述すると、画面左上段に貯水率と流入、放流量の関係を表すQ-R図を、右側には貯水率と下流河川水位を同時に把握できるようH-R図⁹⁾を配置した。

また、画面中段には、ダム諸量をはじめ必要最小放流量や適応放流量を、また開始水位や主要な地点の河川水位などリアルタイム情報を表示させた。

下段左側にハイドログラフを右に河川水位を表示させることで視認性に配慮した。

なお、作成した支援ツールは汎用性や変更への冗長度を考慮しEXCELを用いている。

また、シミュレーションには操作方法によって違いの顕著であった平成26年の台風11号による洪水データを用いた。操作開始は綾部水位が氾らん注意水位(3.5m)前の3.0mに達した時点で適応操作に入った場合を表している。二山目のピーク時に約45cmの低減効果があったことが解る。

9,まとめ

これまでテーブルの活用方について説明してきた。要約すると以下ようになる。

(1)「ただし書き」操作開始水位の妥当性を評価する場合の基準となること。

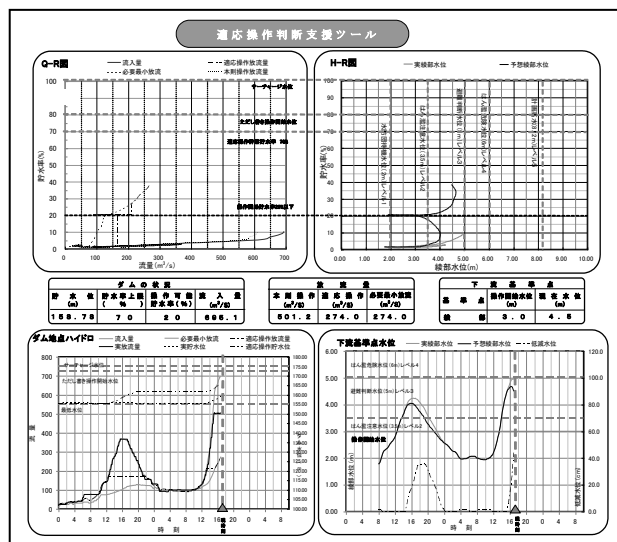


図-10下流水位の変化と適応操作の概念図

(2)「ただし書き」操作移行判断の基準値と判断支援ツールへの応用

(3)下流水位の低減効果と貯水池の有効活用を図る適応操作と操作支援ツールへの応用

繰返しになるがテーブルの最大の特徴は、ゲートによって洪水調節を行うダムの生命線とも言えるゲートオペレーションを織り込んでいる点であり、仮に流入量が設計洪水流量に達したとしても、定められたゲート操作によって洪水流を安全確実に流下させる事が出来るところにある。こうしたテーブルに裏付けられた操作は、ダム管理者に安心感を与えのみならず、今回紹介した、ダム管理における様々な場面において貯水池の有効活用に貢献するものと確信する。

今後はテーブルの更なる活用方について研究していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 柏井条介:「貯水池を有効利用する異常洪水時操作の試案」ダム技術 No.320(2013.5)
- 2) 国総研河川研究部水資源研究部「洪水調節容量の算定に当たって2割程度の余裕見込む理由」ダム技術 No.208(2011.7)
- 3) 久保蘭忠典:「必要最小放流テーブル」を用いた放流判断支援ツールの試作」ダム工学 Vol.25 (2015 No.4)
- 4) 河川砂防基準維持管理編(ダム編)
- 5) 小野雅人、齊藤源、福濱方哉「下流河川の状況に応じた効果的なダムの洪水調節方法の検討について」2011年WEC所報