

長周期波浪による放水路内の水位変動低減対策に関する数値解析

東北電力（株） 正会員 ○阿部 俊逸，正会員 永井 志功  
 法人会員 金子 直樹  
 東北緑化環境保全（株）正会員 邵 旭紅，法人会員 高橋 梨樹  
 正会員 犬飼 博信

1. 目的

現在建設中の東北電力（株）上越火力発電所第1号機（以下、当発電所）は、日本海特有の長周期波浪（周期20秒以上の波浪）の発生頻度が高い新潟県直江津港湾内に立地している。長周期波浪が放水路内に伝搬した場合、水路内の反射波と共振して波高が増幅することが懸念された。また、当発電所の安定運転には放水路内の圧力変動を抑えなければならないため、対策工として放水路立坑（以下、立坑）および溺堤の設置を検討した。本稿では、数値解析により対策工の有効性を検討した結果を報告する。

2. 解析方法

解析については、放水路内の水位変動を把握するために、流下方向の一次元非定常流解析を行った。

放水路略図は図-1に示すとおりである。このうち、溺堤の海側にある垂壁<sup>1)</sup>は溺堤設置により生じる泡の低減対策として設けたものである。

主な計算条件を表-1に示す。放水路での流れは、水位が水路天井より高い時は管路流、低い時は開水路流になることから、これらが共存する流れを解析できるスロットモデル<sup>2)3)</sup>を用いた（図-2）。放水路内の水位が低下し、限界水深以下になると溺堤部で射流が発生するため、連続方程式と運動方程式の離散化には、常流から射流への急変に対応可能なFDS法<sup>4)</sup>を用いた。

境界条件として、建屋側は発電所からの設計放流量 $10.6\text{m}^3/\text{s}$ を与え、海側は潮位 T.P.+0.89m（直江津港における10年確率水位）に正弦波波高1.18m（30年確率）を加えた水位を与えた。なお、正弦波の周期は長周期波浪を想定し、20, 30, 40, 50, 70, 100, 150, 200, 250, 300秒とした<sup>5)</sup>。

3. 解析結果

(1) 立坑設置の検討

放水路に立坑を設置することによるピエゾ水頭の低減効果を検討した。なお、敷地面積の制約を考慮して

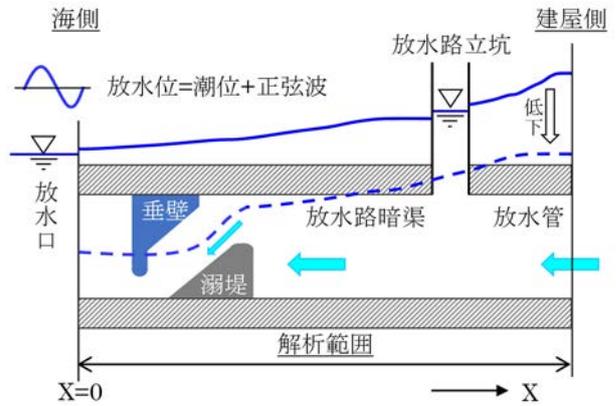


図-1 放水路略図

表-1 主な計算条件

項目	設定内容	
計算範囲	放水口～放水管	
解析モデル	スロットモデル（管路状態も開水路として計算する）	
基礎方程式	一次元非定常開水路・管路流の連続方程式と運動方程式	
離散方法	FDS法（Flux Difference Splitting scheme:流束分離法）	
計算格子間隔	0.5m	
計算時間間隔	0.0001秒	
境界条件	放流量	$10.6\text{m}^3/\text{s}$
	潮位	T.P.+0.89m(10年確率)
	入射波	波高:1.18m(30年確率) 周期:20~300秒
粗度係数	$n=0.012\sim 0.020$	
局所水頭損失係数	発電水力演習(1975)による	
計算対象時間	18分間	
【連続方程式】 $\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \dots\dots\dots(1)$		
【運動方程式】 $\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial H}{\partial x} + S_f + S_L = 0 \dots\dots\dots(2)$		
ここに、 $t$ :時間(s), $x$ :流れ方向の座標(m), $A$ :流積( $\text{m}^2$ ), $Q$ :流量( $\text{m}^3/\text{s}$ ) $H$ :ピエゾ水頭, 開水路時は水位(m), $g$ :重力加速度( $\text{m}/\text{s}^2$ ) $S_f$ :摩擦損失項であり, $S_L$ :局所損失項		

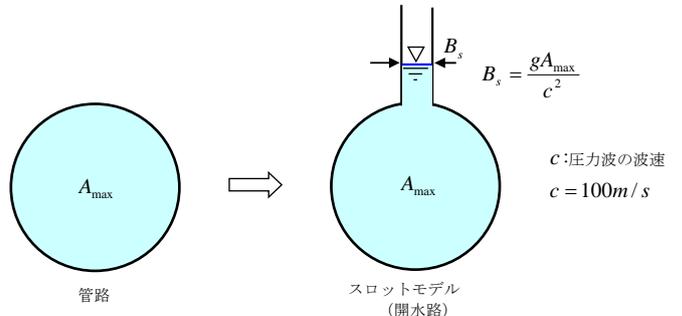


図-2 スロットモデル

キーワード:火力発電所放水設備, 立坑, 溺堤, 非定常流, スロットモデル, FDS法

〒942-0027 新潟県上越市八千浦1 東北電力（株）上越火力発電所建設所 TEL025-531-2014

立坑水面面積は 150m<sup>2</sup>とした。図-3 に、立坑を設置した場合と、設置しない場合の最高ピエゾ水頭を示す。これを見ると、立坑を設置しない場合は、建屋放流管における最高ピエゾ水頭が T.P.+12.98m (周期 30 秒) となった。一方で、立坑を設置した場合は T.P.+2.57m (周期 250 秒) にまで低下した。これは、立坑での貯留による消波効果が大きいと考えられる。

(2) 溺堤設置の検討

立坑の有効性が確認できたため、立坑を設置した状態にて溺堤設置の有無による検討を行った。図-4 に、溺堤設置の有無による最高ピエゾ水頭の比較を示す。溺堤を設置しない場合の最高ピエゾ水頭は T.P.+6.76m (周期 250 秒) となった。設置した場合は T.P.+3.21m (周期 250 秒) にまで低下しており、溺堤の設置による長周期波浪伝播の低減を確認できた。

(3) 立坑水面面積の検討

溺堤を設置したうえで立坑の水面面積を 37.5, 75, 112.5, 150m<sup>2</sup>と変化させた結果を図-4 に示す。立坑水面面積が大きくなるにつれ、建屋放流管における最高ピエゾ水頭が低下していることを確認できた。これは、立坑の水面面積が大きいほど貯留による消波効果が大きくなるためであると考えられる。

(4) 建屋放流管での圧力変動確認

立坑と溺堤の有効性を確認できたため、立坑、溺堤および垂壁を設置し、放水路での圧力変動の確認を行った。本解析において放水管の最高ピエゾ水頭が高くなる固有周期であることが確認された周期 40 秒の最高水位および最低水位を図に示す。これを見ると、対策工の設置により、放水管での圧力変動を大幅に抑えることができ、対策工の有効性を確認できた。

4. まとめ

本解析では長周期波浪に対する放水路内対策工の検討を行った。その結果、立坑および溺堤を設置することによる長周期波浪に対する有効性を確認できた。また、対策工を設置したことにより放水管での圧力変動を抑えることも確認できた。

参考文献

1) 永井志功他:上越火力発電所 1 号機新設工事における水理模型実験による放水設備泡低減対策の検討, 電力土木, No.410, pp.62-66, 2020.11.

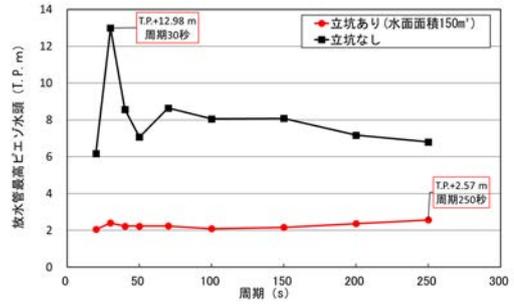


図-3 立坑設置有無の結果比較

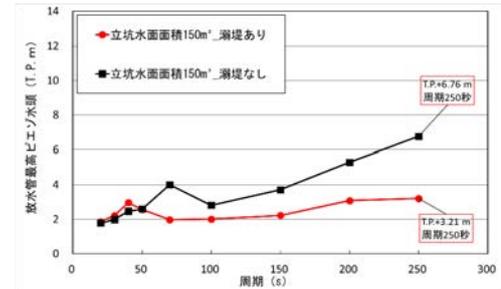


図-4 溺堤設置有無の結果比較

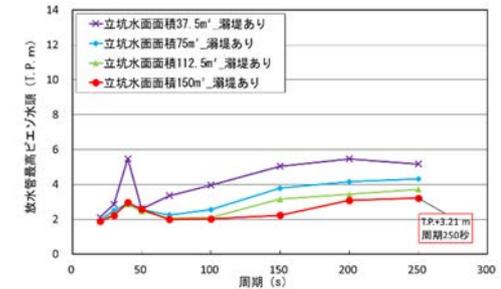


図-5 立坑水面面積の結果比較

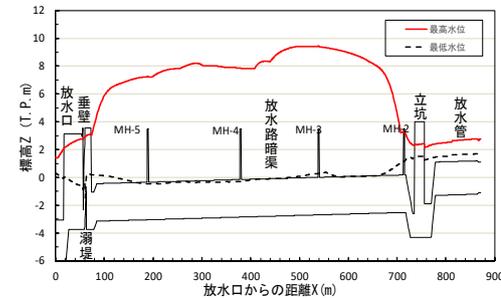


図-6 周期 40 秒の最高最低水位

2) 大谷英夫他：放水槽を有する放水路の水位変動特性とその計算方法, 水工学論文集, 第 43 巻, pp.467-472, 1999.2.

3) 佐藤隆宏：管路・開水路共存流れへの数値解析技術の適用, 電中研報告, N05052, 2006.8.

4) 西本直史他：FDS 法による 1 次元開水路流れの数値解析, 土木学会論文集, 670/II-54, pp.25-36, 2001.2.

5) 杉山陽一：水路内への長周期波浪の伝搬特性に関する基礎実験, 土木学会第 63 回年次学術講演会, 2-146, pp.291-292, 2008.9.