

# 水力発電所における放水路内への貯留による安全な放流方法の開発

中部電力(株) 正会員 ○杉山 陽一  
中部電力(株) 高谷 亘

## 1. はじめに

水力発電所における発電放流にあたっては、公衆保安に配慮した安全な放流となるよう努める必要がある。発電により水車から流出した流水は、放水路を経て放水口から河川に放流される(図-1)。

水力発電所の起動時は、機器の異常(水車のキャビテーションなど)が発生しない最低流量まで、水車流量を急激に増加させる必要がある。一方、起動後の放水口からの河川への放流量は、公衆保安確保のため河川水位の急激な上昇を抑えた緩やかな増加が求められる。従って図-2 に示すように、急激に増加する河川への放流量  $Q_2$  が、安全な河川への放流量  $Q_2'$  を超えないようにする対策が必要となる。

本研究では図-3 に示すように、放水口に設置したゲートを制御することによって、水車からの流水を放水路内に貯留し、河川への放流量を調節する安全な放流方法を開発することを目的とした。

## 2. 研究の概要

水車から流出した流水を貯留するためには、流量に対し十分に大きな容量を持つ放水路が必要である。仮に、流量が数  $10\text{m}^3/\text{s}$  の場合、放水路長は数  $\text{km}$  程になる。一方、放水口ゲートからの放流量はゲート開度とゲート下端の刃型の微細な形状により大きく変化する。

本研究では水車から放水口までの長大な放水路を含む水路系全体の流れを再現するため、三次元数値流体解析を用いることとした。しかし、長大な放水路を含む全体をメッシュモデルで再現するためには、計算時間の制約を考慮するとメッシュサイズの細分化には限界があり、放流量を支配する放水口ゲート近傍領域の局所的な流れの再現性に課題があった。

このため、放水口ゲート近傍領域については、模型実験による放流の再現を併せて実施し、模型実験と同じ条件下において解析の再現性を確認し、誤差のある場合は適正な補正を行うこととした。

### (1)三次元数値流体解析

モデル発電所は、放水路の直径を約  $5\text{m}$ 、長さを約  $4\text{km}$ 、水車最低流量を  $30\text{m}^3/\text{s}$  と想定した。放水口ゲート部分については、扉体の厚さ  $60\text{cm}$  を極力再現するため、最小メッシュサイズを  $8\text{cm}$  とした。その他の部分については、

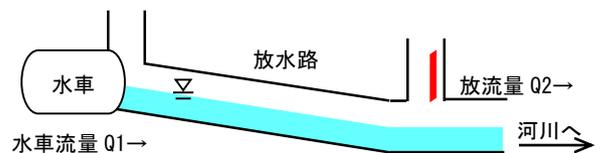


図-1 水力発電所の水車から河川に至るレイアウト

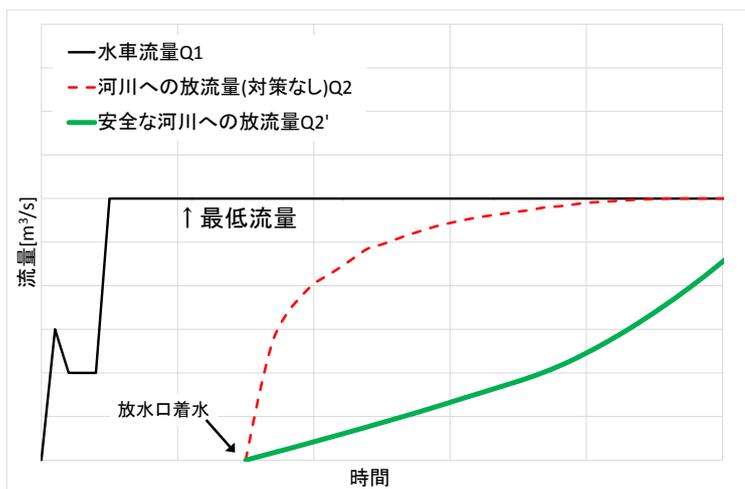


図-2 水力発電所起動時の水車流量と放流量の関係

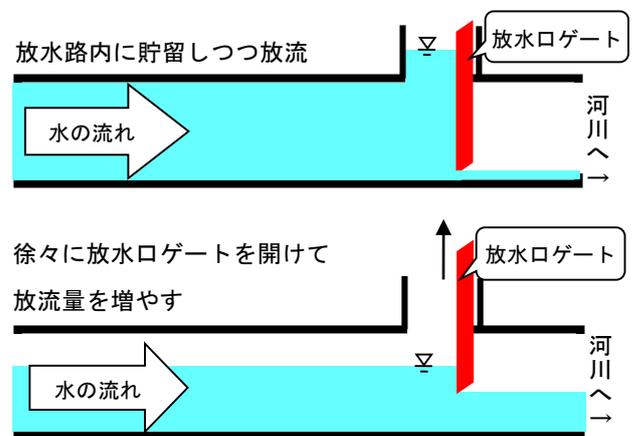


図-3 放水路内貯留と放水口ゲート制御のイメージ

30~70cm のメッシュサイズとした。放水ロゲート近傍のメッシュモデルと解析例を図-4 に示す。解析には Flow Science 社の Flow-3D を用いた。

## (2)水理模型実験

放水ロゲート近傍の流れを適切に再現するため、水理模型は図-5 に示すように放水路下端部(ゲート上流 75m)から放水口溺庭(ゲート下流 24m)までを再現した縮尺 1/15 の模型を作製した。放流量とゲート開度を変化させてゲート上流の水位を測定した。

## 3. 水理模型実験と数値流体解析の結果

ゲートからの放流量は、ゲート開度(水路敷とゲート下端の距離)と、ゲート上流の水位によって決定され、 $Q = CaB\sqrt{2gh}$ で表される (Q:流量 C:流量係数 a:ゲート開度 B:ゲート幅 h:上流の水位 g:重力加速度:図-6 参照)。実験と解析において、流量とゲート開度を同じ条件として上流の水位を比較した所、図-6 のように実験の上流水位が高い結果となった。このことは、実験の流量係数の方が解析よりも小さいことを示しており、同じ上流水位で同じ流量を流そうとした場合、実験の方が解析よりも大きなゲート開度が必要であることを意味する。実験は十分な再現性を有しており、実機と同等であると考えられるため、実機のゲート運用では、解析で得られた開度を実機相当に換算して適用することとした。なお、換算後の開度は、大きくても換算前の 1 割程度の増加である。

## 4. 放水ロゲート制御方法の検討

以上の検討結果に基づき、水車起動時の放水ロゲート制御による安全な河川への放流に向けた水路系全体の三次元数値流体解析を実施した。図-7 はゲート制御の有無による放流量の経時変化を示す。

緑線は法令上守るべき、下流の急激な水位上昇を抑えた安全な放流量の上限を示す。赤線はゲート制御を行わない場合であり、安全な放流量を上回る。ゲート制御を行う場合には、安全な放流量を下回り、かつ貯留水の早期放流による短時間での出力増加が可能となるよう最適化を行った。その結果は青線のようになり、ゲートを制御し放水路内へ流水を貯留することにより放流量を調節することで、安全に放流することが可能となった。

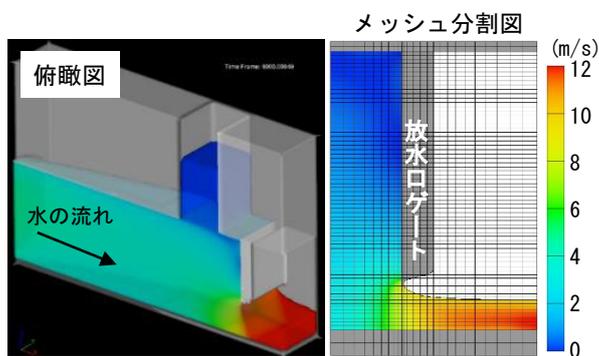


図-4 放水ロゲート近傍のメッシュモデルと解析例



図-5 水理模型

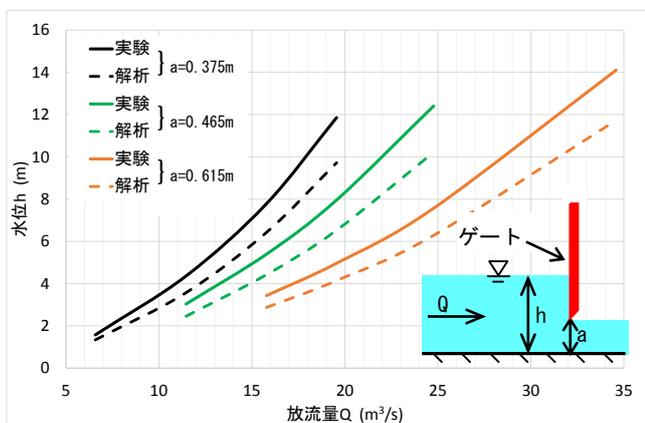


図-6 水理模型実験と数値流体解析の結果

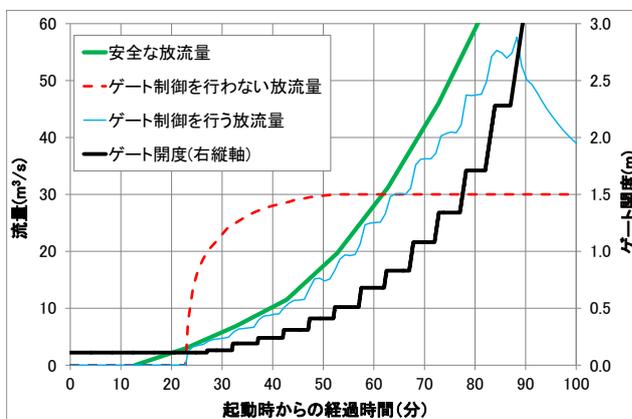


図-7 ゲート制御の有無による放流量の違い

## 5. おわりに

本研究で開発した放流方法は、今後実機に適用し、その有効性を検証する予定である。