

II-50

ヘッドタイプ発電所の余水路減勢工水理模型実験

北海道電力株式会社 正会員 平井 祐次郎
 同上 正会員 石原 英昭
 北電興業株式会社 岡島 尚司

1. はじめに

流れ込み式の水力発電所は、発電機が緊急停止（負荷遮断）した場合、発電用水を急に止めることができないことから、余水路を設ける必要がある。余水を河川に放流する場合、河川に影響を与えないよう余水路を放水路に直結したり、放水口と同じ位置にする安全対策を講じている。一方、余水路から放水路への水流は発電と同じ高さの位置エネルギーをもっていることから、放水路および下流河川に影響のないように適切な減勢工を設計する必要がある。

また、取水口側に発電所のあるヘッドタイプ発電所は、発電に必要な落差を得るため放水路が長くなり、発電を急に運転開始もしくは停止すると放水路を流れる水は急に追従できないため、水路内に圧力変化が生ずる。この圧力を吸収する目的で放水路の発電機寄りの位置に自由水面をもった調圧水室を設けている。

ヘッドタイプ発電所の余水路減勢工では、形状を立坑型とする場合には調圧水室と共用することによって建設費の低減が可能であると考えられるため、今回水理模型実験によって流況を確認し諸元を求めたので、この結果について報告する。

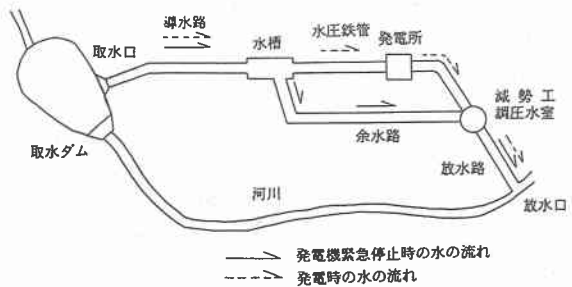


図-1 今回検討の水路ルート

2. 減勢工の役割

負荷遮断時の余水路からの水流は発電と同じエネルギーをもっているため、放水路へ流すためには十分に減勢させる必要がある。

また、余水路の流れは管路流の高速射流となるため、減勢工に大量の空気を巻き込むことになる。この大量の空気が放水路に流れると水面が波立ち、管路内が一時的に閉塞することで負圧になるセルフプライミング現象¹⁾を起し、放水口で空気塊による音が発生することがある。

減勢工に課せられる役割は、余水路からの水流を十分に減勢させること、および余水路から巻き込んでくる大量の空気を排気させることである。

3. 減勢工の種類と立坑型減勢工の種類

減勢工の代表的なものには、①水平方向に長い水槽（減勢池）で減勢する「跳水型」、②流れを壁に衝突させて減勢する「衝撃型」、③垂直に落下する流れを底の深い水槽（減勢池）で減勢する「立坑型」の3種類があり、これらの単独型もしくは複合型で用いられている。

減勢工の形式選定基準は、稲松らにより図-2²⁾に分類されている。

今回の実験は調圧水室を兼用するため「立坑型減勢工」について検討を行った。

Hydraulic Model Test of Energy Dissipator of Head-tank Spillway
 by Yujiro HIRAI, Hideaki ISHIHARA, Naoji OKAJIMA

立坑型減勢工は以下の特徴を有している³⁾。

- ①流量の適用範囲が広く、安定した減勢効果が得られる。
- ②余水路終端敷高と放水位をそれぞれ独立に選び、その間の高低差を立坑高さで調整できる。
- ③余水路流下方向に対し、放流方向を任意に選定できる。
- ④形状が単純で小型である。

立坑型減勢工は、図-3に示すストレートタイプとオリフィスタイプに分類され、前者は放流トンネル水深が小さい場合、後者は放流トンネル水深が大きい場合に適用される。

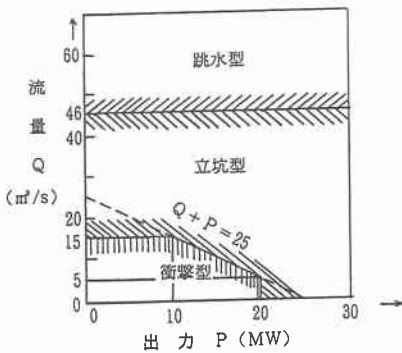


図-2 形式選定基準

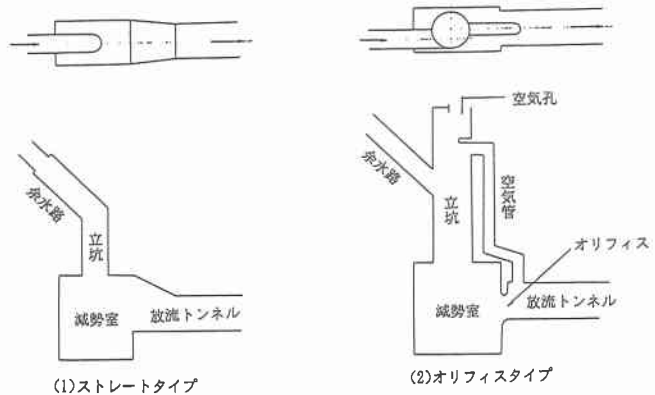


図-3 立坑型減勢工の構成と分類

4. 水理模型実験

4.1. 実験方法

模型縮尺は模型精度、実験スペースなどを考慮して1/20とし、本実験においては重力と慣性力が支配的であることから相似則はフルード相似則とした。なお、実験結果の数値は実物換算値で示している。

模型概要を図-4に示す。このうち余水路、減勢工(立坑)、放水路の模型は流況観察のためアクリル製とした。

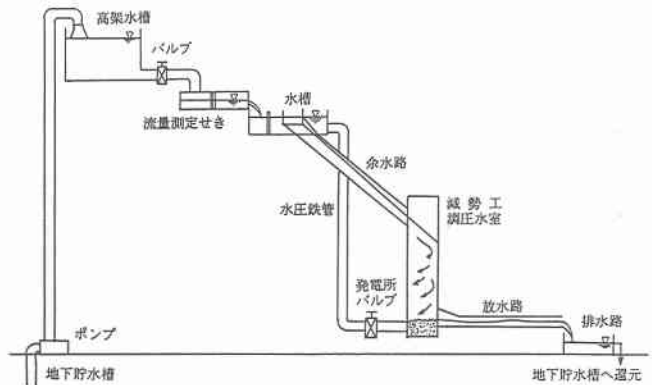


図-4 模型概要

4.2. 減勢工形状

今回の実験における発電諸元は、最大使用水量 $21 \text{ m}^3/\text{sec}$ 、出力 10 MW とし、立坑径はサージングの計算から 7.0 m 、放水路トンネル径は 3.3 m の無圧トンネル(水深は9割)、余水路出口流速は $26 \text{ m}/\text{sec}$ とした。

減勢工の形状は図-5に示すとおりであり、調圧水室をそのまま立坑型減勢工に用いるAタイプ、立坑に拡幅部(敷高は立坑と同レベル、延長は 7.0 m)を設けるBタイプの2ケース実施した。

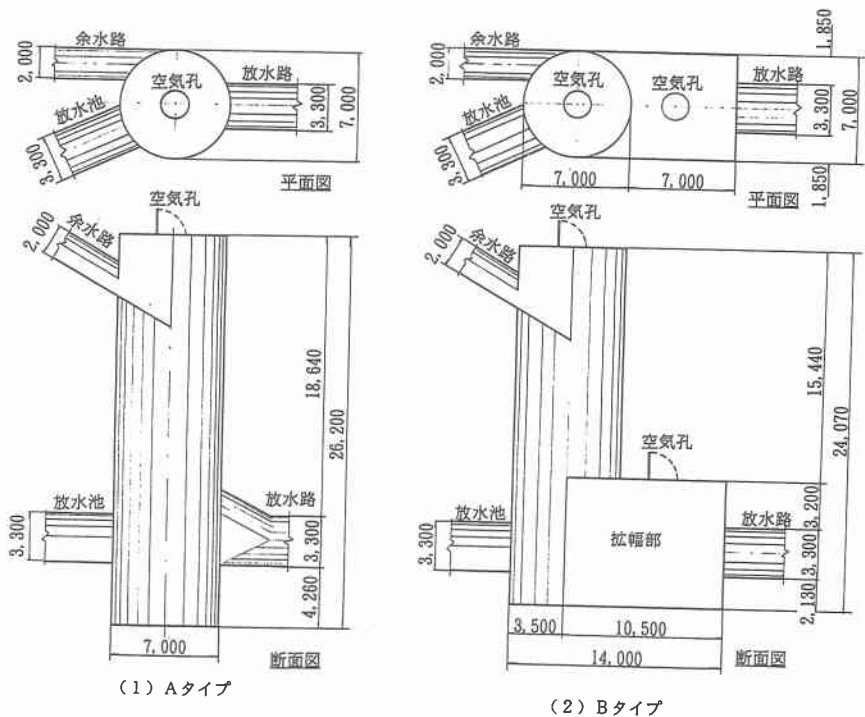


図-5 減勢工形状

4.3. 余水路から立坑への連絡部の形状

余水路から立坑への連絡部の形状は図-6に示すとおり、①立坑天端より鉛直方向に水を流す方法、②立坑側面の法線方向より水を流す方法、③立坑側面の接線方向から水を流す方法などが考えられる。

このうち①は、余水路に鉛直方向の曲線部が必要となるが、余水路内に大量の空気が流れ込んでいるため、余水路の線形次第では空気の通る断面が閉塞しその部分で負圧になる場合がある。

②は、余水路出口と反対の面に水流が衝突することにより立坑天端方向へ水流が噴出する可能性がある。

③は、立坑内の流れが立坑側面に沿った旋回流となるため、余水路から立坑へ流入した大量の空気が立坑中心部を通ってスムーズに立坑上部の空気孔から排気することができる。

以上より、余水路から立坑への連絡部の形状は③を採用する。

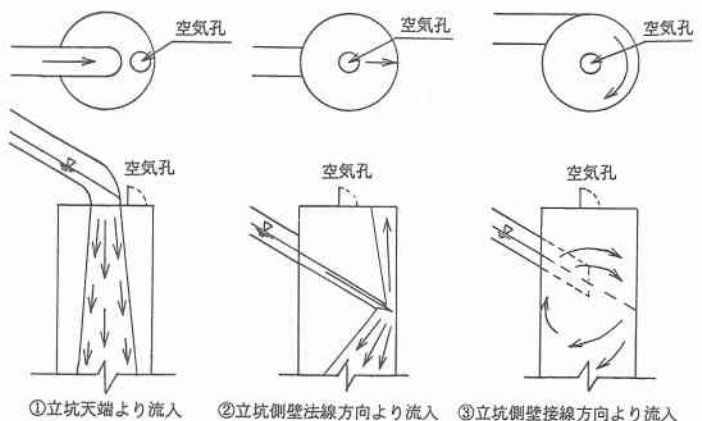


図-6 余水路から立坑への連絡部の形状

4.4. 測定項目および方法

- ①流況：流況観察は目視を主流とし、写真、ビデオ撮影を行った。
- ②水位測定：水位の測定はスケールを用い、立坑、放水路で1 m間隔で測定した。
- ③圧力測定：圧力の測定はマンノメーターを用いた。
- ④空気量：空気量は、空気孔出口部で排気状況を観測した。

5. Aタイプにおける実験結果

Aタイプにおける余水路減勢工の流況を図-7、写真-1に示す。

立坑突入後、流入量の1/3が水平に旋回し、残り2/3が水流の東となって約 62° の角度で減勢池右岸側に局部的に落下している。水流は壁に沿って旋回し落下するために水クッション部の水深は十分であっても³⁾減勢効果に必要なローラーを形成する容積が不足している。また、立坑内の旋回流の一部が放水路底面に直接衝突し、この部分で水クッションによる減勢効果が得られないまま放水路へ流れっていく。その結果、放水路内に段波状の波が周期的に発生する流況となった。

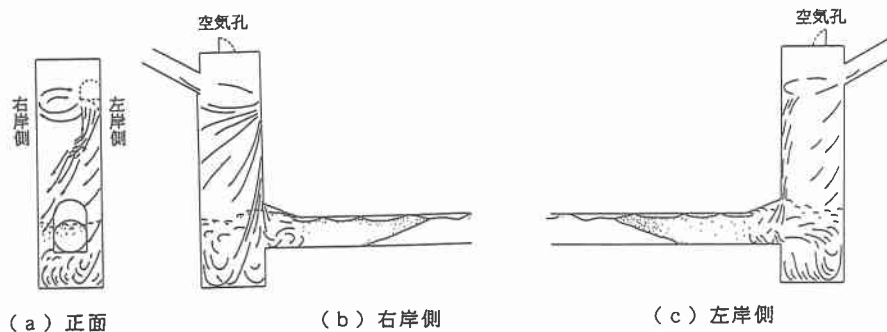


図-7 Aタイプにおける流況

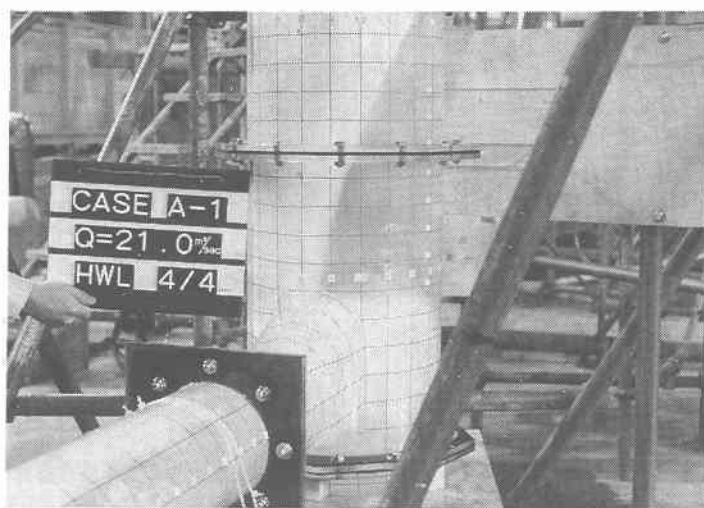


写真-1 Aタイプにおける流況

6. Bタイプにおける実験結果

6.1. 減勢工内上昇水位および排気状況

余水路から水流が流入すると減勢工内水位は通常運転時よりも 1.1m 程度上昇し、放水路天端から約 0.8 m 高くなる。この時減勢工と放水路の接合部は満管となり、余水路から高速射流に連行された空気は立坑上部および拡幅部上部の空気孔を通して排気され（図-8 参照）、特に減勢池内の気泡の多くが放水路入口部までに浮上したため、拡幅部上部の空気孔の排気量が多い。

6.2. 減勢工内流況

Bタイプの減勢工内の流況を図-8、写真-2に示す。

立坑内の旋回流はAタイプと同様な流況であり、水流の束が減勢池右岸側に落下する。放水路に連絡する拡幅部では水深が十分であり、流下方向に水クッションの効果が得られ、ローラーが形成されることで余水路からの水流は減勢される。また、空気孔からの排気によって放水路への空気連行量は少なくなり、放水路内の流況は安定したものとなった。

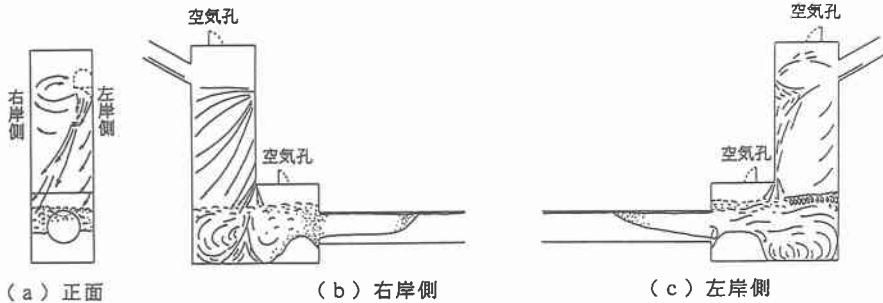


図-8 Bタイプにおける流況

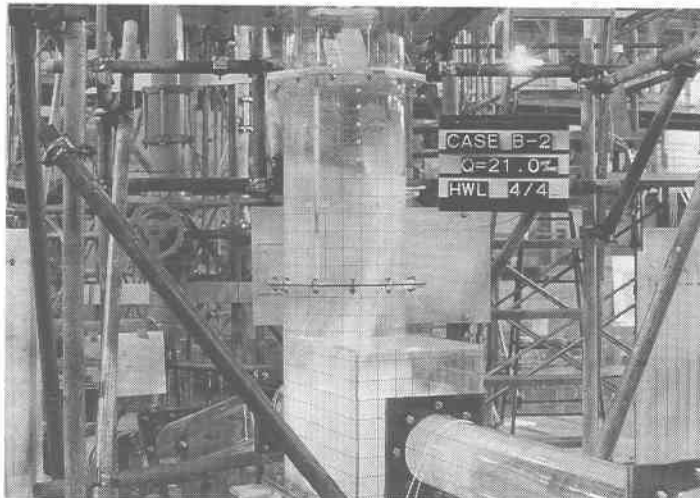


写真-2 Bタイプにおける流況

7. まとめ

ヘッドタイプ発電所の減勢工として、調圧水室を兼用する立坑型減勢工について得られた知見は以下のとおりである。

- ① Aタイプでは十分な減勢効果が得られなかったが、立坑と放水路との接合部を拡幅したBタイプでは水クッションの効果が得られ、余水路からの水流は減勢された。
- ② 余水路からの水流が減勢工に流入すると、減勢工内の水位は通常運転時よりも約1.1m上昇する。
- ③ 立坑および拡幅部の天端に十分な径の空気孔を設けることで放水路への空気連行量は少なくなり、放水路内の流況は安定した。

8. 参考文献

- 1) 竹沢：「尾添発電所余水路実験－セルフプライミング(Self-Priming)防止設計手法」，電力土木No.183, pp. 31～40, 昭和58年3月
- 2) 稲松, 吉川, 南出, 宮本：「水力発電所における水槽余水路減勢工の形式選定基準」，電力土木No.162, pp. 77～83, 昭和54年9月
- 3) 福原：「水力発電所余水路立坑型減勢工の水理設計法」，電力中央研究所報告, 研究報告U88018, 昭和63年9月