

泊発電所 3号炉 耐津波設計方針について

(防波堤に係る指摘事項回答並びに 取水口到達及び閉塞可能性について)

令和 6 年 1 月 29 日
北海道電力株式会社

1. 本日の説明事項	2
2. 審査会合における指摘事項に対する回答	3
3. 地震及び津波による防波堤の損傷状態が及ぼす影響	4
4. 実験条件の設定方針	6
5. 実験条件	7
6. 実験結果	9
7. 取水口到達及び閉塞可能性評価結果	11

1. 本日の説明事項

- 第1098回審査会合（令和4年12月6日開催）において、耐津波設計方針のうち「漂流物調査方法・抽出結果」について、漂流物調査方法・抽出結果と漂流物の選定・影響確認フローのうち、Step 1【漂流する可能性】までの内容及び衝突荷重として考慮する漂流物の選定方針についてご説明した。
- ご説明した内容について4件の指摘事項を頂いており、本資料では、防波堤の水理模型実験の実験条件に係る1件の指摘事項について回答する。
- また、水理模型実験で用いる基準津波の代表波源の選定結果並びに取水口到達及び閉塞可能性評価結果についてご説明する。

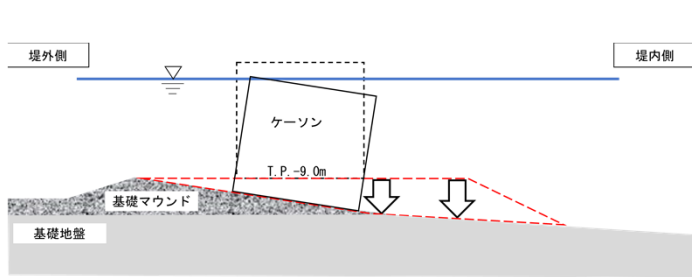
2. 審査会合指摘事項に対する回答（指摘事項 221206-06）

【指摘事項 221206-06】

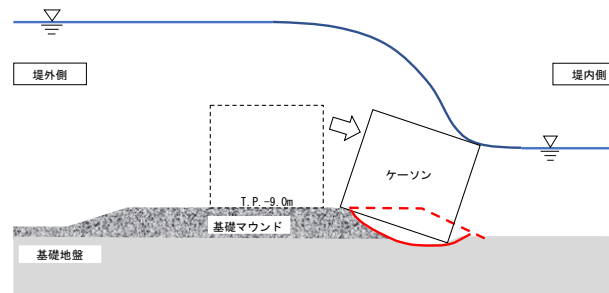
防波堤の取水口到達の可能性評価に係る水理模型実験について、地震に伴う不等沈下、津波の越流による洗掘等によって防波堤が滑動又は転倒しやすくなるような地震及び津波による損傷状態を整理した上で、実験条件を説明すること。

【回答】

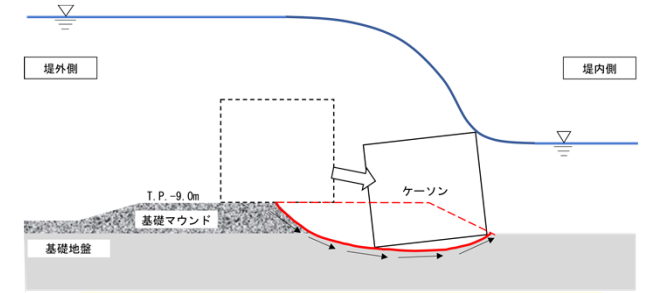
- 東北地方太平洋沖地震の被災事例を踏まえ、防波堤が滑動又は転倒しやすくなるような地震及び津波による防波堤の損傷状態を以下の通り整理した（P.4, P.5）。
 - 地震による基礎マウンド及び基礎地盤の不等沈下によるケーソンの傾斜
 - 津波による基礎マウンド及び基礎地盤の洗掘
 - 津波による基礎マウンド及び基礎地盤の支持力破壊
- 水理模型実験では、防波堤ケーソンの移動量が大きくなるよう、以下の通り実験条件を設定する。
 - 防波堤の移動量における主たる影響要因である水平波力に着目し、基準津波候補を整理した結果、3号炉取水路との離隔距離が最短となる基部において、「基準津波（波源Ⅰ，防波堤損傷なし）」の水平波力が最大となったため、「基準津波（波源Ⅰ，防波堤損傷なし）」の水平波力を上回るように実験ケースを設定する（P.6, P.8）。
 - 地震及び津波により防波堤が損傷すると滑動又は転倒しやすくなるものの、堤内側にある岩盤の高まりにより移動量が抑制されることから、基礎マウンド及び基礎地盤の地震及び津波による損傷状態は考慮しない（P.7）。
 - 水平波力の低減効果がある波消ブロック等は、モデル化しない（P.8）。



（基礎マウンド及び基礎地盤の不等沈下によるケーソンの傾斜）



（基礎マウンド及び基礎地盤の洗掘）
地震及び津波による防波堤の損傷状態

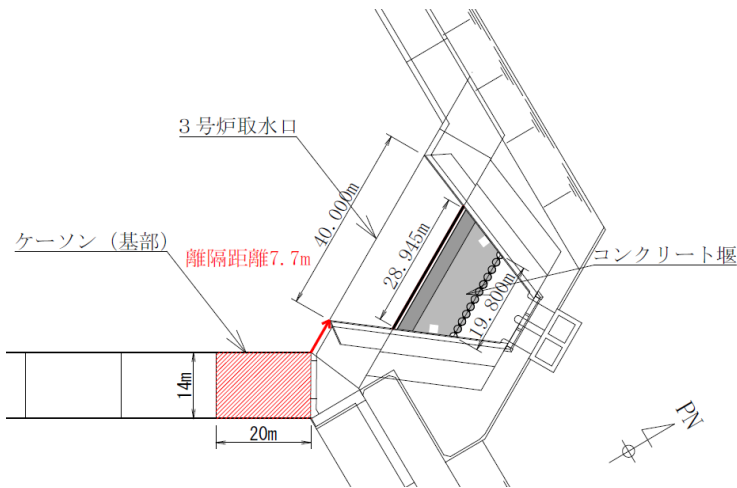


（基礎マウンド及び基礎地盤の支持力破壊）

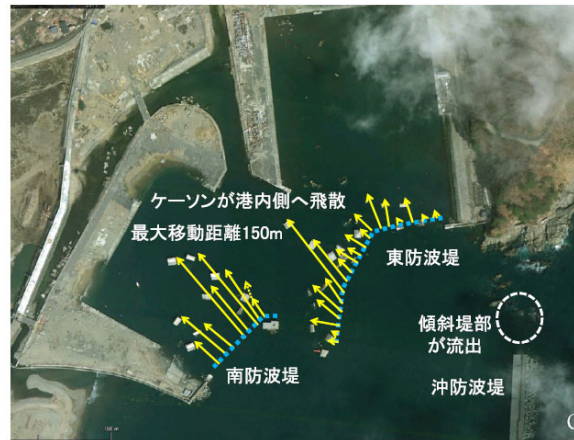
3. 地震及び津波による防波堤の損傷状態が及ぼす影響 (1/2)

【被災事例を踏まえた防波堤の損傷状態】

- 3号炉取水口に最も近い南防波堤基部は3号炉取水口との離隔距離が最短で約7.7mである。
- 一方、東北地方太平洋沖地震において、田老漁港ではケーソン堤の最大移動距離が150mとなった被災事例※1が報告されている。
- 最大移動距離が150mとなった田老漁港は、津波による強い水平波力が要因で被災したものと推定されており、直接的な津波力により施設の安定性が損なわれ被災（滑動、転倒）した「津波波力（水位差）型」の被災メカニズムに分類される。
- 「防波堤の耐津波設計ガイドライン」※2では、東北地方太平洋沖地震の地震及び津波による防波堤の被災の主な原因について、津波の波力による直立部の滑動、越流による港内側の基礎マウンドや海底地盤の洗掘による支持力の喪失、あるいはこれらの複合的な作用によるものとされているため、地震に伴う不等沈下、津波の越流による洗掘等の損傷状態が防波堤の滑動及び転倒に及ぼす影響について整理した。



南防波堤基部と3号炉取水口の離隔距離



東北地方太平洋沖地震における
田老漁港の被災事例※1

津波による防波堤被災メカニズムの分類※1

分類	被災概要	主な被災漁港 (被災数)
津波波力 (水位差)型	内外水位・段波等の直接的な津波力により、施設の安定性が損なわれた被災（滑動、転倒）	三沢, 田老(2), 山田, 女川(2), 松川浦(2)
堤頭部 洗掘型	堤頭部周辺の流れの影響で、基礎マウンドが洗掘され、施設の安定性が損なわれた被災	三沢
引波 水位差型	津波波力・洗掘だけでは不安定までに至らない施設が引波時の内外水位差により施設の安定性が損なわれた被災（滑動、転倒）	女川(2)
越流洗掘型	越流に伴う渦等の影響で施設背後のマウンド・地盤が洗掘され、施設の安定性が損なわれた被災	大槌, 志津川

※1 東北地方太平洋沖地震津波による漁港施設（防波堤）被災状況とその原因について(2012, 八木ら)

※2 国土交通省港湾局：防波堤の耐津波設計ガイドライン, 2015

3. 地震及び津波による防波堤の損傷状態が及ぼす影響 (2/2)

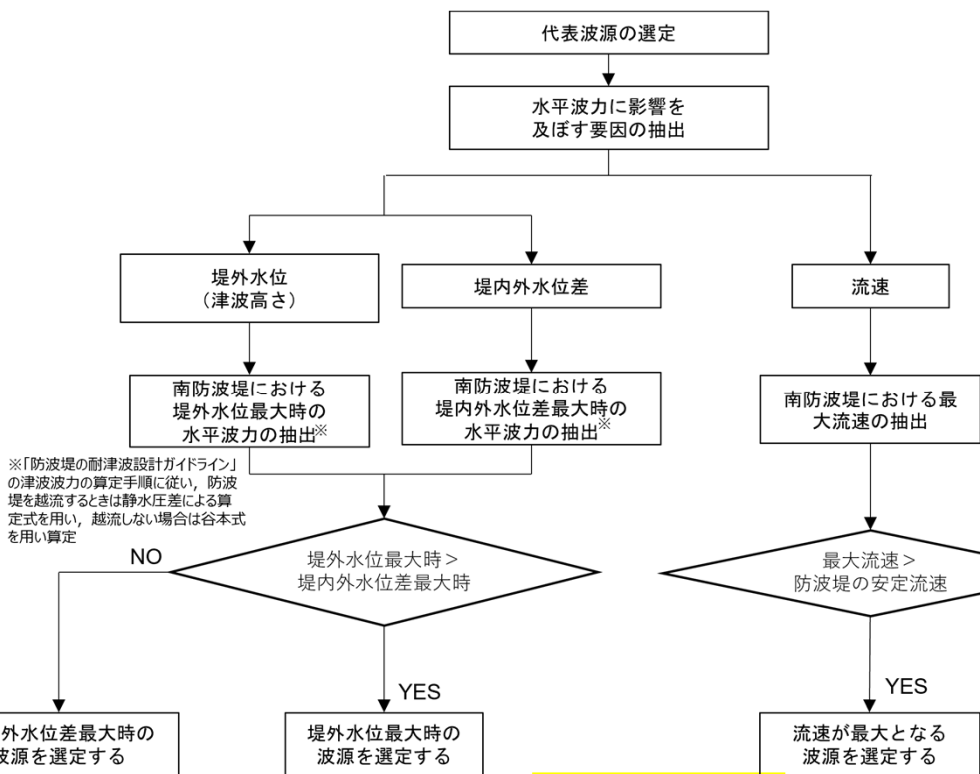
【防波堤の損傷状態が滑動及び転倒に及ぼす影響】

- 泊発電所の防波堤における地震及び津波による損傷状態がケーソンの滑動及び転倒に及ぼす影響要因を下表のとおり整理した。

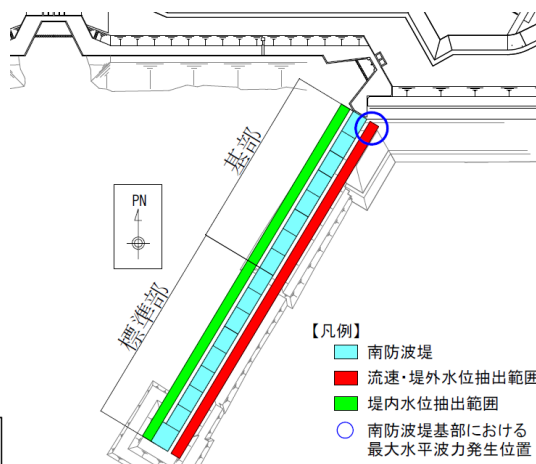
防波堤の損傷状態	地震による損傷		津波による損傷	
	基礎マウンド及び基礎地盤の不等沈下によるケーソンの傾斜		基礎マウンド及び基礎地盤の洗掘	基礎マウンド及び基礎地盤の支持力破壊
概要図				
ケーソンの滑動及び転倒に及ぼす影響	<ul style="list-style-type: none"> ● ケーソンが滑動又は転倒しやすくなる。 			

4. 代表波源の選定結果

- 東北地方太平洋沖地震における被災事例を踏まえると、防波堤の移動量は、津波の水平波力による影響が大きいと考えられるため、基準津波全18波のうち南防波堤が健全状態の11波から、水平波力の影響要因である堤内外水位差、堤外水位及び流速を比較した。
- 比較した結果、南防波堤基部において、水平波力が最大となる「基準津波（波源 I、防波堤損傷なし）」を選定した。
- なお、南防波堤における最大流速は、ケーソン及び上部コンクリートのイスバッシュ式による安定流速と比較し、十分小さいため実験において考慮しない。



※「防波堤の耐津波設計ガイドライン」の津波波力の算定手順に従い、防波堤を越流するときは静水圧差による算定式を用い、越流しない場合は谷本式を用い算定



水位、流速の抽出範囲及び水平波力発生箇所

ケーソン及び上部コンクリートの安定流速

対象構造物	密度 (t/m ³)	重量 (t)	安定流速 (m/s)
ケーソン	2.15	5,900	16.5
上部コンクリート	2.34	1,600	14.1

代表波源諸元

基準津波	堤外水位 (T.P.m)	堤内水位 (T.P.m)	堤内外水位差 (m)	水平波力 (kN/m)
波源 I (防波堤損傷なし)	4.27	-5.50	9.77	875

代表波源の選定フロー

5. 実験条件 (1/2)

【実験条件（防波堤の損傷状態）】

- 防波堤の損傷状態を踏まえ、防波堤の移動量に及ぼす影響を整理した結果、泊発電所のサイト特性を踏まえると防波堤堤内側にはC級岩盤の高まりが分布しており、いずれも移動量が抑制される結果となることから、実験では基礎マウンド及び基礎地盤の地震及び津波による損傷状態は考慮しない。

防波堤の損傷状態	地震による損傷		津波による損傷	
	基礎マウンド及び基礎地盤の不等沈下によるケーソンの傾斜		基礎マウンド及び基礎地盤の洗掘	基礎マウンド及び基礎地盤の支持力破壊
概要図				
実験条件への反映結果	<ul style="list-style-type: none"> ● 移動量が抑制される結果となることから、基礎マウンド及び基礎地盤の損傷状態は考慮しない 			

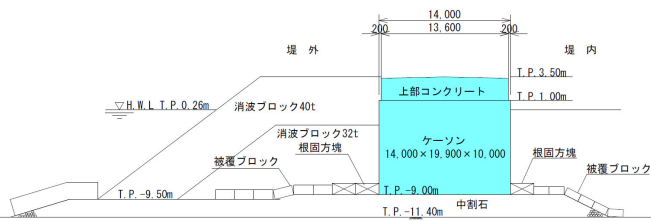
5. 実験条件 (2/2)

【実験条件（実験模型及び実験波形）】

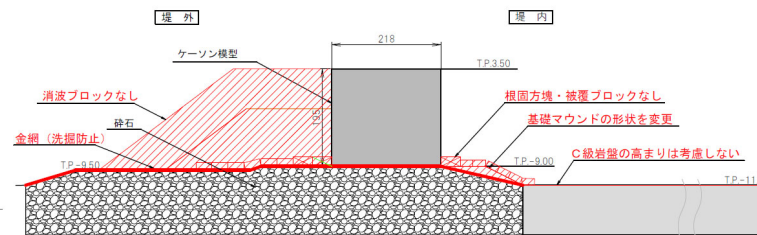
- 地形及び防波堤のサイト特性が移動量及び滑動に及ぼす影響と実験条件への反映結果を下表に整理した。
- 実験波形は堤内水位を堤内側の水圧を小さくするため、実験模型で再現可能な最低水位であるT.P.-8.0mに固定し、防波堤が滑動し、移動量が大きくなるような堤外水位を設定した。実験ケースは、想定される水平波力の2倍相当までの4ケースを設定した。
- 通過波検定の際に水圧を測定し、各実験ケースの水平波力を確認する。
- また、移動量に影響を及ぼす周期については、想定される基準津波を包絡するような周期を設定する。

項目		サイト特性	想定される実験結果への影響	実験条件への反映結果
地形	周辺地形	防波堤堤内側にC級岩盤の高まりが分布	防波堤堤内側に分布するC級岩盤の高まりが移動量を抑制する	防波堤堤内側の海底地盤は平坦としてモデル化する
構造物 (防波堤)	基礎マウンド	堤内側マウンド法肩までが平坦形状	堤内側マウンド法肩までの平坦部は滑動抵抗に寄与する	滑動が生じた際の移動が大きくなるよう堤内側マウンド平坦形状を傾斜形状に変更してモデル化する
	消波ブロック	消波ブロックあり (南防波堤基部のみ)	消波ブロックは防波堤に作用する津波波力の低減効果がある	消波ブロックなしの場合に津波は直接防波堤に作用するため、消波ブロックはモデル化しない
	根固方塊及び被覆ブロック	根固方塊及び被覆ブロックあり	防波堤堤内側の根固方塊及び被覆ブロックは滑動抵抗に寄与する	根固方塊及び被覆ブロックは防波堤の滑動抵抗に寄与することから根固方塊及び被覆ブロックはモデル化しない

実験ケース



南防波堤基部（1 函目） 断面図



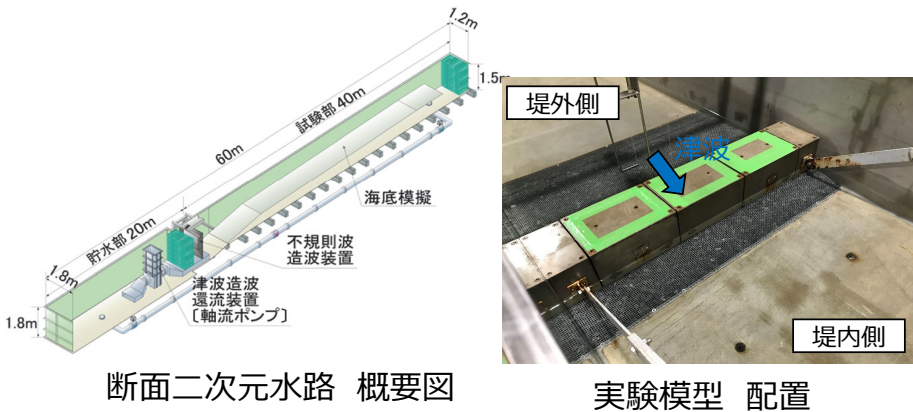
実験模型断面図

実験ケース	堤外水位 (T.P.m)	堤内水位 (T.P.m)	堤内外水位差 (m)	水平波力 (kN/m)
ケース1	3.5	-8.0	11.5	824
ケース2	9.0		17.0	1,553
ケース3	9.5		17.5	1,619
ケース4	10.0		18.0	1,686

6. 実験結果 (1/2)

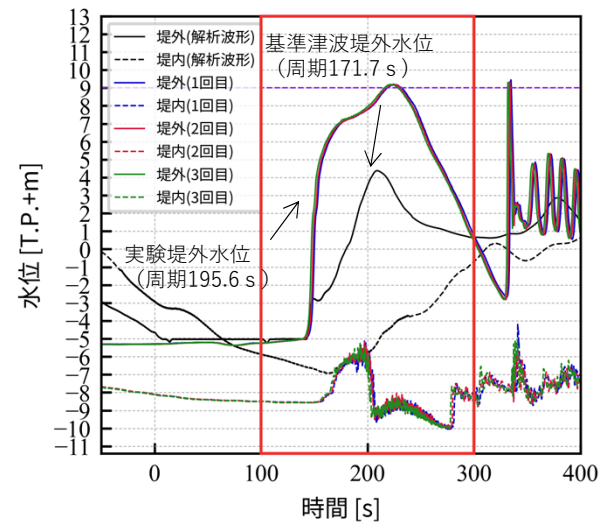
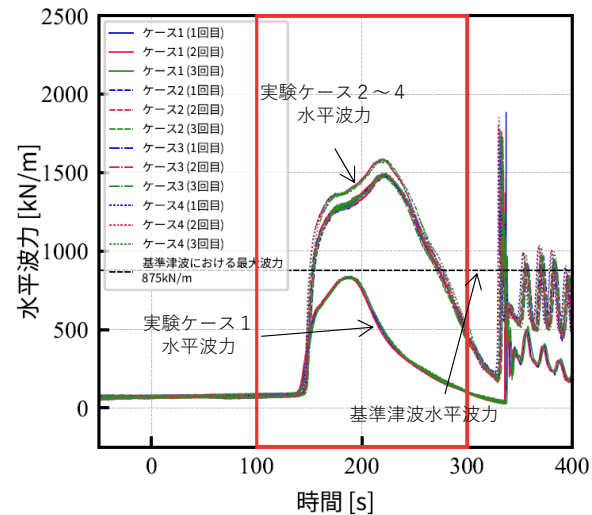
【実験装置の概要】

- 実験装置は長さ60m×幅1.2m×高さ1.5mの断面二次元水路を用いた。
- 実験縮尺は実験装置の規模から 1/64とし、フルード相似則に従い現地を再現する。
- 実験に当たっては、堤内外位置での水位差が目標とする水位差以上となること及び造波の再現性があることを確認するため、通過波検定により、波圧及び水位を計測した後、造波した波形を使用し、ケーソンの移動量を計測する。
- 通過波検定より実験ケースのケース2からケース4について、基準津波の水平波力と周期を上回っていることを確認した。



実験模型諸元

諸元	実物値	実験模型値
高さ	12.5m	195mm
幅	19.9m	310mm
長さ	14.0m	218mm
重量	7,500t	27.77kg






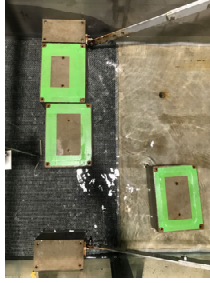
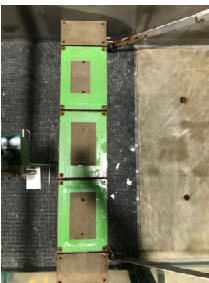
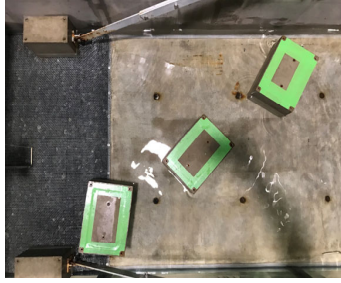
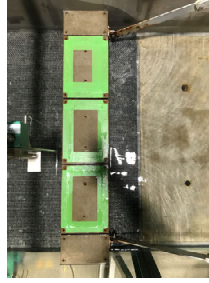
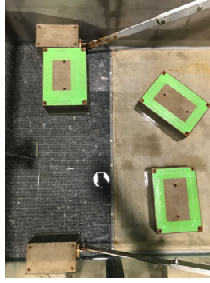
実験ケース2と「基準津波（波源I，防波堤損傷なし）」の計測結果
(左：時刻歴波圧 右：時刻歴波形)

6. 実験結果 (2/2)

【移動量の計測結果】

- ケース2（堤内外水位差17.0m）において、防波堤は滑動しなかった。
- ケース3（堤内外水位差17.5m）において、防波堤は滑動し、移動量は最大は79.2m（現地換算）となった。

移動後の状況（ケース2及びケース3）

ケース名		水平波力※1 (kN/m)	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目
ケース2 (堤内外水位差 17.0m)	状況写真	1,481				/	/
	移動量※2		0.0m	0.0m	0.0m		
ケース3 (堤内外水位差 17.5m)	状況写真	1,494					
	移動量※2		35.5m	0.1m	79.2m	0.0m	38.8m

※1 波圧及び水位計測時の現地換算の平均値を示す。

※2 現地換算の計測結果を示す。

7. 取水口到達及び閉塞可能性評価結果

- 水理模型実験の結果、ケース1（水平波力837kN/m）及びケース2（水平波力1,481kN/m）では防波堤の滑動は確認されなかった。
- 南防波堤基部における最大水平波力となる「基準津波（波源Ⅰ，防波堤損傷なし）」は875kN/mであり、防波堤の滑動が確認されなかったケース2の1,481kN/mを大きく下回り、1.6倍程度の裕度を有している。
- 以上のことから、基準津波の水平波力により防波堤に滑動及び転倒が生じる可能性はないことから、防波堤が3号炉取水口に到達して閉塞する可能性はない。

計測結果一覧

ケース	回目	通過波検定時結果		移動量実験
		堤内外水位差※ (m)	水平波力※ (kN/m)	移動量※ (m)
ケース1 (堤内外水位差11.0m)	1	12.33	834	0.0
	2	12.35	838	0.0
	3	12.37	841	0.0
ケース2 (堤内外水位差17.0m)	1	18.00	1,481	0.0
	2	18.20	1,482	0.0
	3	17.87	1,481	0.0
ケース3 (堤内外水位差17.5m)	1	18.37	1,492	35.5
	2	18.37	1,496	0.1
	3	18.46	1,496	79.2
	4			0.0
	5			38.8
ケース4 (堤内外水位差18.0m)	1	18.28	1,586	38.7
	2	18.56	1,588	41.8
	3	18.60	1,586	43.6
	4			44.6

南防波堤における水平波力が最大となる
「基準津波（波源Ⅰ，防波堤損傷なし）」の津波特性

項目	津波特性
水平波力	875kN/m
堤内外水位差	9.77m
堤外水位（津波高さ）	T.P.4.27m
堤内水位差	T.P.-5.50m
周期（継続時間）	171.7 s

※現地換算の計測結果を示す。