

## 発電用ダムの洪水時定水位操作支援に関する研究

京都大学大学院	学生員	佐織 辰也
京都大学大学院	正会員	堀 智晴
株式会社ニュージェック	正会員	藤田 暁
関西電力株式会社	正会員	上坂 薫
京都大学大学院	正会員	椎葉 充晴

### 1. 序論

発電用ダムは洪水調節容量を持たないことが多く、洪水時のゲート操作は信頼性を問われる。また、それに伴って、ゲート操作時に実務者にかかる負担も大きい。以上のような観点から、発電用ダム貯水池の洪水時の管理を支援するシステムの開発が進められてきた。

しかしながら、現在までに開発されてきたシステムが出力する支援情報と、実際に実務者が行った操作とは、異なった結果となることが多い。また、出水後の検討では、多くの場合、現在の支援システムが導いた操作量よりも、実務者の決定のほうが正しかったことが指摘されている。このことは、現在利用可能なシステムが、実務者の持つ知識や経験を十分に取り込めていないことを意味している。

堀ら[1]は、こういった現状を改善すべく、発電用ダムの洪水時操作支援方法に関する検討を行い、操作規程をルールとして持ち操作量を導く知識システムと、実務者から抽出した知識に基づいて操作量を導く知識システムとを互いに協調させることで、信頼性の高い支援情報を提供する構成を提案した。そして、操作規程をコンピュータ可読形式のルールに変換し、状況に応じたルールを高速に検索・抽出するための推論エンジンを設計している。しかし、定水位操作においては、実務者は非常に多くの要素(貯水池の水位・水位変化量、上流地点の流量・雨量・前回の操作の結果など)から操作量(放流量)を決定しており、実務者の操作方針をルールや数式の形で抽出することは困難であることから、本研究では、定水位操作を支援する方法について検討する。

### 2. 定水位操作の支援方法

#### 2.1 発電用ダムの洪水時の操作と実務者の判断

実務者の操作が比較的良好であることを考えると、操作規程のルールベース化に加え、実務者の知識を抽出し、それに基づいて操作支援システムを設計することは、ベストな操作を実現できる保証は無いにしても、誤りの少ないよりよい操作を実現できるものと考えられる。

#### 2.2 ニューラルネットワークの採用

定水位操作間隔はとても短く、実務者は多くのデータから操作量を瞬間的に判断し放流量を決定し、それを洪水期間中絶えず繰り返しているため、ルー

ルベースアプローチはとりづらい。そこで、定水位操作では、判断の材料となった大量の観測データや予測データと実際に操作された操作量との因果関係を、ニューラルネットワークを用いてモデル化する。

#### 2.3 セルフチューニング制御理論の導入

貯水池の確率的特性を考慮するために、実時間で得られる情報を基に、確率過程下での放流量を時々刻々最適に決定していくセルフチューニング制御理論による計算放流量をニューラルネットワークの入力データに付加する。

#### 2.4 対象ダム流域

定水位操作という極めて短期的な操作量を必要とするため、対象ダム流域において、流下時間により時間遅れの大きくなる範囲まで考慮する必要はない。さらに、微細な操作量を必要とするため流域内のデータは正確さを要する。この方針で、対象ダム流域で考慮する範囲を決定した。

### 3. ニューラルネットワークによる放流量計算

#### 3.1 ニューラルネットワークのアルゴリズム

ニューラルネットワークは、既知の入出力データ(教師データ)をもとに、入出力間の特性を記述し、新しい入力に対する出力を推定する多次元非線形補間法の一種である[2]。その構成は、多数のニューロンと呼ばれる素子が複雑に結合し、それぞれがシナプスを通して処理を行うものである。シナプスでは、その結合強度を乗ずることにより信号に重み付けをし、次のニューロンへ伝達させる。この結合強度を教師データにより最適化することで、入出力間の特性を学習させる。この学習アルゴリズムとして本研究ではハイブリッド法[2]を用いる。

#### 3.2 ニューラルネットワークで用いるデータ種類の選定

まず、実務者が操作するとき特に重要視するデータの種類を教わり、それを選定した。次に対象ダム流域で考慮する範囲から絞込みを行った。その結果、以下の7種類のデータをニューラルネットワークの入力データとした。

過去の放流量

[目標水位 平均水位]

[瞬時水位 平均水位]

桃山堰堤越流量

伊那川ダム放流量

キーワード 発電用ダム 定水位操作 ニューラルネットワーク セルフチューニング制御理論  
連絡先 〒606-8501 京都市左京区吉田本町 京都大学大学院工学研究科土木システム工学専攻  
水文・水資源工学分野 Tel 075-753-5095

読書雨量  
阿寺川雨量

### 3.3 ニューラルネットワークの適用

特定の教師データ及び検証データを用いることを避けるために、今回使用した洪水データにおいて、結合強度同定と検証に使用するデータを違えて7つの適用例に分けた。また、それぞれの適用例において、入力データ数が7、14、21の3つの場合に分けてニューラルネットワークを適用し、各適用例での実放流量とニューラルネットワーク計算放流量との平方根平均二乗誤差(表 3.1)を求め、それが最も小さかった7個の入力データを用いた場合を採用する。

(単位は  $m^3 / s$ )

適用例	入力データ数		
	7個	14個	28個
適用 1	2.23722	6.88575	7.03466
適用 2	4.32114	6.72611	16.6853
適用 3	2.80796	3.05382	3.38421
適用 4	1.64185	2.01101	1.90771
適用 5	5.55831	12.9964	14.6153
適用 6	20.2542	29.9689	25.4367
適用 7	1.89131	2.97794	2.70279

表 3.1：検証期間における平方根平均二乗誤差

## 4. セルフチューニング制御理論の導入

### 4.1 セルフチューニング制御理論の定式化

まず、ゲート放流量を入力変数すなわち制御変数とし、貯水池水位を出力変数すなわち被制御変数として、この発電用ダムシステムの入力と出力の関係を表した。その後、貯水池水位と目標水位の偏差を最小とする放流量を求めた。また、カルマンフィルタによる発電用ダムシステムパラメータ同定のための定式化を行った。

### 4.2 セルフチューニング制御理論の適用

発電用ダムゲート操作に対して定式化したセルフチューニング制御理論を用いて、放流量計算を行うプログラムを作成した。これにより計算される放流量をニューラルネットワークの入力データに新たに加える。

### 4.3 放流量の評価方法

セルフチューニング制御理論から洪水の各時刻で定式化した放流量 水位特性を利用することにより、放流量から水位を推定し、水位での評価を行う。

また、

方針 1 実務者が変更・再設定した目標水位に水位を回復すること、

方針 2 水位を操作規則に記載された目標水位である「規定目標水位」に保つこと

の二つの方針に分けて放流量の計算を行い、それを評価する。

### 4.3 セルフチューニング制御理論を導入したニューラルネットワークの評価

2 つの方針のもとに放流量を計算し、貯水池の放

流量 水位特性を用いてそれらから求めた貯水池水位と目標水位との偏差を図 4.1 ~ 図 4.2 に示す。

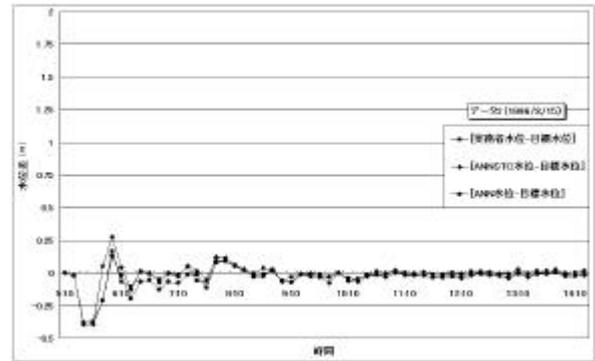


図 4.1：方針 1、目標水位との偏差

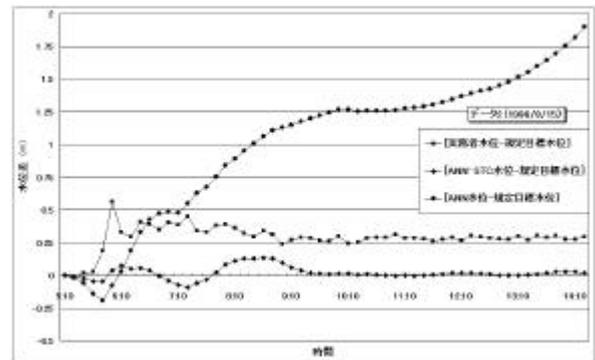


図 4.2：方針 2、規程目標水位との偏差

方針 1 では、ニューラルネットワーク及び、セルフチューニング制御理論を導入したニューラルネットワークで計算した放流量は、実務者の決定した放流量より若干劣るが、方針 2 では、セルフチューニング制御理論を導入したニューラルネットワークで計算した放流量は、実務者の決定した放流量よりも貯水池水位を規程目標水位により近く保つことができており、優れていたと言える。

## 5. 結語

本研究では発電用ダムの定水位操作支援に方法について検討し、ANN のみならず STC を ANN に組み込むことによって、実務者の決定した放流量よりも優れた放流量を計算する方法を提案した。

## 参考文献

[1] 堀智晴・椎葉充晴・角田恵・岡明夫：発電用ダムの洪水時操作支援に関する検討、土木学会論文集、1999。  
 [2] 馬場則夫・小島史男・小澤誠一 著：ニューラルネットの基礎と応用、共立出版、1994。  
 [3] 河村明・神野健二・押川光宏・上田年比古・中山比佐雄：セルフチューニングコントロール理論による河口堰ゲートの実時間最適制御、土木学会論文集 1993