

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 12 日現在

機関番号：10103

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560602

研究課題名(和文) 水文予測情報を用いた既存ダムの機能向上に関する研究

研究課題名(英文) Research on Improvement of Functions of Existing Dams Using Hydrological Forecast Information

研究代表者

中津川 誠 (NAKATSUGAWA, Makoto)

室蘭工業大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：10344425

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、既設の多目的ダムに着目し、利水容量の一部を洪水調節に、治水容量の一部を利水や環境、エネルギー供給へ活用することで治水・利水両者の機能向上を図る方法を提案することにある。その理由は、今後の気候変動で予想される想定外の洪水や渇水に対し、新規の施設整備が困難となる一方、既存施設の機能向上が対策として期待されるからである。前者は洪水が予測されたときに事前に放流して規定以上の治水容量を確保する操作であり、後者は利水容量以上に貯水して小水力発電等にそれを活用するという操作が必要となる。いずれも降雨・流出の的確な予測が必要とされ、そのような情報を活用したダムの機能向上方策を提案した。

研究成果の概要(英文)：This study aims to propose improvement measures of flood control and water use for existing multi-purpose dams. Functions of dams will be enhanced by temporary change of a capacity from water use to flood control, while that from flood control to water use as well as environmental recovery and small hydro-power. Improvement of functions of the existing facilities gives a promise as an effective measure because unexpected flood and drought due to future climate change are expected as well as new facilities are difficult to be developed. The former means an operation to enhance the flood control capacity by prior releasing from dam reservoir when flood is predicted, while the latter means an operation to keep more water than the normal capacity for water use for utilization to small hydro-power etc. Both are required an accurate prediction of rainfall and inflow to dam reservoir, thus improvement measures of dam functions using such information were proposed.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工学

キーワード：気候変動 水文予測 ダム管理 事前放流 弾力的管理 適応策

が $60 \text{ m}^3/\text{s}$ (洪水量) を超えると $140 \text{ m}^3/\text{s}$ を上限とする放流操作を実施する。しかしこのような洪水調節を行っても、貯水位がただし書き操作開始水位を超え、さらにサーチャージ水位に到達することが予想された時点でただし書き操作に移行する。一方、非洪水期の洪水調節は予備放流水位以上の少ない容量のみを使って洪水調節が行われることから、ただし書き操作に移行するリスクが高い。以上で述べた洪水調節の操作ルールをプログラム化し解析に用いる。

事前放流開始の判断は、ダム空き容量と貯水池への流入量を比較することで行う。ここでの空き容量は、予測を行う時点の空き容量と、今後の放流で空く容量 (= 予測時点での放流量とする) の合計とする。一方、流入量は、積算予測雨量と融雪量に応じた水量がダム貯水池に流入するものとして算出する。この際の積算予測雨量は、安全側評価のため予測雨量に調整倍率を掛けた値を用いる。

以上で得られる空き容量と総流入量とを比較し、空き容量が不足しないと判断される場合は操作規則どおりの放流を行う一方、空き容量が不足すると予測された場合 (貯水位がただし書き操作開始水位に達する場合は、以下の新しいルールで放流を行うとする。

- ・ 流入量が $60 \text{ m}^3/\text{s}$ (洪水量) 以下の場合は $60 \text{ m}^3/\text{s}$ の放流を開始する。
- ・ 流入量が $60 \text{ m}^3/\text{s}$ を超え、それでもなお積算予測雨量から放流が必要と判断される場合には、流入量の変化量に応じて放流量を増加させる。ここでは、計画最大放流量 ($140 \text{ m}^3/\text{s}$) を上限に、放流量の増加速度が流入量のそれより小さくなるように放流する。

ところで、予想されていた降雨が実際に降らないようないわゆる空振りの場合、事前放流によって貯水位を下げすぎるとその後の利水容量の確保が困難になることが懸念される。そこで、長期水循環過程から推算される流域貯留量を利用し、回復可能な貯水位を見積もることを考える。図 3.3 は、貯水位が目標とする水位にまで回復する日数を3日間とした場合の算定方法をイメージ化したものである。流域貯留量は図 3.4 に示すような大気陸面過程モデル + タンクモデル + 河道追跡モデルを組み合わせた分布型の流域水循環モデルからタンク貯留量を算出することで得られる。任意の日の貯留量が定まれば、それを初期値に無降雨の条件下で、今後3日間の流出量が推算できる。したがって、この流出量を確保すべき貯水量から差し引けば、無降雨でも回復できる貯水位となる。

(3) 利水機能向上を図る弾力的管理の方法例として図 3.5 に示す金山ダムを対象に検討した。金山ダムは、北海道の石狩川の支川である空知川上流に位置する多目的ダムである。年間の貯水池運用を図 3.5 に示す。

ダムの弾力的管理で確保できる水量は、洪

水前に治水容量を回復する必要があるため、予測リードタイム (LT) に応じた放流可能性を考え余裕をもった水量としなければならない。よって GSM は 79 時間、RSM は 40 時間の最長 LT 時に安全に事前放流できる水量を考える。金山ダムでは、ダム下流河川の流下能力から無害流量を $80 \text{ m}^3/\text{s}$ としている。また洪水警戒体制に移ってから事前放流の開始までに、職員の召集や下流の警報、巡視等の準備時間に 2 時間を設定している。さらに

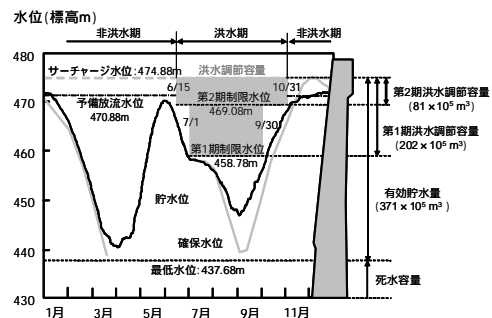


図 3.2 豊平峡ダムの年間貯水位 (豊平川ダム統合管理事務所より)

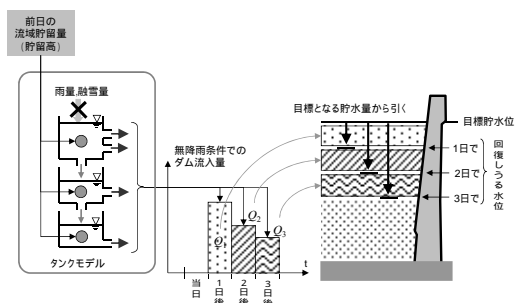


図 3.3 回復可能水位の算定方法模式図

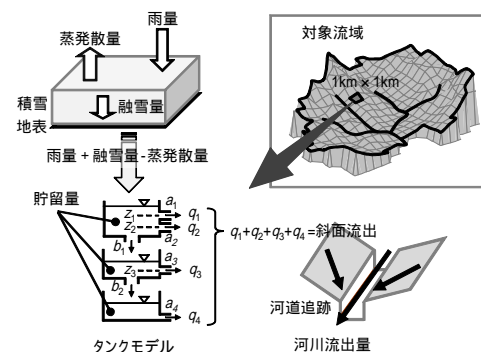


図 3.4 流域水循環モデル

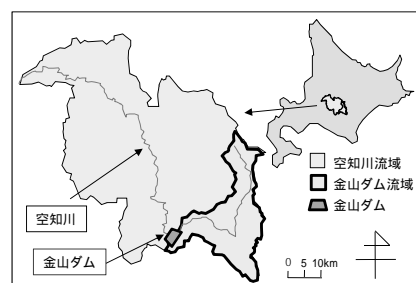


図 3.5 空知川流域と金山ダムの位置

操作規則上、下流の急激な水位の変動を防ぐため、放流開始後1時間迄はゲートの操作間隔を10分毎とし、1回の操作による放流量の最大増分を $10\text{m}^3/\text{s}$ としている。以上を踏まえ、本検討では洪水警戒体制に移ってから3時間が経過した後、無害流量である放流量 $80\text{m}^3/\text{s}$ を放流することとした。以上より、各LTにおいて最大の放流可能量は $80\text{m}^3/\text{s} \times (\text{LT} - 3) \times 3,600(\text{s})$ で求められるが、平常時の流入量が $10\text{m}^3/\text{s} \sim 20\text{m}^3/\text{s}$ であるため、安全を考え放流可能量の半分を活用容量とした。つまり、GSMにおいて予測LTは79時間であるため放流可能量は $21,888$ 千 m^3 となるが、この半分にあたる $10,944$ 千 m^3 を活用容量とした。同様にRSMでは活用容量を $5,328$ 千 m^3 とした。これを制限水位 338.50m に上乘せし、活用水位をGSMは 340.02m (制限水位 $+1.52\text{m}$)、RSMは 339.24m (制限水位 $+0.74\text{m}$)とした。

以上より、実効雨量による部分流出率の算定式を作成し、活用容量を決定したので、次に積算予測雨量を用いた事前放流操作の提案及び過去の洪水事例に適用し検討を行う。操作方法について以下に箇条書きで示す。

毎時間、次式より各LTの予測流入量を算出する。

$$V_{in}(\text{LT}) = f(\text{LT}) \times A \times R(\text{LT}) \times 10^3$$

ここで、 $V_{in}(\text{LT})$ ：当該LTの予測流入量(m^3)、 $f(\text{LT})$ ：当該LTの部分流出率(洪水前のある時点における各LTの積算雨量と積算流出高の比)、 A ：流域面積(470km^2)、 $R(\text{LT})$ ：当該LTの積算予測雨量(mm)

次のLT毎の判別式を用いて事前放流の必要性を判断する。

$$V_t + V_{in}(\text{LT}) - V_{out}(\text{LT}) > V_{Limit}$$

ここで、 V_t ： t 時刻の貯水量(m^3)、 $V_{out}(\text{LT})$ ：当該LTの放流可能量(m^3)、 V_{Limit} ：制限水位 338.5m の容量(m^3)。左辺であるLTの貯水量を予測し、それが制限水位の容量を超える場合事前放流を実施することを意味する。

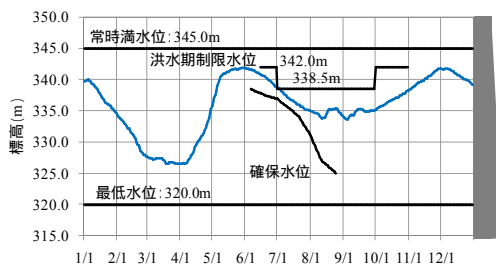


図 3.6 金山ダムの年間貯水位
(金山ダム管理支所より)

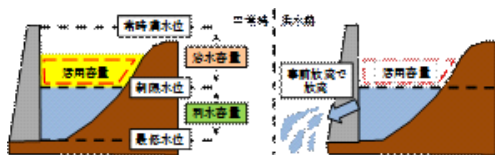


図 3.7 ダムの弾力的管理の模式図

上記判別式により事前放流が必要と判定もしくは気象台から大雨注意報が発令された場合、洪水警戒体制に移る。3時間の準備時間を設け、その間判別式が事前放流を判定し続けた場合、その後無害流量 $80\text{m}^3/\text{s}$ で事前放流を実施する。

事前放流が不要と判定された場合実績量を放流し、再度必要と判定された場合は準備時間なく放流を再開できるとする。

貯水位が制限水位まで下がった場合は実績量を放流し、それで制限水位を超える場合は放流=流入の水位維持操作に移る。

以上の操作を行い、洪水量到達時に貯水位が制限水位 338.5m 以下であれば、治水上の安全性を確保できたと判断する。

4. 研究成果

(1) 降雨予測の精度

流域平均雨量を用い、積算予測雨量と時系列予測雨量の精度を比較する。図 4.1 は予測リードタイム(LT)と相関係数の関係である。ここで、積算予測雨量とは1時間先から任意の先行時間までの合計雨量である。例えば、“予測LT24時間の積算雨量”は、1~24時間先における各時刻の予測雨量(時系列予測雨量)の合計値を意味する。図からわかるように、積算予測雨量の相関係数は、時系列予測雨量より大きく、精度の安定性といった観点では積算予測雨量は有効な情報といえる。

そこで、積算予測雨量に対して積算実績雨量がどのように分布していたか、すなわち誤差の幅を調べる。予測リードタイム(LT)が24時間の場合について、ガンマ分布の曲線式をあてはめ70%の確率で実績雨量が出現する範囲を示したものが図 4.2 である。図中、灰色の実線は70%出現範囲の上限値・下限値の回帰式であり、傾向としては積算予測雨量を $0.7 \sim 1.8$ 倍した範囲に、実績雨量の70%が収まっている。

(2) 降雨予測を用いた事前放流の実施可能性の検討

図 4.3 には2006年5月28日(ピーク流入量： $228 \text{ m}^3/\text{s}$)の試算例を示す。図中、黒色の細い実線は現在の操作規則どおりに放流を行った結果である。また、灰色の棒グラフは、予想された空き容量が不足することによって、上述のルールで算定された放流量である。空き容量が不足しない場合については操作規則どおりの放流操作となるが、空き容量が不足する場合と不足しない場合の両方の操作を含めて算定した放流量が、黒色の太い実線で表した放流量(積算予測雨量)である。この結果事前放流によりただし書き操作が回避されていることがわかる。

次に降雨予測の空振り時に貯水量が適切に回復できるかを検証した。2006年の回復可能水位を算定した結果が図 4.4 である。積雪相当水量も流域貯留量の内数であるとして図の上段には流域貯留量と積雪相当水量、下

段には水位の回復日数を3日とした場合の結果を示す．図中の水位は（利水上の）目標水位との差分で表しており，回復可能水位（下方の実線）が負の場合は目標水位に対してどれだけ下げられるかを意味する．また，実績

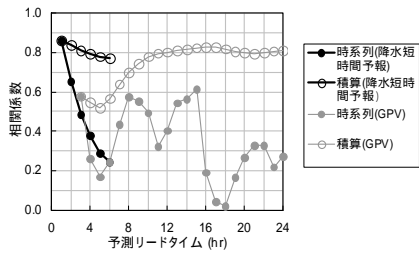


図 4.1 予測 LT と相関係数

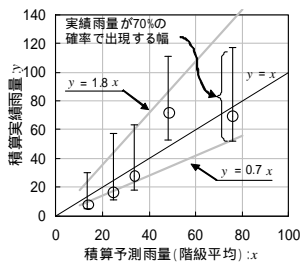


図 4.2 予測 LT24 時間の 70%出現幅

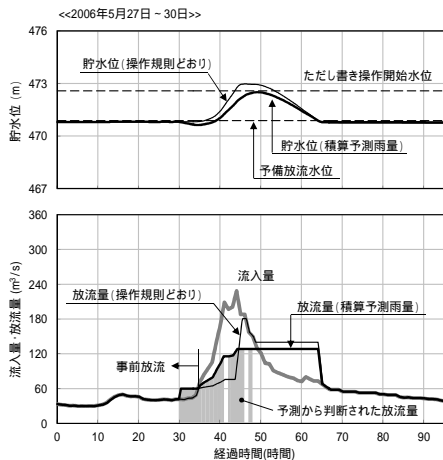


図 4.3 積算予測雨量を活用した操作結果
(2006/5/27 ~ 5/30)

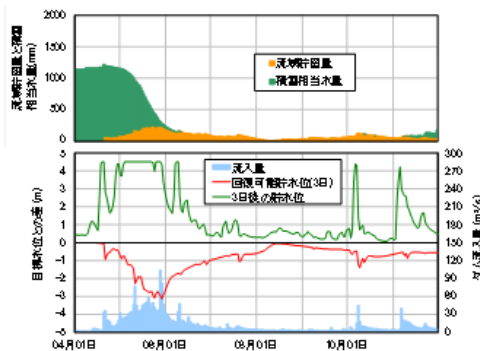


図 4.4 2006 年の流域貯留量と
水位の回復状況

流入量を与えて得られた貯水位（上方の実線）が正の場合は貯水位が目標水位に回復したことを意味する．結果をみると出水の有無に関わらず，ほとんどの期間において貯水位が回復している．よって，事前放流を行っても貯水位を回復可能水位より下げなければ，たとえ降雨予測が空振りであっても目標とする水位まで回復できることが示唆される．とくに流域内に積雪が残存する融雪期には大きな水位低下が可能である．

(3) 降雨予測を用いた弾力的管理の実施可能性の検討

金山ダムを対象に提案した操作を，2002～2012の7月～9月の洪水事例に対して適用し検討を行った．初期貯水位は前節で示した活用水位に基づき，RSMは339.24m，GSMは340.02mとし，それぞれ洪水の40時間前，79時間前から計算を開始する．流入量，放流量は実績に基づくものとし，判別式により事前放流操作となった場合は前述の通り放流量を変化させる．数例の結果を図4.5に示す．図は上段にRSMの事例，中段，下段にGSMの事例を示す．それぞれ上に貯水池計算，下に判別式の図を配置している．判別式の図は各LTの判別式に基づき事前放流を実施すると判定された場合に，実績操作と判定された場合にxを示している．また，表は事例ごとの各LTにおける予測流入量（m³）の最大値をm³/sに単位換算したものである．図によると，どの事例においても注意報の発令よりも早く洪水警戒体制に移っており，事前放流を早期に開始できている．しかし2012年9月の事例では洪水量到達前に貯水位を制限水位まで低下できなかった．

この対策として，部分流出率を1.1倍，1.2倍と割増し，降雨に対する流入の応答を大きくすることを考えた．その結果，2012年の事例では部分流出率を1.4倍と割増した場合，早期に事前放流が実施され，洪水前に治水容量を確保することができた．その結果を図4.6に示す．また，他の事例についてもどれだけ部分流出率を割増する必要があるかを検討した結果，GSMの事例については部分流出率を1.4倍と割増することにより全てにおいて治水容量を確保することができた．

なお，部分流出率を割増することにより，予測雨量がそれほど大きくない場合でも事前放流を判定してしまう可能性がある．直近の2012年度の事例で検討した結果，事前放流を行う判断はなされなかったが，他の年度での検証も必要である．

ここで，現況の運用と本論文の運用を比較すると，現況の運用による活用水量は1,428千m³であるのに対し，本論文の運用時は10,944千m³と約8倍の水量を確保が可能となった．すなわち，ダムの弾力的管理という運用の工夫で，現況の活用水量の約8倍の水量を下流の河川環境改善および小水力発電に利用できる可能性が示された．

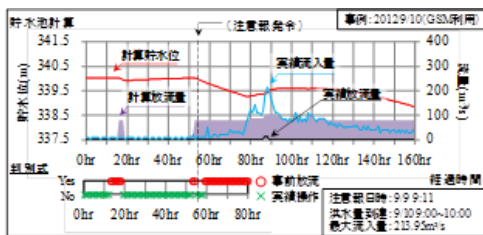
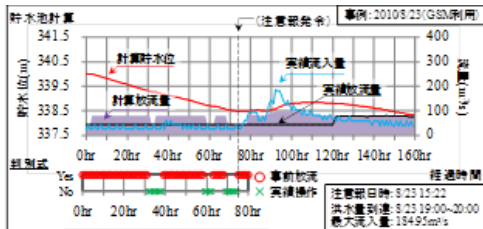
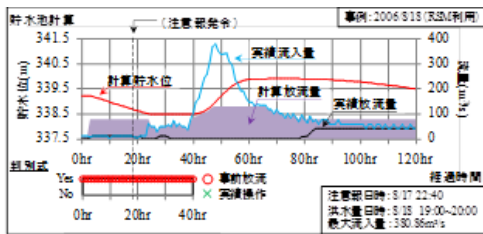


図 4.5 本手法を適用した結果の例

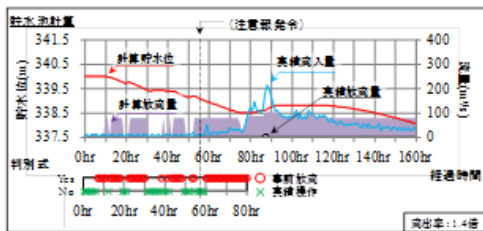


図 4.6 2012/9の事例の部分流出率を 1.4 倍とした結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 7 件)

林下直樹, 中津川誠, 臼谷友秀, 降雨予測リードタイムの延長による多目的ダムの弾力的管理の向上, 土木学会論文集 B1 (水工学), 査読有, 70, 4, 2014, I_1471-I_1476

臼谷友秀, 中津川誠, 松岡直基, 流域貯留量推定のためのモデルパラメータの一般化に関する研究, 土木学会論文集 B1 (水工学), 査読有, 70, 4, 2014, I_355-I_360

中津川誠, 臼谷友秀, 流域貯留量に基づいたダムの回復可能水位の算定, ダム技術, 査読無, 319, 2013, pp.38-44.

林下直樹, 中津川誠, 臼谷友秀, 多目的ダムの弾力的運用による小水力発電の可能性に関する研究, 土木学会論文集 B1 (水工学), 査読有, 69, 4, 2013, I_1675-I_1680
DOI:http://dx.doi.org/10.2208/jscejhe.69.I_1675

臼谷友秀, 中津川誠, 松岡直基, 融雪期の土砂災害に関連する土壌水分の定量評価, 土木学会論文集 B1 (水工学), 査読有, 69, 4, 2013, I_403-I_408

DOI:http://dx.doi.org/10.2208/jscejhe.69.I_403

川村一人, 中津川誠, 杉原幸樹, 気候変動による利水への影響を踏まえたダム貯水池群の最適操作に関する研究, 土木学会論文集 B1 (水工学), 査読有, 68, 4, 2012, I_1477-I_1482.

DOI:http://dx.doi.org/10.2208/jscejhe.68.I_477

臼谷友秀, 中津川誠, 流域貯留量を考慮した流出計算法の汎用性について, 土木学会論文集 B1 (水工学), 査読有, 68, 4, 2012, I_463-I_468.

DOI:http://dx.doi.org/10.2208/jscejhe.68.I_463

〔学会発表〕(計 8 件)

鳥越翼, 中津川誠, 林下直樹, 北海道南西部のダム流域における降雨予測精度の検証, H25 年度土木学会北海道支部論文報告集, 69, B-44, 2014.2.1, 札幌市.

深澤巧, 中津川誠, 臼谷友秀, 松岡直基, 流域全体の土壌水分量を考慮した斜面災害の発生要因, H25 年度土木学会北海道支部論文報告集, 69, B-33, 2014.2.1, 札幌市.

上田伸也, 奥泉宗一郎, 中津川誠, 臼谷友秀, 林下直樹, 日本全域を対象とした貯留関数法のモデルパラメータの一般化, H25 年度土木学会北海道支部論文報告集, 69, B-48, 2014.2.1, 札幌市.

林下直樹, 中津川誠, 小水力発電の実施を目的としたダムの弾力的運用に関する研究, 第 68 回土木学会年次学術講演会概要集, II-066, pp.131-132, 2013.9.4, 習志野市.

池谷聡, 中津川誠, 林下直樹, 金山ダムにおける近年の洪水調節放流回数増加要因について, H24 年度土木学会北海道支部論文報告集, 69, B-22, 2013.2.2, 函館市.

川村一人, 中津川誠, 気候変動による積雪地域の利水に与える影響と適応策に関する研究, 第 67 回土木学会年次学術講演会概要集, II-140, pp.279-280, 2012.9.5, 名古屋市.

林下直樹, 中津川誠, 川村一人, 既設ダムの維持放流を利用した小水力発電の可能性に関する研究, 第 67 回土木学会年次学術講演会概要集, II-155, pp.309-310, 2012.9.6, 名古屋市.

林下直樹, 中津川誠, 川村一人, 空知川流域を対象とした小水力発電の可能性, H23 年度土木学会北海道支部論文報告集, 68, B-32, 2012.2.3, 札幌市.

6. 研究組織

(1)研究代表者

中津川 誠 (NAKATSUGAWA, Makoto)

室蘭工業大学・工学研究科・教授

研究者番号: 1 0 3 4 4 4 2 5