

放水路内への貯留による安全な発電放流方法の開発

水力発電所起動時の公衆保安の確保

Development of Safety Measures for Water Discharge from Hydropower Plants by Storing Water in Tailraces
Ensuring public safety at the starting of generators in hydropower plants

(電力技術研究所 土木技術G 水理T)

(Hydraulic Team, Civil Engineering Group, Electric Power Research and Development Center)

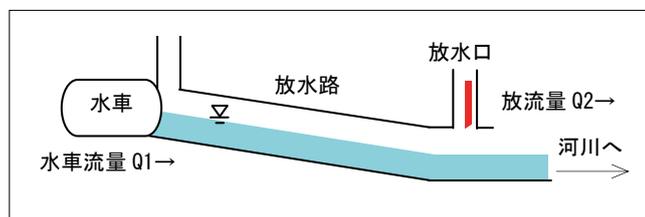
水力発電所からの発電放流は、河川の公衆保安確保のため安全な放流方法が求められるが、発電起動時には水車流量が急激に増加するため、下流河川の水位が急に上昇する恐れがある。このため、放水口に設置したゲートを制御することによって、水車からの流水を放水路内に貯留し、放流量を調節する安全な放流方法を開発した。

In order to ensure public safety, safety measures are required to discharge water from hydropower plants. When the flow rate of turbine discharge increases quickly during the starting of generators, river water level along the downstream may rise suddenly. Safety measures for water discharge were developed, in which the turbine discharge is stored in tailraces and the discharge rate is regulated by controlling tailgates installed at outlets.

1 背景と目的

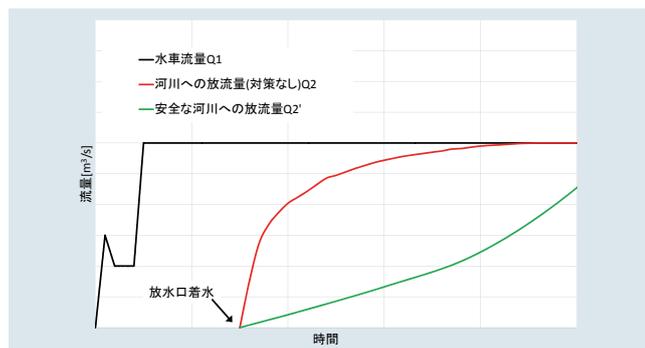
検討対象のモデルとなる水力発電所の水車から河川に至るレイアウトは第1図のようになっており、水車から流出した流水は、放水路を経て放水口から河川に放流される。

水力発電所の起動時は、機器の異常（キャビテーションなど）を速やかに回避するために、水車流量を最低流量まで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放流量は、公衆保安確保のため河川の急激な水位上昇を抑えた緩やかな増加が求められる。

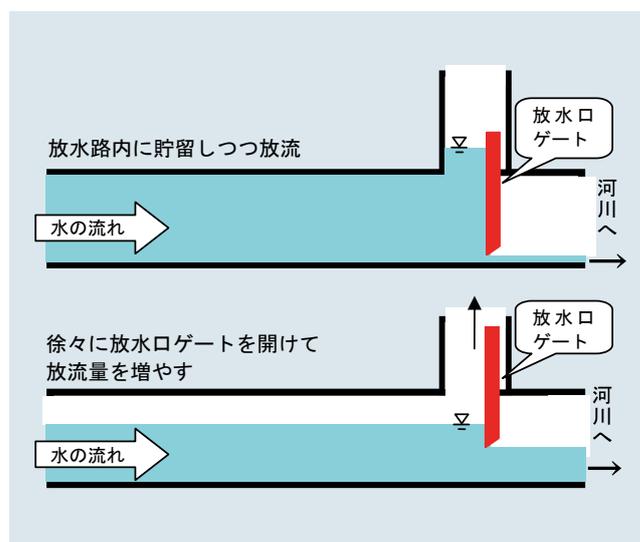


第1図 水力発電所の水車から河川に至るレイアウト

しかし、第2図に示すように、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ためには、対策が必要となる。本研究では第3図に示すように、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。



第2図 水力発電所起動時の水車流量と放流量の関係



第3図 放水路内貯留と放水口ゲート制御のイメージ

2 研究の概要

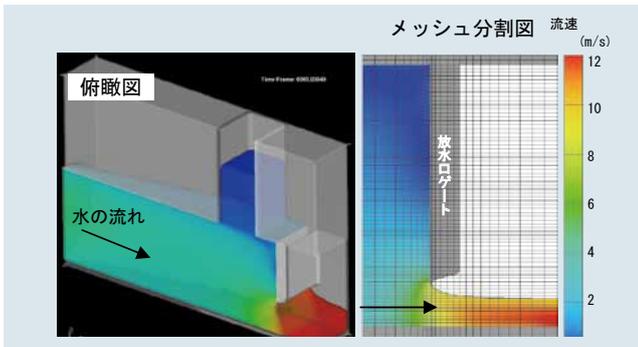
水車から流出した流水を貯留するためには、流量に対し十分に大きな容量を持つ放水路が必要である。仮に、流量が数 $10\text{m}^3/\text{s}$ の場合、放水路長は数 km 程になる。一方、放水口ゲートからの放流量はゲート開度とゲート下端の刃型の微細な形状により大きく変化する。

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実施することとした。しかしながら、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精度に課題があった。

このため、放水口ゲート近傍領域については、数値解析ではメッシュを細かくするとともに、模型実験による放流の再現を併せて実施した。模型実験と同じ条件下において解析の精度を確認し、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5m、長さを約4km、水車最低流量を30m³/sと想定した。極力正確に放流量を再現するため、放水口ゲート近傍については数cm単位のメッシュサイズとし、その他の部分については数10cm単位のメッシュサイズとした。放水口ゲート近傍のメッシュモデルと解析例を第4図に示す。



第4図 放水口ゲート近傍のメッシュモデルと解析例

(2) 水理模型実験

放水口ゲート近傍の流れを適切に再現するため、水理模型は第5図に示すように放水路下端部から放水口溺庭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。



第5図 水理模型

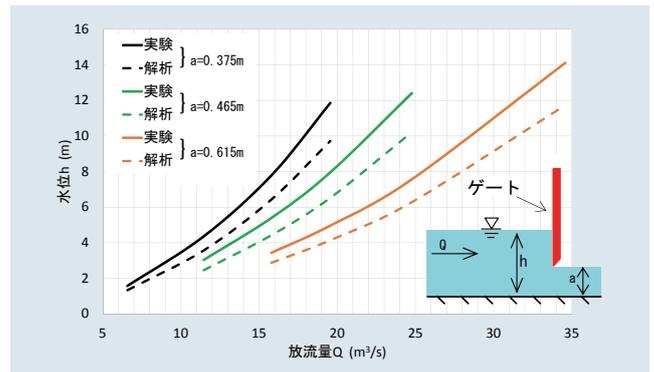
3 水理模型実験と数値流体解析の結果

ゲートからの放流量は、ゲート開度（水路の床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：第6図参照）。

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、第6図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。



第6図 水理模型実験と数値流体解析の結果

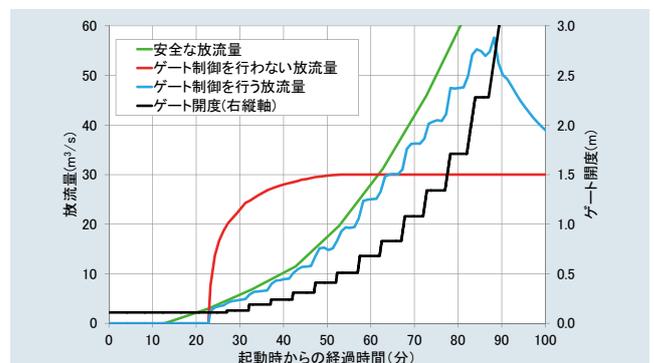
実験は十分な再現性を有しており、実機と同等とみなせるため、実機のゲート運用では、解析で得られた開度を実機相当に換算して適用すればよいことになる。なお、換算後の開度は、大きくても換算前の1割程度の増加である。

4 放水口ゲート制御方法の検討

以上の検討結果に基づき、水車起動時の放水口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。第7図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ついては、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。



第7図 ゲート制御の有無による放流量の違い

5 今後の展開

開発した放流方法は、実機における検証の後、実適用を目指していきたい。



執筆者／高谷 亘