

2011年東北地方太平洋沖地震津波における防波堤の安定性に関する検証について

東北電力(株) 正会員 ○齊藤知秀  
東北電力(株) 正会員 内海 博

1. はじめに

東北電力(株)原町火力発電所は福島県の太平洋側に位置し、東日本大震災において津波等による多大な被害を受けた。また、本震災では、東北地方太平洋沿岸の港湾施設が広範囲にわたり甚大な被災を受けており、その被災原因分析等については、「東北港湾における津波・震災対策技術検討委員会(国土交通省東北地方整備局)」<sup>1)</sup>で報告がなされている。一方、当社発電所の燃料船専用港湾の防波堤については、防波堤天端高を超える津波が来襲したものの(写真-1)、防波堤本体は大きな被害を受けておらず、電源の早期復旧と復旧コスト低減に寄与している。

防波堤の設計については、一般に波浪を対象とし、津波波力に対しては検証されていないため、本研究では、設備の健全性把握を目的として、本防波堤の安定性に関する概略的な検証を行い、大被害に至らなかった要因について考察を行ったものである。なお、考察にあたっては、前述の委員会から報告されており、原町火力発電所の北方約20kmに位置する相馬港沖防波堤の被災要因分析結果を参考とした。

2. 防波堤の諸元

原町火力発電所港湾の防波堤は、大型石炭運搬船(60,000DWT級)の入港を対象に設計され、港内航路および泊地を確保するよう北防波堤と南防波堤が配置されている(図-1)。防波堤構造は捨石式傾斜堤およびケーソン式混成堤で構成されており、主防波堤部分は、台形ケーソン上部斜面堤とし、工事費の低減を図っている<sup>2)</sup>(図-2)。設計は50年確率波を用いているが、設計波を超える高波浪による被災確率を考慮したライフサイクルコスト検討を踏まえ、ケーソン底面と基礎捨石間に摩擦増大マットを敷設している。建設当時(平成5年)は、これらの摩擦係数が港湾基準に定められていなかったため、一般的な静止摩擦係数0.6を用いて設計しており、滑動安定性に対して設計上の裕度を有している。

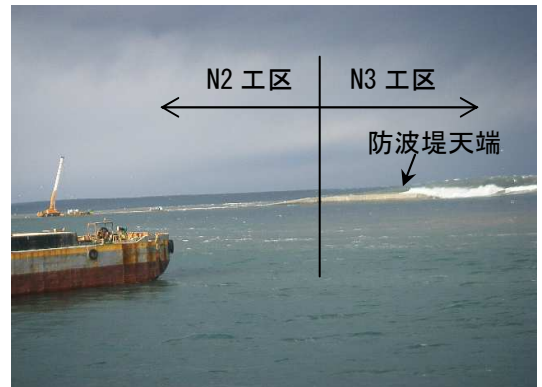


写真-1 津波第1波襲来時写真  
(工区は図-1を参照)

3. 検討用津波波力について

東日本大震災においては、原町火力発電所防波堤に作用した津波高さが明確ではないことから、検討用津波波力は、発電所に近く、当発電所のN3断面に水深がほぼ同等(S.P.-14.0m程度)な相馬港沖防波堤(B-3工区)における津波波力を用いた(図-3)。

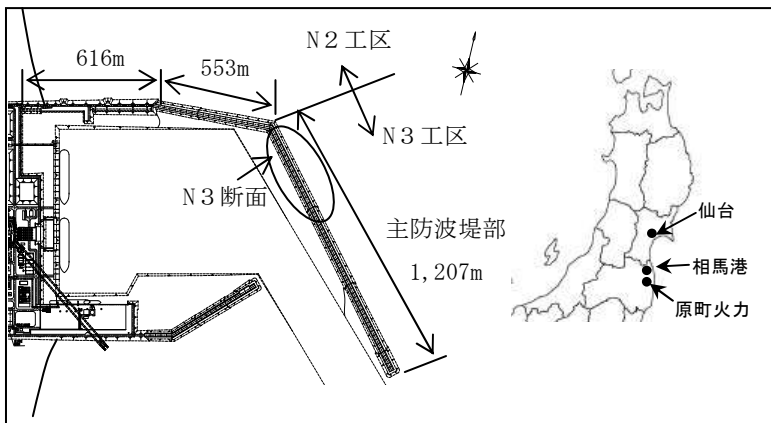


図-1 原町火力発電所港湾平面図・位置図

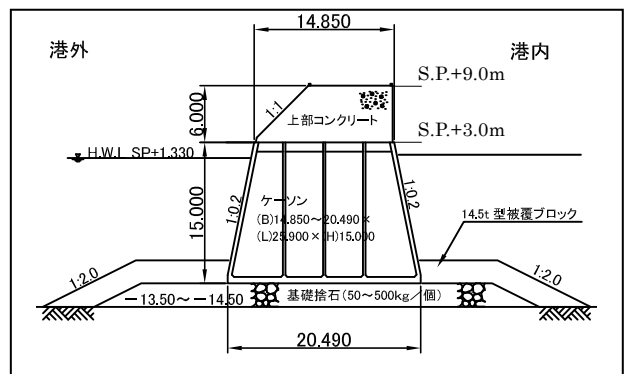


図-2 主防波堤(N3断面)断面図

キーワード：2011年東北地方太平洋沖地震津波, 防波堤, 安定性

連絡先：〒980-8550 仙台市青葉区本町1-7-1 TEL 022-799-6103 FAX 022-262-5851

「東北港湾における津波・震災対策技術検討委員会」<sup>1)</sup>資料によれば、相馬港沖防波堤前面の津波高さは、数値シミュレーションにより12.36mであり、津波波力によりケーソンが滑動し、被災を受けたとされている。

4. 堤体の安定性に関する考察

本研究では、上記資料に基づき谷本式を用いて、堤体（N3断面）の滑動に対する安定性の検討を行った。表-1に本津波において堤体に作用したと想定される水平波力、鉛直波力および滑動に対する安全率を示す。安全率は、設計時における摩擦係数0.6の場合と摩擦増大マットを考慮した摩擦係数0.8（建設当時の実験結果による）の場合の2ケースを示す。また、来襲した津波と堤体の設計に用いる設計波の規模を比較するため、合田式による設計波力作用時の水平波力、鉛直波力および滑動に対する安全率を表-2に示す。表-1、表-2の水平波力の比較により、来襲した津波は、波浪による設計波に比べ1.3倍相当規模の波力が作用したものと推察される。

表-1から、ケーソンの形状効果（台形ケーソン上部斜面堤）により、水平波力の約26%の鉛直波力が作用していること、また、摩擦増大マットの敷設により、安全率が約34%向上していることがわかる。

さらに、津波波力に対する防波堤の裕度を評価するため、簡便的に安全率が1となる滑動限界波高を算定した。表-3から、本防波堤は、堤体の滑動に対しては、津波高さ15m程度まで耐えうるものと推察される。

以上から、本津波により原町火力発電所防波堤が大被害に至らなかった要因として、次の点が推察される。

- ・本防波堤は、設計波を超える波浪に対する裕度対策として摩擦増大マットを敷設していたため、防波堤構造として粘り強い構造となっていた。
- ・主防波堤部分は台形ケーソン上部斜面堤構造となっており、この形状効果で得られる鉛直方向の波力が滑動に対して有利に働き、安定性の向上に寄与した。
- ・周期の長い津波に対しては、消波ブロックの波力低減効果は小さいものと考えられる。本防波堤は、消波ブロックを設置せずに堤体自体の自重により波力に抵抗する設計となっていることから、消波ブロックを設置し、波浪波力の低減効果を見込んだ一般的な防波堤に比べ、津波に対して強い構造であった。

5. まとめ

2011年東北地方太平洋沖地震津波において、原町火力発電所の防波堤が大きな被害に至らなかった技術的要因を検証した。その結果、設計波を超える波力を念頭においた摩擦増大マットの敷設、台形ケーソン上部斜面堤の形状効果（鉛直方向波力の作用）および堤体重量により波力に抵抗する防波堤設計が、今回の津波に対して有効に働いたものと推察される。また、今回来襲した津波波力と波浪による設計波力との比較等から、現設計の津波波力・波浪波力に対する安定性の裕度を評価することにより、今後の設備運用にあたって有意義な情報を得ることができた。本研究では、相馬港沖防波堤における再現津波を用いて概略的な検証・考察を行ったが、今後は、原町火力発電所地点における津波波力の推定や津波痕跡調査結果の活用により更に検討を深めていく。

参考文献 1) 国土交通省東北地方整備局：第3回東北地方港湾における津波・震災対策技術検討委員会（平成23年9月）。  
2) 奥野ら：原町火力防波堤における台形ケーソン上部斜面堤の開発について、No. 251 電力土木、P20～P29、1994

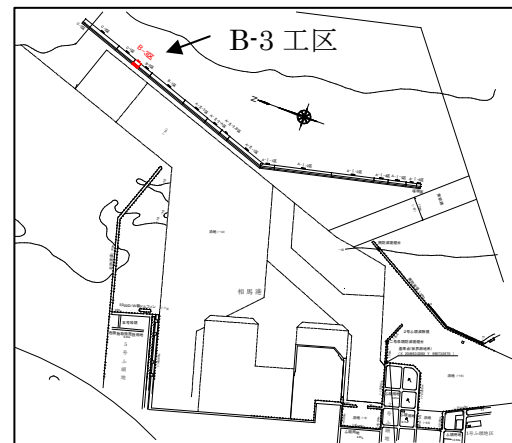


図-3 相馬港平面図

表-1 津波による滑動照査結果(谷本式)

|                        |              |
|------------------------|--------------|
| 検討用津波波高                | 12.36m       |
| 水平波力                   | 2,605 (KN/m) |
| 鉛直波力                   | 668 (KN/m)   |
| 安全率<br>(CASE1:摩擦係数0.6) | 0.95 < 1     |
| 安全率<br>(CASE2:摩擦係数0.8) | 1.27 > 1     |

表-2 波浪による滑動照査結果(合田式)

|                        |              |
|------------------------|--------------|
| 設計波高                   | 12.00m       |
| 設計周期                   | 16 s         |
| 水平波力                   | 2,029 (KN/m) |
| 鉛直波力                   | 577 (KN/m)   |
| 安全率<br>(CASE1:摩擦係数0.6) | 1.26 > 1     |
| 安全率<br>(CASE2:摩擦係数0.8) | 1.68 > 1     |

表-3 滑動限界波高(摩擦係数0.8)

|         |        |
|---------|--------|
| 津波高さ    | 14.90m |
| 波浪による波高 | 17.58m |