

水理模型実験によるリターンフロー型減勢工の水力発電所余水放流設備への適用

北海道電力(株) 正会員 ○神藤 謙一
 北海道電力(株) 正会員 北川 正佳
 北電総合設計(株) 正会員 沖 岳大

1. はじめに

弊社の水力発電所の余水放流設備は、無圧水路の下流端に設けた水槽余水路から発電機緊急負荷遮断時に気液混相流として流下した放流水を減勢工（衝撃型・立坑型・跳水型）で減勢する方式を採用してきた。今回の余水放流設備は、FIT 制度を適用したK発電所リプレース工事に伴い、発電所を別位置に更新する計画であり、新設する余水放流設備の形状について『空中放流』に比べ短い区間で減勢可能な『水中放流』方式を採用するために水理模型実験を実施し、合理的でコンパクト化が可能な余水路放流設備を選定することとした。

2. 余水放流設備の型式選定

余水路放流設備の配置は、コストダウン・工期短縮の観点から水圧管路の分岐部から既設放水路の接続位置までを短くするレイアウトとし次の3点を余水放流設備の検討条件とした。

- ① 発電機の負荷遮断時に連動して開閉できる小容量放流ゲート・バルブを設置する。
- ② ゲート・バルブ通過後の余水流を減勢させる。
- ③ 減勢後の余水流は既往の無圧放水路に流下させる。

以上の条件から既往文献¹⁾を基に、余水放流設備の構造をコンパクトにできる構造を採用した。図-1に示すとおり『ゲート・バルブ』にはジェットフローゲート（以下、JFG）を、『減勢工』にはリターンフロー型水中減勢工を採用した。

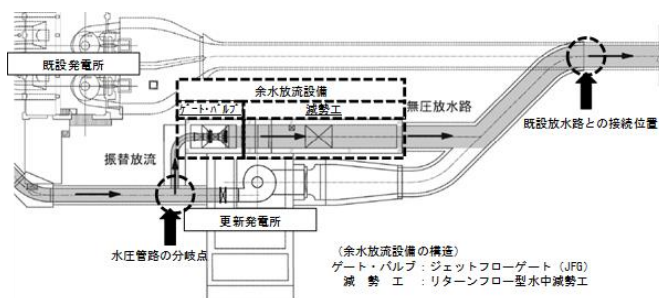


図-1 余水放流設備(ゲート・バルブ及び減勢工)

3. 実験概要

水理模型実験では図-2に示すとおりゲート、減勢工および放水路の一部を再現し流況を確認した。

減勢工は既往文献¹⁾を参考に最もコンパクトで十分効果のある基本形状とし、ディフレクタ形状、下流壁体厚および減勢工下流長について検討した。表-1 および図-2 に減勢工の基本形状を示す。流入フルード数(Fr)は8.6程度であり多孔式ディフレクタが望ましい見解となっている。

実験はフルードの相似則を基本とし模型縮尺を1/20とした。実験設備は高架水槽、給水管、電磁流量計、流量調整用バルブ、余水放流設備および下流水槽とし余水放流設備は流況が観察できるように透明プラスチック（アクリル製）で製作し、模型への給水は地下水槽から自給式ポンプで高架水槽へポンプアップし、流量計量後導水することとした。

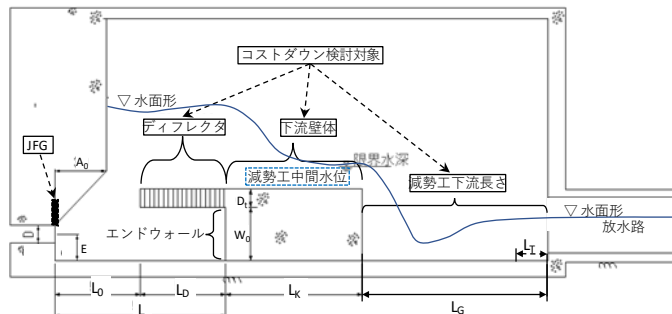


図-2 模型実験の再現範囲

表-1 減勢工の基本形状

	既往文献	本実験の基本形状
D [※] 放流管の直径	-	1.1m
L 減勢池水平長さ	10D	同左
L _D ディフレクタ張り出し長さ	5D	同左
L ₀ L-L _D	5D	同左
W ₀ エンドウォール高さ	3D	同左
D ₁ ディフレクタ厚さ	D	同左
E 減勢池底面からゲート中心までの高さ	1.5D	同左
A ₀ 減勢池上流側張り出し長さ	3D	同左
B 減勢工幅	3D	4D
L _k 下流壁体厚(可変式)	-	4D~8D
L _r 放水路底板張り出し長さ(可変式)	-	0D~6D
L _g 減勢工下流長さ	-	12m(実寸)
ディフレクタ形状(適用範囲) *D:放流管の直径 (実寸:1,100mm、模型:55mm)	多孔式 (Fr≦10) 開孔なし (Fr≦7)	多孔式 (Fr=8.55)

キーワード 発電機の緊急負荷遮断, 水中放流, ディフレクタ, フルード数, 水位変動, 減勢長

連絡先 〒067-0033 北海道江別市対雁(ついしかり)2番地の1 北海道電力(株)総合研究所 TEL011-385-6324

実験では図-3に示す4種類のディフレクタ形状（多孔式，スリット横，スリット縦，開孔なし）について，減勢効果および施工性に着目して比較を行い，合理的な形状を選定した．ディフレクタの開口率は既往文献¹⁾を参考にディフレクタ面積に対して14%の開口率になるように設定した．

ディフレクタ形状	多孔式（開孔率14%）	スリット横（開孔率14%）	スリット縦（開孔率14%）	開孔なし
施工性	開孔数が多く施工手間がかかる	開孔数が多孔式より少なく施工手間も低減される	開孔数が多孔式より少ないが，構造解析上，鉄筋径が大きくなる可能性あり	開孔がなく施工手間も低減される

図-3 ディフレクタ形状平面図

4. 実験結果

4.1 ディフレクタの形状選定

4種類のディフレクタ形状について，ディフレクタ上および減勢工中間地点での平均水位および水位変動について測定した結果を図-4に示す．ディフレクタ上の最高水位地点では，平均水位（図中棒グラフ）および水位変動ともに，多孔式が最も低く，続いてスリット横およびスリット縦が低い．しかし，減勢工中間地点では，多孔式およびスリット横の平均水位および水位変動が同程度に小さい一方，スリット縦および開孔なしでは平均水位および水位変動が大きく水位が安定していない．これは，スリット縦では流下方向と平行に開孔があり，ディフレクタの通過後も流下方向の流速成分が失われにくいものに対して，スリット横では流下方向と直交方向に開孔があり，ディフレクタの通過に伴って，流下方向の流速成分が失われるため，減勢工中間以降の水位が多孔式と同等に安定したものと考えられる．以上より，ディフレクタの構造を減勢工内の水位が安定し施工性に優れているスリット横形状を採用することとした．

4.2 下流壁体厚の検討

下流壁体厚を基本形状の8Dから最短で4Dまで短縮した実験結果からは，ディフレクタ上の水位に影響は表れなかった．しかし，この状態から下流壁体厚を短くしていくと，ディフレクタ上の水深は一定であるため，下流壁体下流端の水深は，限界水深を上回るようになる．このように下流壁体下流端の水深が限界水深以上の状態では，十分に減勢しないままに下流壁体下流端に達していると考えられることから，減勢工中間地点での水位勾配が安定する限界水深以上として検討した．図-5に下流壁体上の水位を示す．これより，8Dおよび6Dでは水位が下流壁体の下端2m手前および下端3m手前で限界水深程度に安定するものの，5Dおよび4Dでは同地点で水位が限界水深に達していないため，コンパクト化が図れる下流壁体厚6Dを採用した．

4.3 減勢工下流長の検討

減勢工下流長（下流壁体下流）は，自然跳水長よりも減勢工長が短いため水路床に段上りを設けた強制跳水型減勢工²⁾として検討した．跳水後水深 h_p を放水路等流水深（2.362m）とし必要減勢長の流況を確認した結果，減勢工下流長を基本形状の $L=12m$ から1.1m（1D）短い， $L=10.9m$ とした．

5. まとめ

放流設備水理模型実験結果から，計画している余水路放流設備の形状で，余水流が減勢していることを確認するとともに，ディフレクタの合理的な形状，下流壁体厚および減勢工下流長の最適形状を選定し，減勢長全長3.3mの短縮（約10%のコンパクト化）を図る事が出来た．最後に，実験方法や実験成果のとりまとめに当たって助言を頂いた電力中央研究所のご協力に感謝の意を示します．

参考文献

- 1) 森野純孝， 柏井条介：多孔式リターンフロー水中減勢工の水理設計，土木第42回年次学術講演会，1987.
- 2) 土木学会：水理公式集 昭和60年改訂版，pp316-317，1985.

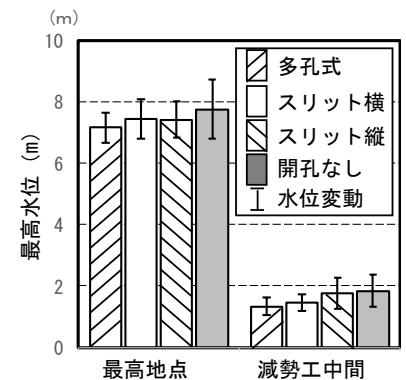


図-4 平均水位・水位変動

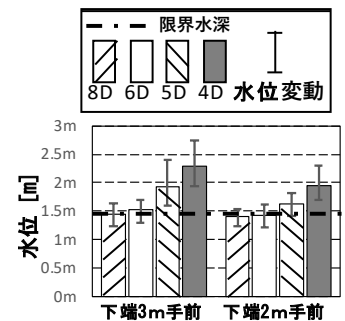


図-5 下流壁体上の水位