

既設水力発電所の余水路減勢効果に関する研究

H 発電所水理模型実験による検討

Study on Energy Dissipator for Spillway of Existing Hydropower Station

Hydraulic Model Test of H-PowerStation

北海道電力(株) 正員 笠井秀男 (Hideo Kasai)
 北海道電力(株) 正員 神藤謙一 (Kenichi Kando)
 北海道電力(株) 渡邊光春 (Mitsuharu Watanabe)
 北電総合設計(株) 上田知広 (Tomohiro Ueda)

1. はじめに

水力発電所の余水路では、高い位置エネルギーを有する箇所から十分減勢させて下流に放流する必要がある。

今回検討対象としたH発電所は現状ではスキージャンプ式の余水路形状となっているが、下流河川で最近特にカヌーやラフティングが盛んとなり、現状の余水路では公衆災害の発生が懸念されるため、余水路吐口から安定放流できるように減勢工を「立坑型と衝撃型の併用型」に改造する予定であり、既に「併用型」で余水路を改造している当社上岩松発電所の事例¹⁾を参考として、コスト低減と安定放流を目指した水理模型実験を実施することとした。

2. 水理模型実験の概要

2.1 実験模型

当実験の流況については重力と慣性力が支配的であると考へ、フルードの相似則を採用した。また、過去の実験事例や実験場スペースを考慮し、模型縮尺を1/24とした。

写真-1、図-1に実験模型の概要を示す。実験模型は余水管、減勢工、下流水槽から構成し、流量および余水管内流速の調整は余水管上流側のゲートで行うこととした。

減勢工は「併用型」で設計し、余水管からの水流を衝突板に当てて勢いを弱め、ディフレクターに沿わせて立坑(減勢室)に落とした後、下流水槽に放流する構造とした。

2.2 実験条件

流速については、以下の制約条件を設定した。測定位置を図-2に示す。

開口部末端から常流で流れるように、開口部末端(aライン)で限界流速以下となること。

電源開発(株)の事例²⁾を参考とし、余水放流後の河川流速については、下流水位 NWL124.985m を再現した状態で、擁壁末端(bライン)で基準値(2m/s以下)に収まること。

また、減勢工模型の幅については、当初上岩松発電所余水路との流量比から $B_1=9m$ に設計していたが、電中研の指標 $B_1=2.5d$ (d :余水管径)³⁾より $B_1=6m$ を採用した。他の模型寸法については、減勢工の上流端位置・長さおよび天端高を固定とし、開口部幅、放流部段差、減勢室縦断寸法をパラメータとして最適形状を求めることとした。

なお、下流水位については下流水槽に貯水することで再現可能としたが、危険側の条件で実験を行うことを前提とし、基本的に再現しないこととした。

2.3 実験ケース

実験は表-1のとおり、減勢工形状を検討する予備実験(ステップ1~5)および圧力等の詳細検討を行う本実験を実施した。

予備実験では余水管および減勢工内の減勢状況を観察しながら、流速等の制約条件を満足し、かつ内空が最小となる形状を減勢工の下流側から各ステップごとに決めていくこととした。

本実験では予備実験で選択した形状について、改造工事の設計に反映するための基礎資料を得るために圧力を詳細に測定した。

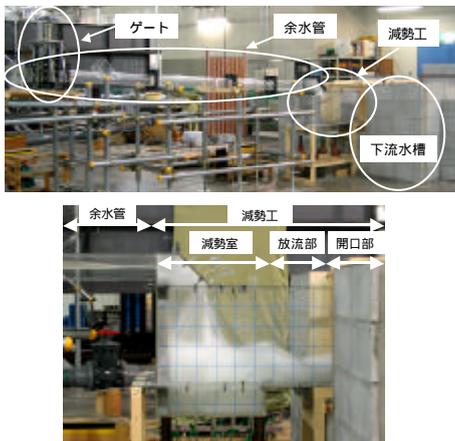


写真-1 水理模型全景および減勢工全景

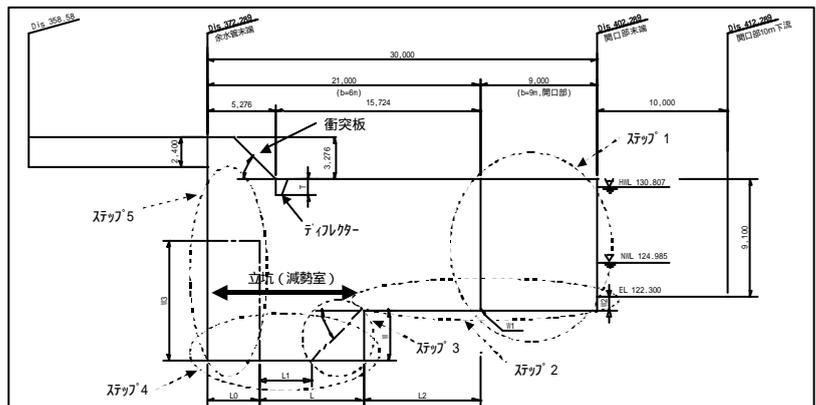


図-1 減勢工模型縦断面図と検討箇所

ケース 3-1,2(0,3m 縮小)では減勢室内で適正にローラー(左回り)が形成されているが、ケース 3-3(4m 縮小)では右回りのローラーが形成されているため、水カーテンの上下流で水位差が生じることで水面変動が大きくなり、適正に減勢されなかった(写真-2)。

またケース 3-4では、下流側段差を斜め(=45°)として検討した。その結果、aラインの最大流速が3.430m/sと限界流速(3.429m/s)を上回った(図-4)。

以上の結果より、流速・流況とも満足し内空が最も縮小となるケース 3-2を採用した。



写真-2 ステップ3の減勢工流況

3.5 ステップ4(減勢室上流側検討)実験結果

ステップ4では減勢室上流側の寸法(W3、L0)をパラメータとして7ケース設定した。

ケース 4-1~4では、L0=1mとしW3を4~15mとして検討した。その結果、ケース 4-1,2(W3=6m以下)においてL0天端で二次流が起きたことから流速が大きくなり(写真-3)、aラインの最大流速が3.440m/sと限界流速(3.429m/s)を上回ったため(図-4)、適正に減勢されていないと判断した。また、ケース 4-3,4(W3=8m以上)ではL0天端での二次流が起きず、aラインの最大流速が3.280~3.330m/sと限界流速(3.429m/s)をクリアした。

ケース 4-4,5では、W3=15mとしL0を1~2mとして検討した。その結果、aライン流速はいずれも限界流速をクリアしたが、ケース 4-5(L0=2m)では余水管末端で閉塞気味となり、余水管に水が跳ね返ったため(写真-3)、適正な流況ではないと判断した。

ケース 4-6,7では、W3=12mとしL0を2~3mとして検討した。その結果、aライン流速はいずれも限界流速をクリアしたが、ケース 4-6(L0=3m)ではディフレクターから跳ね返った水流がL0天端に直接当たるような流れが生じ(写真-3)キャビテーションが懸念されるため、適正な流況ではないと判断した。また、ケース 4-7(L0=2m)では懸念されるような流況は生じなかった。

以上の結果より、流速・流況とも満足し内空が最も縮小となるケース 4-7を採用した。

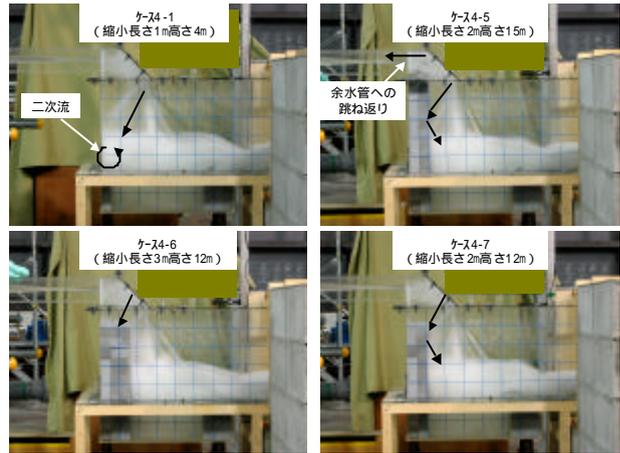


写真-3 ステップ4の減勢工流況

3.6 ステップ5(減勢室底部検討)実験結果

ステップ5では減勢室底部の寸法(W)をパラメータとして4ケース設定した。

aラインの流速測定結果によると、ケース 5-4(4m 縮小)では最大流速が3.930m/sと限界流速(3.429m/s)を上回り、他のケースでは限界流速をクリアした(図-4)。

ケース 5-1(1m 縮小)では減勢室内で適正にローラーが形成されているが、ケース 5-2~4(2~4m 縮小)はローラーが形成されずに流下方向の流れが卓越するため(写真-4)、ケース 5-1より減勢効果が劣ると判断し、ケース 5-1を採用した。

ケース 5-1においてBラインで流速測定を行った結果、最大流速が1.970m/sと基準値(2m/s以下)をクリアした。また、衝突板形状やディフレクター形状の妥当性を確認するため、高水位を再現して流況を確認した結果、余水管末端で閉塞されず流況的にも問題ないことから、本ケースを最適形状とした。図-5に最適形状を示す。

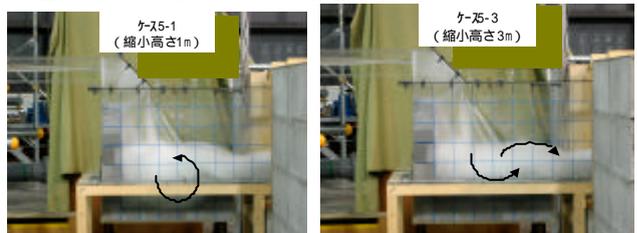


写真-4 ステップ5の減勢工流況

4. 本実験

4.1 測定項目

ここでは最適形状において、衝突部と減勢室底部の圧力

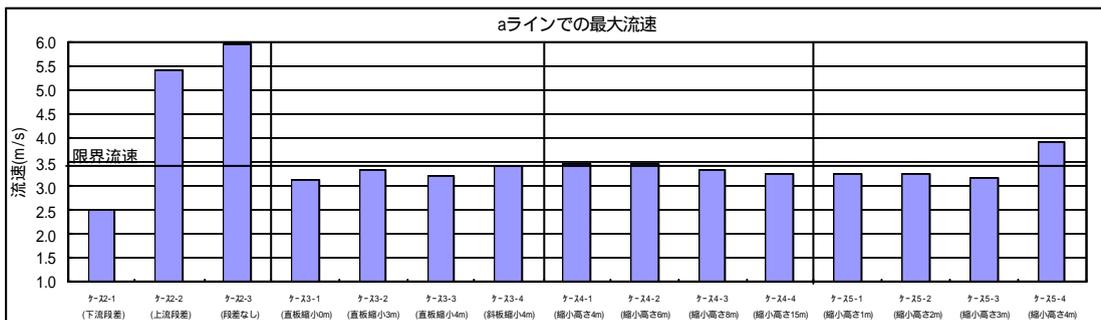


図-4 aライン最大流速の比較(ステップ2~5)

測定により、減勢工内の減勢状況を確認した(図-5)。

衝突部では、縦断方向4×横断方向3=12点(1m間隔)でマンノメータを用いて測定し、最大圧力が測定された箇所について、圧力計を用いて時系列測定を行った(0.1秒毎、30秒×3回)。

減勢室底部では縦断方向5×横断方向3=15点(2m間隔)でマンノメータを用いて測定し、最大圧力測定箇所について、衝突部と同様に圧力計を用いて時系列測定を行った。

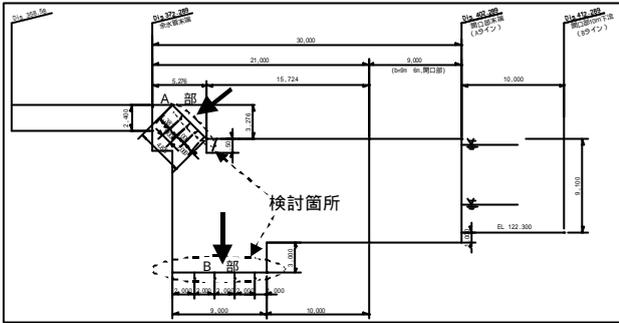


図-5 最適形状における圧力測定位置図

4.2 実験結果

衝突部(A部)でマンノメータによる圧力測定を行った結果(図-6) 衝突部中央(B2位置付近)および下流側中央(A4~B4位置付近)で圧力が大きくなり、ディフレクターとの取り合い部であるB4位置で最大となった。

B4位置で圧力計による測定を行った結果(図-7)、最大値は0.082N/mm²(0.83kgf/cm²)と平均値0.071N/mm²(0.72kgf/cm²)の1.2倍程度となった。この最大圧力値に対して衝突部のキャピテーションを考慮すると、衝突部に鋼板を設置することで対処可能であると考えられる。

また、減勢室底部(B部)でマンノメータによる圧力測定を行った結果(図-6) C5位置で圧力が最大となったが、測定位置による圧力の大きさには大きな差は見られなかった。測定値は水深程度の値となっておりディフレクターからの落下による衝撃の影響はほとんど見られず、立坑の水クッションの効果が現れていると判断できる。

C5位置で圧力計による測定を行った結果(図-7)、最大値が0.071N/mm²(0.73kgf/cm²)と平均値0.065N/mm²(0.66kgf/cm²)の1.1倍程度となった。

以上より、本形状は圧力に関して問題ない形状であることが確認された。また、当初設計案(幅B=9m、V=3,394m³)に比べ本形状(V=2,129m³)では容量を1,265m³(37%)小さくすることができた。

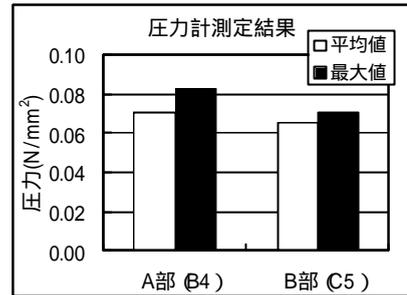


図-7 圧力計による圧力測定結果

5. まとめ

本検討の成果を以下のとおりまとめた。

H発電所余水路において、水理模型実験で「併用型」減勢工を検討した。その結果、流速・流況の制約条件を満足し、かつ内空が最も縮小される最適形状を見出した。最適形状での圧力測定により、本形状の妥当性を確認した。その結果、衝撃部ではディフレクターとの取り合い部で圧力が最大となったが、鋼板を設置して対処可能な圧力であることが分かった。また、減勢室底部ではいずれの箇所も圧力が静水圧と同程度であることを確認した。

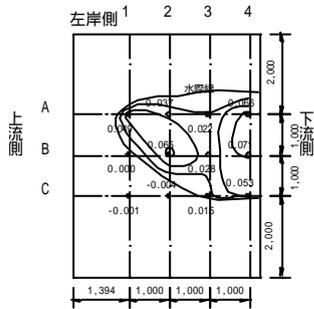
当初設計案(幅B₁=9m、V=3,394m³)に比べ、当実験で採用した最適形状(V=2,129m³)では容量を1,265m³(37%)小さくすることができた。

6. おわりに

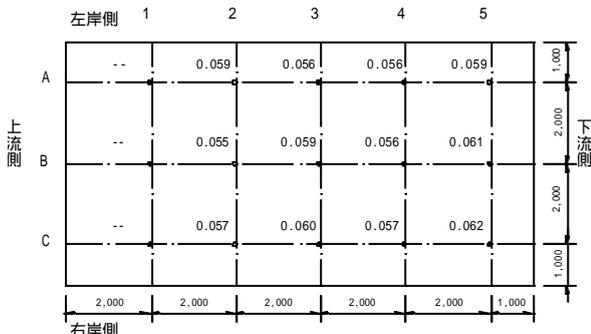
H発電所余水路は平成17年10月から改造工事を行う予定である。完成後(平成18年3月)に有水試験を実施する計画であり、有水試験時に余水路減勢工の現地水理計測(流速・水面計)を実施して、今回の実験結果と比較検証することで、最適形状の妥当性を検証する予定である。

参考文献

- 1) 峯田稔・阿部英夫：余水路減勢工の水理に関する研究 - 上岩松一号発電所余水路水理模型実験 - (完) 北海道電力(株)総合研究所研究報告第487号、1991.9
- 2) 喜多村雄一他：芽登第二発電所 水槽余水路改造に関する水理的検討、電力土木No.305、pp43-47、2003
- 3) 福原華一：水力発電所余水路立坑型減勢工の水理設計法、電力中央研究所研究報告No.U88018、1988.9



(a) A部の圧力測定結果



(b) B部の圧力測定結果

図-6 マンノメータによる圧力測定結果

(図中の圧力の単位は N/mm²)