

学 位 論 文 題 名

ダムの最適利水運用に関する研究

学位論文内容の要旨

近年、環境問題等によりダムの新規建設が困難さを増す中で、毎年のように大きな渇水が生じており、国民に長期の節水を余儀なくして社会問題化している。水資源の多様化が図られているが、ダムに代わるポテンシャルを有する手段がないのが実態である。こういった中で水資源の効率的運用は実施すべき大きな課題であり、中でもダムによる利水運用及び計画の最適化は、極めて直接的な効果を持つ。

ダム利水運用については過去に数多くの研究がなされてきた。その多くはマトリックスを用いた種々の数学的手法を用いて、水位と放流量の制約条件の下で、目的関数を最大または最小にする最適化問題の解を求めるものである。現在まで確率DPを中心に計算技術の発達により高度化が図られているが、計算量及び必要計算容量が膨大となること、高度なため現場では理解されにくいこと、計算のチェックが困難なことなどのために、実際のダム管理や計画には用いられていない。

現在、実際に行われているダム利水運用は、計画時に定めた確保容量をわらないように、かつ利水満水位をオーバーしないように操作するのみである。確保容量とは単に利水のための必要放流量とダム流入量との差を、時点をさかのぼって累加したものであり、ダムを渇渇させないために貯留すべき量を意味する。従来は計画規模のダム高の決定に用いられ、操作規則上は通常の貯留状態と異常時の貯留状態の境界を示すものであり、ダムの最適利水運用と関連づけて考えられることはなかった。このため異常渇水時に確保容量をわった場合に、どういった運用を行うべきかについての数学的理論は無く、ダム管理事務所の職員の経験、あるいは人事異動の多い中で職員の常識に頼る部分がほとんどであり、高度化されたモデルとの間には極めて大きな乖離が生じている。

本研究はこの現状の問題を解決するために、簡単に利用できて分かりやすく、理論的かつ実用的な手法を提案するものである。ダムの利水運用には極めて簡易な理論解が存在する。それは「必要放流量に対する節水率を、期間中の各時点で等しくとって描いた確保容量曲線は、最適利水運用を誘導する。」というもので将来の流量が与えられたとき、たとえば各曲線の節水率を0%、5%、10%、…と変えて確保容量曲線群を描けば、各時点での貯留量に対し、最適節水率が図上に示される。

この事実は近代水資源開発の歴史の中で、世界中で現在に至るまで発見されず、本研究の中で初めて証明されるもので、これによれば理論と実用の落差が解消され、DP等の複雑な計算はほとんど必要が無くなる。なお、ここにおける利水運用は都市用水や農業用水を意味し、発電は別の理論による。

以下に本論文の各章における内容をまとめる。

第Ⅰ章では水資源開発及び利水運用技術の現状と問題点を記した。

第Ⅱ章では本研究の最適運用理論の中心をなす「等節水率確保容量法則」の証明を行った。証明では渇水被害の評価関数を用い、被害を最小化するためには節水率を一定にすることが条件であることを導き、さらにマスカーブ図上でマスカーブへの接線となる放流が最適であることを示した。マスカーブの接線は確保容量の曲線と本質が同じであることから、これらにより等節水率の確保容量曲線上が最適節水運用を示すことになり、節水率を変えて確保容量曲線群を描けば、各時点の貯留に対し自動的に最適節水運用を誘導することが分かる。

第Ⅲ章では確率確保容量による最適節水曲線の決定法を示した。確保容量を描くには将来流量が数ヶ月先まで必要であるが、現実には不可能であるため確率論を導入する。各流量生起確率に応じて大きさを変えた節水曲線を描き、渇水被害関数を設定して既往流況に対し各節水曲線による運用計算を行えば、算出される渇水被害最小となるものが最適節水曲線となる。渇水被害の節水曲線自体は一般的に指数関数で表され、指数 m が1から3の間であると考えられていることから、 m を変化させて被害を比較することにより、誤差を最小にする節水曲線の設定が可能となる。

また、貯水池管理の側面からみると、無効節水とダムのだもが重要な指標である。ここではそれらの指標を渇水評価関数による利水者側の被害と併せて評価して、最適節水曲線を決定する手法及び計算例を示した。

第Ⅳ章では、既往の手法であるDDCルールカーブと本研究の確率確保容量との比較を行った。両者とも確率を考えた確保容量であるが、DDCルールカーブが流量の確率値の確保容量であるのに対し、本研究の方法は確保容量の確率値である。見かけは似ているが、計算の容易さや応用のしやすさから、本研究の方法が明らかに有利である。またDDCルールカーブの基本的な問題点は、等節水率確保容量法則の概念がないため、「季節の早遅」といった別の概念を導入して運用精度を悪化させていること、および本研究のように確率をパラメータとして評価関数を計算するといった、最適節水曲線線の選定方法が定まっていないことである。

第Ⅴ章では、確率確保容量理論の実用上必要となる各種技術を解説した。ダムと取水地点の間に残流域がある場合や利水目的が複数の場合、期別に渇水被害関数が異なる場合でも、確率確保容量は容易に適用できる。取水量が計画に達しない場合やダムが満水しない場合は、適用方法に注意を要するため、取り扱いを具体的に記述した。また、節水曲線に気象予測等による流入予測量を組み込んで運用することも容易であることを示した。

第Ⅵ章では、確率確保容量によるダムの最適規模の決定法を計算例により示した。確率確保容量により各施設規模にかかる最適運用が容易に求まるため、最適運用を前提とした施設規模の比較が可能となる。さらにここでは本手法を用いて、通常の利水容量に対し渇水対策容量を付加した、いわゆる渇水対策ダムの最適運用の手法も示した。

流域の水資源は限られており、ダムによる水源開発は今後更に制約が加えられると考えられる。限られたダム貯水池の空間をいかに使って最適な水供給を行うか、まさにその実現が求められており、本研究はそれに応えるため確率確保容量理論を発見・証明し、その妥当性及び実用性を明らかにしたものである。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 藤 田 睦 博
副 査 教 授 板 倉 忠 興
副 査 教 授 佐 伯 浩
副 査 助 教 授 清 水 康 行

学 位 論 文 題 名

ダムの最適利水運用に関する研究

近年、環境問題等によりダムの新規建設が困難さを増す中で、毎年のように大きな渇水が生じており社会問題化している。水資源の多様化が図られているが、ダムに代わるポテンシャルを有する手段がないのが実態である。こういった中で水資源の効率的運用は実施すべき大きな課題であり、中でも既存のダムによる利水運用及びその最適化は、極めて重要な課題である。

ダム利水運用については過去に数多くの研究がなされてきた。その多くは水位と放流量の制約条件の下で、目的関数を最大または最小にする最適化問題の解を求めるものである。決定論的最適手法としては、線形計画法(LP)、非線形計画法、動的計画法(DP)、また、確率論的最適手法として確率DP、確率LP、CCM法などを挙げることができる。しかしながら、以下のような理由で、実際のダム管理に用いられていないのが現状である。

- (1) 将来の流量情報を既知としている。
- (2) 現行の操作規則との整合性が図られていない。

したがって、実際に行われているダム利水運用は、計画時に定めた確保容量をわらないように、かつ利水満水位をオーバーしないように操作するのみである。このため異常渇水時に確保容量をわった場合に、どういった運用を行うべきかについて理論は無く、ダム管理事務所の職員の経験に依存するところが大きい。本論文はこの現状の問題を解決するために、理論的かつ実用的な利水運用の手法を提案している。なお、本論文の利水運用は都市用水や農業用水を対象とし、発電用水は含んでいない。本論文は、7章より構成されている。

第1章では、水資源開発及び利水運用技術の現状と問題点を論じている。

第2章では、本研究の最適運用理論の中心をなす「等節水率確保容量法則」の証明を行っている。証明では渇水被害の評価関数を用い、被害を最小化するためには節水率を一定にすることが条件であることを導き、さらにマスカーブ図上でマスカーブへの接線となる放流が最適であることを示した。マスカーブの接線は確保容量の曲線と本質が同じであることから、

これらにより等節水率の確保容量曲線上が最適節水運用を示すことになり、節水率を変えて確保容量曲線群を描けば、各時点の貯留に対し自動的に最適節水運用を誘導できること示している。

第3章では、確率確保容量による最適節水曲線の決定法を示している。確保容量を描くには将来流量が数ヶ月先まで必要であるが、現実には不可能であるため各流量生起確率に応じて大きさを変えた節水曲線を描き、渇水被害関数を設定して既往流況に対し各節水曲線による運用計算を行い、算出される渇水被害が最小となるものが最適節水曲線となることを示している。渇水被害～節水率曲線は一般的に節水率の指数関数で表示され、指数 m が1から3の間であると考えられていることから、 m を変化させて被害を比較することにより、渇水被害を最小にする節水曲線の設定が可能となることを示している。さらに、貯水池管理の側面からみると、無効節水とダムの涸渇が重要な指標である。ここではそれらの指標を渇水評価関数による利水者側の被害と併せて評価する、最適節水曲線の決定手法を示している。

第4章では、既往の手法であるDDCルールカーブと本手法による確率確保容量との比較を行っている。両者とも確率を導入した確保容量であるが、DDCルールカーブが流量の確率値の確保容量であるのに対し、本論文の方法は確保容量の確率値であることを示し、計算の容易さや応用のしやすさから、本論文で提案している方法が有利であることを明らかにしている。また、ルールカーブの基本的な問題点は、等節水率確保容量法則の概念がないことを指摘し、「季節の早遅」といった別の概念を導入して運用精度を悪化させる例を示している。

第5章では、確率確保容量理論の実用上必要となる問題点について述べている。すなわち、ダムと取水地点の間に残流域がある場合や利水目的が複数の場合、期別に渇水被害関数が異なる場合でも、確率確保容量は容易に適用できることをしめしている。また、節水曲線に気象予測等による流入予測量を組み込んだ運用も容易であることを示している。

第6章では、確率確保容量によるダムの最適規模の決定法を示している。さらに、確率確保容量により各施設規模にかかる最適運用が容易に求まるため、最適運用を前提とした施設規模の比較が可能となることを示している。また、本手法を用いて、通常の利水容量に対し渇水対策容量を付加した、いわゆる渇水対策ダムの最適運用手法も示している。

第7章は、本章で得られた結論をまとめている。

これを要するに、著者はダム貯水池の最適利水運用に関してダム管理上有用な新知見を得たものであり、水文学に対して貢献するところ大なるものがある。よって、著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。