

東海第二発電所 (2018. 9. 12 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版) (参考資料9)	島根原子力発電所 2号炉 (参考資料1)	備考
	<p data-bbox="1062 342 1590 373">女川防潮堤の特徴と他サイト防潮堤との比較</p> <p data-bbox="943 432 1127 464">1. 比較の観点</p> <p data-bbox="964 478 1715 779">女川の防潮堤は、鋼管式鉛直壁（一般部）、鋼管式鉛直壁（岩盤部）及び盛土堤防の3つの構造形式に分かれている。鋼管式鉛直壁（一般部）については長杭（岩盤に支持されている杭）及び短杭（改良地盤に支持されている杭）の2つの杭仕様があり、いずれも鋼管式鉛直壁（岩盤部）と同様に沈下しない設計としている。盛土堤防はセメント改良土で構築し、岩盤又は改良地盤に支持させることで、沈下しない設計としている。</p> <p data-bbox="964 793 1715 1094">これらの設計において留意すべき事項を整理するため、女川と他サイト（関西電力㈱高浜発電所、日本原子力発電㈱東海第二発電所）の防潮堤について、施設構造、施設等を比較し、女川防潮堤の津波防護施設としての特徴を評価しながら、津波防護施設としての構造成立性評価の基礎情報として整理するとともに、原子力発電所以外の一般施設において女川と類似する設計事例を調査する。</p> <p data-bbox="964 1108 1715 1182">また、女川防潮堤を設計するにあたり配慮した内容、構造仕様の変更などの設計経緯について整理する。</p> <p data-bbox="943 1241 1261 1272">2. 構造形式の違いと考察</p> <p data-bbox="964 1287 1715 1360">各サイトの防潮堤の概要を第1図に、他サイト防潮堤との構造形式の違いに係る考察を第1表に示す。</p> <div data-bbox="943 1375 1694 1808"> </div> <p data-bbox="1130 1822 1525 1854">第1図 各サイトの防潮堤の概要</p>	<p data-bbox="1878 342 2356 373">防波壁の構造等に関する先行炉との比較</p> <p data-bbox="1736 432 1920 464">1. 比較の観点</p> <p data-bbox="1736 478 2496 552">島根原子力発電所の防波壁は、多重鋼管杭式擁壁、鋼管杭式逆T擁壁及び波返重力擁壁の3つの構造形式に分かれている。</p> <p data-bbox="1736 567 2496 735">これらの設計において留意すべき事項を整理するため、島根原子力発電所と先行炉（日本原子力発電(株)東海第二発電所、東北電力(株)女川原子力発電所及び関西電力(株)美浜発電所）の防潮堤等について構造等を比較する。</p> <p data-bbox="1736 749 2496 867">また、先行炉との比較を踏まえ、先行炉実績との類似点を踏まえた設計方針の適用性及び先行炉実績との相違点を踏まえた設計への反映事項を示す。</p> <p data-bbox="1736 926 1973 957">2. 先行炉との比較</p> <p data-bbox="1736 972 2024 1003">(1) 多重鋼管杭式擁壁</p> <p data-bbox="1757 1018 2496 1228">防波壁のうち多重鋼管杭式擁壁については、岩盤に支持された鋼管杭に上部工として被覆コンクリート壁を設置する構造であることから、類似する先行炉津波防護施設として、東海第二発電所における鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁を選定する。それぞれの構造概要を第1図に示す。</p> <p data-bbox="1757 1243 2496 1543">防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は港湾基準の自立矢板式護岸に準拠し設計を行う。島根原子力発電所の防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造及び設計条件等に関する特徴を示すとともに、東海第二発電所の鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁と比較を行い、類似点及び相違点を抽出した。類似点についてはその適用性を、相違点についてはそれを踏まえた設計への反映事項を、それぞれ第1表のとおり整理した。</p>	<p data-bbox="2531 258 2813 426">・設備の相違 【女川2】 設備の相違による記載の相違</p>

東海第二発電所 (2018. 9. 12 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考		
第1(1)表 防波壁(多重鋼管杭擁壁)の構造等に関する先行炉との比較(1/2)					
評価項目 下部工の構造 防波壁の構造 上部工の構造	島根原子力発電所 防波壁(多重鋼管杭式擁壁)の構造等 ・鋼管杭は岩盤に支持させる。 ・上部工から伝達される荷重に耐える構造とするため、鋼管杭(多重鋼管杭)を採用する。 ・鋼管杭の許容限界: (曲げ) 降伏モーメント(せん断) せん断応力度 ・遮水性保持のために、鋼管杭間にセメントミルクを充填するとともに、取水路横断部については、杭間で地盤改良を実施する。	先行炉の構造等* 日本原子力発電所 東海第二発電所 (鋼管杭鉄筋コンクリート防波壁) ・鋼管杭は岩盤に支持させる。 ・鋼管杭(単管)を採用する。 ・鋼管杭の許容限界: 短期許容応力度	島根原子力発電所と先行炉との比較 類似点 ・鋼管杭を岩盤に支持。 - - -	先行炉の構造等との類似点を踏まえた設計方針の適用性 ・同様の支持形態である。 - - -	先行炉実績との相違点を踏まえた設計への反映事項 - ・多重鋼管杭が一体として挙動することを、水平載荷実験により確認している。 ・鋼管杭の許容限界について、道路橋示方書・同解説(平成14年3月)に基づき、曲げについては降伏モーメント、せん断についてはせん断応力度をそれぞれ設定し、設計する。 ・今後、3次元静的 FEM解析によりセメントミルク及び改良地盤の健全性を確認する。 ・今後、3次元静的 FEM解析によりセメントミルク及び改良地盤の健全性を確認する。
	・鋼管杭間からの津波の浸水を防止する観点で、鋼管杭を鉄筋コンクリートで被覆する。 ・地震荷重並びに津波荷重を全て鉄筋コンクリートで負担する設計としている。	・鋼管杭間からの津波の浸水を防止する観点で、鋼管杭を鉄筋コンクリートで被覆する。 ・地震荷重並びに津波荷重を全て鉄筋コンクリートで負担する設計としている。	・遮水性保持のために、海側にシートパイルを施工する。 ・遮水性保持を期待する設備の違い -	・遮水性を確保する部材の設計方針の違い -	・今後、3次元静的 FEM解析によりセメントミルク及び改良地盤の健全性を確認する。

※ 先行炉の情報に係る記載内容については、会社資料等をもとに弊社の責任において独自に解釈したものです。

東海第二発電所 (2018. 9. 12 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																						
		<p>第1(2)表 防波壁 (多重鋼管杭擁壁) の構造等に関する先行炉との比較(2/2)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">評価項目</th> <th>島根原子力発電所 防波壁 (多重鋼管杭擁壁) の構造等</th> <th>先行炉の構造等※ 日本原子力発電所 東海第二発電所 (鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁)</th> <th colspan="2">島根原子力発電所と先行炉との比較</th> <th>先行炉美観との相違点を 踏まえた設計方針の 反映事項</th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th>類似点</th> <th>相違点</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>止水目地</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 止水目地材として、相対変形量に 応じ、ゴムジョイント若しくはシートジョ イントを採用する。 設置箇所：防波壁の陸側に設置す る。 止水目地の許容限界： メーカー規格及び今後必要に応じて 実施する性能試験に基づき許容変形 量及び許容水圧以下とする。 </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 止水目地材として、相対変形量に 応じ、シートジョイントを採用する。 設置箇所：防潮堤の堤内側と堤外 側に設置する。 止水目地の許容限界： 許容変形量、許容引張強度 </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 同等の仕様の止水目地を 採用している。 </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 止水目地は、防波壁の 陸側に設置する。 </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 止水目地取り換え時に一 時的に遮水性が確保できな くなることを懸念されるが、 耐用年数が30年であり、 経年劣化による取り換えは 不要と考えられる。万一取り 換える必要が生じた場合に ついては、津波襲来までの 時間で取り換えを行うよう、 今後運用面の手順を整備 する。 </td> </tr> <tr> <td>液化化影響に関する 設計への反映</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 液化化検討対象層 (埋戻土 (掘 削土、砂礫層)) に対して、液化 化試験結果及び有効応力解析 (FLIP) の簡易設定法に基づき液 状化強度特性を設定する。 </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 液化化検討対象層に対して、液化 化試験結果を踏まえ、地盤を強制 的に液化化させる条件 (飽満標準 砂の考慮) も含めて保守的な液化 化強度特性を設定する。 </td> <td>-</td> <td>-</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 簡易設定法による液化化 強度比が、液化化強度 試験に基づき液化化強度 特性より保守的となってい ることを確認している。 別途、「地盤の液化化強 度特性」の審査において説 明する。 </td> </tr> </tbody> </table> <p>※ 先行炉の情報に係る記載内容については、会合資料等をもとに弊社の責任において独自に解釈したものです。</p>	評価項目	島根原子力発電所 防波壁 (多重鋼管杭擁壁) の構造等	先行炉の構造等※ 日本原子力発電所 東海第二発電所 (鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁)	島根原子力発電所と先行炉との比較		先行炉美観との相違点を 踏まえた設計方針の 反映事項			類似点	相違点		止水目地	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地材として、相対変形量に 応じ、ゴムジョイント若しくはシートジョ イントを採用する。 設置箇所：防波壁の陸側に設置す る。 止水目地の許容限界： メーカー規格及び今後必要に応じて 実施する性能試験に基づき許容変形 量及び許容水圧以下とする。 	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地材として、相対変形量に 応じ、シートジョイントを採用する。 設置箇所：防潮堤の堤内側と堤外 側に設置する。 止水目地の許容限界： 許容変形量、許容引張強度 	<ul style="list-style-type: none"> 同等の仕様の止水目地を 採用している。 	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地は、防波壁の 陸側に設置する。 	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地取り換え時に一 時的に遮水性が確保できな くなることを懸念されるが、 耐用年数が30年であり、 経年劣化による取り換えは 不要と考えられる。万一取り 換える必要が生じた場合に ついては、津波襲来までの 時間で取り換えを行うよう、 今後運用面の手順を整備 する。 	液化化影響に関する 設計への反映	<ul style="list-style-type: none"> 液化化検討対象層 (埋戻土 (掘 削土、砂礫層)) に対して、液化 化試験結果及び有効応力解析 (FLIP) の簡易設定法に基づき液 状化強度特性を設定する。 	<ul style="list-style-type: none"> 液化化検討対象層に対して、液化 化試験結果を踏まえ、地盤を強制 的に液化化させる条件 (飽満標準 砂の考慮) も含めて保守的な液化 化強度特性を設定する。 	-	-	<ul style="list-style-type: none"> 簡易設定法による液化化 強度比が、液化化強度 試験に基づき液化化強度 特性より保守的となってい ることを確認している。 別途、「地盤の液化化強 度特性」の審査において説 明する。
評価項目	島根原子力発電所 防波壁 (多重鋼管杭擁壁) の構造等	先行炉の構造等※ 日本原子力発電所 東海第二発電所 (鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁)		島根原子力発電所と先行炉との比較		先行炉美観との相違点を 踏まえた設計方針の 反映事項																			
			類似点	相違点																					
止水目地	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地材として、相対変形量に 応じ、ゴムジョイント若しくはシートジョ イントを採用する。 設置箇所：防波壁の陸側に設置す る。 止水目地の許容限界： メーカー規格及び今後必要に応じて 実施する性能試験に基づき許容変形 量及び許容水圧以下とする。 	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地材として、相対変形量に 応じ、シートジョイントを採用する。 設置箇所：防潮堤の堤内側と堤外 側に設置する。 止水目地の許容限界： 許容変形量、許容引張強度 	<ul style="list-style-type: none"> 同等の仕様の止水目地を 採用している。 	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地は、防波壁の 陸側に設置する。 	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地取り換え時に一 時的に遮水性が確保できな くなることを懸念されるが、 耐用年数が30年であり、 経年劣化による取り換えは 不要と考えられる。万一取り 換える必要が生じた場合に ついては、津波襲来までの 時間で取り換えを行うよう、 今後運用面の手順を整備 する。 																				
液化化影響に関する 設計への反映	<ul style="list-style-type: none"> 液化化検討対象層 (埋戻土 (掘 削土、砂礫層)) に対して、液化 化試験結果及び有効応力解析 (FLIP) の簡易設定法に基づき液 状化強度特性を設定する。 	<ul style="list-style-type: none"> 液化化検討対象層に対して、液化 化試験結果を踏まえ、地盤を強制 的に液化化させる条件 (飽満標準 砂の考慮) も含めて保守的な液化 化強度特性を設定する。 	-	-	<ul style="list-style-type: none"> 簡易設定法による液化化 強度比が、液化化強度 試験に基づき液化化強度 特性より保守的となってい ることを確認している。 別途、「地盤の液化化強 度特性」の審査において説 明する。 																				

東海第二発電所 (2018. 9. 12 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>(2) 鋼管杭式逆T擁壁</p> <p>防波壁のうち鋼管杭式逆T擁壁については、岩盤に支持された鋼管杭上に上部工として鉄筋コンクリート壁を設置する構造であることから、類似する先行炉津波防護施設として、女川原子力発電所2号炉における防潮壁 (RC 遮水壁) を選定する。それぞれの構造イメージを第2図に示す。</p> <p>防波壁 (鋼管杭式逆T擁壁) は港湾基準の外郭施設 (護岸) に準拠し設計を行う。島根原子力発電所の防波壁 (鋼管杭式逆T擁壁) の構造及び設計条件等に関する特徴を示すとともに、女川原子力発電所2号炉の防潮壁 (RC 遮水壁) と比較を行い、類似点及び相違点を抽出した。類似点についてはその適用性を、相違点についてはそれを踏まえた設計への反映事項を、それぞれ第2表のとおり整理した。</p> <div data-bbox="1751 945 2404 1323"> </div> <p>第2図 構造イメージ (島根原子力発電所 防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) 及び女川原子力発電所2号炉 防潮壁 (RC 遮水壁))</p>	

第2表 防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)の構造等に関する先行炉との比較

項目	島根原子力発電所 防波壁(鋼管杭式逆T擁壁) の構造等		先行炉の構造等*		島根原子力発電所と先行炉との比較		先行炉実績との類似点を踏まえた設計方針の適用性	先行炉実績との相違点を踏まえた設計への反映事項
	下部工の構造	上部工の構造	類似点	相違点				
下部工の構造	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭は岩盤に支持させる。 杭頭部は、剛接合として設計 鋼管杭の許容限界： (曲げ) 降伏モーメント (せん断) せん断底力度 	<ul style="list-style-type: none"> 鉄筋コンクリート製の逆T擁壁を地上部に設置する。 逆T擁壁(鉄筋コンクリート)の許容限界：短期許容応力度 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭は岩盤に支持させる。 杭頭部は、剛接合として設計 鋼管杭の許容限界： (曲げ) 降伏強度以下 (せん断) せん断底力度 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭を岩盤に支持させる設計とする。 鋼管杭の許容限界を降伏強度に基づき設定する。 	<ul style="list-style-type: none"> 杭頭部をヒンジ結合として設計している。 	<ul style="list-style-type: none"> 許容限界については、降伏強度に基づき考え方をおり、先行炉の設計方針が適用可能である。 	<ul style="list-style-type: none"> 杭頭を剛接合とした場合に、ついても成立性を確認する。 今後、模型実験により杭頭部の力挙動を確認する。 	
上部工の構造	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地材として、相対変形量に応じ、ゴムジョイント若しくはシートジョイントを採用する。 設置箇所：防波壁の陸側に設置する。 止水目地の許容限界： メーカー規格及び今後必要に応じて実施する性能試験に基づき許容変形量及び許容水圧以下とする。 	<ul style="list-style-type: none"> 鉄筋コンクリート製の連水壁を地上部に設置する。 連水壁の許容限界： (曲げ) 降伏耐力以下 (せん断) せん断耐力以下 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭に支持された鉄筋コンクリート壁を地上部に設置する。 	<ul style="list-style-type: none"> 同様の構造である。先行炉の上部工の設計方針が適用可能である。 	<ul style="list-style-type: none"> 同様の構造である。先行炉の上部工の設計方針が適用可能である。 	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地材は、防波壁の陸側に設置する。 	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地材の採用があることから、先行炉の止水目地の設計方針が適用可能である。 	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地材の採用があることから、先行炉の止水目地の設計方針が適用可能である。
止水目地	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地材として、相対変形量に応じ、ゴムジョイント若しくはシートジョイントを採用する。 設置箇所：防波壁の陸側に設置する。 止水目地の許容限界： メーカー規格及び今後必要に応じて実施する性能試験に基づき許容変形量及び許容水圧以下とする。 	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地材として、相対変形量に応じ、ゴムジョイント若しくはシートジョイントを採用する。 設置箇所：防波壁の堤内側と堤外側に設置する。 止水目地の許容限界： 許容変形量、許容引張強度 	<ul style="list-style-type: none"> 同等の仕様(止水目地)を採用している。 	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地は、防波壁の陸側に設置する。 	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地は、防波壁の陸側に設置する。 	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地材の採用があることから、先行炉の止水目地の設計方針が適用可能である。 	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地材の採用があることから、先行炉の止水目地の設計方針が適用可能である。 	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地材の採用があることから、先行炉の止水目地の設計方針が適用可能である。
液状化影響に関する設計への反映	<ul style="list-style-type: none"> 液状化検討対象層(埋戻土(掘削スリ、砂礫層))に対して、液状化試験結果及び有効応力解析(FILP)の簡易設定法に基づき液状化強度特性を設定する。 	<ul style="list-style-type: none"> 液状化検討対象層に対して、液状化試験結果を踏まえ、地盤を強制的に液状化させる条件(飽和標準軸の考慮)も含めて保守的な液状化強度特性を設定する。 	<ul style="list-style-type: none"> 液状化強度特性の設定において、有効応力解析(FILP)の簡易設定法を採用している。 	<ul style="list-style-type: none"> 液状化強度特性の設定において、有効応力解析(FILP)の簡易設定法を採用している。 	<ul style="list-style-type: none"> 液状化強度特性の設定において、有効応力解析(FILP)の簡易設定法を採用している。 	<ul style="list-style-type: none"> 簡易設定法による液状化強度比が、液状化強度試験に基づき液状化強度特性より保守的になっている。 別途、「地盤の液状化強度特性の審査において説明する。 	<ul style="list-style-type: none"> 簡易設定法による液状化強度比が、液状化強度試験に基づき液状化強度特性より保守的になっていることを確認している。 別途、「地盤の液状化強度特性の審査において説明する。 	

* 先行炉の情報に係る記載内容については、会社資料等をもとに弊社の責任において独自に解釈したものです。

東海第二発電所 (2018. 9. 12 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>(3) 波返重力擁壁</p> <p>防波壁のうち波返重力擁壁については、岩盤上にMMR及びケーソンを介して鉄筋コンクリート壁を設置する構造であることから、類似する先行炉津波防護施設として、美浜発電所における防潮堤（鉄筋コンクリート及び地盤改良部）を選定する。それぞれの構造イメージを第3図に示す。</p> <p>防波壁（波返重力擁壁）は港湾基準の外郭施設（護岸）に準拠し設計を行う。島根原子力発電所の防波壁（波返重力擁壁）の構造及び設計条件等に関する特徴を示すとともに、美浜発電所3号炉の防潮堤（鉄筋コンクリート及び地盤改良部）と比較を行い、類似点及び相違点を抽出した。類似点についてはその適用性を、相違点についてはそれを踏まえた設計への反映事項を、それぞれ第3表のとおり整理した。</p> <div data-bbox="1736 924 2478 1396" style="text-align: center;"> </div> <p>第3図 構造イメージ（島根原子力発電所 防波壁（波返重力擁壁）及び美浜発電所 防潮堤（鉄筋コンクリート及び地盤改良部））</p>	

第3表 防波壁(波返重力擁壁)の構造等に関する先行炉との比較

項目	島根原子力発電所 防波壁(重力波返擁壁)	先行炉の構造*		島根原子力発電所と先行炉との比較		先行炉実績との類似点を 踏まえた設計方針の 適用性	先行炉実績との相違点を 踏まえた設計への 反映事項
		関西電力(株) 美浜発電所 防波壁 (鉄筋コンクリート及び地盤改良部)	類似点	相違点			
防波壁の構造	下部工の構造	<ul style="list-style-type: none"> 下部工(ケーン)は、岩盤若しくは改良地盤に支持させる。なお、上部工(重力擁壁)を直接岩盤若しくはMMRに支持させる箇所がある。 鉄筋コンクリート製の重力擁壁を地上部に設置する。 重力擁壁(鉄筋コンクリート)の許容限界：短期許容応力度 	<ul style="list-style-type: none"> 下部工(コンクリート)構造物若しくは改良体(岩盤)に支持させる設計とする。 コンクリート構造物若しくは改良体(岩盤)に支持された鉄筋コンクリート壁を地上部に設置する。 許容限界は、短期許容応力度とする。 	-	<ul style="list-style-type: none"> 同様の構造及び支持形態である。先行炉の下部工の設計方針が適用可能である。 同様の構造及び許容限界の設定である。先行炉の上部工の設計方針が適用可能である。 	-	
	止水目地	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地材として、相対変形量に及び、ゴムジョイント若しくはシートジョイントを採用する。 設置箇所：防波壁の陸側に設置する。 止水目地の許容限界：メーカー規格及び今後必要に応じて実施する性能試験に基づき許容変形量及び許容水圧以下とする。 	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地材として、相対変形量に及び、シートジョイントを採用している。 同様の仕様(止水目地)を採用している。 	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地は、防波壁の陸側に設置する。 	<ul style="list-style-type: none"> 同様の止水目地材の採用であることから、先行炉の止水目地の設計方針が適用可能である。 	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地取付け時に一時的に透水性が確保できない可能性があるが、許容変形量及び許容水圧が30年であり、経年劣化による取付けの必要と考えられる。万一取付けに問題が生じた場合には、津波発生までの期間で取付けを行うよう、今後運用面の手順を整備する。 	
液状化影響に関する設計への反映	<ul style="list-style-type: none"> 液状化検討対象層(埋戻土(掘削土)、砂礫層)に対して、液状化試験結果及び有効応力解析(FILP)の簡易設定法に基づき液状化強度特性を設定する。 	<ul style="list-style-type: none"> 液状化検討対象層に対して、液状化試験結果を踏まえ、地盤を強制的に液状化させる条件(標準液状化強度特性)も含めて保守的な液状化強度特性を設定する。 	<ul style="list-style-type: none"> 液状化強度特性の設定において、有効応力解析(FILP)の簡易設定法を採用している。 	-	<ul style="list-style-type: none"> 簡易設定法による液状化強度試験が、液状化強度試験に基づき液状化強度特性より保守的かつ適切な値を確保している。 別途、「地盤の液状化強度特性」の簡易設定法において説明する。 		

* 先行炉の情報に係る記載内容については、会社資料等をもとに弊社の責任において独自に解釈したものです。

東海第二発電所 (2018. 9. 12 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>3. 先行炉との比較結果のまとめ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・島根原子力発電所の防波壁の構造及び設計条件等に関する類似する先行炉の津波防護施設との比較を踏まえ、防波壁は先行炉の設計方針を適用して設計を行う。 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）：東海第二発電所 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁 防波壁（鋼管杭式逆T 擁壁）：女川原子力発電所2号炉 防潮壁（RC 遮水壁） 防波壁（波返重力擁壁）：美浜発電所 防潮堤（鉄筋コンクリート及び地盤改良部） ・また、多重鋼管杭の許容限界については、道路橋示方書・同解説（平成14年3月）を踏まえた降伏モーメント（曲げ）及びせん断応力度（せん断）とする。 ・防波壁の液状化影響の設計の反映に関して、液状化検討対象層に対する液状化試験結果に基づく保守的な液状化強度特性を設定する点については先行炉と同様であるが、有効応力解析（FLIP）の簡易設定法に基づき液状化強度特性を設定していることから、その適用性や実績について今後詳細に説明する。 	

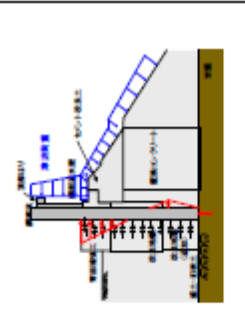
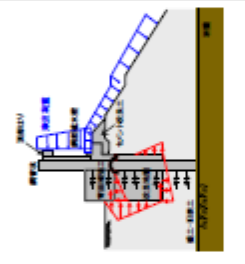

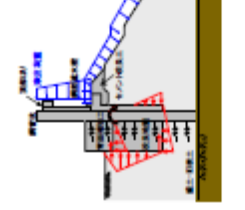
東海第二発電所 (2018. 9. 12 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>3. 地震時における沈下の取扱い</p> <p>地震時における沈下の取扱いについて、他サイトの沈下の考え方を第2図に、女川防潮堤の沈下の考え方を第3図に示す。</p> <p>他サイトは、地震時の周辺地盤の沈下に対して、防潮堤（遮水壁）の下に隙間ができないような対策（遮水壁の埋込み長さを必要長だけ確保、地盤改良による止水対策等）を実施している。</p> <p>女川防潮堤は、鋼製遮水壁を支持する長杭・短杭はいずれも岩盤又は改良地盤に支持されるため、沈下は発生しない。鋼管杭に接する範囲の周辺地盤についても、鋼管杭周辺地盤の地盤改良により、沈下は発生しない。</p> <p>また、鋼製遮水壁は、背面補強工に根入れしているが、背面補強工は改良地盤に支持されており、沈下が発生しないことから、鋼製遮水壁と周辺地盤の間に隙間が生じない構造となる。</p> <div data-bbox="1181 919 1469 1176" data-label="Image"> </div> <p>第2図 他サイトの沈下の考え方</p> <div data-bbox="1157 1323 1498 1579" data-label="Image"> </div> <p>第3図 女川防潮堤の沈下の考え方</p>		

4. 女川防潮堤における構造設計の経緯

女川防潮堤における構造設計の経緯を第4図に示す。

<p>① 11号機</p> <p>図1 11号機の設計による構造高 図2 11号機の設計による構造高</p>	<p>② 女川防潮堤</p>	<p>③ 青森県工による防潮堤の完成</p>	<p>④ 防潮堤の追加</p>
<p>3.11以降の設計による構造高 図1 11号機の設計による構造高 図2 11号機の設計による構造高</p>	<p>3.11以降の設計による構造高 図1 11号機の設計による構造高 図2 11号機の設計による構造高</p>	<p>3.11以降の設計による構造高 図1 11号機の設計による構造高 図2 11号機の設計による構造高</p>	<p>3.11以降の設計による構造高 図1 11号機の設計による構造高 図2 11号機の設計による構造高</p>

第4図(1) 女川防潮堤における構造設計の経緯(1/2)

⑤ 設計の母体工事着手	⑥ 準備工事の完了	⑦ 準備工事の完了	⑧ 設計の母体工事完了
 <p data-bbox="1314 304 1350 592">【準備工事 (開始前)】</p> <p data-bbox="1359 304 1596 636">- 03.10 年度設計業務開始。H25.5.4 に設計業務の母体工事の完了を完了とし、工事の完了を完了として設計業務の完了を完了とする。</p>	 <p data-bbox="1314 640 1350 886">【準備工事 (準備中)】</p> <p data-bbox="1359 640 1596 896">- 04.02.12 年度設計業務において、本設計業務の完了を完了とし、工事の完了を完了として設計業務の完了を完了とする。</p>	 <p data-bbox="1314 900 1350 1050">【準備工事 (準備中)】</p> <p data-bbox="1359 900 1596 1056">- 04.02.12 年度設計業務において、本設計業務の完了を完了とし、工事の完了を完了として設計業務の完了を完了とする。</p>	 <p data-bbox="1314 1060 1350 1255">【準備工事 (準備中)】</p> <p data-bbox="1359 1060 1596 1260">- 04.02.12 年度設計業務において、本設計業務の完了を完了とし、工事の完了を完了として設計業務の完了を完了とする。</p>

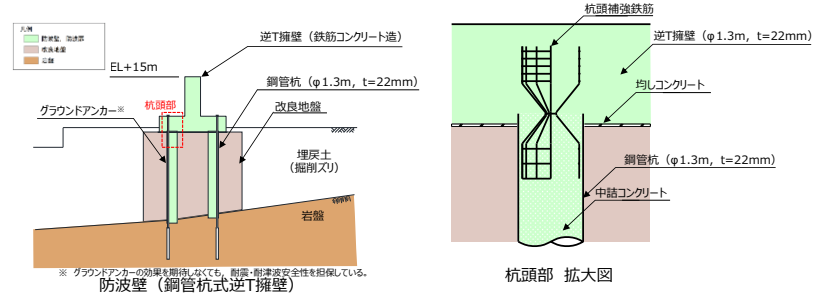
第4図(2) 女川防潮堤における構造設計の経緯 (2/2)

東海第二発電所 (2018. 9. 12 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p style="text-align: right;">(参考資料2)</p> <p style="text-align: center;"><u>防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) の構造概要</u></p> <p><u>防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) の杭頭部構造について、荷揚護岸北側部と取水路横断部で構造が異なっている。それぞれの杭頭部の状況を第1図に示す。</u></p> <p>【一般部】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・4重管のうち、最内管のφ1600のみ地上部に突出させ、φ1800, φ2000, φ2200の杭頭上部からφ1600の杭頭まで、鉄筋コンクリートで被覆する構造としている。 <p>【取水路横断部】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・取水路横断部では2号炉取水管を横断するため、取水管の両側に鋼管杭を追加した構造としている。 ・地震時及び津波時に被覆コンクリート直下の杭と隣接する追加杭が荷重を分担するように、地上付近 (EL+6.7m~+8.2m) で杭頭連結材にて連結し、内部をコンクリートで充填している。杭頭連結材上部から最内管上端まで鉄筋コンクリートで被覆する構造としている。 <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-end;"> <div data-bbox="1745 1171 2033 1438" style="text-align: center;">  <p>多重鋼管杭建込み状況 (間詰めコンクリート打設前)</p> </div> <div data-bbox="2047 1171 2493 1438" style="text-align: center;">  <p>杭頭連結材設置状況 (間詰めコンクリート打設前)</p> </div> </div> <p style="text-align: center;">第1図 杭頭部の状況</p>	<p>・設備の相違</p> <p>【女川2】</p> <p>設備の相違による記載の相違</p>

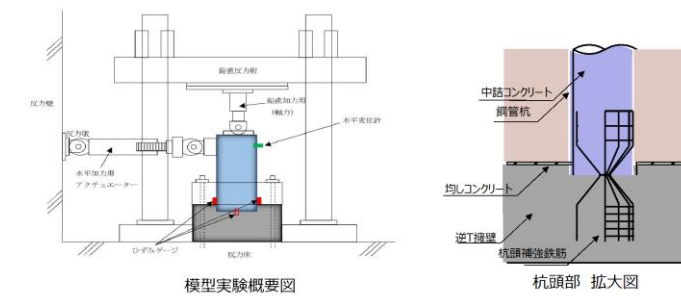
東海第二発電所 (2018. 9. 12 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉 <u>(参考資料3)</u>	備考				
		<p style="text-align: center;"><u>防波壁 (鋼管杭式逆 T 擁壁) の構造概要</u></p> <p style="text-align: center;"><u>防波壁のうち鋼管杭式逆 T 擁壁について、設置の経緯を第 1 図のとおり整理した。</u></p> <table border="1" data-bbox="1765 535 2496 982"> <tr> <td data-bbox="1765 535 2160 751"> <p style="text-align: center;">当初設計時 (杭頭を剛結とした場合)</p> </td> <td data-bbox="2160 535 2496 751"> <p style="text-align: center;">現在 (杭頭をヒンジ結合とした場合)</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="1765 751 2160 982"> <p>設計の考え方</p> <p>防波壁 (鋼管杭式逆 T 擁壁) の杭頭部の結合方式を剛結とすると杭頭部の曲げモーメントが降伏モーメントを超え、杭が降伏する結果となった。</p> </td> <td data-bbox="2160 751 2496 982"> <p>設計の考え方</p> <p>当初設計時の杭の設計で杭頭部における曲げモーメントを減少させ、概ね弾性範囲内となるよう杭頭部の結合方式をヒンジ結合を採用した。</p> <p>杭頭部の結合方式をヒンジ結合とすることに伴い、杭頭部での地盤の塑性化を防止、構造成立性を確保するため鋼管杭周辺において薬液注入工法による地盤改良を実施した。</p> <p>防波壁 (鋼管杭式逆 T 擁壁) の杭頭部については、地震により杭頭部に曲げモーメントが作用するが、作用する曲げモーメントが小さい状態では杭頭部は剛結で挙動し、曲げモーメントが増加すると杭頭部周辺コンクリートにクラックが発生し、ヒンジ状態に移行する。</p> <p>したがって、杭頭部の設計の考え方としては、曲げモーメントが大きい設計荷重状態ではヒンジ結合として挙動すると考えているため、模型実験により杭頭部の力学特性について確認するとともに、杭頭部に曲げモーメントが発生する剛結状態による影響検討もを行い、両ケースについて防波壁に損傷が発生しないことを確認し、詳細設計段階において説明する。</p> </td> </tr> </table> <p style="text-align: center;"><u>第 1 図 防波壁 (鋼管式逆 T 擁壁) の設計の経緯</u></p> <p>「<u>道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編</u>」によると、<u>杭基礎はその支持機構において杭先端の支持力を考慮するかどうかにより支持杭と摩擦杭とに大別される。長期的な基礎の変位を防止するためには一般的には支持杭とすることが望ましい。(中略) 支持杭においては、杭の支持層への根入れ深さは一般に杭径程度以上確保するのがよいとされている。また、地盤調査結果等に基づき設定した支持層の深さには、地盤調査の頻度や地盤の不均一性等による誤差が含まれていることを考慮し、杭長はある程度余裕を見込み、0.5m 刻み程度で決定するのがよいとされている。また、岩盤に対する支持力評価を行う場合には、鉛直荷重試験を実施して評価を行うのがよいとされている。</u></p> <p>「<u>道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編</u>」では、<u>上述のとおり杭基礎の多様な支持層 (N 値が 20 程度以上の粘性土層や N 値が 30 程度以上の砂層、砂れき層等) に対する根入れ深さの一般的な考え方が記載されている。一方で、防波壁 (鋼管杭式逆 T 擁壁) は、十分な支持地盤 (堅硬な岩盤) に鋼管杭を設置して先端支持力のみを期待し、根入れが不要な設計としている。鋼管杭の支持岩盤</u></p>	<p style="text-align: center;">当初設計時 (杭頭を剛結とした場合)</p>	<p style="text-align: center;">現在 (杭頭をヒンジ結合とした場合)</p>	<p>設計の考え方</p> <p>防波壁 (鋼管杭式逆 T 擁壁) の杭頭部の結合方式を剛結とすると杭頭部の曲げモーメントが降伏モーメントを超え、杭が降伏する結果となった。</p>	<p>設計の考え方</p> <p>当初設計時の杭の設計で杭頭部における曲げモーメントを減少させ、概ね弾性範囲内となるよう杭頭部の結合方式をヒンジ結合を採用した。</p> <p>杭頭部の結合方式をヒンジ結合とすることに伴い、杭頭部での地盤の塑性化を防止、構造成立性を確保するため鋼管杭周辺において薬液注入工法による地盤改良を実施した。</p> <p>防波壁 (鋼管杭式逆 T 擁壁) の杭頭部については、地震により杭頭部に曲げモーメントが作用するが、作用する曲げモーメントが小さい状態では杭頭部は剛結で挙動し、曲げモーメントが増加すると杭頭部周辺コンクリートにクラックが発生し、ヒンジ状態に移行する。</p> <p>したがって、杭頭部の設計の考え方としては、曲げモーメントが大きい設計荷重状態ではヒンジ結合として挙動すると考えているため、模型実験により杭頭部の力学特性について確認するとともに、杭頭部に曲げモーメントが発生する剛結状態による影響検討もを行い、両ケースについて防波壁に損傷が発生しないことを確認し、詳細設計段階において説明する。</p>	<p>・設備の相違</p> <p>【女川2】</p> <p>設備の相違による記載の相違</p>
<p style="text-align: center;">当初設計時 (杭頭を剛結とした場合)</p>	<p style="text-align: center;">現在 (杭頭をヒンジ結合とした場合)</p>						
<p>設計の考え方</p> <p>防波壁 (鋼管杭式逆 T 擁壁) の杭頭部の結合方式を剛結とすると杭頭部の曲げモーメントが降伏モーメントを超え、杭が降伏する結果となった。</p>	<p>設計の考え方</p> <p>当初設計時の杭の設計で杭頭部における曲げモーメントを減少させ、概ね弾性範囲内となるよう杭頭部の結合方式をヒンジ結合を採用した。</p> <p>杭頭部の結合方式をヒンジ結合とすることに伴い、杭頭部での地盤の塑性化を防止、構造成立性を確保するため鋼管杭周辺において薬液注入工法による地盤改良を実施した。</p> <p>防波壁 (鋼管杭式逆 T 擁壁) の杭頭部については、地震により杭頭部に曲げモーメントが作用するが、作用する曲げモーメントが小さい状態では杭頭部は剛結で挙動し、曲げモーメントが増加すると杭頭部周辺コンクリートにクラックが発生し、ヒンジ状態に移行する。</p> <p>したがって、杭頭部の設計の考え方としては、曲げモーメントが大きい設計荷重状態ではヒンジ結合として挙動すると考えているため、模型実験により杭頭部の力学特性について確認するとともに、杭頭部に曲げモーメントが発生する剛結状態による影響検討もを行い、両ケースについて防波壁に損傷が発生しないことを確認し、詳細設計段階において説明する。</p>						

東海第二発電所 (2018. 9. 12 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>確認については、地盤調査の頻度による誤差を考慮し、事前ボーリング調査に加え、施工時のクローラードリルによる岩盤深さ確認等を入念に実施した。また、その上で、鋼管杭を設置する際には、先端部の岩盤を採取して目視確認することで鋼管杭全周の岩盤支持を、より確実なものとした。</p> <p>以上のことから、鋼管杭は確実に岩盤支持されと考えられるが、着岩判定後、支持岩盤の不陸を考慮し、施工上の配慮として0.5m程度の岩盤根入れ深さを確保した。以下に鋼管杭設置に係る施工手順を示す。</p> <p>①支持岩盤の深さは、既往のボーリング調査及び既往ボーリング調査を踏まえて推定した岩盤線の変化点におけるクローラードリルによる調査から確認する。</p> <p>②全旋回掘削機により掘削を行い、着岩予定深度の手前から約1m掘削を進める度に、掘削先端部の掘削土を採取した。</p> <p>③着岩手前では、採取した掘削土に埋戻土（掘削ズリ）が含まれるが、既往の調査から想定される着岩深度に達し、且つ、新鮮な堅岩が採取されることを目視確認することで、鋼管杭の全周が着岩したと判定した。</p> <p>④着岩判定後、支持岩盤の不陸を考慮し、鋼管杭全周を確実に岩盤支持させるため、更に0.5m程度掘削して掘削完了し、鋼管杭を設置した。</p> <div data-bbox="1736 1291 2507 1533"> </div> <p>第2図 鋼管杭根入れ状況イメージ図</p> <p>防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は第3図に示す杭基礎形式の擁壁と同様な構造であるため、道路土工 擁壁工指針（平成24年7月）に基づき、杭頭部の結合方式はヒンジ結合を採用した。同指針では、地震時の影響を考慮する場合や変位量を制限する必要がある場合、軟弱地盤上に擁壁を設置する場合等は、剛結合がよいとさ</p>	

東海第二発電所 (2018. 9. 12 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>れているが、設置地盤は地盤改良することにより地震時に発生する変位量は小さくなるため、同指針に基づくヒンジ結合の採用は適用可能と判断した。</p> <p>同指針に基づき、杭の埋込み深さを設定するとともに、第4図に示す杭頭補強鉄筋を配置した。道路土工 擁壁工指針（平成24年7月）では、「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編」に示される剛結合の方法Bの考え方を準用し、杭頭部に作用する押込み、引き抜き力、水平力の外力に対して、安全であることを照査している。</p> <p>一方、「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編（平成29年11月）」では、杭とフーチングとの接合部について、原則として剛結としているが、剛結としない場合には、接合方法の力学特性等を実験等により検証したうえで、個別にモデル化等について検討する必要があるとしている。</p> <p>上記を踏まえ、ヒンジ結合として設計・施工した防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の杭頭部について、模型実験により地震荷重もしくは津波荷重が作用した際の杭頭部の力学挙動が剛からヒンジへ移行することを確認する。模型実験はスケール効果による影響を小さくする観点から出来るだけ実機に近いサイズでの実験となるよう、1/2の模型縮尺とする。</p> <p>詳細設計段階では、解析により、杭頭部を剛とした場合と、ヒンジ状態とした場合の耐震性及び耐津波性に係る評価結果を示し、底盤が概ね弾性状態であることを確認する。</p> <div data-bbox="2041 1325 2228 1583" style="text-align: center;"> </div> <p>第3図 杭基礎形式の擁壁（道路土工 擁壁工指針（平成24年7月）より引用）</p>	



第4図 防波壁 (鋼管式逆T擁壁) の杭頭部の構造概要図

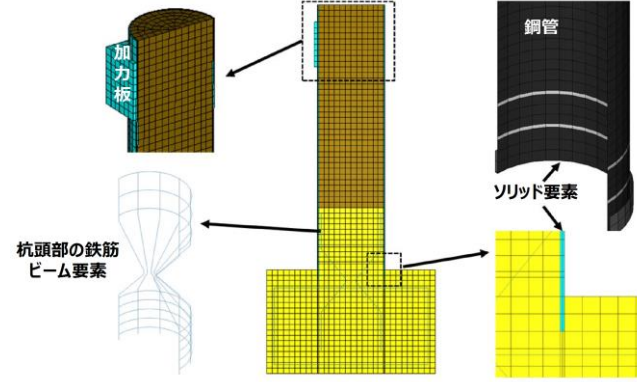
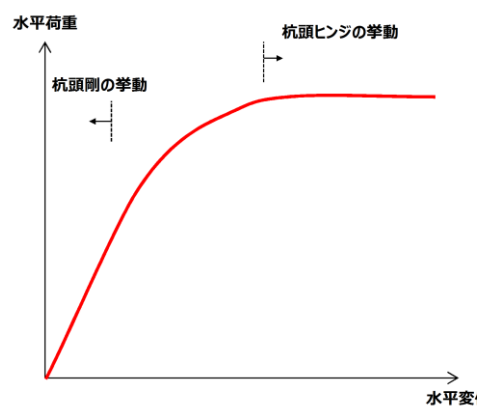


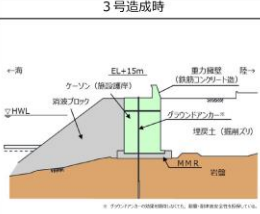
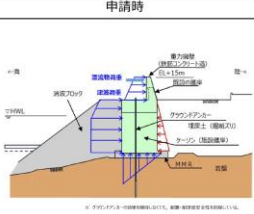
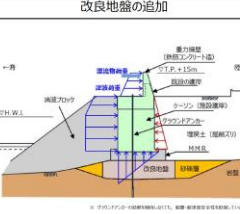
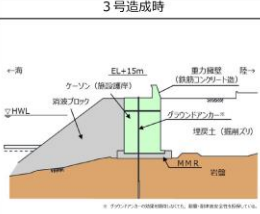
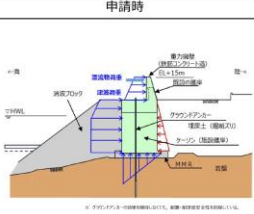
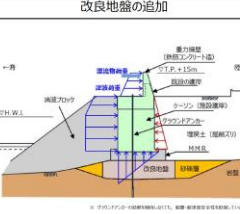
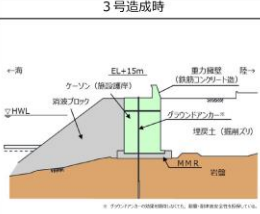
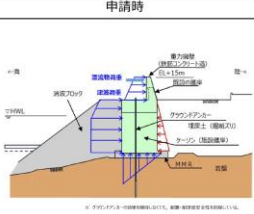
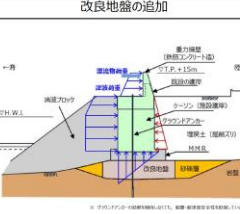
第5図 模型実験概要図

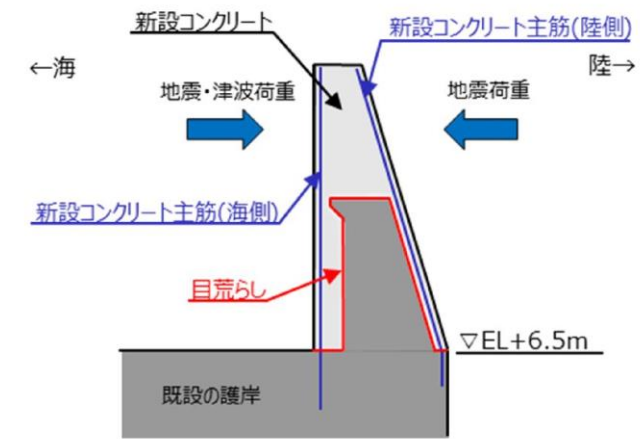
詳細設計段階においては、以下の検討により、杭頭部の力学的挙動の確認を行う。

- ・ 模型実験から得られる荷重-変位曲線を踏まえ、耐震・耐津波設計における荷重範囲における杭頭部の挙動が、杭頭剛と杭頭ヒンジの中間的な挙動であることを確認する。
- ・ 実験結果の妥当性を確認するため、実験模型をモデル化した3次元静的FEM解析により、実験結果の再現解析を実施する。
- ・ 数値解析により、杭頭部を剛とした場合とヒンジ状態とした場合の耐震性及び耐津波性に係る評価結果を示すとともに、底盤が概ね弾性状態であることを確認する。

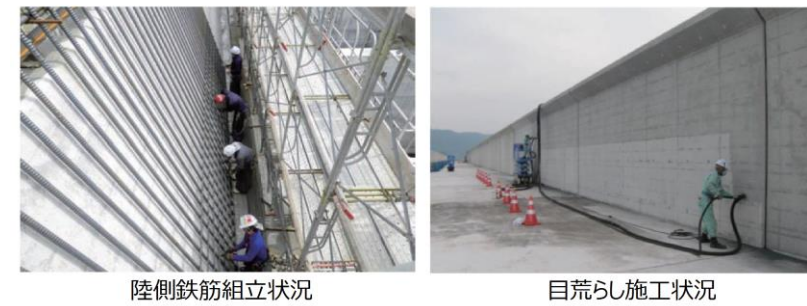
3次元静的FEM解析モデル概要図を第6図に、実験結果に基づく荷重-変位曲線第7図に示す。

東海第二発電所 (2018. 9. 12 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		 <p data-bbox="1774 655 2463 688">第6図 3次元静的FEM解析モデル概要図 (イメージ)</p>  <p data-bbox="1774 1148 2448 1182">第7図 実験結果に基づく荷重-変位曲線 (イメージ)</p>	

東海第二発電所 (2018. 9. 12 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考									
		<p style="text-align: right;">(参考資料4)</p> <p style="text-align: center;"><u>防波壁 (波返重力擁壁) の構造概要</u></p> <p><u>1. 防波壁 (波返重力擁壁) 設置の経緯</u></p> <p><u>防波壁のうち波返重力擁壁について、設置の経緯を第1図のとおり整理した。</u></p> <table border="1" data-bbox="1736 577 2496 1029"> <thead> <tr> <th>3号造成時</th> <th>申請時</th> <th>改良地盤の追加</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>  <p>・防波壁 (波返重力擁壁) を設置する範囲には、3号機増設に伴い設置した岩盤にケーソン式構造で安定性の高い護岸 (T.P.+10m) が既に設置されている。 ・既設の護岸は、日本海の冬季波浪に耐える確信性の高い構造としていた。</p> </td> <td>  <p>・平成23年3月の東北地方太平洋沖地震を踏まえた安全対策として、津波による敷地内への浸水を防止するため既設の護岸を嵩上げ (T.P.+15m) した。 ・左記に示した既設の護岸の特徴を踏まえ、既設の護岸を適用した構造型式とすることが、施工上、構造上適切と判断した。 ・波返重力擁壁は既設の護岸の波返壁を巻き込む構造とすることから、相互の付着が必要となるため、防波壁の施工前に、既存の護岸の波返壁表面に目荒らしを実施した。また、波返重力擁壁の主筋を既設の護岸に挿し込むことにより既設の護岸との一体化を図った。</p> </td> <td>  <p>・一部、砂礫層が存在する箇所に対して高圧噴射攪拌工法により地盤改良を実施した。</p> </td> </tr> <tr> <td>天端高さ▽T.P.+10m</td> <td>天端高さ▽T.P.+15m</td> <td>天端高さ▽T.P.+15m</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;"><u>第1図 防波壁 (波返重力擁壁) の設置の経緯</u></p> <p><u>2. 重力擁壁の既設と新設の一体性検討</u></p> <p><u>(1) 重力擁壁の構造について</u></p> <p><u>重力擁壁は、津波による敷地内への浸水を防止するため、既設の護岸を嵩上げた構造としている。</u></p> <p><u>新設コンクリートは、既設の護岸の重力擁壁表面に目荒らしを行い、既設コンクリートを巻き込むように打設し、新設コンクリートに配置する鉄筋を既設の護岸に定着することにより、既設コンクリートと新設コンクリートの一体化を図っている。</u></p> <p><u>したがって、設置許可段階においては、新設コンクリート主筋の既設の護岸への定着長と新設コンクリートの付着強度について確認する。</u></p> <p><u>新設コンクリート主筋定着部の定着長と付着強度確認試験結果について次頁に示す。重力擁壁の構造図を第2図に、施工状況を第3図に示す。</u></p>	3号造成時	申請時	改良地盤の追加	 <p>・防波壁 (波返重力擁壁) を設置する範囲には、3号機増設に伴い設置した岩盤にケーソン式構造で安定性の高い護岸 (T.P.+10m) が既に設置されている。 ・既設の護岸は、日本海の冬季波浪に耐える確信性の高い構造としていた。</p>	 <p>・平成23年3月の東北地方太平洋沖地震を踏まえた安全対策として、津波による敷地内への浸水を防止するため既設の護岸を嵩上げ (T.P.+15m) した。 ・左記に示した既設の護岸の特徴を踏まえ、既設の護岸を適用した構造型式とすることが、施工上、構造上適切と判断した。 ・波返重力擁壁は既設の護岸の波返壁を巻き込む構造とすることから、相互の付着が必要となるため、防波壁の施工前に、既存の護岸の波返壁表面に目荒らしを実施した。また、波返重力擁壁の主筋を既設の護岸に挿し込むことにより既設の護岸との一体化を図った。</p>	 <p>・一部、砂礫層が存在する箇所に対して高圧噴射攪拌工法により地盤改良を実施した。</p>	天端高さ▽T.P.+10m	天端高さ▽T.P.+15m	天端高さ▽T.P.+15m	<p>・設備の相違</p> <p>【女川2】</p> <p>設備の相違による記載の相違</p>
3号造成時	申請時	改良地盤の追加										
 <p>・防波壁 (波返重力擁壁) を設置する範囲には、3号機増設に伴い設置した岩盤にケーソン式構造で安定性の高い護岸 (T.P.+10m) が既に設置されている。 ・既設の護岸は、日本海の冬季波浪に耐える確信性の高い構造としていた。</p>	 <p>・平成23年3月の東北地方太平洋沖地震を踏まえた安全対策として、津波による敷地内への浸水を防止するため既設の護岸を嵩上げ (T.P.+15m) した。 ・左記に示した既設の護岸の特徴を踏まえ、既設の護岸を適用した構造型式とすることが、施工上、構造上適切と判断した。 ・波返重力擁壁は既設の護岸の波返壁を巻き込む構造とすることから、相互の付着が必要となるため、防波壁の施工前に、既存の護岸の波返壁表面に目荒らしを実施した。また、波返重力擁壁の主筋を既設の護岸に挿し込むことにより既設の護岸との一体化を図った。</p>	 <p>・一部、砂礫層が存在する箇所に対して高圧噴射攪拌工法により地盤改良を実施した。</p>										
天端高さ▽T.P.+10m	天端高さ▽T.P.+15m	天端高さ▽T.P.+15m										



第2図 重力擁壁の構造図



第3図 施工状況写真

(2) 主筋定着部の定着長について

新設コンクリートの主筋は、「コンクリート標準示方書」に示される引張鉄筋の基本定着長に基づき定着長を算定し、既設の護岸に定着させている。

コンクリート標準示方書に示される引張鉄筋の基本定着長の算定式

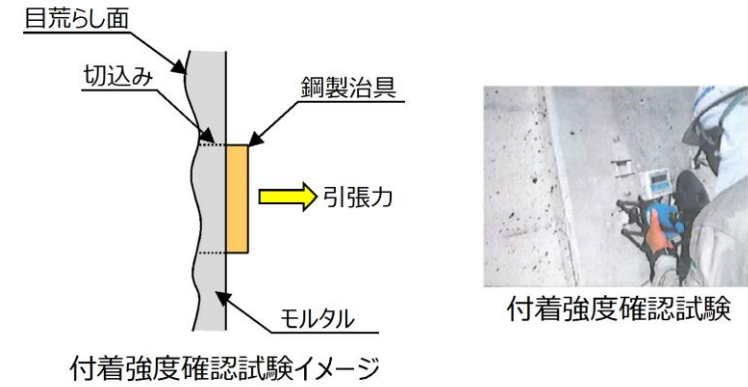
$$l_d = \alpha \frac{f_{yd}}{4f_{bod}} \phi$$

ここで、
 ϕ : 主鉄筋の直径
 f_{yd} : 鉄筋の設計引張降伏強度
 f_{bod} : コンクリートの設計付着強度
 α : 係数

(3) 付着強度確認試験結果について

新設コンクリートの付着力を高め、既設と新設の一体化を確実なものとするため、既設コンクリート表面の目荒らしを実施している。

東海第二発電所 (2018. 9. 12 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p data-bbox="1760 254 2502 422">目荒らしについては、目標とする付着強度を「表面保護工法設計施工指針(案)[工種別マニュアル編] 土木学会 断面修復工マニュアル p221」を参考に設定し、同指針(案)で示されている1.0N/mm²に裕度を加えた1.5N/mm²を管理基準とした。</p> <p data-bbox="1760 432 2502 642">付着強度については、事前に付着強度確認試験を実施し、目荒らし後の付着強度が1.5N/mm²以上であることを確認した。付着強度確認試験の試験手順を第4図に、試験場所を第5図に、試験イメージ図及び試験状況写真を第6図に、試験結果を第1表に示す。</p> <div data-bbox="1923 716 2392 1171"> <pre> graph TD A[目荒らし完了] --> B[供試体作成] B --> C[養生] C --> D[付着強度確認試験] D --> E[完了] B --- B1[・型枠 (900mm×900mm×12mm) 組立] B --- B2[・モルタル充填] C --- C1[・3日養生] D --- D1[・鋼製治具 (40mm×40mm) 貼付] D --- D2[・付着強度測定 (5箇所/1供試体)] </pre> </div> <p data-bbox="2012 1192 2228 1224">第4図 試験手順</p> <div data-bbox="1834 1297 2407 1556"> </div> <p data-bbox="1952 1598 2288 1629">第5図 付着強度確認場所</p>	



付着強度確認試験イメージ

第6図 試験イメージ図及び試験状況写真

第1表 付着強度確認試験結果

単位 : N/mm²

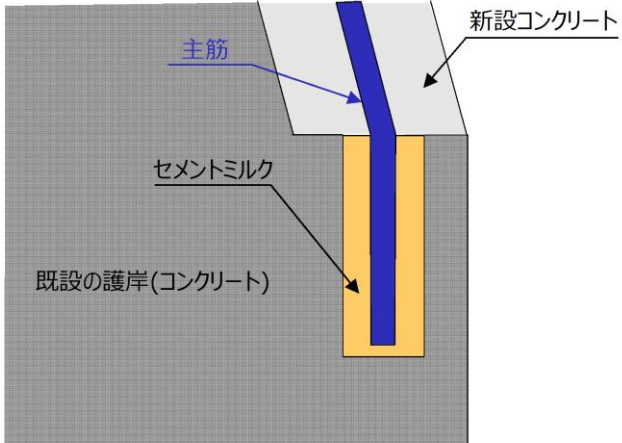
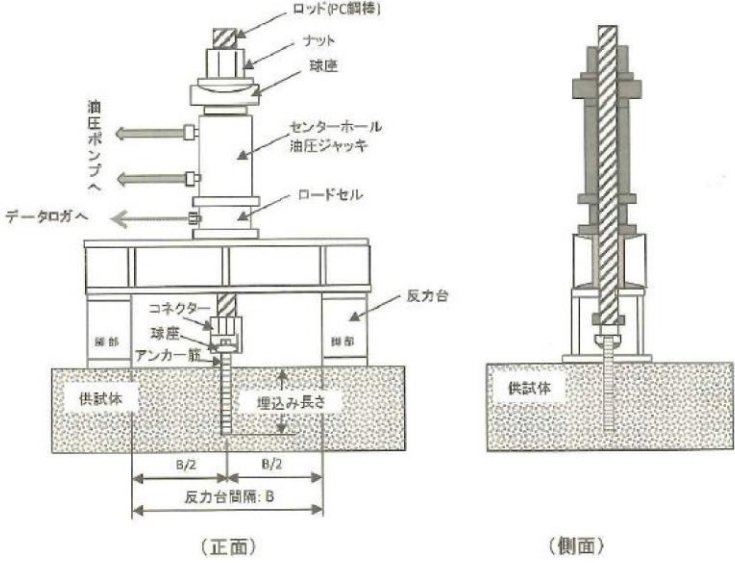
供試体 NO	試験場所		
	A地点	B地点	C地点
1	1.71	1.78	1.76
2	1.61	1.66	1.72
3	1.72	1.88	1.66
4	1.74	1.63	1.84
5	1.60	1.99	1.58

(4) 主筋定着部の評価方法について

主筋定着部の施工は、コアドリル又はパーカッションドリルを使用して既設の護岸のコンクリートを削孔し、主筋建込後、周囲にセメントミルクを注入する手順としている。定着部の構造を第7図に示す。

「各種合成構造設計指針・同解説 日本建築学会」においては、上記の施工手順で施工されたアンカーボルトは、「その他のアンカーボルト」のうち、「型抜きアンカー」に該当すると判断できる。型抜きアンカーの許容耐力については、「実験等により確認し、使用条件および施工条件を考慮し、本指針に準じて適切な安全率を見込んだ許容耐力をきめる」とあることから、詳細設計段階において、島根2号炉の重力擁壁の施工条件を考慮した模型実験を行い、コーン状破壊や付着破壊について確認し、適切な許容耐力による評価を実施する。なお、試験実施に当たっては、第8図及び第9図に示す、(一社)日本建築あと施工アンカー協会が定めた試験方法を参考とする。

しかしながら、津波荷重や地震荷重により定着部に作用する

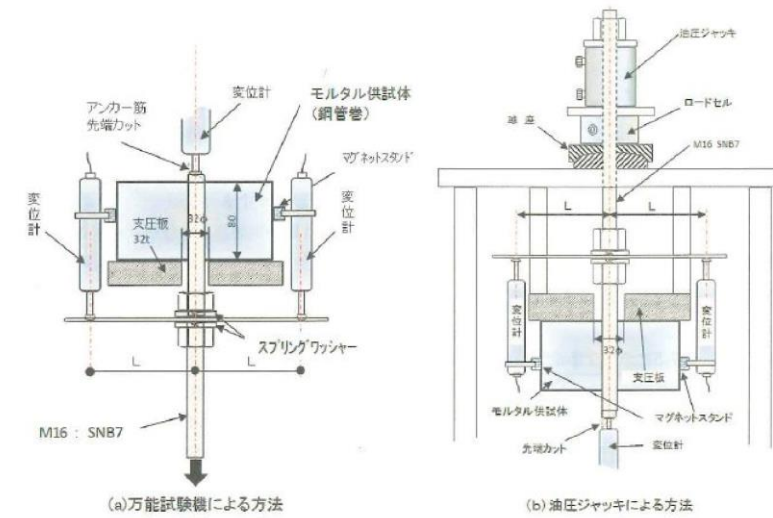
東海第二発電所 (2018. 9. 12 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p data-bbox="1760 254 2504 373">力が、実験で確認した許容耐力以上となる場合は、<u>新設コンクリート部分の増設等の対策工を実施する。対策工の構造例を第10図に示す。</u></p>  <p data-bbox="1902 926 2326 957"><u>第7図 定着部の構造 (陸側主筋)</u></p>  <p data-bbox="1774 1598 2466 1629"><u>第8図 あと施工アンカー標準試験法 (引張試験) の一例</u></p>	

東海第二発電所 (2018. 9. 12 版)

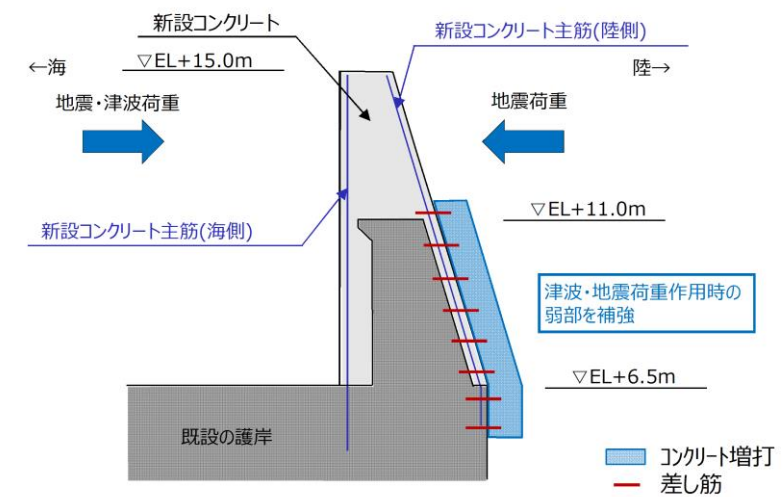
女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)

島根原子力発電所 2号炉

備考



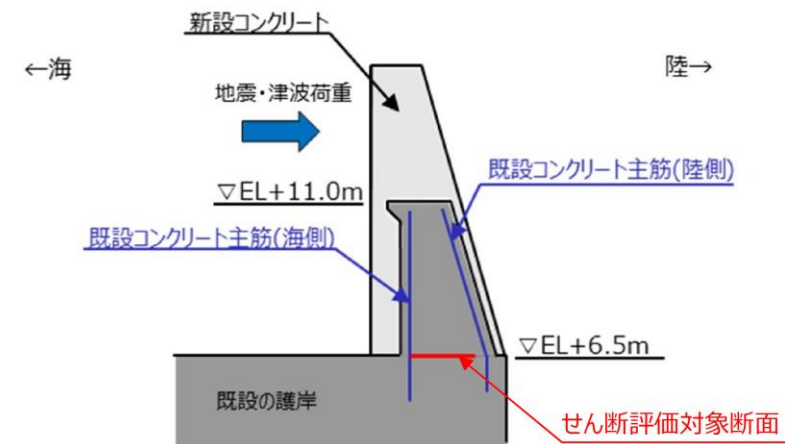
第9図 接着系アンカーのセット試験法の一例 (接着系アンカー周囲を拘束した引張試験 (付着強度試験))



第10図 対策工の構造例

(5) 重力擁壁のせん断破壊に対する評価について
 嵩上げた重力擁壁は、既設と新設が一体化しているものとして耐震や耐津波の評価を行う方針であるが、仮に新設コンクリート部分には期待せず、既設コンクリート部分のみを対象とした場合のせん断破壊による評価を実施した。
 重力擁壁は、地震時に土圧が作用しないので、検討ケースは津波時とした。評価のイメージを第11図に示す。
 第2表に示す結果より、津波荷重により発生するせん断力に

対して既設コンクリート部分のみで所定の安全率が確保できることから、構造成立性に影響はないことを確認した。
 なお、地震時の評価結果については別途解析を行い、詳細設計段階で示す。



第 11 図 海側からの荷重に対するせん断破壊に対する評価イメージ

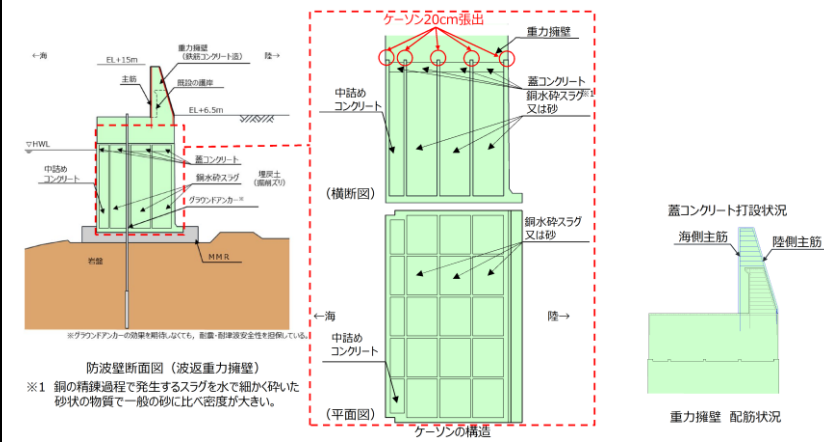
第 2 表 津波時における既設コンクリートでのせん断破壊に対する評価結果

確認項目	許容せん断応力度 (N/mm ²)	発生せん断応力度 (N/mm ²)	最小安全率 (許容せん断応力度/発生せん断応力度)	判定 (> 1.0)
せん断	0.9	0.30	3.00	OK

3. 防波壁（波返重力擁壁） ケーソンの構造

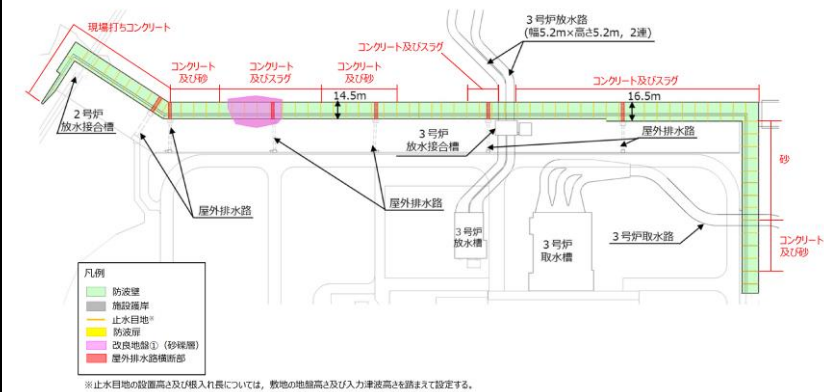
波返重力擁壁のうちケーソンの構造について、第 12 図に示す。岩盤上に鋼製架台を設置し、ケーソンを据え付けた後、鋼製架台内に水中コンクリートを打設することにより、MMR（マンメイドロック）を構築している。ケーソン内はコンクリート、銅水砕スラグ又は砂により中詰めし、その上部に蓋コンクリート及び重力擁壁を打設している。防波壁（波返重力擁壁）のケーソン中詰材の施工状況を第 13 図に示す。中詰材の種類は、ケーソンの安定性確保の観点から選定している。なお、西側端部については、現場打ちコンクリートにより防波壁を施工している。ケーソンと重力擁壁の境界は、蓋コンクリート天端をケーソン天端から 20cm 下げて打設とすることで、一体構造としている。ケーソンの施工状況に

ついて、第14図に示す。



防波壁断面図 (波返重力擁壁)
※1 鋼の精錬過程で発生するスラグを水で細かく砕いた砂状の物質で一般の砂に比べ密度が大きい。

第12図 防波壁 (波返重力擁壁) ケーソンの構造

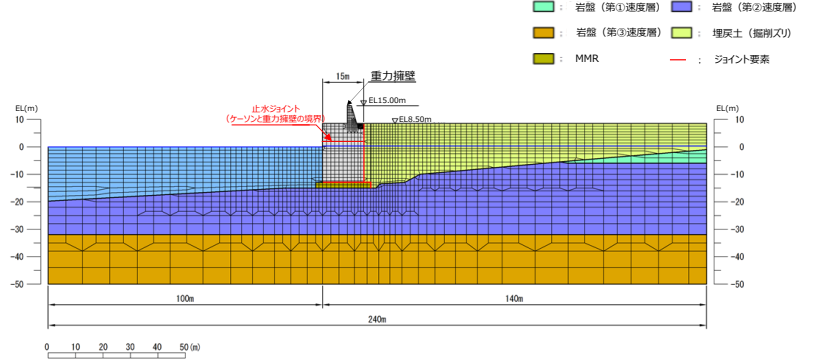


第13図 防波壁 (波返重力擁壁) ケーソン中詰材の施工状況



蓋コンクリート打設状況

第14図 防波壁 (波返重力擁壁) ケーソンの施工状況

東海第二発電所 (2018. 9. 12 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p data-bbox="1736 256 2496 331"><u>4. 防波壁 (波返重力擁壁) ケーソンと重力擁壁間の相対変形量</u></p> <p data-bbox="1736 344 2496 961"><u>ケーソンと重力擁壁の境界は、蓋コンクリート天端をケーソン天端から 20cm 下げて打設とすることで、一体構造としているが、保守的にケーソンと重力擁壁の境界を平坦としてジョイント要素を設定した解析モデルにより 2次元動的 FEM 解析を実施し、基準地震動 S_s-D により発生する相対変形量について確認した。解析モデルを第 15 図に示す。ジョイント要素については、港湾基準に示されるコンクリート同士の静止摩擦係数 $\mu=0.5$ として設定した。S_s-D による地震応答解析の結果、ケーソンと重力擁壁との境界部における最終変形量は輪谷部断面において 2mm、改良地盤部断面において 0mm となり、有意な変形は生じていない。保守的にケーソンと重力擁壁との境界を平坦として、ジョイント要素を設定した影響検討において変形が確認されたため、地震力がケーソンと重力擁壁境界の張出部に与える影響について検討を行い、境界部において滑動が発生せず一体として挙動していることを確認する。</u></p>  <p data-bbox="1840 1417 2389 1459">第 15 図 波返重力擁壁の解析モデル図 (例)</p> <p data-bbox="1736 1512 2496 1680"><u>防波壁 (波返重力擁壁) のケーソンと重力擁壁との境界を保守的に平坦とした場合、ジョイント要素を設定した 2次元 FEM 解析において、輪谷部断面で重力擁壁に相対変形が確認されたため、境界の張出部に与える影響について検討を行った。</u></p> <p data-bbox="1736 1690 2496 1816"><u>検討にあたっては、基準地震動 S_s-D による最大加速度発生時刻における重力擁壁の慣性力がケーソンの張出部に作用した際に、張出部が損傷しないことを確認する。</u></p> <p data-bbox="1736 1827 2496 1858"><u>ケーソンと上部工の境界部は港湾基準に示されるコンクリート</u></p>	

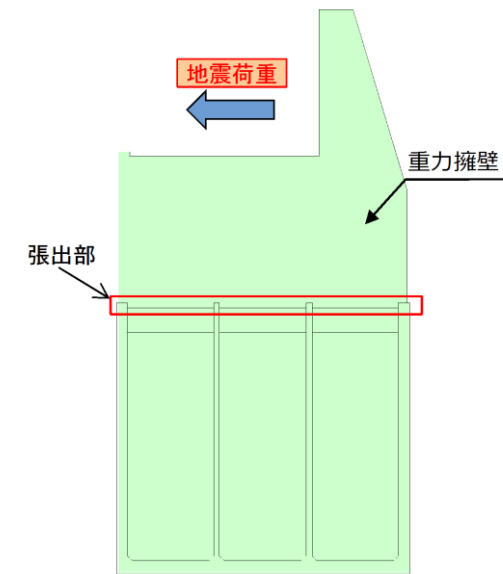
東海第二発電所 (2018. 9. 12 版)

女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)

島根原子力発電所 2号炉

備考

同士の静止摩擦係数 $\mu=0.5$ として設定した。
張出部のコンクリートのせん断について照査した結果、発生せん断力はせん断耐力以下となることを確認した。
断面図を第 16 図に、照査結果を第 3 表に示す。



第 16 図 防波壁 (波返重力擁壁) 輪谷部断面図

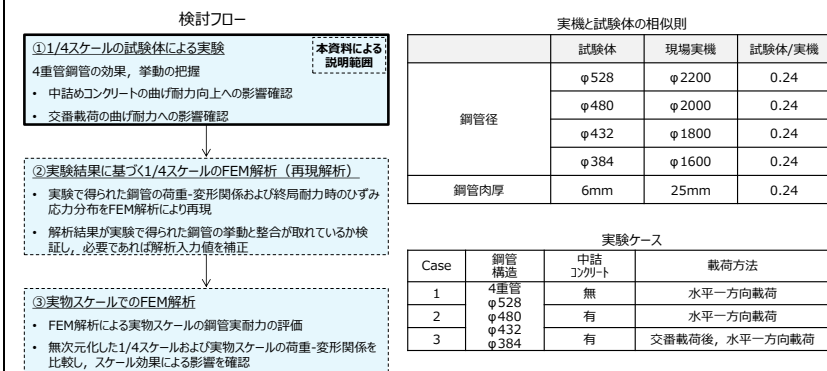
第 3 表 照査結果

	せん断力 (kN)	せん断耐力 (kN)	安全率
張出部	813	896	1.1

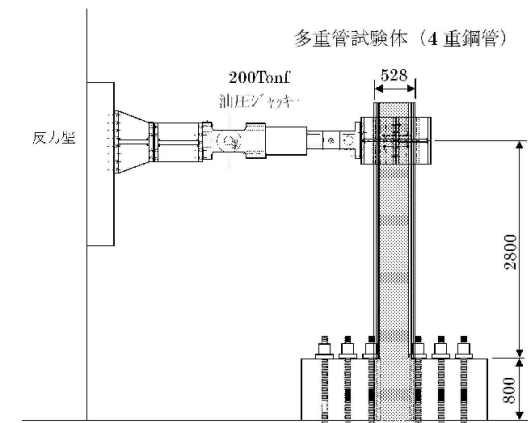
東海第二発電所 (2018. 9. 12 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p style="text-align: right;">(参考資料5)</p> <p style="text-align: center;"><u>防波壁多重鋼管杭の設計方針</u></p> <p>1. <u>防波壁（多重鋼管杭式擁壁）のモデル化</u></p> <p>多重鋼管杭は、各鋼管を中詰めコンクリート及びモルタルで充填することにより、一体として挙動することで、荷重を分担できる構造としており、多重鋼管杭の挙動については実験により確認を行っている（水平載荷実験については2. 参照）。</p> <p>防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の2次元動的FEM解析にあたっては、多重鋼管杭はビーム要素でモデル化し、単一の断面積及び断面二次モーメント（各管の断面二次モーメントの合計）を設定する。なお、最外管については、セメントミルクで周囲を覆われており腐食する環境ではないと判断できるが、保守的に厚さに腐食代1mmを考慮し、断面積・断面二次モーメントを算定する。腐食代は、港湾基準に示されている鋼材の腐食速度の標準値（陸側土中部，残留水位より下）を使用し、耐用年数を50年として算出した。</p> <div style="text-align: center;">  <p>鋼管杭① 直径2.2m,厚さ25mm^{※1} 鋼管杭② 直径2.0m,厚さ25mm 鋼管杭③ 直径1.8m,厚さ25mm 鋼管杭④ 直径1.6m,厚さ25mm</p> <p>中詰めモルタル ※1 最外管については、セメントミルク及びグラウト材で周囲を覆われており腐食する環境ではないと判断できるが、保守的に厚さに腐食代1mmを考慮し、断面積・断面二次モーメントを算定する。 ここで、腐食代は、港湾基準に示されている鋼材の腐食速度の標準値（陸側土中部，残留水位より下）を使用し、耐用年数を50年として算出した。</p> <p>中詰めコンクリート</p> </div> $\text{断面二次モーメント } I^{*2} = I_1 + I_2 + I_3 + I_4$ $\text{断面積 } A^{*2} = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$ <p style="text-align: right;">※2 添え字は鋼管杭の番号</p> <p style="text-align: center;"><u>第1図 多重鋼管杭の概要</u></p> <p>2. <u>防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の水平載荷試験</u></p> <p>(1) <u>実験概要</u></p> <p>多重鋼管杭は鋼管1本あたりの全塑性モーメントを港湾基準から算出し、それらを合算して多重鋼管杭の曲げ耐力として評価することから、多重鋼管杭の実耐力・挙動特性を確認するために水平載荷実験及び数値解析を実施している。このうち多重管の一体挙動と降伏荷重時の挙動を確認したについて説明する。</p>	<p>・設備の相違</p> <p>【女川2】</p> <p>設備の相違による記載の相違</p>

実験には、耐力・挙動特性に関してスケール効果の影響は小さいことから、1/4 スケールの試験体を用いる。実験としては、Case1及びCase2は中詰コンクリートの有無が曲げ耐力に与える効果と多重鋼管杭の挙動特性を、Case3は交番载荷を与えた後の多重鋼管杭の挙動特性を確認する。また、港湾基準から算出した全塑性荷重・降伏荷重と比較する。なお、交番载荷では、 δy 、 $2 \delta y$ 、 $3 \delta y$ (δy : 試験から得られた最外管の降伏時変位)を繰り返し载荷した後、水平一方向载荷を行う。

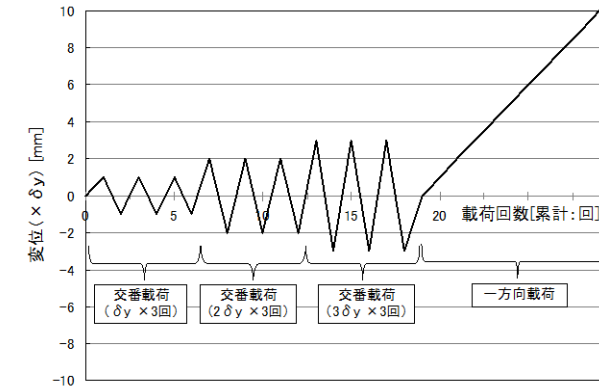
試験の概要を第2 図に、試験装置の概要図を第3 図に、交番水平载荷時に作用させる変位を第4 図に示す。



第2 図 試験の概要



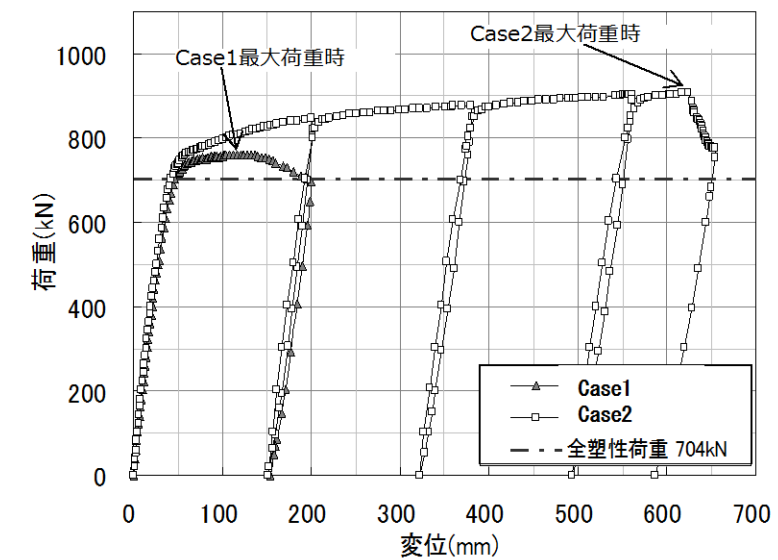
第3 図 実験装置概要図



第4図 交番水平載荷変形

(2) 結果の概要 (Case1 と Case2 の比較)

水平一方方向載荷ケース (Case1 及び Case2) のうち, Case1 (4重管中詰無) の結果, 最大荷重は多重管の全塑性荷重 704kN に対して 1.08 倍であり, 概ね一致している。一方, Case2 (4重管中詰有) の結果, 最大荷重平均で 1.29 倍となった。Case1 と Case2 を比較すると, 最外管の局部座屈発生までは同じ挙動を示すが, Case2 は Case1 と比較して最内側管がコンクリートで中詰めされていることにより, 曲げ耐力が増加している。Case1 及び Case2 の実験結果を第5図及び第1表に示す。



第5図 Case1 及び Case2 の最大荷重時の荷重変形関係

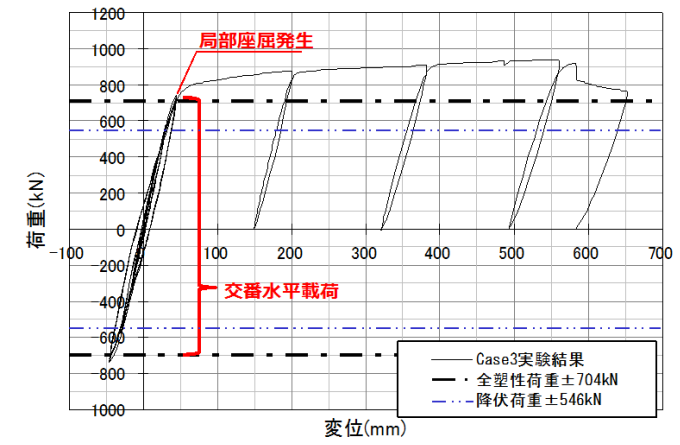
東海第二発電所 (2018. 9. 12 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考												
		<p style="text-align: center;">第1表 Case1 及び Case2 の実験結果の比較</p> <table border="1" data-bbox="1780 294 2457 453"> <thead> <tr> <th>実験Case</th> <th>最大荷重 (kN)</th> <th>最大荷重時変形 (mm)</th> <th>全塑性荷重に対する比率</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Case 1</td> <td>761</td> <td>120</td> <td>1.08</td> </tr> <tr> <td>Case 2</td> <td>907</td> <td>624</td> <td>1.29</td> </tr> </tbody> </table> <p>(3) 結果の概要 (Case3 の結果)</p> <p>Case3 (交番載荷後, 水平一方向) の結果, 繰返し荷重を受けた後でも Case2 と同様に荷重は緩やかに上昇している。水平荷重と変形の関係から, 多重鋼管杭に対する水平載荷実験の荷重は, 「港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成 11 年 4 月」より算定した各管の全塑性モーメントの合計値に達する時の全塑性荷重と概ね一致していることを確認した。また, 実験後の試験体の観察の結果, 圧縮側のモルタル・コンクリートにひび割れ等の損傷は見られない。また, 圧縮側の鋼管杭の座屈による変形量は内側ほど小さいことから, 外側から内側にかけて順番に座屈が発生したと考えられる。</p> <p>以上より多重鋼管杭は一体構造として挙動して荷重を分担しており, 降伏荷重においても弾性挙動を示していることを確認した。</p> <p>水平載荷試験の最大荷重時の写真を第6 図に, 水平荷重と変形関係を第7 図に, 試験後の試験体の切断面の写真を第8 図に示す。</p> <div data-bbox="1893 1354 2350 1709" style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">第6 図 最大荷重時座屈状況</p>	実験Case	最大荷重 (kN)	最大荷重時変形 (mm)	全塑性荷重に対する比率	Case 1	761	120	1.08	Case 2	907	624	1.29	
実験Case	最大荷重 (kN)	最大荷重時変形 (mm)	全塑性荷重に対する比率												
Case 1	761	120	1.08												
Case 2	907	624	1.29												

東海第二発電所 (2018. 9. 12 版)

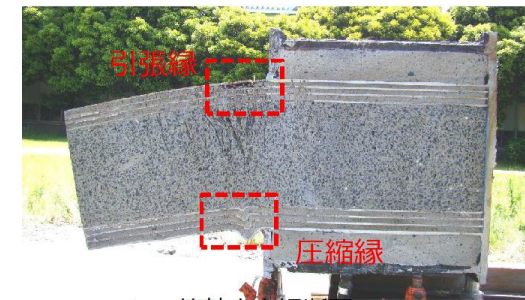
女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)

島根原子力発電所 2号炉

備考



第7 図 水平荷重と変形の関係



管軸方向切断面



引張縁破断状況



圧縮縁はらみ出し状況

第8 図 水平载荷試験状況

東海第二発電所 (2018. 9. 12 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>3. 防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) の鋼管杭曲げ系破壊に関する許容限界</p> <p>「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編 平成14 年3 月」によると、降伏の判定は、全塑性モーメントを上限値とするバイリニア型の「鋼管杭の杭体の曲げモーメント-曲率関係」を用いてよいとされている。</p> <p>また、「港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成11 年4 月」によると、鋼管杭の曲げモーメントと曲率の関係は、全塑性モーメントを上限値とするトリリニアモデルを用いるが、トリリニアモデルに代えて、より簡便に計算が可能な、破線で示すバイリニアモデルを用いても計算結果に差があまり見られないので、バイリニアモデルを用いてよいとされている。</p> <p>以上を踏まえ、鋼管杭の曲げ系破壊については、繰返しの津波荷重に対して機能を保持していることを確認することとし、降伏モーメントM_y を許容限界とする。</p> <p>「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編 平成14 年3 月」に示される鋼管杭の曲げモーメント-曲率関係を第9 図に、「港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成11 年4 月」に示される鋼管杭の曲げモーメント-曲率関係を第10 図に示す。</p> <div data-bbox="1736 1113 2493 1396"> <p>鋼管杭の曲げモーメント-曲率関係 鋼材の応力度-ひずみ曲線</p> </div> <p>第9 図 「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編 平成14 年3 月」</p> <div data-bbox="1840 1501 2389 1806"> <p>図一参9.6.6 鋼管杭の曲げモーメント-曲率関係</p> </div> <p>第10 図 「港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成11 年4 月」</p>	

東海第二発電所 (2018. 9. 12 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p style="text-align: right;">(参考資料6)</p> <p style="text-align: center;"><u>防波壁に作用する荷重と部位の役割</u></p> <p><u>基準津波の波源の活動に伴い発生する可能性がある津波および余震の影響を踏まえ、「津波+余震時」の検討の要否について以下の通り、検討を行った。</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・第1 図に示すとおり、「日本海東縁部に想定される地震による基準津波1, 2, 3, 5及び6」の波源位置は、敷地から600km以上の距離にあり、その波源の活動に伴う余震については、敷地への影響が明らかに小さい。 ・第2 図に示すとおり、「海城活断層に想定される地震による基準津波4」は、防波壁の敷地の壁体部(被覆コンクリート部等)には到達しないが、到達する部位については個別に評価を実施する。 ・なお、詳細については、荷重の組合せの審査において説明する。 <div style="text-align: center;"> </div> <p style="text-align: center;">第1 図 島根原子力発電所と基準津波の波源</p>	<p>・記載方針の相違</p> <p>【女川2】</p> <p>島根2号炉は、防波壁に作用する荷重と部位の役割についても記載</p>

東海第二発電所 (2018. 9. 12 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		 <p data-bbox="1863 701 2368 735">第2 図 基準津波4の最大水位上昇量分布</p>	

東海第二発電所 (2018. 9. 12 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p style="text-align: right;">(参考資料7)</p> <p style="text-align: center;"><u>防波壁(多重鋼管杭式擁壁)の解析用物性値の設定方針</u></p> <p><u>1. 解析用物性値(基礎捨石・被覆石)の設定方針</u></p> <p><u>石材(基礎捨石, 被覆石)の強度特性は, 港湾基準より粘着力 $C=20$ (kN/m²), せん断抵抗角 $\Phi_f=35$ (°) が標準の値とされているが, 港湾基準の引用文献の検討内容を整理するとともに, 地震時の動的挙動への適用性についても文献の内容を検討し, 強度特性の信頼性について検証する。</u></p> <p><u>また, 港湾基準に標準値として示される捨石の強度特性 $C=20$ (kN/m²), $\Phi_f=35$ (°) について, 島根原子力発電所の護岸に使用した石材(基礎捨石・被覆石)への適用性について確認する。</u></p> <p><u>港湾基準では, 第1図に示す通り石材の強度特性の設定方法が記載されている。</u></p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <p>(6) マウンド材及び基礎地盤の強度定数</p> <p>① マウンド材</p> <p>偏心傾斜した作用を受ける支持力の模型実験及び現地実験の結果によれば, 三軸圧縮試験から求められた強度定数を用いてビショップ法による円弧滑り解析を行えば精度の高い結果が得られることが明らかになっている⁵⁾。また, 砕石の大型三軸圧縮試験から, 粒径の大きい粒状体の強度定数は均等係数の等しい相似粒度の材料から求められる値にほぼ等しいことが確認されている⁶⁾。したがって, 捨石の強度定数を正確に推定するには相似粒度の試料を用いた三軸圧縮試験を実施することが望ましいが, 強度試験を行わない場合には, 一般に用いられている通常の捨石に対する標準的な強度定数として粘着力 $c_D=20$ kN/m², せん断抵抗角 $\phi_D=35^\circ$ の値が用いられている。実際の捨石においては現地での捨石の密度に対応して強度に相違が生じることが予想されるが, 現地での捨石の状態を把握することは非常に困難であるので, 標準的な強度定数の値が設定されている。</p> <p>標準値は砕石の大型三軸圧縮試験の結果からやや安全側に求めた値であり, 既存防波堤及び係留施設の解析結果からも妥当な値である。なお, 強度定数として粘着力 $c_D=20$ kN/m² としているが, これは砕石のせん断抵抗角 ϕ_D の拘束圧による変化を考慮するための見掛けの粘着力である。図-2.2.7 は各種の砕石に関する三軸試験結果をまとめたものであるが⁵⁾, 拘束圧が大きくなるとともに粒子破碎によって ϕ_D は減少する。図中に実線で示された値は見掛けの粘着力 $c_D=20$ kN/m², $\phi_D=35^\circ$ とした値であるが, 見掛けの粘着力を考慮することによって ϕ_D の拘束圧依存性が反映されている。母岩の一軸圧縮強さと強度定数の関連を調べた結果によると, これらの標準値が適用できるのは母岩の一軸圧縮強さが 30MN/m² 以上の石材である。母岩の強度が 30MN/m² 以下である弱い石材をマウンドの一部として用いる場合, 強度定数はほぼ $c_D=20$ kN/m², $\phi_D=30^\circ$ となる⁷⁾。</p> </div> <p style="text-align: center;"><u>第1図 港湾基準における石材の強度特性の設定方法(港湾基準より引用・加筆)</u></p> <p><u>2. 解析用物性値(基礎捨石・被覆石)の設定根拠</u></p> <p><u>港湾基準の引用文献である「港湾技術研究所報告 捨石マウンドの支持力の新しい計算法(1987.6)(文献①)」では, 捨石マウンド上に重力式構造物が設けられる場合における捨石の力学的特性の検討を目的とした実験が行われている。</u></p> <p><u>ここで, 文献①では, 直轄港湾工事に用いられる基礎捨石に対</u></p>	<p>・設備の相違</p> <p>【女川2】</p> <p>設備の相違による記載の相違</p>

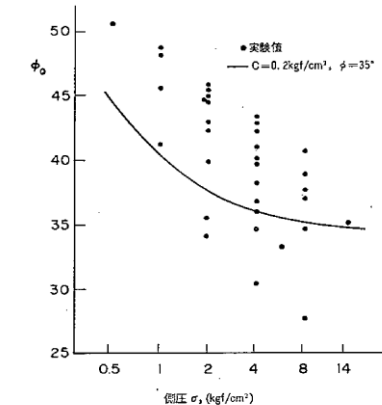
して質量～粒径換算を行い、それらと同程度の強度・比重を有する「砕石 (Dmax=25mm~200mm:砂岩と花崗岩の2種類)」を対象に、試験条件として均等係数 U_c 、拘束圧及び締固め程度を変化させた供試体を準備し、直径 60cm・高さ 120cm の供試体では中型三軸圧縮試験、直径 120cm・高さ 240cm の供試体では大型三軸圧縮試験をそれぞれ実施して捨石の力学特性を検討している。文献①の三軸圧縮実験ケース及び実験結果を第 2 図に示す。

上述の試験結果より、「捨石の強度定数は粘着力 $C=2$ (tf/m²)、せん断抵抗角 $\Phi=35$ (°) を標準とする」とされている。

なお、島根原子力発電所の基礎捨石は $D_{max}=200mm\sim 250mm$ であり、文献①と同等の大きさである。

表-5 実験ケース

岩種	試験級	D _{max} (mm)	料状名	U _c	拘束圧 σ ₃ (kgf/cm ²)			
					粗 砂	中 砂	密 砂	
花崗岩	中	25.4	A 1	1.2	2.4			
			A 2	2.8	2.4			
			A 3	5.0	2.4			
花崗岩	大	63.5	B 1	1.2	2.4	1	1.2, 4	
			B 2	2.8	1.2, 4		1.2, 4	
			B 3	5.0	1.2, 4		1.2, 4	
			B 4	8.0	1.2, 4		1.2, 4	
			B 5	15.0	1.2, 4		1.2, 4	
花崗岩	大	100	C 1	1.2	2			
			C 2	2.8	2			
		150	D 1	1.2	2, 4, 8			
			D 2	2.8	2			
			D 3	5.0	2			
		花崗岩	大	200	E 1	1.2	2	
E 0	2.0				4		4	
E 2	2.8						1.2, 4	
E 3	5.0				2			
花崗岩	中	25.4	F 1	1.3	2, 4, 8	0.5, 1.2, 4, 8, 14	2, 4, 8	
			63.5	G 1	1.3			2, 4, 8



文献①の三軸圧縮実験ケース

図-49 見掛けの粘着力を考慮した場合の ϕ_0 と σ_3 の関係

文献①の三軸圧縮実験結果

各図表は、文献①「港湾技術研究所報告 捨石マウンドの支持力の新しい計算法 (1987.6)」より引用

第 2 図 文献①の三軸圧縮実験ケース及び実験結果

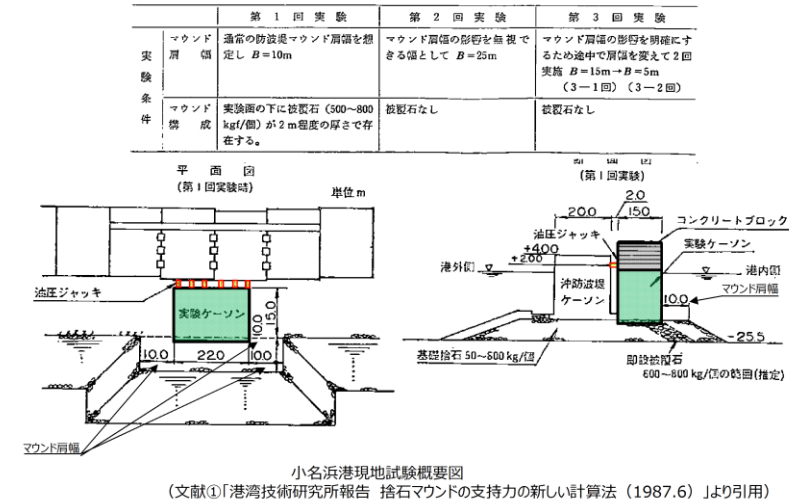
文献①は、捨石マウンドにおける支持力の新しい計算方法の提案を目的に、捨石マウンド上の重力式建造物の安定性 (静的) に関して現地実験 (小名浜港: 基礎捨石 50kg~800kg/個, 被覆石 600kg~800kg/個 (推定)) が行われている。

現地実験は、マウンド肩幅を 10m から 25m, 15m, 5m に変更した 4 ケースで行われており、実験ケーソン (幅 22m×奥行 15m) に油圧ジャッキで水平力を与えてマウンド及び基礎地盤に偏心傾斜荷重を加えることで、実験ケーソンの回転角や水平変位が計測されている。

現地実験から得られた最大水平力を用いた円形すべり計算結果

によると、「捨石の三軸試験による強度定数 $C=2$ (tf/m²) , $\Phi=35$ (°) を用いたビショップ法の結果が実験結果と良く一致する」とされている。

小名浜港の現地試験の概要図を第3図に示す。

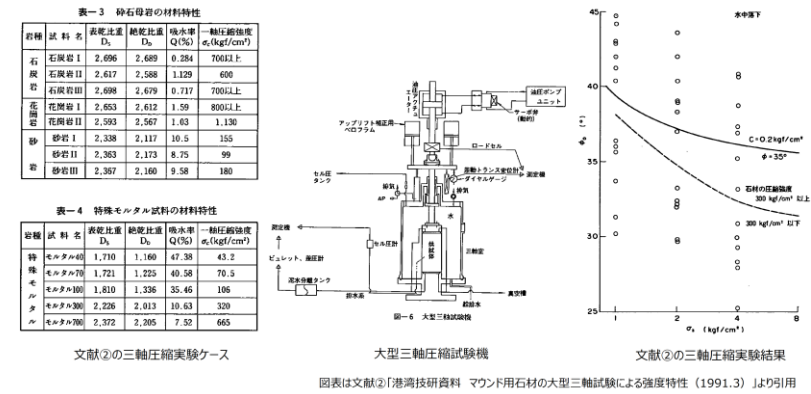


第3図 小名浜港現地試験概要図

引用文献「港湾技研資料 マウンド用石材の大型三軸試験による強度特性 (1991.3) (文献②)」では、「品質が劣ると考えられてきた石材の強度特性を明らかにする」ことを目的として、文献①で用いた比較的良質な花崗岩等よりも性質が劣る石灰岩及び軟質な砂岩等について、一軸圧縮強度に着目した分類で大型三軸圧縮試験 (供試体寸法: 直径 30 cm, 高さ 60 cm) が行われている。(一軸圧縮強度との相関関係を得るため、幅広い範囲の一軸圧縮強度を持つ特殊モルタルも使用)

大型三軸圧縮試験の結果、「母岩の一軸圧縮強度が 300 (kgf/cm²) 以上であれば、文献①で報告された捨石の標準値である $C=2$ (tf/m²) , $\Phi=35$ (°) をほぼ満足する」とされている。文献②の三軸圧縮実験ケース及び実験結果を第4図に示す。

なお、島根原子力発電所の石材 (基礎捨石・被覆石) の一軸圧縮強度は 30 (N/mm²) を有している。

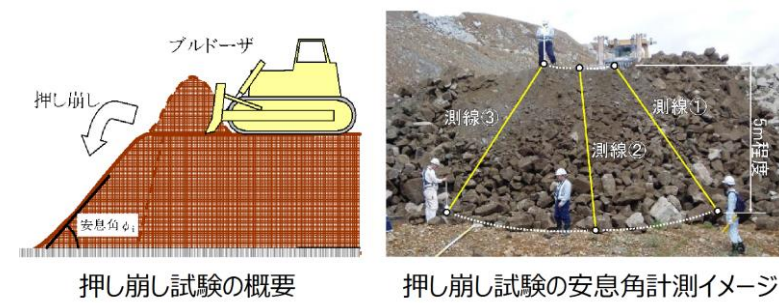


第 4 図 文献②の三軸圧縮実験ケース及び実験結果

独立行政法人土木研究所では、ロックフィルダムの主要築堤材料として使用されるロック材料のせん断強度の評価について、原位置における表層すべり試験（切り崩し試験及び押し崩し試験）を実施し、原粒度条件下でのロック材料のせん断強度の評価を論文「拘束圧依存性を考慮したロック材料の強度評価（山口ほか）」で示している。

ロック材料を 100t 級大型ブルドーザで静かに谷に押し崩す「押し崩し試験」を実施して、安息角を計測しているが、「得られた平均 38.5 (°) の結果は、大型三軸圧縮 (CD) 試験により求められた内部摩擦角 41.0 (°) とほぼ同等の値である」とされている。

押し崩し試験の概要を第 5 図に、原位置表層すべり試験結果を第 1 表に示す。



第 5 図 押し崩し試験の概要

第1表 原位置表層すべり試験結果 (押し崩し試験による安息角)

試験回数	現地計測結果(°)				
	測線①	測線②	測線③	各平均	平均
1回目	37.3	39.3	40.8	39.1	38.5
2回目	35.8	40.8	36.8	37.8	

図表は全て「ダム工学 Vol.18 No3(2008) P166-181 論文 拘束圧依存性を考慮したロック材料の強度評価 山口ほか」より引用

島根原子力発電所にて、押し崩し試験を模擬した安息角の現地試験を実施した。

現地試験には基礎捨石と同様の石材 (凝灰岩主体 : Dmax=200~250mm 程度) を用いて、40t ダンプにて平坦な場所でダンプアップすることで試料塊を作り、ダンプが逃げる方向以外の3辺を測線として試料塊の角度計測を行った。試験は3回行い、合計9測線から得られた平均値は 38.5 (°) であり、文献①のせん断抵抗角 $\Phi=35 (°)$ と同等な結果となった。

試験の概要を第6図に、試験結果を第2表に示す。

上記の結果より、島根原子力発電所の石材は Dmax=200mm~250mm であり、一軸圧縮強度は 30 (N/mm²) を有することから、港湾基準に示される C=20 (kN/m²)、 $\Phi_f=35 (°)$ を適用できると判断した。



第6図 試験の概要

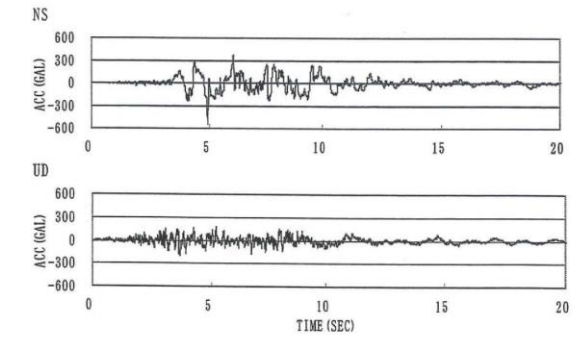
東海第二発電所 (2018. 9. 12 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																										
		<p style="text-align: center;">第2表 安息角試験 試験値一覧表</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>試験</th> <th>測線</th> <th>角度</th> <th>平均角度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">1回目</td> <td>①</td> <td>35.2</td> <td rowspan="9">38.5</td> </tr> <tr> <td>②</td> <td>36.8</td> </tr> <tr> <td>③</td> <td>46.3</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">2回目</td> <td>①</td> <td>29.8</td> </tr> <tr> <td>②</td> <td>37.8</td> </tr> <tr> <td>③</td> <td>35.3</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">3回目</td> <td>①</td> <td>44.4</td> </tr> <tr> <td>②</td> <td>36.3</td> </tr> <tr> <td>③</td> <td>44.8</td> </tr> </tbody> </table> <p>3. 解析用物性値 (基礎捨石・被覆石) の動的評価への適用性</p> <p>文献①及び文献②については、捨石マウンド上の港湾施設に対する静的な安定性評価に関する内容であるので、ここでは島根での適用性を目的として、地震時 (動的) の検討で用いられている捨石の物性値について、文献調査を行った。</p> <p>捨石の動的挙動に関して検討している文献「捨石のモデル化に関する検討報告書 (FLIP 研究会 企画委員会捨石作業部会, 平成13年5月)」 (以下「捨石のモデル化に関する検討報告書」という) によると、捨石の強度定数に、文献①で提案されていた標準的な値である、粘着力 $C=20$ (kN/m²)、せん断抵抗角 $\Phi=35$ (°) が用いられた事例検証が行われている。</p> <p>事例検証は1995年兵庫県南部地震における六甲アイランドRF3岸壁及び神戸港第7防波堤の被災事例と、1993年釧路沖地震における釧路港北埠頭の被災事例を対象に行われており、「解析による残留変位量は観測値と適合性が良い」とされている。事例検証①六甲アイランドRF3岸壁の検討用地震動及び検討対象断面を第7図に、検討結果を第3表に示す。事例検証事例検証②神戸港第七防波堤の検討用地震動及び検討対象断面を第8図に、検討結果を第4表に示す。事例検証事例検証③釧路港北埠頭岸壁の検討用地震動及び検討対象断面を第9図に、検討結果を第5表に示す。なお、各図表は「捨石のモデル化に関する検討報告書」から引用している。</p>	試験	測線	角度	平均角度	1回目	①	35.2	38.5	②	36.8	③	46.3	2回目	①	29.8	②	37.8	③	35.3	3回目	①	44.4	②	36.3	③	44.8	
試験	測線	角度	平均角度																										
1回目	①	35.2	38.5																										
	②	36.8																											
	③	46.3																											
2回目	①	29.8																											
	②	37.8																											
	③	35.3																											
3回目	①	44.4																											
	②	36.3																											
	③	44.8																											

東海第二発電所 (2018. 9. 12 版)

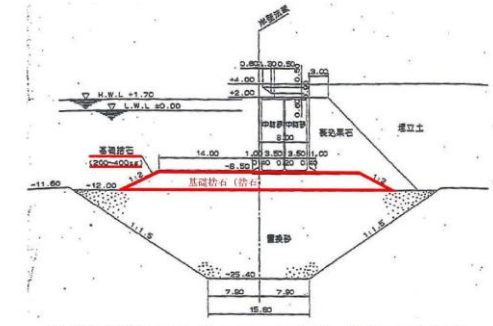
女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)

島根原子力発電所 2号炉

備考



検討用地震動 ポートアイランド鉛直アレー地震観測網のGL-32mに設置の加速度計による1995兵庫県南部地震の際の観測記録



検討対象断面(六甲アイランドRF3岸壁)

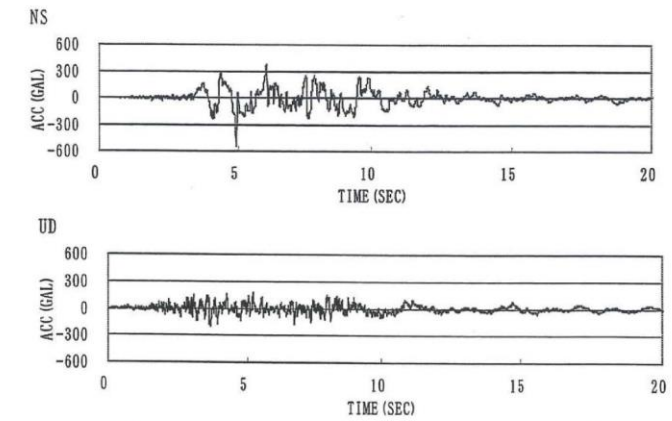
第7図 事例検証①六甲アイランド RF3 岸壁の検討用地震動及び検討対象断面

第3表 事例検証①六甲アイランド RF3 岸壁の検討結果

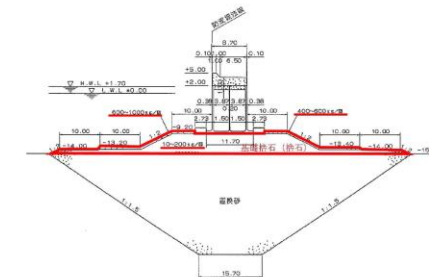
事例検証① 六甲アイランドRF3岸壁※捨石は主に200kg~400kg/個程度

検討ケース	せん断強度特性		残留変位量			備考
	C(kN/m ²)	Φ (°)	水平 (m)	鉛直 (m)	傾斜 (°)	
CASE3	0	40	6.10	2.11	10.6	従来方法
CASE4	20	35	4.33	2.00	4.69	提案方法
観測値			4.1~4.6	1.7~2.0	4.1~5.1	

※結果は捨石強度特性のみ異なるCASE3 (従来方法) とCASE4(提案方法)のみ抜粋している。



検討用地震動 ポートアイランド鉛直アレー地震観測網のGL-32mに設置の加速度計による1995兵庫県南部地震の際の観測記録
各図表は「捨石のモデル化に関する検討報告書」から引用



検討対象断面 (神戸港第七防波堤)

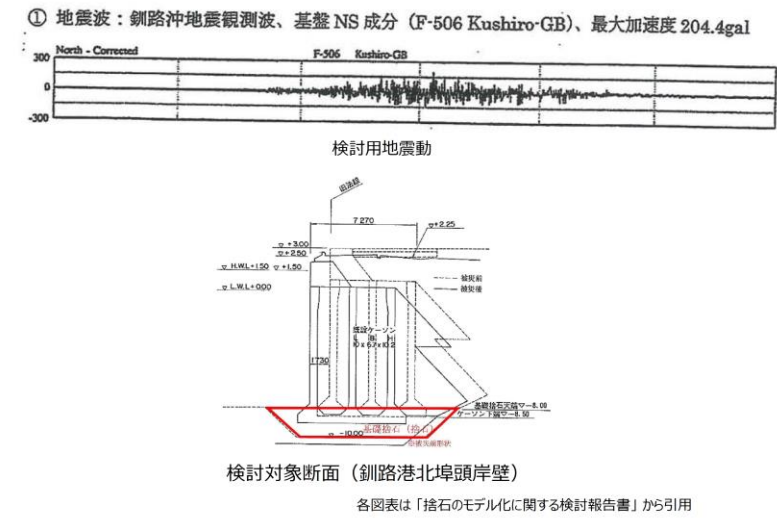
第 8 図 事例検証②神戸港第七防波堤の検討用地震動及び検討対象断面

第 4 表 事例検証②神戸港第七防波堤の検討結果

事例検証② 神戸港第七防波堤※捨石は主に10kg~200kg/個程度

検討ケース※	せん断強度特性		残留変位量		備考
	C(kN/m ²)	Φ (°)	水平 (m)	鉛直 (m)	
CASE2	0	40	0.04	4.39	従来方法
CASE4	20	35	0.00	2.26	提案方法
観測値			—	1.4~2.6	

※結果は捨石強度特性のみ異なるCASE 2 (従来方法) とCASE4(提案方法)のみ抜粋している。



第 9 図 事例検証③釧路港北埠頭岸壁の検討用地震動及び検討対象断面

第 5 表 事例検証③釧路港北埠頭岸壁の検討結果

事例検証③ 釧路港北埠頭岸壁

検討ケース※	せん断強度特性		残留変位量		備考
	C(kN/m ²)	Φ (°)	水平 (m)	鉛直 (m)	
CASE1	0	40	0.89	0.21	従来方法
CASE3	20	35	1.28	0.22	提案方法
観測値			0.8~1.6	0.2~0.5	

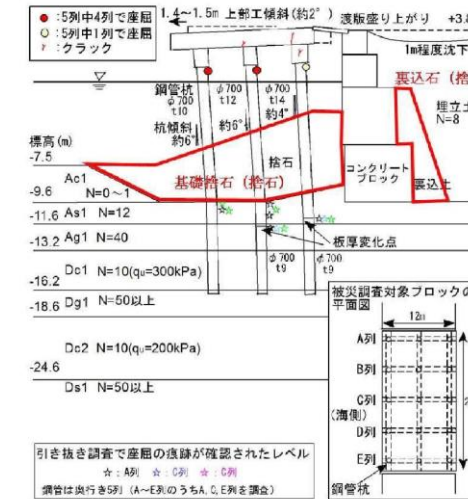
※結果は捨石強度特性の設定の違いに着目し、CASE1 (従来方法)とCASE3(提案方法)のみ抜粋している。

「捨石のモデル化に関する検討報告書」で検討した事例は、いずれも重力式岸壁あるいはケーソン式防波堤であることから、鋼管杭を使用した構造物を対象とした被災事例の再現解析における捨石の解析用物性値の設定状況について以下に示す。解析用物性値の設定状況については、1995年兵庫県南部地震における神戸港T栈橋及び2011年東北地方太平洋沖地震における小名浜港5号埠頭耐震強化岸壁、相馬港2号埠頭-12m岸壁について再現解析を実施している文献について確認した。

(被災事例の再現解析① 神戸港T栈橋)

1995年兵庫県南部地震による神戸港T栈橋の被災事例を対象とした再現解析が行われているが、捨石の解析用物性値として、粘着力C=20(kN/m²)、せん断抵抗角Φ=35(°)が設定されており、鋼管杭の座屈位置という被災事例を再現できたとされている。

解析断面図を第10図に、解析用物性値を第6表に示す。



断面図 (神戸港T栈橋)

「二次元有効応力解析による直杭式横栈橋の被災事例の再現計算 (2009)」から引用

第 10 図 断面図 (神戸港 T 栈橋)

第 6 表 FLIP における解析用物性値 (神戸港 T 栈橋)

土層名	湿潤密度	間隙率	変形特性					
			初期せん断剛性	基準化拘束圧	拘束圧依存係数	内部摩擦角	粘着力	履歴減衰上限値
	ρ_t (t/m ³)	n	G_{ma} (kPa)	σ_{ma}' (kPa)	m	ϕ_f (°)	c (kPa)	h_{max}
As1	1.8	0.45	111900	98.0	0.5	40.7	0	0.24
Ag1	2.0	0.45	226500	98.0	0.5	44.4	0	0.24
Dc1	1.9	0.44	51000	43.4	0.0	0.0	150	0.20
埋立土	1.8	0.45	65840	98.0	0.5	38.9	0	0.24
捨石	2.0	0.45	180000	98.0	0.5	35.0	20	0.24
裏込土	2.0	0.45	180000	98.0	0.5	35.0	20	0.24
Ac1	1.5	0.67	3750	5.0	0.5	25.0	0	0.20
Dc2	1.7	0.55	34000	86.4	0.0	0.0	100	0.20
Dg1	2.0	0.45	228200	98.0	0.5	44.5	0	0.24

「二次元有効応力解析による直杭式横栈橋の被災事例の再現計算 (2009)」から引用

(被災事例の再現解析② 小名浜港 5号埠頭耐震強化岸壁)

2011年東北地方太平洋沖地震による小名浜港 5号埠頭耐震強化岸壁の被災を対象とした再現解析が行われているが、捨石の解析用物性値として、粘着力 $C=20$ (kN/m²)、せん断抵抗角 $\Phi=35$ (°) が設定されており、岸壁背後の沈下等の被災結果に調和的な変形を再現可能であるとされている。

なお、当該岸壁の基礎捨石は 30~200 kg/個とされている。解析

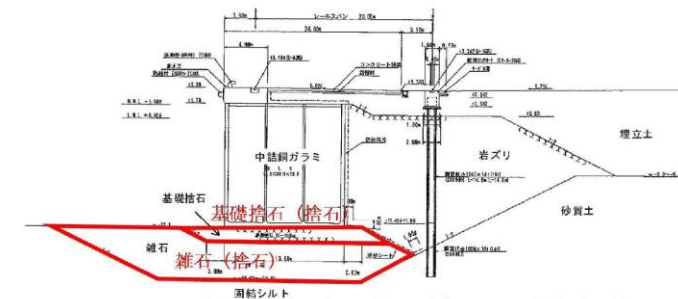
東海第二発電所 (2018. 9. 12 版)

女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)

島根原子力発電所 2号炉

備考

断面図を第 11 図に、解析用物性値を第 7 表に示す。



断面図 (小名浜港5号埠頭耐震強化岸壁)
「2011年東北地方太平洋沖地震において地震動により被災した
小名浜港5号埠頭耐震強化岸壁 (-12m) の再現解析 (2014)」から引用

第 11 図 断面図 (小名浜港 5 号埠頭耐震強化岸壁)

第 7 表 FLIP における解析用物性値 (小名浜港 5 号埠頭耐震強化岸壁)

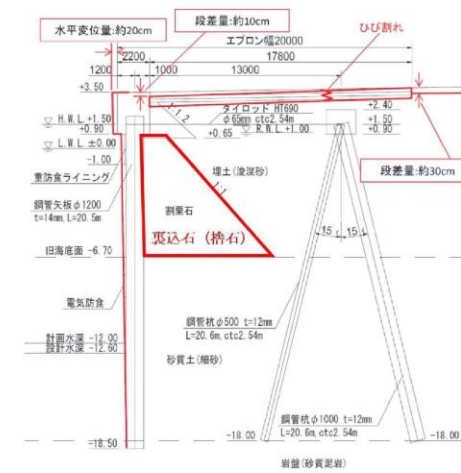
地層名	N65	ρ_r (t/m^3)	ρ_{ox} (t/m^3)	σ'_{oa} (kN/m^2)	G_{oa} (kN/m^2)	ν	K_{oa} (kN/m^2)	C (kN/m^2)	ϕ ($^\circ$)	n	\bar{h}_{max}
埋立土	8.3	1.8	2.0	98	75400	0.33	196600	-	39	0.45	0.24
岩ずり	10.4	1.8	2.0	98	86600	0.33	225800	-	39	0.45	0.24
砂質土	22.2	-	2.0	98	140600	0.33	366700	-	41	0.45	0.24
固結シルト (礫化部)	-	-	1.8	171.88	10200	0.33	26600	30	-	0.55	0.20
基礎捨石	-	-	2.0	98	180000	0.33	469400	20	35	0.45	0.24
雑石	-	-	2.0	98	180000	0.33	469400	20	35	0.45	0.24

「2011年東北地方太平洋沖地震において地震動により被災した
小名浜港5号埠頭耐震強化岸壁 (-12m) の再現解析 (2014)」から引用

(被災事例の再現解析③ 相馬港 2 号埠頭-12m 岸壁)

2011年東北地方太平洋沖地震による相馬港 2 号埠頭-12m 岸壁の被災を対象とした再現解析が行われているが、捨石の解析用物性値として、粘着力 C=20 (kN/m²) , せん断抵抗角 $\Phi=35 (^\circ)$ が設定されており、被災状況や背後地盤の沈下や段差について再現できたとされている。

断面図を第 12 図に、解析用物性値を第 8 表に示す。



断面図 (相馬港2号埠頭-12m岸壁)
「相馬港2号埠頭-12m岸壁を対象とした事例解析 (2012年度)」から引用

第12図 断面図 (相馬港2号埠頭-12m岸壁)

第8表 FLIPにおける解析用物性値(相馬港2号埠頭-12m岸壁)

記号	土質	ρ (t/m^3)	σ_{ms} (kN/m^2)	V_s (m/s)	C_{su} (kN/m^2)	m_0	K_{ms} (kN/m^2)	m_k	c (kN/m^2)	ϕ_f	h_{max}	n	E (kN/m^2)
B	埋土(濃深砂)	1.80	98	162	75246	0.5	196230	0.5	0.0	39.38	0.24	0.45	
As	砂質土(細砂)	2.00	98	269	125095	0.5	326228	0.5	0.0	41.33	0.24	0.45	
R	岩盤(砂質泥岩)	1.73											1392000
	裏込石	2.00	98		101300	0.5	264000	0.5	20.00	35.00	0.24	0.45	

「相馬港2号埠頭-12m岸壁を対象とした事例解析 (2012年度)」から引用

4. 解析用物性値 (石材) の設定方針 まとめ

(1) 文献調査結果

文献①及び②から、「母岩の一軸圧縮強度が 300 (kgf/cm²) 以上であれば、文献①で報告されている捨石の標準値である $C=2$ (tf/m²)、 $\Phi=35$ (°) をほぼ満足する」とされている。

独立行政法人土木研究所で実施された押し崩し試験による安息角と大型三軸圧縮 (CD) 試験による内部摩擦角がほぼ同等の値となるとされていることを踏まえ、島根原子力発電所では押し崩し試験を模擬した安息角の現地試験を実施し、安息角の平均値は 38.5 度となることを確認した。

石材の動的挙動について、「捨石のモデル化に関する検討報告書」において、1995年兵庫県南部地震及び1993年釧路沖地震といった複数の地震動に対する被災事例を対象に、事例検証が行われており、捨石の解析用物性値 $C=20$ (kN/m²)、 $\Phi_f=35$ (°) と設定した場合、解析結果はそれぞれの観測値と適合性が良いとされている。また、鋼管杭を使用した構造物を対象とした解

東海第二発電所 (2018. 9. 12 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p><u>析事例においても、捨石の解析用物性値 $C=20(kN/m^2)$、$\Phi f=35$ (°) と設定して被災事例を再現できたとされている。</u></p> <p><u>以上より、捨石の標準値とされている $C=20(kN/m^2)$、$\Phi f=35$ (°) は信頼性がある値であると判断した。</u></p> <p><u>(2) 島根原子力発電所への適用性</u></p> <p><u>岩石試験結果参照より、島根原子力発電所で使用されている石材 (基礎捨石・被覆石) の一軸圧縮強度は $30(N/mm^2)$ を有している。</u></p> <p><u>島根原子力発電所の施設護岸の工事で使用した基礎捨石は、$30kg$ 以上/個程度 ($200mm\sim 250mm$) であり、「捨石のモデル化に関する検討報告書」で事例検証が行われている捨石の質量 (六甲アイランド RF3 岸壁の捨石は主に $200kg\sim 400kg/個$程度、神戸港第七防波堤の捨石は主に $10kg\sim 200kg/個$程度) の範囲内となっている。</u></p> <p><u>以上のことから、島根の石材 (基礎捨石・被覆石) においても港湾基準に示される $C=20(kN/m^2)$、$\Phi f=35$ (°) を適用できると判断した。</u></p> <p><u>(3) 設置許可段階における構造成立性評価</u></p> <p><u>島根の石材の解析用物性値は上述のとおり考えているが、設置許可段階においては、保守的に $C=0(kN/m^2)$、$\Phi f=35$ (°) と設定した場合の構造成立性評価について確認する。</u></p> <p><u>(参考) 岩石試験結果</u></p> <p><u>島根原子力発電所の石材 (基礎捨石・被覆石) は主に発電所敷地内の凝灰岩を使用しており、これについて実施した岩石試験の概要を示す。</u></p> <p><u>ボーリングコアから採取した試料を用いて一軸圧縮試験を実施した結果、$30N/mm^2$ を上回る結果となった。</u></p> <p><u>一軸圧縮試験概要を第 9 表に、一軸圧縮試験装置図を第 13 図に、岩石試料採取位置図を第 14 図に、凝灰岩ボーリングコア写真の例を第 15 図に示す。</u></p>	

東海第二発電所 (2018. 9. 12 版)

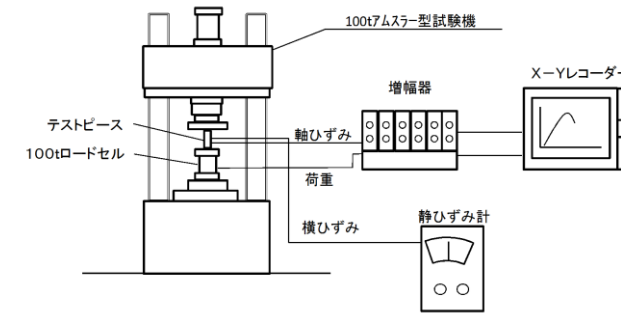
女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)

島根原子力発電所 2号炉

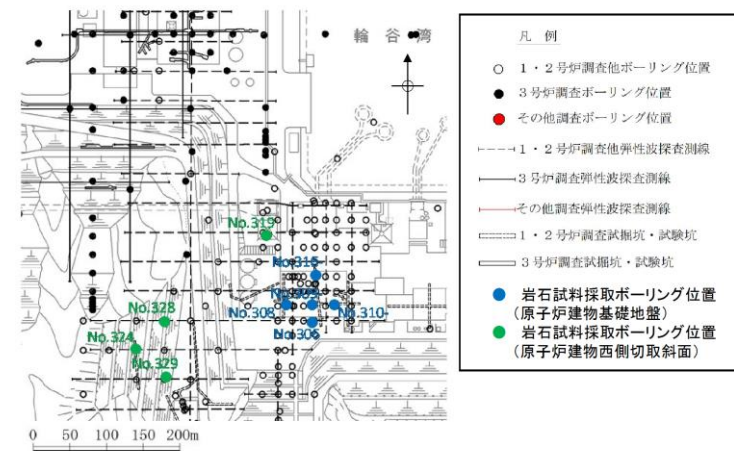
備考

第9表 一軸圧縮試験概要

供試体サイズ*	直径 : 50mm 高さ : 100mm	
最大能力	980kN(100t)	
原子炉建物 基礎地盤	試料採取ホ-リング*	306,308,309,310,316
	試験個数	18個
	一軸圧縮強度	82.57N/mm ²
原子炉建物 西側切取斜面	試料採取ホ-リング*	324,319,328,329
	試験個数	10個
	一軸圧縮強度	122.98N/mm ²

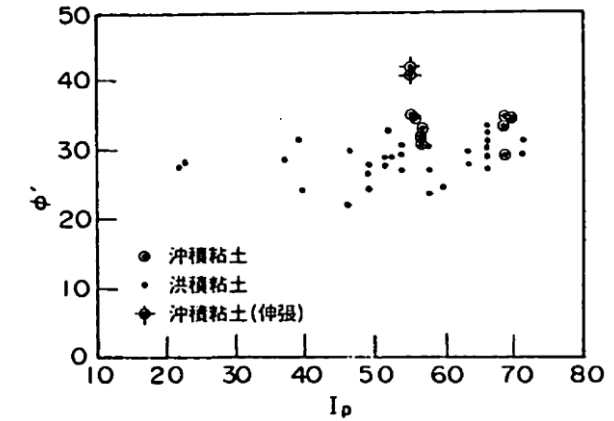


第13図 一軸圧縮試験装置図



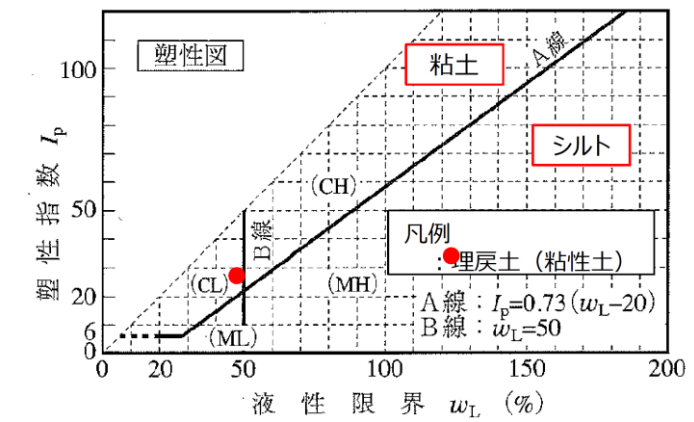
第14図 岩石試料採取位置図

東海第二発電所 (2018. 9. 12 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<div data-bbox="1768 306 2457 436" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="1798 445 2439 506" data-label="Caption"> <p>凝灰岩ボーリングコア写真の例 (No.B-2(2006), G.L.-87.41~88.12, -88.48~-90.00m)</p> </div> <div data-bbox="1881 522 2380 554" data-label="Caption"> <p>第 15 図 凝灰岩ボーリングコア写真の例</p> </div> <div data-bbox="1733 613 2208 644" data-label="Section-Header"> <p>5. 解析用物性値 (粘性土) の設定根拠</p> </div> <div data-bbox="1733 657 2504 867" data-label="Text"> <p>島根原子力発電所の埋戻土 (粘性土) は、護岸建設時に、背面の止水性を担保するために施工しており、攪乱されていることから、正規圧密状態である、また、土の液性限界・塑性限界試験 (JIS A 1205) 結果より、塑性指数は $I_p=27.3$ となり、塑性図における「粘土」に位置する。</p> </div> <div data-bbox="1733 882 2504 1182" data-label="Text"> <p>粘性土の強度特性の設定の考え方としては、「FLIP 研究会 14 年間の検討成果まとめの作成について (FLIP 研究会 14 年間の検討成果まとめ WG)」(以下「FLIP 研究会報告」という) があり、FLIP 研究会報告によると、「三軸試験による自然粘性土地盤の強度設定法に関する研究 (土田, 1990)」の正規圧密粘土の塑性指数-内部摩擦角 (排水条件) の関係から、粘性土は $C=0$ (kN/m²), $\Phi_f=30$ (°) と設定している。</p> </div> <div data-bbox="1733 1194 2504 1404" data-label="Text"> <p>土田 (1990) の「正規圧密時の内部摩擦角と塑性指数の関係」によると、塑性指数によらず、$\Phi_f=30$ (°) 一定の結果が得られていることから、島根原子力発電所の埋戻土 (粘性土) の強度特性については、$C=0$ (kN/m²), $\Phi_f=30$ (°) と設定できると判断した。</p> </div> <div data-bbox="1733 1419 2504 1541" data-label="Text"> <p>正規圧密時の内部摩擦角と塑性指数の関係を第 16 図に、塑性図による粘性土の分類を第 17 図に、埋戻土 (粘性土) の液性限界・塑性限界試験結果を第 10 表に示す。</p> </div>	



「三軸試験による自然粘性土地盤の強度設定法に関する研究 (土田, 1990)」より引用

第16図 正規圧密時の内部摩擦角と塑性指数の関係



※ 地盤工学会, H22: 土質試験 基本と手引き に加筆

第17図 塑性図による粘性土の分類

第10表 埋戻土 (粘性土) の液性限界・塑性限界試験結果

	液性限界 w_L (%)	塑性限界 w_p (%)	塑性指数 I_p
埋戻土 (粘性土) (平均値, 試験数: 22)	48.5	21.2	27.3

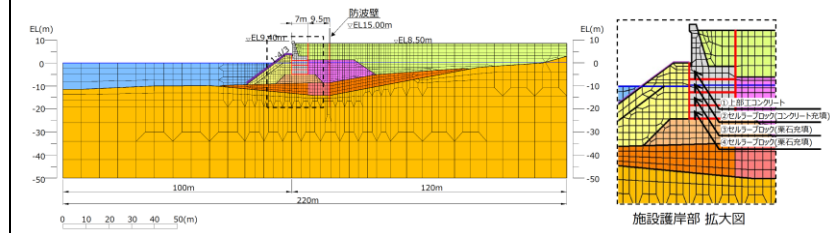
6. 解析用物性値 (セルラーブロック) の設定根拠

防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) に近接する施設護岸を構成する上部工コンクリート及びセルラーブロックのモデル化にあたっては、要素間の滑り・剥離を考慮するため、ジョイント要素でモデル化している。また、セルラーブロックの中詰材の剛性は考慮し

ない。解析モデル図を第 18 図に示す。

せん断抵抗角は港湾基準に準拠し、第 11 表に示す摩擦係数の考え方を踏まえ設定した。港湾基準より引用した静止摩擦係数の値を第 19 図に示す。

なお、粘着力については、上部工コンクリート及びセルラーブロックは完全に分離した構造物同士であることから、粘着力は考慮しない。



第 18 図 解析モデル図

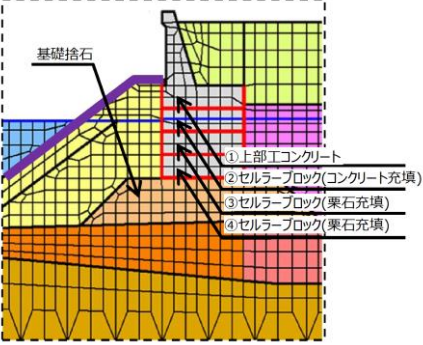
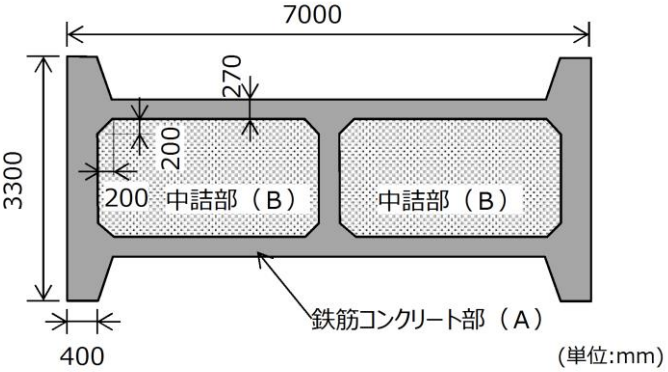
第 13 表 ジョイント要素に考慮した摩擦係数の根拠

ジョイント要素	ジョイント要素に考慮した摩擦係数の根拠
① 上部工コンクリート・ ② セルラーブロック (コンクリート充填) 境界	・境界面の上下はそれぞれコンクリートであるため、港湾基準より「コンクリートとコンクリート」の静止摩擦係数 0.5 と設定する。
② セルラーブロック (コンクリート充填) ・ ③ セルラーブロック (栗石充填) 境界	・セルラーブロック (栗石充填) 設置後に上段のセルラーブロックのコンクリートを打設するため、栗石はセルラーブロック天端より低く充填されることを考慮すると、境界面の上下はそれぞれコンクリートであるため、「コンクリートとコンクリート」の静止摩擦係数 0.5 と設定する。
③ セルラーブロック (栗石充填) ・ ④ セルラーブロック (栗石充填) 境界	・境界面はセルラーブロック同士と栗石同士で構成されている。港湾基準よりセルラーブロック同士は「コンクリートとコンクリート」の静止摩擦係数 0.5、栗石同士は「捨石と捨石」の静止摩擦係数 0.8 であるため、これらを平均した 0.6 (0.65 の少数第 2 位を切り捨て) と設定する。
④ セルラーブロック (栗石充填) ・ 基礎捨石境界	・セルラーブロック (栗石充填) と基礎捨石境界の摩擦係数は、港湾基準に示される「底版のないセルラーブロックの性能照査に用いる摩擦係数の特性値」から 0.7 と設定する。(島根原子力発電所における施設護岸への適用性については以下参照)

コンクリートとコンクリート	0.5
コンクリートと岩盤	0.5
水中コンクリートと岩盤	0.7~0.8
コンクリートと捨石	0.6
捨石と捨石	0.8
木材と木材	0.2(湿)~0.5(乾)
摩擦増大マットと捨石	0.75

第 19 図 静止摩擦係数の値 (港湾基準より引用)

防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) に近接する施設護岸を構成するセルラーブロックのうち、最下部のセルラーブロック (栗石充填) と基礎捨石の境界のジョイント要素については、港湾基準に準拠し摩擦係数 0.7 と設定した。施設護岸部の解析モデル拡大図を第 20 図に、セルラーブロック断面図 (例) を第 21 図に示す。

東海第二発電所 (2018. 9. 12 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p data-bbox="1736 254 2499 506"><u>港湾基準では、底版のないセルラーブロックの滑動の性能照査に用いる摩擦係数の特性値は、厳密には鉄筋コンクリート底版の受ける反力については0.6、中詰石底部の受ける反力については0.8を用いて計算すべきであるが、便宜上0.7としてもよい、とされている。港湾基準より引用した静止摩擦係数の値を第22図に示す。</u></p> <p data-bbox="1736 520 2499 688"><u>島根原子力発電所の施設護岸へ用いたセルラーブロックの鉄筋コンクリート部と中詰部の面積比を考慮して摩擦係数の平均値を算定した結果、0.71となることから、港湾基準に示される摩擦係数0.7と設定することは妥当と判断する。</u></p> <p data-bbox="1774 722 2457 842">【摩擦係数算定の考え方】 $S_{鉄筋コンクリート} : S_{中詰材} = A : B$ 摩擦係数の平均値 = $(0.6 \times A + 0.8 \times B) / (A + B)$</p>  <p data-bbox="1878 1283 2359 1314">第20図 施設護岸部 解析モデル拡大図</p>  <p data-bbox="1872 1780 2359 1812">第21図 セルラーブロック断面図 (例)</p>	

東海第二発電所 (2018. 9. 12 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考														
		<table border="1" data-bbox="1863 275 2371 443"> <tr> <td>コンクリートとコンクリート</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>コンクリートと岩盤</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>水中コンクリートと岩盤</td> <td>0.7~0.8</td> </tr> <tr> <td>コンクリートと捨石</td> <td>0.6</td> </tr> <tr> <td>捨石と捨石</td> <td>0.8</td> </tr> <tr> <td>木材と木材</td> <td>0.2(湿)~0.5(乾)</td> </tr> <tr> <td>摩擦増大マットと捨石</td> <td>0.75</td> </tr> </table> <p data-bbox="1816 478 2415 510">第 22 図 静止摩擦係数の値 (港湾基準より引用)</p>	コンクリートとコンクリート	0.5	コンクリートと岩盤	0.5	水中コンクリートと岩盤	0.7~0.8	コンクリートと捨石	0.6	捨石と捨石	0.8	木材と木材	0.2(湿)~0.5(乾)	摩擦増大マットと捨石	0.75	
コンクリートとコンクリート	0.5																
コンクリートと岩盤	0.5																
水中コンクリートと岩盤	0.7~0.8																
コンクリートと捨石	0.6																
捨石と捨石	0.8																
木材と木材	0.2(湿)~0.5(乾)																
摩擦増大マットと捨石	0.75																

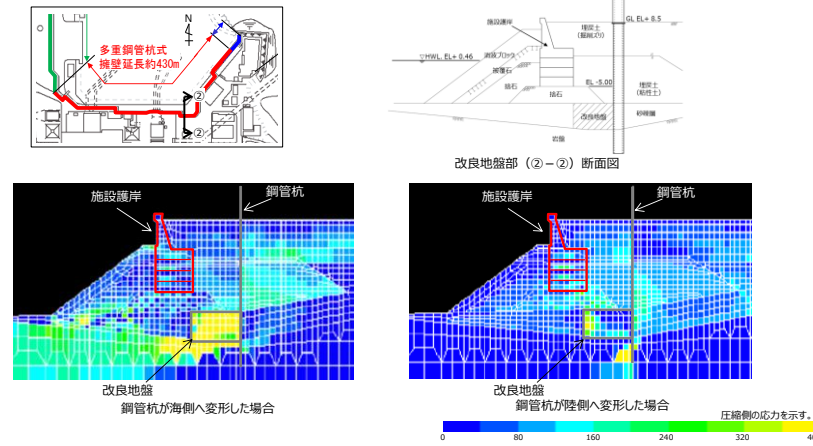
東海第二発電所 (2018. 9. 12 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p style="text-align: right;">(参考資料8)</p> <p><u>防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) に近接する施設護岸の役割</u></p> <p><u>耐震性の低い施設護岸が防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) に近接していることから、防波壁への受動抵抗として作用しているか確認するため、防波壁と施設護岸の位置関係を踏まえて、防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) 改良地盤部 (②-②) 断面および施設護岸前出し部 (③-③) 断面を選定し、基準地震動 Ss における周辺地盤の水平有効応力を確認する。</u></p> <p><u>防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) 改良地盤部 (②-②) 断面における基準地震動 Ss による2次元 FEM 解析 (有効応力解析) の結果から、防波壁の鋼管杭曲げモーメント最大時刻において、周辺地盤の水平有効応力の分布を第1図に示す。鋼管杭が海側へ変形した場合、改良地盤部及び根入れ部 (岩盤) に圧縮側の水平応力が発生し、鋼管杭の変形を抑制しており、施設護岸及びその周辺の埋戻土等の水平応力は比較的小さく、施設護岸による受働抵抗は小さい。また、鋼管杭が陸側へ変形した場合は、根入れ部 (岩盤) において圧縮側の水平応力が発生し、施設護岸の水平応力は周辺の埋戻土等と同程度である。</u></p> <p><u>防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) 施設護岸前出し部 (③-③) 断面における基準地震動 Ss による2次元 FEM 解析 (有効応力解析) の結果から、防波壁の鋼管杭曲げモーメント最大時刻において、周辺地盤の水平応力の分布を第2図に示す。鋼管杭が海側に変形した場合、根入れ部 (岩盤) に圧縮側の水平応力が発生し、鋼管杭の変形を抑制しており、施設護岸と鋼管杭の間の埋戻土と施設護岸背後の埋戻土の水平応力の値が同程度であることから、施設護岸は応力をそのまま伝達しており、鋼管杭に対する応力低減作用は生じていない。また、鋼管杭が陸側へ変形した場合、根入れ部 (岩盤) において圧縮側の水平応力が発生し、鋼管杭の変形を抑制していることから、施設護岸による受働抵抗は小さい。</u></p> <p><u>以上より、鋼管杭は主に改良地盤及び根入れ部 (岩盤) により変形が抑制されており、施設護岸による受働抵抗の影響は小さいことを確認した。</u></p>	<p>・設備の相違</p> <p>【女川2】</p> <p>設備の相違による記載の相違</p>

東海第二発電所 (2018. 9. 12 版)

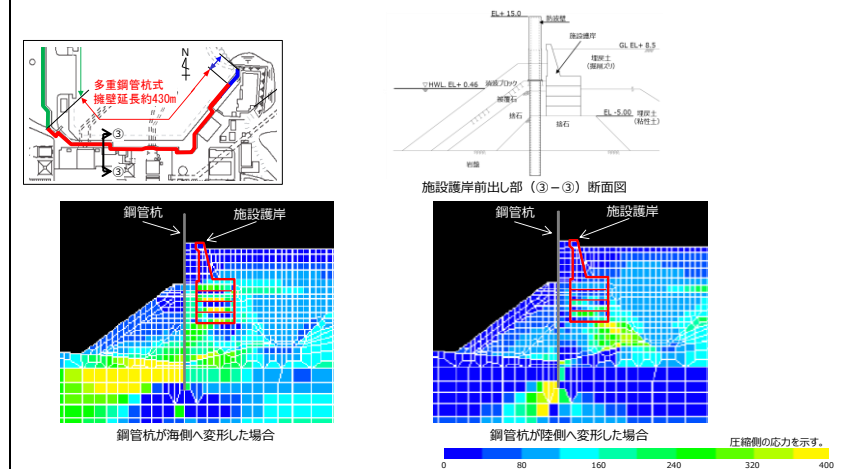
女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)

島根原子力発電所 2号炉

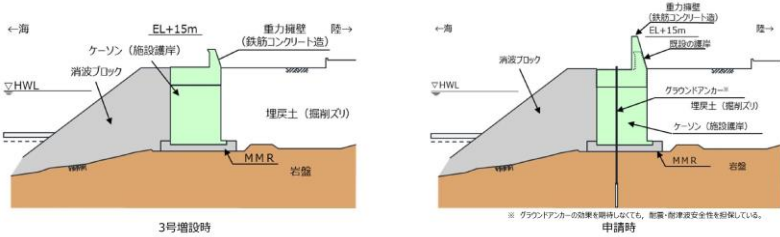
備考



第1図 鋼管杭の曲げモーメント最大時刻における水平有効応力分布図 (改良地盤部 (2-2))



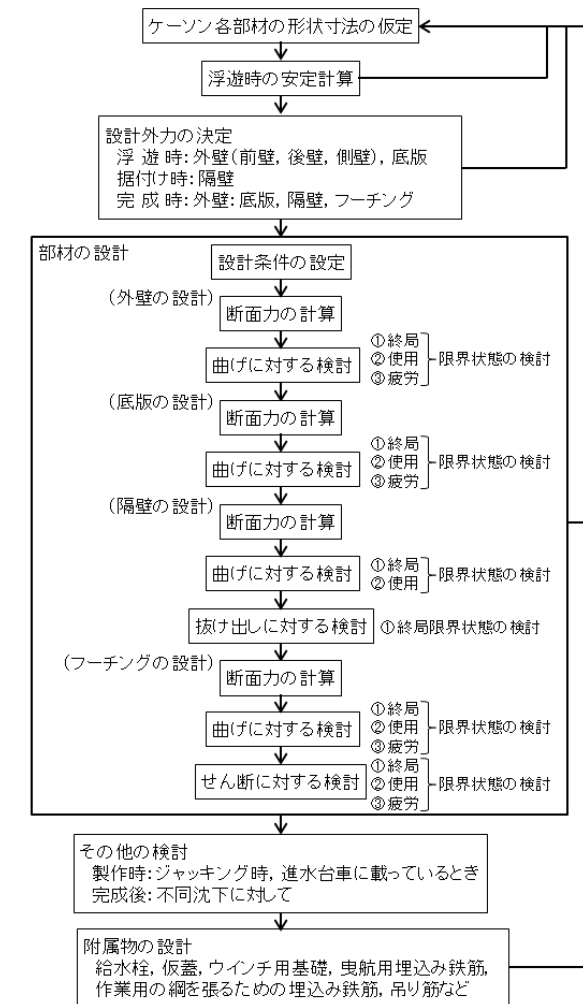
第2図 鋼管杭の曲げモーメント最大時刻における水平有効応力分布図 (施設護岸前出し部 (3-3))

東海第二発電所 (2018. 9. 12 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																
		<p style="text-align: right;">(参考資料9)</p> <p style="text-align: center;">防波壁 (波返重力擁壁) のケーソンの設計方針</p> <p><u>1. 既設の護岸の構造変更に係る主な経緯</u></p> <p>防波壁 (波返重力擁壁) の構造変更に係る主な経緯を第1表に、構造図を第1図に示す。</p> <p>防波壁 (波返重力擁壁) のうち既設の護岸は、3号炉増設時に建設されている。その後、平成23年3月の東北地方太平洋沖地震を踏まえ、重力擁壁の嵩上げを実施し、津波対策施設として港湾の施設の技術基準適合性確認を受けている。</p> <p style="text-align: center;">第1表 構造変更に係る主な経緯</p> <table border="1" data-bbox="1736 840 2496 1218"> <thead> <tr> <th>主な経緯</th> <th>概要</th> <th>重力擁壁天端高</th> <th>準拠基準</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>①3号炉増設時 (H16.2 公有水面埋立免許受領)</td> <td>埋立地の外郭施設であるため、波浪時 (変動波浪: 100年確率波) 及び地震時 (レベル1地震動: 設計震度0.14) の外力に対して十分な耐震性、耐震性を有する構造として設計。</td> <td>EL+11m</td> <td>海岸保全施設築造基準解説、河川砂防技術基準 (案) 解説、港湾基準 (H11) 等</td> </tr> <tr> <td>②港湾の施設の技術基準適合性確認 (H23.11 確認証受領)</td> <td>平成23年3月の東北地方太平洋沖地震を踏まえ安全対策として、津波による敷地内への浸水を防止するため、既設ケーソン式護岸の嵩上げを実施し、港湾の施設の技術基準適合性確認証を受領した。当該確認においては、レベル1地震動、基準地震動Ss (600Gal) 及び津波高さ (敷地浸水高さ) EL+15mにより評価。</td> <td>EL+15m</td> <td>港湾基準</td> </tr> <tr> <td>③新規制基準適合性審査 (H25.12)</td> <td>基準地震動Ss及び入力津波を設計外力とした場合でも、構造成立性を確認。</td> <td>EL+15m</td> <td>港湾基準、防波場の耐津波設計ガイドライン (2013)、RC示方書等</td> </tr> </tbody> </table> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;"><u>第1図 防波壁 (波返重力擁壁) 断面図</u></p>	主な経緯	概要	重力擁壁天端高	準拠基準	①3号炉増設時 (H16.2 公有水面埋立免許受領)	埋立地の外郭施設であるため、波浪時 (変動波浪: 100年確率波) 及び地震時 (レベル1地震動: 設計震度0.14) の外力に対して十分な耐震性、耐震性を有する構造として設計。	EL+11m	海岸保全施設築造基準解説、河川砂防技術基準 (案) 解説、港湾基準 (H11) 等	②港湾の施設の技術基準適合性確認 (H23.11 確認証受領)	平成23年3月の東北地方太平洋沖地震を踏まえ安全対策として、津波による敷地内への浸水を防止するため、既設ケーソン式護岸の嵩上げを実施し、港湾の施設の技術基準適合性確認証を受領した。当該確認においては、レベル1地震動、基準地震動Ss (600Gal) 及び津波高さ (敷地浸水高さ) EL+15mにより評価。	EL+15m	港湾基準	③新規制基準適合性審査 (H25.12)	基準地震動Ss及び入力津波を設計外力とした場合でも、構造成立性を確認。	EL+15m	港湾基準、防波場の耐津波設計ガイドライン (2013)、RC示方書等	<p>・設備の相違</p> <p>【女川2】</p> <p>設備の相違による記載の相違</p>
主な経緯	概要	重力擁壁天端高	準拠基準																
①3号炉増設時 (H16.2 公有水面埋立免許受領)	埋立地の外郭施設であるため、波浪時 (変動波浪: 100年確率波) 及び地震時 (レベル1地震動: 設計震度0.14) の外力に対して十分な耐震性、耐震性を有する構造として設計。	EL+11m	海岸保全施設築造基準解説、河川砂防技術基準 (案) 解説、港湾基準 (H11) 等																
②港湾の施設の技術基準適合性確認 (H23.11 確認証受領)	平成23年3月の東北地方太平洋沖地震を踏まえ安全対策として、津波による敷地内への浸水を防止するため、既設ケーソン式護岸の嵩上げを実施し、港湾の施設の技術基準適合性確認証を受領した。当該確認においては、レベル1地震動、基準地震動Ss (600Gal) 及び津波高さ (敷地浸水高さ) EL+15mにより評価。	EL+15m	港湾基準																
③新規制基準適合性審査 (H25.12)	基準地震動Ss及び入力津波を設計外力とした場合でも、構造成立性を確認。	EL+15m	港湾基準、防波場の耐津波設計ガイドライン (2013)、RC示方書等																

東海第二発電所 (2018. 9. 12 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																													
		<p>2. 新規制基準における要求性能及び性能照査</p> <p>新規制基準において、<u>津波防護施設は、基準地震動 S s 並びに</u> <u>入力津波に対し、津波防護施設が要求される機能を損なうおそれ</u> <u>がないよう、構造物全体としての変形能力に対し、十分な構造強</u> <u>度を有するとともに、浸水及び漏水を防止することが要求性能と</u> <u>されている。</u></p> <p><u>防波壁（波返重力擁壁）は津波防護施設であることから、その</u> <u>構成部位であるケーソンの照査に当たっては、要求性能及び性能</u> <u>目標を新規制基準に従い設定する。</u></p> <p><u>島根2号炉のケーソンの性能目標は、地震、津波後の再使用性</u> <u>を考慮し、「概ね弾性状態に留まること」とし、照査部位につい</u> <u>ては、構成部材（底版、フーチング、側壁及び隔壁）のうち、供</u> <u>用時の施設の健全性確保の観点から、底版、フーチング及び側壁</u> <u>とする。また、照査項目は曲げ破壊及びせん断破壊とし、許容限</u> <u>界を短期許容応力度とする。</u></p> <p><u>なお、港湾基準の津波対策施設では、永続状態及び変動状態に</u> <u>ついては使用性を要求性能としており、さらに、偶発状態（主た</u> <u>る作用が津波、レベル2地震動等）における損傷が、軽微な修復</u> <u>により機能回復できることを要求性能としている。</u></p> <p><u>ケーソンの設計方針について第2表に示す。</u></p> <p style="text-align: center;">第2表 島根2号炉のケーソンの設計方針</p> <table border="1" data-bbox="1736 1249 2496 1617"> <thead> <tr> <th rowspan="2">施設名</th> <th>新規制基準</th> <th>ケーソンの設計方針</th> <th colspan="2">(参考) 港湾の施設の技術上の基準・同解説</th> </tr> <tr> <th>津波防護施設</th> <th>津波防護施設</th> <th>津波対策施設</th> <th>修復性</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>要求性能</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 基準地震動 S s に対し、津波防護施設が要求される機能を損なうおそれがないよう、構造物全体としての変形能力に対し、十分な構造強度を有した構造であること。 入力津波に対して、津波防護施設が要求される機能を損なうおそれがないよう、津波による浸水及び漏水を防止すること。 </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 基準地震動 S s に対し、津波防護施設が要求される機能を損なうおそれがないよう、構造物全体としての変形能力に対し、十分な構造強度を有した構造であること。 入力津波に対して、津波防護施設が要求される機能を損なうおそれがないよう、津波による浸水及び漏水を防止すること。 </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 使用性 施工時及び供用時に当該施設が置かれる諸条件に照らし、自重、土圧、水圧、変動波浪、水の流れ、レベル1地震動、漂流物の衝突等の作用による損傷等が、当該施設の機能を損なわず継続して使用することに影響を及ぼさないこととする。(永続状態及び変動状態) </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 修復性 津波、レベル2地震動等の作用による損傷等が、軽微な修復による当該施設の機能の回復に影響を及ぼさないこと。(偶発状態) </td> </tr> <tr> <td>性能目標</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 基準地震動 S s 並びに入力津波により発生する応力が、既往研究等において試験・解析等により妥当性が確認された許容値を超過していないこと。 </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 概ね弾性状態に留まること。 </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 永続状態及び変動状態に対して健全性を損なう危険性が限界値以下であること。 </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 偶発状態に対して作用による損傷の程度が限界値以下であること。 </td> </tr> <tr> <td>供用時における照査部位</td> <td>施設の安定性を確保するために健全性を求める部材</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 底版及びフーチング 側壁 </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 底版及びフーチング 側壁 </td> <td>施設の安定性を確保するために健全性を求める部材</td> </tr> <tr> <td>供用時における照査項目(許容限界)</td> <td>規定なし</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 曲げ破壊、せん断破壊(短期許容応力度) </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 断面破壊(設計断面耐力) 使用性(曲げ及び割れ幅の制限値) 抜け出し(設計許容応力度) </td> <td>規定なし</td> </tr> </tbody> </table>	施設名	新規制基準	ケーソンの設計方針	(参考) 港湾の施設の技術上の基準・同解説		津波防護施設	津波防護施設	津波対策施設	修復性	要求性能	<ul style="list-style-type: none"> 基準地震動 S s に対し、津波防護施設が要求される機能を損なうおそれがないよう、構造物全体としての変形能力に対し、十分な構造強度を有した構造であること。 入力津波に対して、津波防護施設が要求される機能を損なうおそれがないよう、津波による浸水及び漏水を防止すること。 	<ul style="list-style-type: none"> 基準地震動 S s に対し、津波防護施設が要求される機能を損なうおそれがないよう、構造物全体としての変形能力に対し、十分な構造強度を有した構造であること。 入力津波に対して、津波防護施設が要求される機能を損なうおそれがないよう、津波による浸水及び漏水を防止すること。 	<ul style="list-style-type: none"> 使用性 施工時及び供用時に当該施設が置かれる諸条件に照らし、自重、土圧、水圧、変動波浪、水の流れ、レベル1地震動、漂流物の衝突等の作用による損傷等が、当該施設の機能を損なわず継続して使用することに影響を及ぼさないこととする。(永続状態及び変動状態) 	<ul style="list-style-type: none"> 修復性 津波、レベル2地震動等の作用による損傷等が、軽微な修復による当該施設の機能の回復に影響を及ぼさないこと。(偶発状態) 	性能目標	<ul style="list-style-type: none"> 基準地震動 S s 並びに入力津波により発生する応力が、既往研究等において試験・解析等により妥当性が確認された許容値を超過していないこと。 	<ul style="list-style-type: none"> 概ね弾性状態に留まること。 	<ul style="list-style-type: none"> 永続状態及び変動状態に対して健全性を損なう危険性が限界値以下であること。 	<ul style="list-style-type: none"> 偶発状態に対して作用による損傷の程度が限界値以下であること。 	供用時における照査部位	施設の安定性を確保するために健全性を求める部材	<ul style="list-style-type: none"> 底版及びフーチング 側壁 	<ul style="list-style-type: none"> 底版及びフーチング 側壁 	施設の安定性を確保するために健全性を求める部材	供用時における照査項目(許容限界)	規定なし	<ul style="list-style-type: none"> 曲げ破壊、せん断破壊(短期許容応力度) 	<ul style="list-style-type: none"> 断面破壊(設計断面耐力) 使用性(曲げ及び割れ幅の制限値) 抜け出し(設計許容応力度) 	規定なし	
施設名	新規制基準	ケーソンの設計方針		(参考) 港湾の施設の技術上の基準・同解説																												
	津波防護施設	津波防護施設	津波対策施設	修復性																												
要求性能	<ul style="list-style-type: none"> 基準地震動 S s に対し、津波防護施設が要求される機能を損なうおそれがないよう、構造物全体としての変形能力に対し、十分な構造強度を有した構造であること。 入力津波に対して、津波防護施設が要求される機能を損なうおそれがないよう、津波による浸水及び漏水を防止すること。 	<ul style="list-style-type: none"> 基準地震動 S s に対し、津波防護施設が要求される機能を損なうおそれがないよう、構造物全体としての変形能力に対し、十分な構造強度を有した構造であること。 入力津波に対して、津波防護施設が要求される機能を損なうおそれがないよう、津波による浸水及び漏水を防止すること。 	<ul style="list-style-type: none"> 使用性 施工時及び供用時に当該施設が置かれる諸条件に照らし、自重、土圧、水圧、変動波浪、水の流れ、レベル1地震動、漂流物の衝突等の作用による損傷等が、当該施設の機能を損なわず継続して使用することに影響を及ぼさないこととする。(永続状態及び変動状態) 	<ul style="list-style-type: none"> 修復性 津波、レベル2地震動等の作用による損傷等が、軽微な修復による当該施設の機能の回復に影響を及ぼさないこと。(偶発状態) 																												
性能目標	<ul style="list-style-type: none"> 基準地震動 S s 並びに入力津波により発生する応力が、既往研究等において試験・解析等により妥当性が確認された許容値を超過していないこと。 	<ul style="list-style-type: none"> 概ね弾性状態に留まること。 	<ul style="list-style-type: none"> 永続状態及び変動状態に対して健全性を損なう危険性が限界値以下であること。 	<ul style="list-style-type: none"> 偶発状態に対して作用による損傷の程度が限界値以下であること。 																												
供用時における照査部位	施設の安定性を確保するために健全性を求める部材	<ul style="list-style-type: none"> 底版及びフーチング 側壁 	<ul style="list-style-type: none"> 底版及びフーチング 側壁 	施設の安定性を確保するために健全性を求める部材																												
供用時における照査項目(許容限界)	規定なし	<ul style="list-style-type: none"> 曲げ破壊、せん断破壊(短期許容応力度) 	<ul style="list-style-type: none"> 断面破壊(設計断面耐力) 使用性(曲げ及び割れ幅の制限値) 抜け出し(設計許容応力度) 	規定なし																												

東海第二発電所 (2018. 9. 12 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>【参考1】 既設の護岸の設計概要 (3号炉増設時)</p> <p>既設の護岸は、JEAG4601-1987では「その他土木構造物(港湾施設)」に分類されており、耐震設計において参考とする基準、指針等として、「港湾基準(昭和55年度版)」が示されている。3号増設時の港湾基準の最新版は平成11年度版であり、既設の護岸はこれに基づいて耐震設計を実施した。</p> <p>港湾基準(H11)では、「護岸の構造は、仮土留めを除き、重力式係船岸、矢板式係船岸、鋼矢板セル式係船岸等の構造形式と類似しているため、設計に当たっては、係留施設の関連部分を参照することができる」としている。護岸の安定計算は係留施設の「重力式係船岸」を参照し、プレキャストコンクリート部材であるケーソンについては、港湾基準(H11)に従い照査した。第2図に、港湾基準に基づき作成した港湾施設における施設分類を示す。第3図に、港湾基準(H11)に基づくケーソンの設計順序を示す。</p> <p>設計状態としては、供用時のレベル1地震動及び変動波浪の変動状態に加え、施工中の浮遊時及び冬季波浪時等の厳しい状態を考慮した設計を行っている。</p> <div data-bbox="1863 1075 2398 1213" style="text-align: center;"> <pre> graph TD subgraph 施設分類 subgraph 外郭施設 A[護岸] --- B[重力式護岸(重力式係船岸に準じる)] end subgraph 係留施設 C[岸壁] --- D[重力式係船岸] --- E[ケーソン式係船岸] end end </pre> </div> <p>第2図 港湾施設における施設分類(港湾基準に基づき作成)</p>	

東海第二発電所 (2018. 9. 12 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
-------------------------	------------------------------	--------------	----



第3図 ケーソンの設計順序 (港湾基準 (H11) に基づき作成)

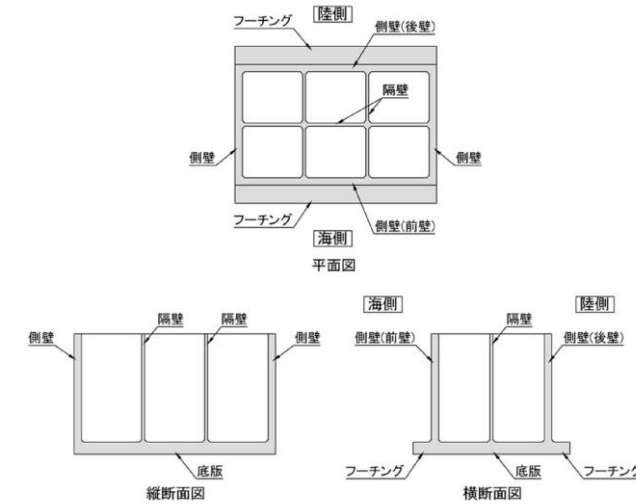
【参考2】 港湾基準上のケーソンの要求性能

港湾基準で示されたケーソンの各部位に関する性能規定及び設計状態に関する設定を第3表～第6表に示す。ここでは、供用時(完成時)の検討対象部材である底版及びフーチングと側壁について示す。第7表に護岸の作用の組合せと荷重係数の一覧表を示す。本表は港湾基準に記載されている「岸壁」の作用の組合せと荷重係数の一覧表を引用したものである。供用時(完成時)の検討対象部材は、底版及び側壁と示されている。

表で示される使用性とは、使用上の不都合を生じずに施設等を使用できる性能のことであり、作用に対して想定される施設の構造的な応答においては、損傷の可能性が十分に低いこと、又はわずかな修復により速やかに所要の機能が発揮できる程度の損傷に

東海第二発電所 (2018. 9. 12 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																																																																								
		<p>留まることである。なお、基準省令では、使用性の規定を、原則として「作用による損傷等が、当該施設の機能を損なわず継続して使用することに影響を及ぼさないこと」と表記している。</p> <p>第3表 ケーソンの底版及びフーチングに関する性能規定及び設計状態（主たる作用が自重の永続状態）に関する設定</p> <table border="1" data-bbox="1765 520 2499 646"> <thead> <tr> <th rowspan="2">要求性能</th> <th colspan="3">設計状態</th> <th rowspan="2">照査項目</th> <th rowspan="2">限界値を定める標準的な指標</th> </tr> <tr> <th>状態</th> <th>主たる作用</th> <th>従たる作用</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">使用性</td> <td rowspan="3">永続</td> <td rowspan="3">自重</td> <td rowspan="3">水圧, 地盤反力, 載荷重, 土圧</td> <td>底版及びフーチングの断面破壊</td> <td>設計断面耐力 (終局限界状態)</td> </tr> <tr> <td>底版及びフーチングの断面の使用性</td> <td>曲げひび割れ幅の制限値 (使用限界状態)</td> </tr> <tr> <td>底版及びフーチングの隔壁からの抜け出し (鉄筋の降伏)</td> <td>設計降伏応力度</td> </tr> </tbody> </table> <p>第4表 ケーソンの底版及びフーチングに関する性能規定及び設計状態（主たる作用が変動波浪の変動状態）に関する設定</p> <table border="1" data-bbox="1765 793 2499 949"> <thead> <tr> <th rowspan="2">要求性能</th> <th colspan="3">設計状態</th> <th rowspan="2">照査項目</th> <th rowspan="2">限界値を定める標準的な指標</th> </tr> <tr> <th>状態</th> <th>主たる作用</th> <th>従たる作用</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">使用性</td> <td rowspan="4">変動</td> <td rowspan="4">変動波浪^{※1} 変動波浪^{※2} 波浪の繰返し作用^{※3}</td> <td rowspan="4">自重, 水圧, 地盤反力, 載荷重, 土圧</td> <td>底版及びフーチングの断面破壊</td> <td>設計断面耐力 (終局限界状態)</td> </tr> <tr> <td>底版の隔壁からの抜け出し (鉄筋の降伏)</td> <td>設計降伏応力度</td> </tr> <tr> <td>底版及びフーチングの断面の使用性</td> <td>曲げひび割れ幅の制限値 (使用限界状態)</td> </tr> <tr> <td>底版及びフーチングの疲労破壊</td> <td>設計疲労強度 (疲労限界状態)</td> </tr> </tbody> </table> <p><small>※1 ここでの波浪は、この告示第八号第一項第一号に定めている波浪のうち、当該施設の構造の安定性の性能照査に用いたものとする。 ※2 ここでの波浪は、この告示第八号第一項第二号に定めている波浪のうち、設計供用期間にそれ以上の波浪の波が来襲する回数が10%程度のものであることを標準とする。 ※3 ここでの波浪は、この告示第八号第一項第二号に定めている波浪のうち、設計供用期間に生じる波浪の波高と周期に関する出現回数に応じた適切なものを設定する必要がある。</small></p> <p>第5表 ケーソンの底版及びフーチングに関する性能規定及び設計状態（主たる作用が浮遊時の水圧及びレベル1地震動の変動状態）に関する設定</p> <table border="1" data-bbox="1765 1192 2499 1318"> <thead> <tr> <th rowspan="2">要求性能</th> <th colspan="3">設計状態</th> <th rowspan="2">照査項目</th> <th rowspan="2">限界値を定める標準的な指標</th> </tr> <tr> <th>状態</th> <th>主たる作用</th> <th>従たる作用</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">使用性</td> <td rowspan="2">変動</td> <td rowspan="2">L1地震動</td> <td rowspan="2">自重, 水圧, 地盤反力</td> <td>底版及びフーチングの断面破壊</td> <td>設計断面耐力 (終局限界状態)</td> </tr> <tr> <td>底版の隔壁からの抜け出し (鉄筋の降伏)</td> <td>設計降伏応力度</td> </tr> </tbody> </table> <p>第6表 ケーソンの側壁に関する性能規定及び設計状態（偶発状態を除く）に関する設定</p> <table border="1" data-bbox="1765 1465 2499 1717"> <thead> <tr> <th rowspan="2">要求性能</th> <th colspan="3">設計状態</th> <th rowspan="2">照査項目</th> <th rowspan="2">限界値を定める標準的な指標</th> </tr> <tr> <th>状態</th> <th>主たる作用</th> <th>従たる作用</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="5">使用性</td> <td rowspan="2">永続</td> <td rowspan="2">内部土圧</td> <td rowspan="2">内部水圧</td> <td>側壁の断面の使用性</td> <td>曲げひび割れ幅の制限値 (使用限界状態)</td> </tr> <tr> <td>側壁の隔壁からの抜け出し (鉄筋の降伏)</td> <td>設計降伏応力度</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">変動</td> <td rowspan="3">変動波浪^{※1} 変動波浪^{※2} 波浪の繰返し作用^{※4}</td> <td rowspan="3">内部水圧, 内部土圧</td> <td>側壁の断面破壊^{※2}</td> <td>設計断面耐力 (終局限界状態)</td> </tr> <tr> <td>側壁の断面の使用性</td> <td>曲げひび割れ幅の制限値 (使用限界状態)</td> </tr> <tr> <td>側壁の疲労破壊^{※2}</td> <td>設計疲労強度 (疲労限界状態)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>L1地震動</td> <td>内部水圧, 内部土圧</td> <td>側壁の断面破壊</td> <td>設計断面耐力 (終局限界状態)</td> </tr> </tbody> </table> <p><small>※1 ここでの波浪は、この告示第八号第一項第一号に定めている波浪のうち、当該施設の構造の安定性の性能照査に用いたものとする。 ※2 波浪の影響を及ぼす側壁の場合に限る。 ※3 ここでの波浪は、この告示第八号第一項第二号に定めている波浪のうち、設計供用期間にそれ以上の波浪の波が来襲する回数が10%程度のものであることを標準とする。 ※4 ここでの波浪は、この告示第八号第一項第二号に定めている波浪のうち、設計供用期間に生じる波浪の波高と周期に関する出現回数に応じた適切なものを設定する必要がある。</small></p>	要求性能	設計状態			照査項目	限界値を定める標準的な指標	状態	主たる作用	従たる作用	使用性	永続	自重	水圧, 地盤反力, 載荷重, 土圧	底版及びフーチングの断面破壊	設計断面耐力 (終局限界状態)	底版及びフーチングの断面の使用性	曲げひび割れ幅の制限値 (使用限界状態)	底版及びフーチングの隔壁からの抜け出し (鉄筋の降伏)	設計降伏応力度	要求性能	設計状態			照査項目	限界値を定める標準的な指標	状態	主たる作用	従たる作用	使用性	変動	変動波浪 ^{※1} 変動波浪 ^{※2} 波浪の繰返し作用 ^{※3}	自重, 水圧, 地盤反力, 載荷重, 土圧	底版及びフーチングの断面破壊	設計断面耐力 (終局限界状態)	底版の隔壁からの抜け出し (鉄筋の降伏)	設計降伏応力度	底版及びフーチングの断面の使用性	曲げひび割れ幅の制限値 (使用限界状態)	底版及びフーチングの疲労破壊	設計疲労強度 (疲労限界状態)	要求性能	設計状態			照査項目	限界値を定める標準的な指標	状態	主たる作用	従たる作用	使用性	変動	L1地震動	自重, 水圧, 地盤反力	底版及びフーチングの断面破壊	設計断面耐力 (終局限界状態)	底版の隔壁からの抜け出し (鉄筋の降伏)	設計降伏応力度	要求性能	設計状態			照査項目	限界値を定める標準的な指標	状態	主たる作用	従たる作用	使用性	永続	内部土圧	内部水圧	側壁の断面の使用性	曲げひび割れ幅の制限値 (使用限界状態)	側壁の隔壁からの抜け出し (鉄筋の降伏)	設計降伏応力度	変動	変動波浪 ^{※1} 変動波浪 ^{※2} 波浪の繰返し作用 ^{※4}	内部水圧, 内部土圧	側壁の断面破壊 ^{※2}	設計断面耐力 (終局限界状態)	側壁の断面の使用性	曲げひび割れ幅の制限値 (使用限界状態)	側壁の疲労破壊 ^{※2}	設計疲労強度 (疲労限界状態)		L1地震動	内部水圧, 内部土圧	側壁の断面破壊	設計断面耐力 (終局限界状態)	
要求性能	設計状態			照査項目	限界値を定める標準的な指標																																																																																						
	状態	主たる作用	従たる作用																																																																																								
使用性	永続	自重	水圧, 地盤反力, 載荷重, 土圧	底版及びフーチングの断面破壊	設計断面耐力 (終局限界状態)																																																																																						
				底版及びフーチングの断面の使用性	曲げひび割れ幅の制限値 (使用限界状態)																																																																																						
				底版及びフーチングの隔壁からの抜け出し (鉄筋の降伏)	設計降伏応力度																																																																																						
要求性能	設計状態			照査項目	限界値を定める標準的な指標																																																																																						
	状態	主たる作用	従たる作用																																																																																								
使用性	変動	変動波浪 ^{※1} 変動波浪 ^{※2} 波浪の繰返し作用 ^{※3}	自重, 水圧, 地盤反力, 載荷重, 土圧	底版及びフーチングの断面破壊	設計断面耐力 (終局限界状態)																																																																																						
				底版の隔壁からの抜け出し (鉄筋の降伏)	設計降伏応力度																																																																																						
				底版及びフーチングの断面の使用性	曲げひび割れ幅の制限値 (使用限界状態)																																																																																						
				底版及びフーチングの疲労破壊	設計疲労強度 (疲労限界状態)																																																																																						
要求性能	設計状態			照査項目	限界値を定める標準的な指標																																																																																						
	状態	主たる作用	従たる作用																																																																																								
使用性	変動	L1地震動	自重, 水圧, 地盤反力	底版及びフーチングの断面破壊	設計断面耐力 (終局限界状態)																																																																																						
				底版の隔壁からの抜け出し (鉄筋の降伏)	設計降伏応力度																																																																																						
要求性能	設計状態			照査項目	限界値を定める標準的な指標																																																																																						
	状態	主たる作用	従たる作用																																																																																								
使用性	永続	内部土圧	内部水圧	側壁の断面の使用性	曲げひび割れ幅の制限値 (使用限界状態)																																																																																						
				側壁の隔壁からの抜け出し (鉄筋の降伏)	設計降伏応力度																																																																																						
	変動	変動波浪 ^{※1} 変動波浪 ^{※2} 波浪の繰返し作用 ^{※4}	内部水圧, 内部土圧	側壁の断面破壊 ^{※2}	設計断面耐力 (終局限界状態)																																																																																						
				側壁の断面の使用性	曲げひび割れ幅の制限値 (使用限界状態)																																																																																						
				側壁の疲労破壊 ^{※2}	設計疲労強度 (疲労限界状態)																																																																																						
	L1地震動	内部水圧, 内部土圧	側壁の断面破壊	設計断面耐力 (終局限界状態)																																																																																							

一般的な形状のケーソン各部の名称を第4図に示し、構成部材と役割等について第7表のとおり整理する。



第4図 ケーソン各部の名称 (港湾基準 図-参 1.2.1 を加筆・修正)

第7表 ケーソン構成部材の役割, 照査要否, 及び照査方法

構成部材	供用時の主な役割	港湾基準		新規基準	
		供用時の照査要否	照査項目 (許容限界)	供用時の照査要否	照査項目 (許容限界)
底板	上部工 (重力隔壁) を支持する。中詰め材の流出を防止する。	要		要	
フーチング	地震荷重及び津波荷重の作用するケーソンの転倒に対して安定性を確保する。	要	断面破壊 (設計断面耐力) 使用性	要	曲げ破壊, せん断破壊 (短期許容応力度)
側壁	海側から作用する津波荷重, 陸側から作用する地震時荷重, 及びケーソン内部の内部土圧等を直接受ける。また, 地震荷重及び津波荷重を受ける重力隔壁を支持する。中詰め材の流出を防止する。	要	抜け出し (設計降伏応力度)	要	
隔壁	海側および陸側からの荷重 (地震荷重・津波荷重) に対しては, 海陸方向に配置された隔壁が反対側の側壁へ荷重を伝達する。海側および陸側と直交する方向からの荷重 (地震荷重) に対しては, 海陸方向と直交する方向に配置された隔壁が反対側の側壁へ荷重を伝達する。	否	-	否	-

【参考3】 港湾基準上の防波壁の位置付け及び要求性能

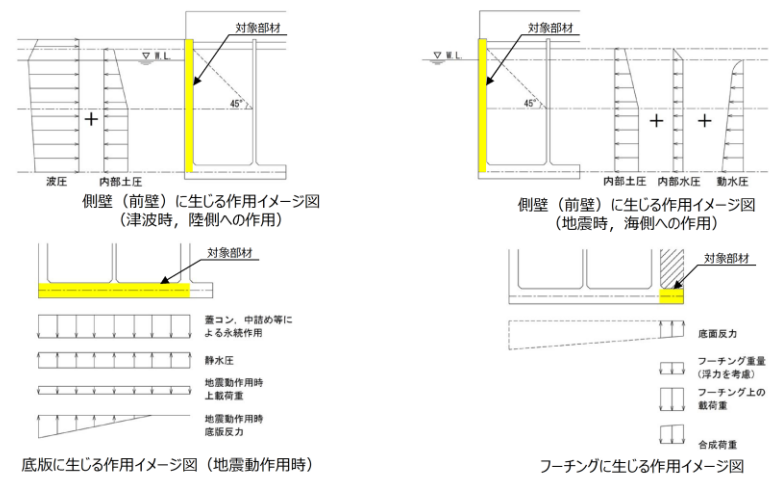
港湾基準において、津波対策施設の要求性能は、使用性に加えて、津波、レベル2地震動等の作用による損傷等が、軽微な修復による当該施設の機能の回復に影響を及ぼさないこと (修復性)が追加される。第5図に、港湾基準における津波対策施設の要求性能を示す。

津波対策施設を構成する部材については、主たる作用が津波又はレベル2地震動である偶発状態に対して、作用による損傷の程度が限界値以下であることとされている。

東海第二発電所 (2018. 9. 12 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																																																																																																																																								
		<p>【港湾の施設の技術上の基準を定める省令 第七条 第二項 第二号】 津波から当該施設の背後地を防護する必要がある施設を構成する部材の要求性能にあつては、津波、レベル2地震動等の作用による損傷等が、軽微な修復による当該施設の機能の回復に影響を及ぼさないこと。</p> <p>【港湾の施設の技術上の基準の細目を定める告示 第二十二條 第一項 第二号】 津波から背後地を防護する必要がある施設を構成する部材にあつては、主たる作用が津波又はレベル2地震動である偶発状態に対して、作用による損傷の程度が限界値以下であること。</p> <p>津波対策施設の構造部材に共通する性能規定及び設計状態（偶発状態に限る）に関する設定</p> <table border="1" data-bbox="1804 436 2427 571"> <thead> <tr> <th rowspan="2">省令 条 項 号</th> <th rowspan="2">告示 条 項 号</th> <th rowspan="2">要求 性能</th> <th colspan="2">設計状態</th> <th rowspan="2">照査項目</th> <th rowspan="2">標準的な限界値の指標</th> </tr> <tr> <th>状態</th> <th>主たる作用</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>7 2 2</td> <td>22 1 2</td> <td>修復性</td> <td>偶発</td> <td>津波 (L2地震動)</td> <td>-</td> <td>損傷</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;">港湾の施設の技術上の基準・同解説（平成19年）より引用</p> <p>第5図 港湾基準における津波対策施設の要求性能</p> <p>【参考4】 既設の護岸の性能照査検討ケース</p> <p>港湾基準 (H11) に準じて設計した3号増設時のケーソン設計における検討ケースの例を第8表に示す。なお、港湾基準で「側壁」と記載されている部材は、港湾基準 (H11) では「外壁」として表記されている。</p> <p>第8表 ケーソン性能照査における検討ケース（標準部①（地盤改良部）ケーソンの例）</p> <table border="1" data-bbox="1736 1102 2499 1663"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="4">終局限界状態</th> <th colspan="4">使用限界状態</th> <th colspan="4">疲労限界状態</th> </tr> <tr> <th>底版</th> <th>外壁</th> <th>隔壁</th> <th>フチゲ</th> <th>底版</th> <th>外壁</th> <th>隔壁</th> <th>フチゲ</th> <th>底版</th> <th>外壁</th> <th>隔壁</th> <th>フチゲ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>製作時</td> <td>○</td> <td></td> <td></td> <td>○</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>進水時 浮遊時</td> <td>○</td> <td>○</td> <td></td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td></td> <td>○</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>注水時</td> <td></td> <td></td> <td>○</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>○</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>中詰コンクリート打設前</td> <td></td> <td></td> <td>○</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>○</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="4">据付後</td> <td rowspan="2">施工時</td> <td>波の山※1</td> <td>○</td> <td>○</td> <td></td> <td>○</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>波の谷※2</td> <td>○</td> <td>○</td> <td></td> <td>○</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">完成時</td> <td>波の山※1</td> <td>○</td> <td>○</td> <td></td> <td>○</td> <td>○</td> <td></td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>波の谷※2</td> <td>○</td> <td>○</td> <td></td> <td>○</td> <td>○</td> <td></td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td></td> <td>地震時</td> <td>○</td> <td>○</td> <td></td> <td>○</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>※1 波浪に関する変動状態における波の山作用時であり、作用の方向は外部からの作用である。 ※2 波浪に関する変動状態における波の谷作用時であり、作用の方向は内部からの作用である。</p>	省令 条 項 号	告示 条 項 号	要求 性能	設計状態		照査項目	標準的な限界値の指標	状態	主たる作用	7 2 2	22 1 2	修復性	偶発	津波 (L2地震動)	-	損傷		終局限界状態				使用限界状態				疲労限界状態				底版	外壁	隔壁	フチゲ	底版	外壁	隔壁	フチゲ	底版	外壁	隔壁	フチゲ	製作時	○			○									進水時 浮遊時	○	○		○	○	○		○					注水時			○					○					中詰コンクリート打設前			○					○					据付後	施工時	波の山※1	○	○		○							波の谷※2	○	○		○							完成時	波の山※1	○	○		○	○		○	○	○	○	波の谷※2	○	○		○	○		○	○	○	○		地震時	○	○		○							
省令 条 項 号	告示 条 項 号	要求 性能				設計状態				照査項目	標準的な限界値の指標																																																																																																																																																
			状態	主たる作用																																																																																																																																																							
7 2 2	22 1 2	修復性	偶発	津波 (L2地震動)	-	損傷																																																																																																																																																					
	終局限界状態				使用限界状態				疲労限界状態																																																																																																																																																		
	底版	外壁	隔壁	フチゲ	底版	外壁	隔壁	フチゲ	底版	外壁	隔壁	フチゲ																																																																																																																																															
製作時	○			○																																																																																																																																																							
進水時 浮遊時	○	○		○	○	○		○																																																																																																																																																			
注水時			○					○																																																																																																																																																			
中詰コンクリート打設前			○					○																																																																																																																																																			
据付後	施工時	波の山※1	○	○		○																																																																																																																																																					
		波の谷※2	○	○		○																																																																																																																																																					
	完成時	波の山※1	○	○		○	○		○	○	○	○																																																																																																																																															
		波の谷※2	○	○		○	○		○	○	○	○																																																																																																																																															
	地震時	○	○		○																																																																																																																																																						

東海第二発電所 (2018. 9. 12 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																																																																										
		<p>【参考5】 ケーソンの設計における設計状態</p> <p>護岸の作用の組合せと荷重係数の一覧表を第9表に示す。本表は港湾基準に記載されている「岸壁」の作用の組合せと荷重係数の一覧表を引用したものである。</p> <p>供用時（完成時）の検討対象部材は、<u>底版及び側壁と示されている。</u></p> <p>第9表 作用の組合せと荷重係数(港湾基準 p.498表-1.2.1より引用)</p> <p>・護岸（岸壁）</p> <table border="1" data-bbox="1736 676 2496 1052"> <thead> <tr> <th rowspan="2">状態</th> <th rowspan="2">設計状態</th> <th rowspan="2">自重</th> <th rowspan="2">静水圧</th> <th rowspan="2">内部水圧</th> <th rowspan="2">内部土圧</th> <th rowspan="2">底版反力</th> <th rowspan="2">上載荷重</th> <th rowspan="2">動水圧</th> <th rowspan="2">地震動作用時の底版反力</th> <th colspan="2">施工時荷重</th> <th rowspan="2">備考</th> </tr> <tr> <th>掘付時</th> <th>静水時</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">供用時</td> <td>自重に関する永続状態</td> <td>0.9 (1.0)</td> <td>1.1 (1.0)</td> <td></td> <td></td> <td>1.1 (1.0)</td> <td>0.8 (0.5)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>底版(上載荷重は底版反力分)</td> </tr> <tr> <td>内部土圧に関する永続状態</td> <td></td> <td></td> <td>1.1 (1.0)</td> <td>1.1 (1.0)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>側壁</td> </tr> <tr> <td>レベル1地震動に関する変動状態</td> <td>1.0 (-)</td> <td>1.0 (-)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1.0 (-)</td> <td></td> <td>1.0 (-)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>底版(上載荷重は地震動作用時)</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">施工時</td> <td>浮遊時の水圧に関する変動状態</td> <td></td> <td></td> <td>1.0 (-)</td> <td>1.0 (-)</td> <td></td> <td></td> <td>1.0 (-)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>側壁</td> </tr> <tr> <td>掘付時の水圧に関する変動状態</td> <td>0.9 (0.5)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1.1 (0.5)</td> <td>底版(浮遊時)</td> </tr> <tr> <td>掘付時の水圧に関する変動状態</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1.1 (0.5)</td> <td></td> <td>側壁(浮遊時)</td> </tr> </tbody> </table> <p>・下段の()内は、使用限界状態検討時の荷重を示している。 ・なお、偶発状態においては、荷重係数を1.0としてよい。</p> <p>【参考6】 ケーソンの設計における作用イメージ図</p> <p>ケーソンの各部材の性能照査に用いる作用のイメージ図を第6図に示す。作用の考え方は港湾基準に準じている。</p> <p>港湾基準においては、「内部土圧は、壁の内の方に等しい深さまで増加するが、それ以降は増加しないものとする」と記載されている。</p> <p>津波時における内部土圧は、<u>静的解析を行うことから静止土圧を作用させる。2次元 FEM モデルにおける地震応答解析では、内部土圧を付加質量として壁に作用させ、動土圧として評価する。</u></p>	状態	設計状態	自重	静水圧	内部水圧	内部土圧	底版反力	上載荷重	動水圧	地震動作用時の底版反力	施工時荷重		備考	掘付時	静水時	供用時	自重に関する永続状態	0.9 (1.0)	1.1 (1.0)			1.1 (1.0)	0.8 (0.5)					底版(上載荷重は底版反力分)	内部土圧に関する永続状態			1.1 (1.0)	1.1 (1.0)							側壁	レベル1地震動に関する変動状態	1.0 (-)	1.0 (-)				1.0 (-)		1.0 (-)				底版(上載荷重は地震動作用時)	施工時	浮遊時の水圧に関する変動状態			1.0 (-)	1.0 (-)			1.0 (-)				側壁	掘付時の水圧に関する変動状態	0.9 (0.5)									1.1 (0.5)	底版(浮遊時)	掘付時の水圧に関する変動状態									1.1 (0.5)		側壁(浮遊時)	
状態	設計状態	自重											静水圧	内部水圧		内部土圧	底版反力		上載荷重	動水圧	地震動作用時の底版反力	施工時荷重		備考																																																																					
			掘付時	静水時																																																																																									
供用時	自重に関する永続状態	0.9 (1.0)	1.1 (1.0)			1.1 (1.0)	0.8 (0.5)					底版(上載荷重は底版反力分)																																																																																	
	内部土圧に関する永続状態			1.1 (1.0)	1.1 (1.0)							側壁																																																																																	
	レベル1地震動に関する変動状態	1.0 (-)	1.0 (-)				1.0 (-)		1.0 (-)				底版(上載荷重は地震動作用時)																																																																																
施工時	浮遊時の水圧に関する変動状態			1.0 (-)	1.0 (-)			1.0 (-)				側壁																																																																																	
	掘付時の水圧に関する変動状態	0.9 (0.5)									1.1 (0.5)	底版(浮遊時)																																																																																	
	掘付時の水圧に関する変動状態									1.1 (0.5)		側壁(浮遊時)																																																																																	

東海第二発電所 (2018. 9. 12 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
-------------------------	------------------------------	--------------	----



第6図 ケーソンの各部材の性能照査に用いる作用イメージ図

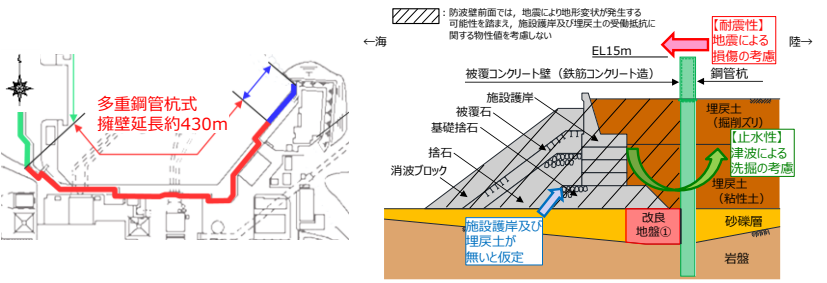
【参考7】 最新の港湾基準 (H30) における照査方法の採用

港湾基準の最新版は平成30年度版であり、護岸や重力式係船岸に係る平成19年度版からの改訂内容は、生産性の向上の推進に向けた規定の拡充として、「荷重抵抗係数アプローチによる部分係数法の導入」と防災・減災対策の強化に係る規定の拡充として、「防波堤における津波作用時の波力式の改訂」である。

「荷重抵抗係数アプローチによる部分係数の導入」では、設計の効率化を図るため、従来の部分係数法（個々のパラメータに部分係数を乗じる方法）から、作用の項及び抵抗の項に集約した部分係数を乗じる方法を導入している。また、「防波堤における津波作用時の波力式の改訂」では、平成23年3月の東北地方太平洋沖地震を踏まえて、津波波圧算定に関する記載が追加されている。ケーソン各部位の照査においては、これらの改訂内容を反映した照査を行うものとする。

港湾基準 (H19) では津波の波力として、海中の防波堤等の直立壁に作用する津波波圧算定式である谷本式が示されていたが、港湾基準 (H30) では、海中の直立壁に作用する津波波力については、東北地方太平洋沖地震後に作成された「防波堤の耐津波設計ガイドライン※1」に基づき、波状段波や越流の発生の有無を考慮した津波波力の算定手順が示されている。また、陸上の直立壁に作用する津波波力については、「津波を考慮した胸壁の設計の考え方 (暫定版) ※2」に従って、越流の発生の有無を考慮した波力算定式が示されている。

東海第二発電所 (2018. 9. 12 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p data-bbox="1736 256 2502 466">島根2号炉における津波波圧は、<u>港湾基準 (H30) に基づき算定することを基本とするが、3次元津波シミュレーション解析等の方法により、ソリトン分裂や碎波の影響を確認し、適切な津波波圧算定式により津波波力を算定することとする。防波堤に対する津波波力算定手順を第7図に示す。</u></p> <p data-bbox="1757 478 2481 554">※1 <u>国土交通省港湾局：防波堤の耐津波設計ガイドライン，2015</u></p> <p data-bbox="1757 567 2496 642">※2 <u>水産庁漁港漁場整備部防災漁村課・国土交通省港湾局海岸・防災課：津波を考慮した胸壁の設計の考え方，2015</u></p> <div data-bbox="1774 705 2466 949"> <pre> graph TD A[津波シミュレーションの実施] --> B{波状段波の発生の有無 ※ (津波高さが水深の60% 程度以上かつ海底勾配 1/100程度以下)} B -- YES --> C【修正谷本式】 B -- NO --> D{越流の発生 の有無} D -- YES --> E【静水圧差による算定式】 D -- NO --> F【谷本式】 </pre> </div> <p data-bbox="1757 970 2502 1045">第7図 <u>防波堤に対する津波波力算定手順 (港湾基準 (H30) より抜粋)</u></p>	

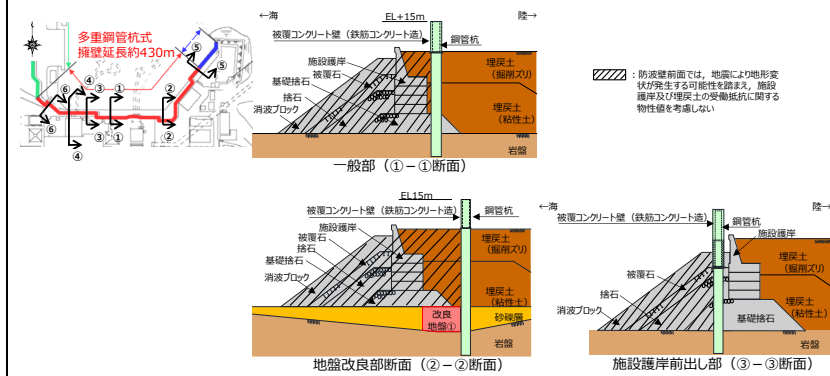
東海第二発電所 (2018. 9. 12 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p style="text-align: right;">(参考資料10)</p> <p style="text-align: center;"><u>施設護岸の役割の検討</u></p> <p><u>1. 検討方針</u></p> <p>防波壁（多重鋼管杭式）の前面または背面には，施設護岸が近接して設置されている。地震時の検討においては，施設護岸はその形状を適切にモデル化し，有効応力解析により耐震性を評価する。これにより，防波壁への波及的影響を考慮する。また，津波時においては，防波壁の設置状況に応じた地盤ばねを設定し，津波波圧を作用させて静的フレーム解析により耐津波性を評価する。一方で，施設護岸については，耐震性が低く，その損傷による防波壁へ影響を及ぼす可能性が考えられることから，それが損傷した場合の防波壁への影響を確認する。</p> <p>ここでは，施設護岸が地震により損傷した場合の防波壁の「耐震性」，「耐津波性」及び「止水性」に与える影響を確認し，施設護岸の取り扱いを評価する。施設護岸の地震による損傷の程度を評価することが困難であることから，保守的に，施設護岸が無いものと仮定した状態における防波壁への影響（耐震性）及び地震による損傷後に津波が襲来した場合の津波の地盤中からの回り込みによる影響（止水性）について検討する。なお，「耐津波性」については，防波壁前面において地形変状が発生する可能性を踏まえ，施設護岸等が無いものとして津波波圧を作用させた検討を実施し，構造成立性を確認している（添付資料25「2. 構造成立性評価」参照）。</p> <div style="text-align: center;">  <p>第1図 検討概要図</p> </div>	<p>・設備の相違</p> <p>【女川2】</p> <p>設備の相違による記載の相違</p>

2. 耐震性の検討方針

施設護岸が地震により損傷することによる防波壁への影響（耐震性）の検討は、防波壁前面の施設護岸及び埋戻土が無いと仮定した場合の解析を実施することにより行う。

施設護岸等が無いと仮定した検討は、第2図に示すとおり施設護岸が防波壁より海側及び陸側に位置する断面について実施する。施設護岸が防波壁より海側に位置する断面として、鋼管杭が長く埋戻土層厚が厚いことから、鋼管杭への影響が最も大きいと判断する「一般部（①-①断面）」及び施設護岸の下部に砂礫層が位置し、鋼管杭の前面に地盤改良を実施した「地盤改良部断面（②-②断面）」を選定する。また、施設護岸が防波壁より陸側に位置する断面として「施設護岸前出し部（③-③断面）」を選定する。

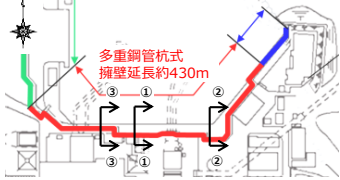
なお、「取水路横断部（④-④断面）」、「北東端部（⑤-⑤断面）」及び「西端部（⑥-⑥断面）」については、第1表に示すとおり、鋼管杭長及び周辺状況を踏まえ、地震時の鋼管杭への影響が最も大きいと考える①-①、②-②及び③-③断面の検討結果に包含されると判断した。



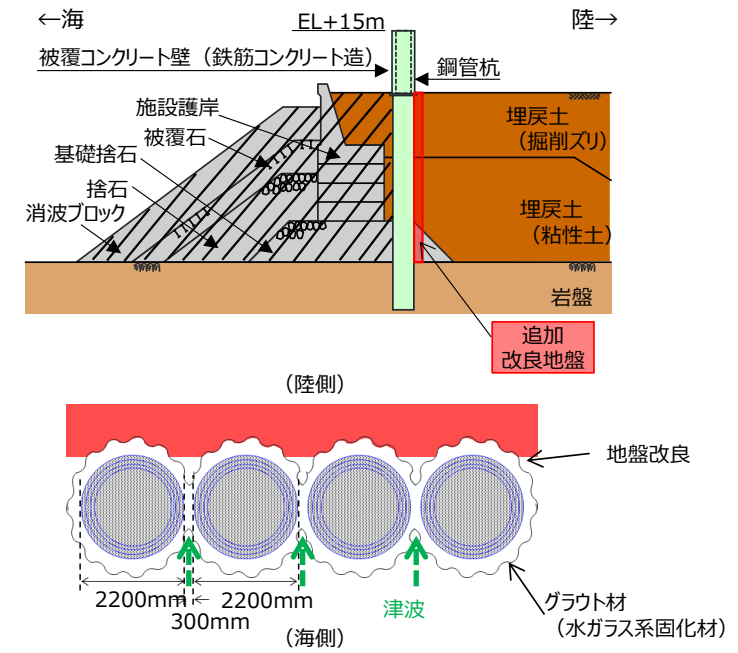
第2図 選定した各断面の検討概要図

第1表 施設護岸等が無いと仮定した検討対象断面の選定理由

検討対象断面	防波壁（多重鋼管杭式擁壁）		
	一般部（①-①断面）	改良地盤部（②-②断面）	施設護岸前出し部（③-③断面）
類似断面	西端部（⑥-⑥断面）	-	取水路横断部（④-④断面）、北東端部（⑤-⑤断面）
選定理由	①-①断面は、施設護岸が防波壁より海側に位置する断面であり、同様の周辺状況である⑥-⑥に比べて鋼管杭が長く埋戻土層厚が厚いことから、鋼管杭への影響が大きい①-①断面を検討対象断面に選定する。	②-②断面は、鋼管杭の前面に改良地盤を実施した断面であり、①-①、③-③～⑥-⑥断面とは異なる周辺状況であることから、②-②断面を検討対象断面に選定する。	③-③断面は、施設護岸が防波壁陸側に位置する断面である。同様の周辺状況である④-④断面は防波壁北側に2号炉取水槽が隣接しており、また、⑤-⑤断面は防波壁位置に施設護岸が配置されており、これらに比べて鋼管杭への地震時土圧が大きい③-③断面を検討対象断面に選定する。

東海第二発電所 (2018. 9. 12 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考														
		<p>3. 耐震性の検討結果</p> <p>施設護岸が地震により損傷することによる防波壁への影響（耐震性）の検討は、施設護岸及び埋戻土の受働抵抗に関する物性値を考慮しないよう、剛性を低下させる（剛性を一律 1/1000 以下とする）。なお、施設護岸及び埋戻土の重量は変更しない。</p> <p>防波壁周辺の施設護岸及び埋戻土が無いと仮定した場合の解析の結果を第 3 図に示す。なお、ここでは鋼管杭の構造成立性検討結果において最も厳しい損傷モードである曲げにより照査を行った。</p> <p>基準地震動 S s -D による地震応答解析の結果、施設護岸が無いと仮定した場合の鋼管杭の曲げに対する安全率は 1 以上となり、構造が成立することを確認した。</p>  <table border="1" data-bbox="1736 982 2478 1192"> <thead> <tr> <th>断面</th> <th>評価部位</th> <th>最小安全率となる部位</th> <th>地震動</th> <th>最小安全率 (施設護岸がない場合)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>一般部 (①-①断面)</td> <td rowspan="3">鋼管杭</td> <td rowspan="3">地中部※ 【4重管構造】</td> <td rowspan="3">S s -D</td> <td>1.43</td> </tr> <tr> <td>地盤改良部断面 (②-②断面)</td> <td>1.82</td> </tr> <tr> <td>施設護岸前出し部 (③-③断面)</td> <td>1.61</td> </tr> </tbody> </table> <p>※ 地中部【4重管構造】は、安全率が最も小さくなる外側から2つ目の鋼管杭φ2000(SKK490)の数値を示す。</p> <p>第 3 図 降伏モーメントに対する照査結果（最小安全率時）</p> <p>4. 止水性の検討結果</p> <p>防波壁（多重鋼管杭式擁壁）については、鋼管杭間をグラウト材（水ガラス系固化材）で充填しているが、施設護岸等が無いと仮定し、杭間に直接津波波圧が作用した場合の津波の地盤中からの回り込みに対して万全を期すため、防波壁の背後に止水性を有する地盤改良を実施する対策を行う。</p> <p>防波壁背後の地盤改良後、防波壁前面の施設護岸及び埋戻土が無いと仮定した場合の浸透流解析を実施した。ここで、津波水位は保守的に EL15m とし、透水係数は下表のとおり設定した。</p> <p>解析の結果、EL+15m に津波が滞留した状態においても、防波壁より敷地側に浸水は認められないことを確認した。</p> <p>なお、防波壁の背後に実施する地盤改良の仕様は詳細設計段階</p>	断面	評価部位	最小安全率となる部位	地震動	最小安全率 (施設護岸がない場合)	一般部 (①-①断面)	鋼管杭	地中部※ 【4重管構造】	S s -D	1.43	地盤改良部断面 (②-②断面)	1.82	施設護岸前出し部 (③-③断面)	1.61	
断面	評価部位	最小安全率となる部位	地震動	最小安全率 (施設護岸がない場合)													
一般部 (①-①断面)	鋼管杭	地中部※ 【4重管構造】	S s -D	1.43													
地盤改良部断面 (②-②断面)				1.82													
施設護岸前出し部 (③-③断面)				1.61													

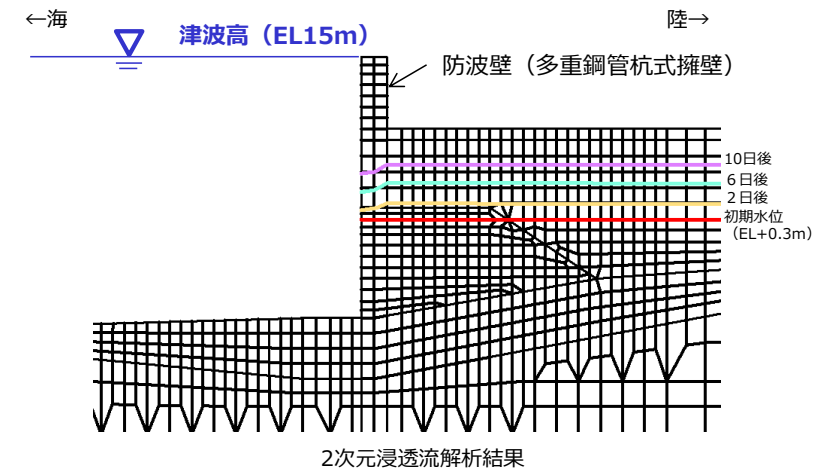
において説明する。



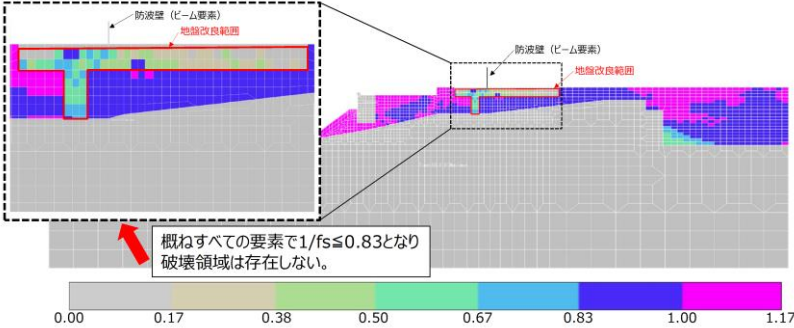
第4図 改良地盤の設置イメージ図 (例)

第2表 透水係数一覧

地盤材料	透水係数(m/s)	摘要
岩盤	1×10^{-5}	CL級岩盤と仮定
埋戻土	2×10^{-3}	
防波壁・改良地盤	1×10^{-7}	



第5図 2次元浸透流解析結果 (②-②断面)

東海第二発電所 (2018. 9. 12 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考												
		<p style="text-align: right;"><u>(参考資料1 1)</u></p> <p style="text-align: center;"><u>防波壁 (鋼管杭式逆 T 擁壁) の地盤改良</u></p> <p><u>防波壁 (鋼管杭式逆 T 擁壁) RC 床板部の改良地盤 (鋼管杭前面) の地震時における全時刻での局所安全率の逆数(1/fs)の分布を第1 図に、照査項目、許容限界を第1 表に示す。</u></p> <p><u>改良地盤は、局所安全率の逆数が概ね $1/fs \leq 0.83$ ($fs \geq 1.2$) となり、また、$0.83 \leq 1/fs \leq 1$ ($1 \leq fs \leq 1.2$) となる領域はわずかとなっており、破壊領域が存在しないことを確認した。</u></p>  <p style="text-align: center;"><u>第1 図 検討概要図</u></p> <p style="text-align: center;"><u>第1 表 改良地盤 (鋼管杭前面) の照査項目、許容限界</u></p> <table border="1" data-bbox="1745 1239 2487 1312"> <thead> <tr> <th>評価部位</th> <th>検討ケース</th> <th>解析方法</th> <th>照査項目</th> <th>設計で用いる許容限界</th> <th>適用標準</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>改良地盤</td> <td>地震時</td> <td>2次元動的 FEM解析 (有効応力解析)</td> <td>すべり安全率</td> <td>すべり安全率1.2以上</td> <td>耐津波設計に係る工事審査ガイド</td> </tr> </tbody> </table>	評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用標準	改良地盤	地震時	2次元動的 FEM解析 (有効応力解析)	すべり安全率	すべり安全率1.2以上	耐津波設計に係る工事審査ガイド	<p>・設備の相違 【女川2】 設備の相違による記載の相違</p>
評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用標準										
改良地盤	地震時	2次元動的 FEM解析 (有効応力解析)	すべり安全率	すべり安全率1.2以上	耐津波設計に係る工事審査ガイド										