

II-91

衝撃砕波力が作用するケーソン護岸の合理的設計

東北電力株式会社 正会員 ○佐藤哲明
東北電力株式会社 正会員 工藤武美
東北電力株式会社 正会員 松山義之

1. はじめに

東北電力(株)東通原子力発電所では、復水器冷却用水をケーソン式混成堤の放水口護岸から水中放水する方式を採用している。また、放水口護岸はケーソン内に放水管を設置した構造となっているほか、護岸背面には復水器冷却用水を放水口護岸まで導水する開渠式の放水路があり、運用上、開渠内水位の変動を制限する等、特殊な機能を有する護岸となっている。

この放水口護岸の設計にあたっては、さらに、設置位置が砕波点近傍である等の条件から、護岸に衝撃的な波力が作用することが懸念された。このため、①護岸に作用する波力の確認、②発生波力に対して有効な護岸断面の検討、③放水路開渠部の機能確保の確認等について、以下の水理模型実験等を行い、安定でかつ合理的となる護岸断面を設計したものであり、その内容について報告するものである。

2. 水理模型実験の概要

(1) 水理模型実験の手順

- ①予備実験等 : 原計画断面（直立ケーソン後部パラペット型）において波圧実験を行い、衝撃砕波力の発生を確認するとともに、この波力に対して有効と考えられる3タイプの検討断面を選定した。また、数値解析により越波流量と放水路開渠部の水位上昇量の関係を求め、それを検証するための3ケースのパラペット高さを設定した。
- ②滑動・波圧実験 : 選定した3タイプの滑動・波圧実験を行い、最も安定かつ合理的な断面型を決定した。
- ③伝達波・越波実験 : 決定した断面型について、3ケースのパラペット高さで伝達波および越波実験を行い、放水路開渠内の水位変動量を確認し、パラペット高さを決定した。

(2) 水理模型実験の方法および条件

- ①実験縮尺は1/50とし、2次元造波水路（L50 m×B0.6 m×h1.2 m）内にケーソンを含めた2,500 m間を模型化した。
- ②実験条件は、潮位（H.W.L.T.P+0.63 m, L.W.L.T.P-0.87 m）、実験波浪（有義波高 $H_{1/3}=7.2$ m, 有義波周期 $T_{1/3}=16$ sec: 100年確率波相当）として、不規則波を用いた。また、復水器冷却用水の放水は、放水流速4.0 m/s、放水流量80 m³/sとした。

(3) 水理模型実験の結果

①予備実験

放水口護岸に作用する波力の確認を行った結果、衝撃砕波力の発生により、合田式による波力に比べ、約1.5倍の波力が測定され、原計画のケーソン幅（21.0 m）が約1.6倍となった。このため、検討断面の選定は、この「衝撃砕波力」に対して有効と考えられる「波圧の位相差」に着目し、越波流量を制限するためのパラペットの設置位置を後部型として、その有効性を波圧実験により確認し、表-1に示す3タイプの検討断面型（直立ケーソン後部パラペット型（原計画）、直立ケーソン上部斜面後部パラペット型、台形ケーソン上部斜面後部パラペット型）を選定した。また、復水器冷却用水の放流と設計波に対する越波流量を考慮した放水路開渠内の水位変化を連立方程式により求め、放水路としての機能を確保できる越波流量を0.3 m³/m/sec程度とし、その検証として3ケースのパラペット高さ（T.P.+9.5 m, T.P.+7.8 m, T.P.+6.4 m）で伝達波・越波実験を行うこととした。

②滑動・波圧実験

検討断面の3タイプについて、滑動・波圧実験を行った結果、表-1のとおり水平波力の最大時における波圧作用状況が、3タイプとも堤体前面の静水面部分に合田式による計算値よりも大きな水平波圧が作用する結果となり、さらに原計画断面では滑動が確認された。しかし、上部工部分では直立ケーソン後部パラペット型に比べ、他の2タイプでは、約50%の波圧低減が確認された。これは、上部工およびケーソンを斜面とすることによる波圧水平成分の減少効果によるものと考えられる。

以上の結果、検討断面の中で最も耐波設計上、優れている判断される「台形ケーソン上部斜面後部パラペット型」のケーソン式混成堤を放水口護岸として採用することとした。

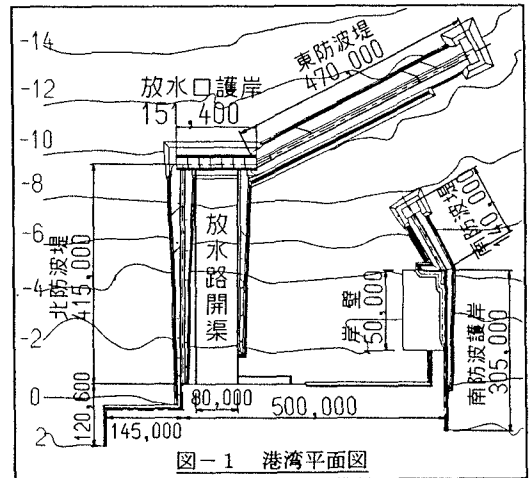
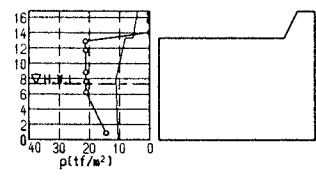
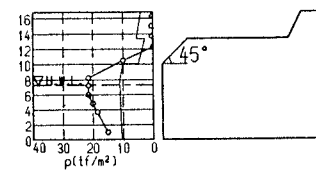
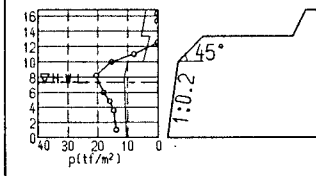


表-1 安定断面の比較検討結果

直立ケーソン後部パラペット型(原計画)	直立ケーソン上部斜面後部パラペット型	台形ケーソン上部斜面後部パラペット型
		
— 水平波力(合田式) 159.9tf/m ○—○水平波力(実験値) 284.0tf/m	— 水平波力(合田式) 146.2tf/m ○—○水平波力(実験値) 203.9tf/m	— 水平波力(合田式) 142.2tf/m ○—○水平波力(実験値) 189.3tf/m
必要断面幅 33.5 m (滑動安全率 $F_s=1.21$)	必要断面幅 30.0 m (滑動安全率 $F_s=1.24$)	必要断面幅 28.5 m (滑動安全率 $F_s=1.23$)

③伝達波実験および越波実験

パラペット高さの決定を行うため、波高伝達率および越波流量の測定実験を行った。このとき、測定実験はパラペット高さを変えた3ケースに放水流の有無を加えた6ケースで行った。

伝達波の実験結果については、図-2に示すとおり、波高伝達率(伝達波高と入射波高の比)が相対天端高(静水面からパラペットまでの高さ)と入射波高の比)の増加とともに緩やかに減少するものの、概ね0.2前後の値となった。合田の規則波の実験結果(1969)や近藤・佐藤の実験式(1964)と比較すると実験値は大きな値となるが、これは、上部斜面堤であるため、斜面部を沿うような水塊が堤体背後に流れ込むのが原因であると推測される。一方、放水流の影響をみると、放水流がない場合に比べ放水流がある場合の方が波高伝達率は小さくなる。これは、放水流により放水管内の波浪が抑制されたためと推測される。

また、越波実験結果については、図-3に示すとおり、相対天端高と計測された平均越波流量の関係が、高山(1982)が提案した平均越波流量算定式による計算値と概ね一致した。

以上の結果から、伝達波および越波による放水路開渠内の水位上昇高さを、放水路の機能確保上T.P+3.1m以下(許容値)に設定し、それにより、パラペット必要高さをT.P+8.2m(H.W.L.+1.05 $H_{1/3}$)に決定した。

なお、このときの伝達波高による開渠内水位上昇量は+0.95m、越波による開渠内水位はT.P+1.83m(平均越波流量0.35m³/m/sec)で最大上昇水位T.P+2.78mとなり、水位上昇高さが許容値以下となった。

これらの検討および水理模型実験の結果から、放水口護岸は図-4に示す断面に決定した。

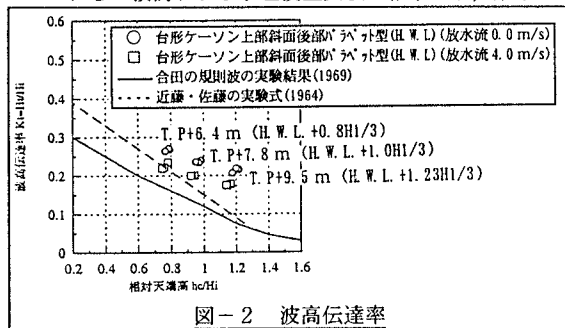


図-2 波高伝達率

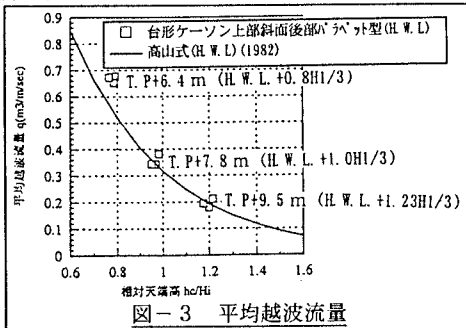


図-3 平均越波流量

3. おわりに

検討当初、当地点は、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」による衝撃砕波力の発生条件(①海底勾配が1/30より急であること等、②マウンド天端水深dとマウンド設置水深hの比 $d/h \leq 0.6$ 等)では、衝撃的な波力は生じないと考えられたが、水理模型実験により衝撃砕波力の発生が確認された。

また、この衝撃砕波力に対して、後部パラペット、上部斜面、台形ケーソンの各構造が耐波性能に優れていることが確認された。

その結果、放水口護岸としての機能を確保した安定かつ合理的なケーソン式混成堤を設計することができたことは大きな成果である。

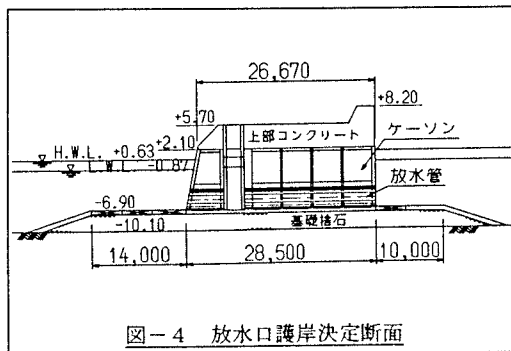


図-4 放水口護岸決定断面

以上