

島根原子力発電所 2号炉

津波による損傷の防止

漂流物対策工の方針について

令和3年3月
中国電力株式会社

今回の説明概要

- 第939回審査会合（令和3年1月28日）において、漂流物衝突荷重の影響を踏まえ、津波防護施設本体の性能目標を維持できない場合は、津波防護施設に漂流物対策工（防波壁の擁壁と一体型構造）を設置し、津波防護施設の一部として位置付ける方針を説明している。
- 基準適合状態の維持の観点から、操業する漁船の将来的な変更の不確かさについて裕度を**持たせること**としているが、**漂流物衝突荷重の増大により、必要とする漂流物対策工（防波壁の擁壁と一体型構造）の規模が大きくなった場合には、津波防護施設の地震時の安全性への影響が懸念される。**特に、**防波壁（多重鋼管杭式擁壁）については、杭基礎構造であることから地震時の安全性の裕度が小さくなる可能性がある。**

今回の説明概要

漂流物対策工の構造形式の検討

- 詳細設計段階において検討する漂流物対策工の構造形式について、防波壁の擁壁と一体型構造に加えて、防波壁の擁壁の地震時・津波時の安全性を向上させる目的として、漂流物対策工を防波壁の前面に設置する構造（分離型構造）も追加し、**設置許可基準規則への適合性について**検討する。

漂流物対策工（分離型構造）の位置付け

- **漂流物対策工（分離型構造）**の設置位置が防波壁の前面となり、津波防護施設と基礎が異なる場合、「基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド」における津波防護施設に漂流物の衝突による波及的影響を及ぼさないように、津波防護施設への影響防止装置として位置付ける。

検討結果

- **漂流物対策工（分離型構造）の採用は取止めることとし、第939回審査会合において説明済みの漂流物対策工（一体型構造）による検討を進める。**

新たな構造形式を検討した経緯及び理由

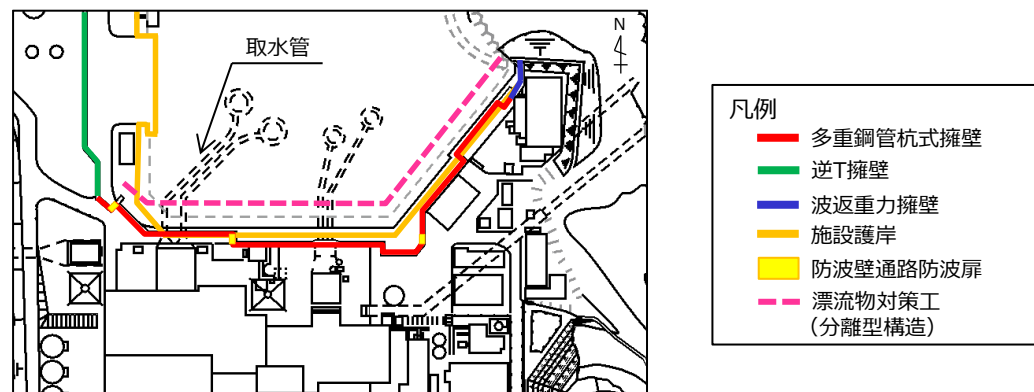
- 漂流物対策工について、新たな構造形式を追加した経緯及び理由を以下に示す。

▶ 新たな構造形式を追加した経緯

- 漂流物衝突荷重については既往の漂流物衝突荷重の算定式、又は非線形構造解析を適切に選定して算出することとしている。ただし、詳細設計段階において算出する漂流物衝突荷重が大きくなった場合、津波防護施設本体の性能目標の維持のため、漂流物対策工（一体型構造）の規模が大きくなる。
- 漂流物対策工（一体型構造）は防波壁の擁壁と一体化することから、地震時において、防波壁の擁壁の安全性への影響が懸念される。
- 防波壁（逆T擁壁）及び防波壁（波返重力擁壁）については、その構造から漂流物対策工による地震時の影響が小さいと想定される。一方、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）については、突出長の長い杭基礎構造であるため、漂流物対策工の設置により上部工重量が大きくなるため、地震時において安全性の裕度が小さくなる可能性がある。

▶ 新たな構造形式を追加した理由

- 詳細設計段階で考慮する漂流物衝突荷重により、漂流物対策工（一体型構造）の規模が大きくなり、津波防護施設本体の地震時の安全性の裕度が小さくなる場合に備えて、津波防護施設と分離した新たな構造形式（分離型構造）を追加検討し、津波防護施設の地震時の安全性向上を図る。



漂流物対策工（分離型構造）の設置イメージ（例）

構造形式の追加検討の変遷

	第939回審査会合 (2021.1.28)	今回追加検討した構造形式	
構造形式	防波壁の擁壁と一体型構造	防波壁の擁壁と分離型構造	
位置付け	津波防護施設の一部	津波防護施設の一部 又は 津波防護施設への影響防止装置	
目的	・津波防護施設本体の津波時の安全性を向上する	・津波防護施設と分離することで、一体型構造に比べ、津波防護施設の地震時の安全性向上を図る ・津波防護施設本体の津波時の安全性を向上する	
期待する効果	・漂流物衝突荷重を軽減・分散して、津波防護施設に荷重を伝達する	・漂流物衝突荷重を受け持ち、津波防護施設に荷重を伝達しない	
仕様（例）	鋼材+コンクリート	支柱	支柱+ワイヤロープ
メリット	・漂流物衝突荷重を軽減・分散して伝達するため、津波防護施設の津波時の安全性が向上する	・防波壁の擁壁と分離させるため、地震時の安全性に影響がない ・漂流物衝突荷重を受け持つため、津波防護施設の津波時の安全性が向上する	・防波壁の擁壁と分離させるため、地震時の安全性に影響がない ・漂流物衝突荷重を受け持つため、津波防護施設の津波時の安全性が向上する ・ワイヤロープとすることで支柱間隔を広げられるため、支障物（取水管等）が存在する区間にも設置可能
デメリット	・漂流物対策工の規模が大きくなった場合、津波防護施設の地震時の安全性に影響がある	・支障物（取水管等）が存在する区間では、設置間隔が対象漂流物より大きくなるため、設置困難	・ワイヤロープの腐食対策が必要
評価	○	△	○
	・漂流物対策工を設置した津波防護施設の構造成立性は確認済 ・漂流物対策工は、一体化させることにより、構造成立性の見通しあり ・津波防護施設への地震時の影響が大きくなる場合は、漂流物対策工の軽量化や地盤改良等により対応可能	・津波防護施設の構造成立性に影響はない ・漂流物対策工は、支障物のない範囲において設置が可能 ・漂流物対策工は、一般産業施設において同形式の実績を有する	・津波防護施設の構造成立性に影響はない ・漂流物対策工は、支障物がある範囲においても設置が可能 ・漂流物対策工は、一般産業施設において同形式の実績を有する

漂流物対策工（分離型構造）の設計方針概要（1 / 3）

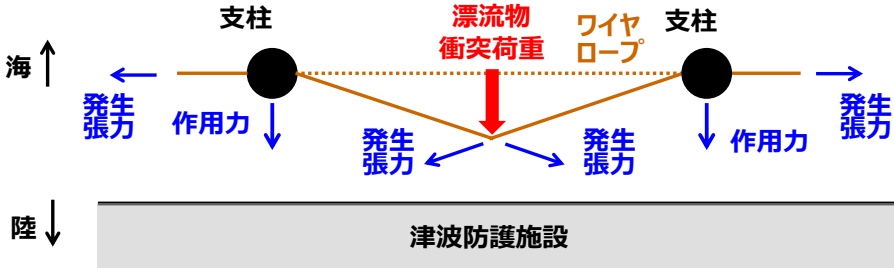
- 漂流物対策工（分離型構造）の役割及び設計方針概要を以下に示す。
 - 漂流物対策工（分離型構造）は、津波防護施設本体の性能目標である「概ね弾性状態に留まること」を確保するため、津波防護施設への漂流物の衝突を防止する役割とする。
 - 漂流物対策工（分離型構造）は、設置位置が防波壁の前面となり、津波防護施設と基礎が異なる場合、津波防護施設への影響防止装置として位置付ける。
 - 漂流物対策工（分離型構造）の設計方針は以下のとおり。（参考 1 参照）
 - ✓ 津波防護施設本体の性能目標の維持に影響を及ぼすおそれのある漂流物が防波壁へ衝突することを防止するため、漂流物対策工（分離型構造）を設置する。
 - ✓ 漂流物対策工（分離型構造）は、基準地震動 S_s による地震動に対して、構造全体として変形能力について十分な余裕を有するとともに、設備の機能が保持できるように設計する。
 - ✓ 漂流物対策工（分離型構造）は、津波（漂流物を含む）、地震（余震）及びその他自然現象（風、積雪等）を考慮し、これらの自然現象による荷重を適切に組み合わせる。

漂流物対策工（分離型構造）の設計方針概要（2 / 3）

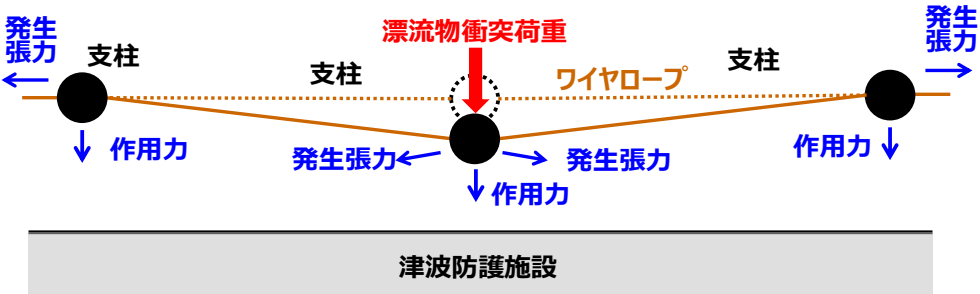
➤ 漂流物対策工（分離型構造）に期待する効果，効果を発揮するためのメカニズム及び漂流物衝突荷重の荷重伝達イメージを以下に示す。

期待する効果	効果を発揮するためのメカニズム	部材（材質）
・漂流物衝突荷重を受け持つ	・漂流物対策工を構成する部材が，漂流物の衝突荷重を受衝することで，漂流物対策工のみで衝突荷重を受け持つ。	・鋼材（ワイヤロープ含む） ・コンクリート
・漂流物衝突による津波防護施設の局所的な損傷を防止する	・漂流物を漂流物対策工が受衝することで，津波防護施設まで到達・貫入しない。	・鋼材（ワイヤロープ含む） ・コンクリート

【漂流物がワイヤロープに衝突する場合】



【漂流物が支柱に衝突する場合】



漂流物対策工（分離型構造）の荷重伝達イメージ（例）

漂流物対策工（分離型構造）の設計方針概要（3 / 3）

- 鋼材（ワイヤロープ含む）の性能目標として鋼材が破断しないこと、またコンクリートの性能目標としてコンクリート全体がせん断破壊しないこととする。
- 検討ケースは、荷重の組合せを考慮し、以下のケースを実施する。

検討ケース	荷重の組合せ※
地震時	常時荷重 + 地震荷重
津波時	常時荷重 + 津波荷重 + 漂流物衝突荷重 (海域活断層から想定される地震による津波においては入力津波高さ以深の防波壁の部位や漂流物対策工においても漂流物が衝突するものとして照査を実施する。)
重畳時 (津波 + 余震時)	常時荷重 + 津波荷重 + 余震荷重 (海域活断層から想定される地震による津波が到達する防波壁（波返重力擁壁）のケーソンや漂流物対策工等については、海域活断層から想定される地震による津波に対する評価を実施する)

※自然現象による荷重（風荷重及び積雪荷重）は設備の設置状況、構造（形状）等の条件を含めて適切に組み合わせを考慮する

漂流物対策工（分離型構造）の 設置許可基準規則への適合性確認の検討結果

課題

- 漂流物対策工（分離型構造）は、設計・施工実績を調査した結果、一般産業施設において同構造形式の実績はあるが、実用発電用原子炉に関する新規制基準適合性審査実績を有していない。（参考2参照）
- 新規制基準適合性審査において、同構造形式の評価規格・基準の適用に当たっては、今後十分な適用性・妥当性確認が必要となる。

検討結果

- 漂流物対策工（分離型構造）の採用は取止めることとし、第939回審査会合において説明済みの漂流物対策工（一体型構造）による検討を進める。
- なお、漂流物対策工（一体型構造）について、漂流物対策工を設置することにより地震時の安全性の裕度が小さくなると想定される防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造成立性の見通しについて確認している。（参考3参照）

まとめ

- 基準適合状態の維持の観点から、操業する漁船の将来的な変更の不確かさについて、津波防護施設に裕度を持たせた設計とする。
そのため、詳細設計段階で考慮する漂流物衝突荷重により、漂流物対策工（一体型構造）の規模が大きくなり、津波防護施設の地震時の安全性への影響が懸念される。
特に地震時の影響が大きい防波壁について、漂流物対策工の新たな構造形式（分離型構造）を追加検討することとした。
- 漂流物対策工（分離型構造）は、実用発電用原子炉における新規制基準適合審査実績を有しておらず、同構造形式の評価方法及び評価基準の適用には十分な適用性・妥当性の確認が必要という課題がある。
- 漂流物対策工（一体型構造）を防波壁（多重鋼管杭式擁壁）に設置した場合においても、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造成立性を見通しを確認した。
- 以上より、漂流物対策工（分離型構造）の採用は取止めることとし、第939回審査会合において説明済みの漂流物対策工（一体型構造）による検討を進める。
- 漂流物対策工（分離型構造）については、津波防護施設への漂流物衝突荷重を軽減することが可能であることから、将来的な津波防護施設の安全性向上策のひとつとして、検討を継続する。

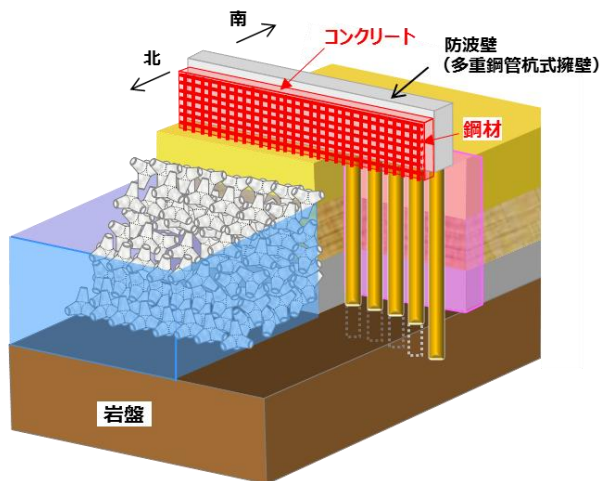
(参考 1) 漂流物対策工の仕様 (例)

- 漂流物対策工の仕様 (例) を以下に示す。なお、詳細設計段階において、津波防護施設本体の性能目標を維持できるように、漂流物衝突荷重を踏まえて漂流物対策工の仕様を決定する。

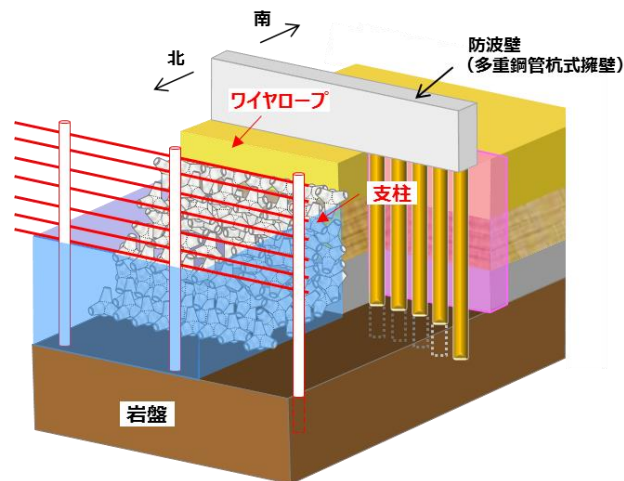
	防波壁の擁壁と一体型構造	防波壁の擁壁と分離型構造
防波壁 (多重鋼管杭式擁壁)	<p>漂流物対策工 鋼材+コンクリート</p> <p>防波壁 (多重鋼管杭式擁壁)</p> <p>岩盤</p>	<p>漂流物対策工 支柱+ワイヤロープ</p> <p>防波壁 (多重鋼管杭式擁壁)</p> <p>岩盤</p>
防波壁 (逆T擁壁)	<p>漂流物対策工 鋼材+コンクリート</p> <p>防波壁 (逆T擁壁)</p> <p>岩盤</p>	<p>漂流物対策工 支柱+ワイヤロープ</p> <p>防波壁 (逆T擁壁)</p> <p>岩盤</p>
防波壁 (波返重力擁壁)	<p>漂流物対策工 鋼材+コンクリート</p> <p>防波壁 (波返重力擁壁)</p> <p>岩盤</p>	<p>漂流物対策工 支柱+ワイヤロープ</p> <p>防波壁 (波返重力擁壁)</p> <p>岩盤</p>

(参考 1) 漂流物対策工の仕様 (例)

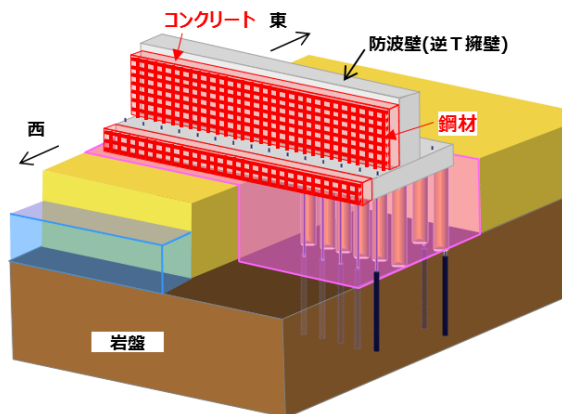
■ 漂流物対策工のイメージ (例) を以下に示す。



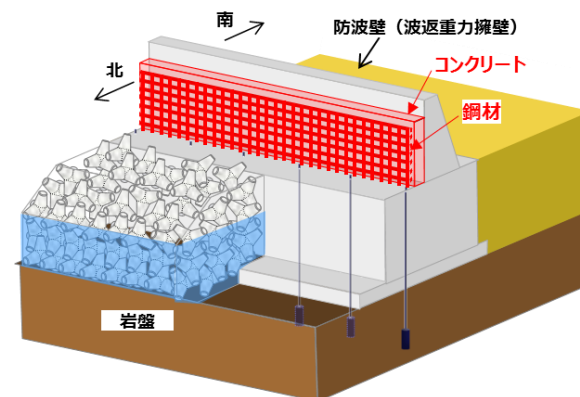
①防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) の擁壁と一体型構造イメージ



②防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) の擁壁と分離型構造イメージ



③防波壁 (逆T擁壁) の擁壁と一体型構造イメージ



④防波壁 (波返重力擁壁) の擁壁と一体型構造イメージ

(参考2) 支柱及びワイヤーロープにより構成された漂流物対策工の設計例

- 支柱及びワイヤーロープにより構成された漂流物対策工は、実用発電用原子炉での適用事例はないが、一般港湾施設での設計例があり、設計条件として漁船（総トン数：約20トン）や普通自動車を対象とした事例がある。

【設計例1】えりも港の漂流物対策工

えりも港：漂流物対策工の設計条件

条件	内容
対象地震	十勝沖・釧路沖地震(M8.1前後)
対象漂流物	漁船(総トン数5~20トン),普通自動車
構造形式	鋼管杭(支柱)+ワイヤーロープ
施設延長	50.0m
ワイヤー設置間隔	0.7m間隔(高さ方向)
支柱高さ	D.L.+5.90m
衝突速度	0.8m/s(普通自動車のみ)

出典：津波漂流物対策施設設計ガイドライン（平成26年3月）
：港湾・漁港における津波漂流物対策に関する研究



えりも港：漂流物対策工の設置状況

(参考2) 支柱及びワイヤーロープにより構成された漂流物対策工の設計例

【設計例2】釧路港の漂流物対策工

釧路港：漂流物対策工の設計条件

条 件	内 容
対象地震	根室沖・釧路沖地震(M8.3前後)
対象漂流物	漁船(総トン数5,10トン),普通自動車
構造形式	鋼管杭(支柱)+ワイヤーロープ
施設延長	137.0m
ワイヤー設置間隔	0.55m間隔 (高さ方向)
支柱高さ	G.L.+2.10m
衝突速度	4.5m/s

出典：津波漂流物対策施設設計ガイドライン（平成26年3月）



釧路港：漂流物対策工の設置状況

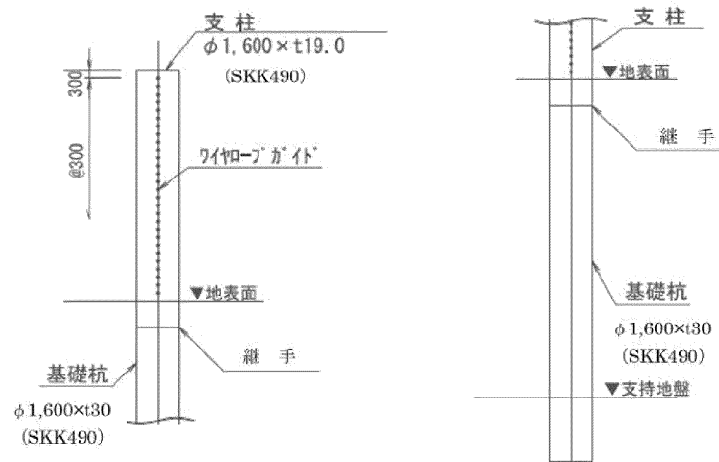
(参考2) 支柱及びワイヤーロープにより構成された漂流物対策工の設計例

【設計例3】核燃料サイクル工学研究所再処理施設における津波漂流物防護柵

- 核燃料サイクル工学研究所再処理施設において津波漂流物防護柵の設計例がある。当該施設では、設計津波の津波防護施設である建家外壁の周辺には、漂流物（代表漂流物）の衝突から防護するために、漂流物の影響防止施設として、津波漂流物防護柵を設けることとしている。

津波漂流物防護柵の設計条件

条件	内容
対象津波	設計津波
対象漂流物 (最大)	環水タンク 約14トン
構造形式	鋼管杭(支柱)+ワイヤーロープ
施設延長	約220m
ワイヤー設置間隔	0.3m間隔 (高さ方向)
支柱高さ	T.P.+14.0m
衝突速度	5.6m/s



漂流物防護柵の標準構造

出典：第55回東海再処理施設安全監視チーム会合（令和3年1月28日）
資料4 漂流物の影響防止施設として設ける津波漂流物防護柵について
（再処理施設に関する設計及び工事の計画）

(参考3)

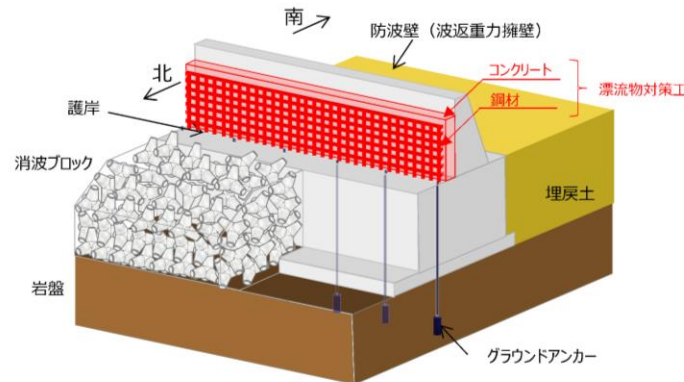
漂流物対策工（一体型構造）を設置する防波壁の構造成立性の見通し（1/4）

- 漂流物対策工（一体型構造）について、仕様は詳細設計段階において決定するが、漂流物対策工（一体型構造）の仕様（例）を用いて漂流物対策工（一体型構造）を設置する防波壁の構造成立性の見通しを確認する。
- 構造成立性の確認に当たっては、漂流物対策工（一体型構造）を設置することにより地震時の安全性の裕度が小さくなると想定される防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造成立性を確認する。
- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）における漂流物対策工（一体型構造）の仕様（例）を以下に示す。

2. 4 漂流物衝突荷重の設定方針と漂流物対策（2/6）

53

- 日本海東縁部に想定される地震による津波における漂流物対策として、漂流物衝突荷重を軽減・分散させること、又は漂流物衝突荷重を受け持つこと等が可能な漂流物対策工を設置する。
- 漂流物対策工は、下図に示すように津波防護施設の前面にコンクリートや鋼材の設置を検討する（1号放水連絡通路防波扉については、連絡通路の閉塞を含めて検討する）。



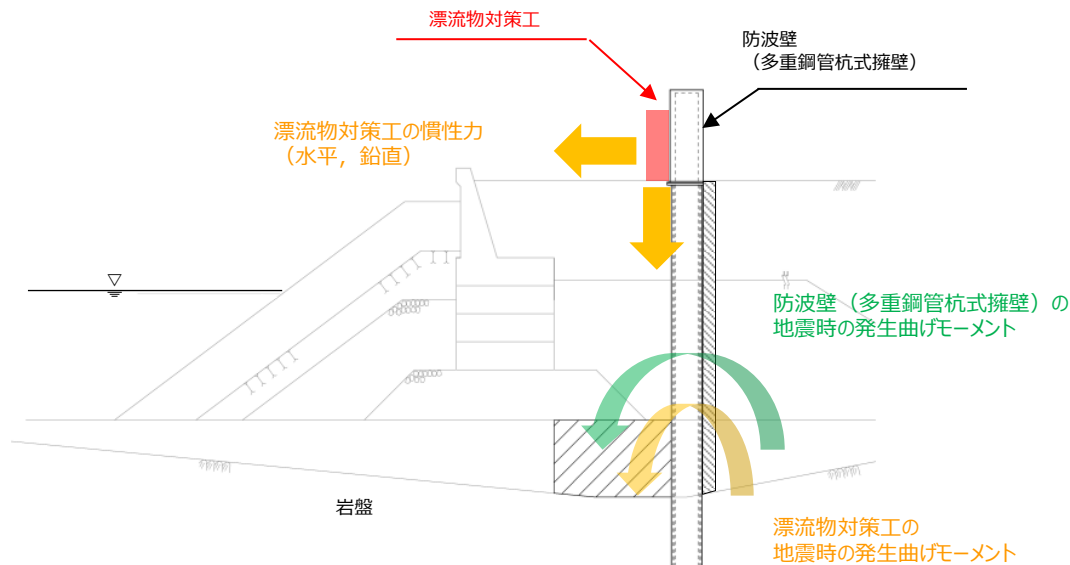
防波壁（波返重力擁壁）における
漂流物対策工のイメージ

(参考3)

漂流物対策工（一体型構造）を設置する防波壁の構造成立性の見通し（2 / 4）

構造成立性検討方針

- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造成立性の見通しの確認については、第909回審査会合（令和2年10月15日）において確認した。
- 漂流物対策工（一体型構造）を考慮した地震時の構造成立性評価に当たっては、防波壁の構造成立性で示した地震時の検討ケース（地盤改良部断面（②-②断面））における鋼管杭の発生曲げモーメントに、漂流物対策工に生じる慣性力による発生曲げモーメントを足し合わせて照査する。
- なお、津波時の構造成立性の評価においては、漂流物対策工（一体型構造）を設置することで防波壁に伝達される荷重分散させることにより、漂流物衝突荷重が小さくなるため、津波時の構造成立性評価は省略する。



防波壁（多重鋼管杭式擁壁）における漂流物対策工（一体型構造）の荷重イメージ

(参考3)

漂流物対策工（一体型構造）を設置する防波壁の構造成立性の見通し（3 / 4）

構造成立性検討結果

■ 漂流物対策工（一体型構造）を設置する防波壁（多重鋼管杭式擁壁）について、構造成立する見通しを得た。

■ 照査項目，許容限界

【鋼管杭】

評価部位	検討ケース	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
鋼管杭	地震時	曲げ	(曲げ)降伏モーメント	道路橋示方書・同解説 IV下部構造編（平成14年3月）
	津波時			

■ 照査結果

【鋼管杭】（地震時）

ケース	評価部位	照査部位	照査項目	地震動	発生曲げモーメント M(kN・m)	降伏モーメント M _y (kN・m)	安全率 M _y /M	判定 (> 1.0)
漂流物対策工あり ②-②断面	鋼管杭	地中部※【4重管構造】	曲げ	S s -D	19,511	23,692	1.21	OK

※ 地中部【4重管構造】は、照査値が最も大きくなる外側から2つ目の鋼管杭φ2000(SKK490)の数値を示す。

(参考3)

漂流物対策工（一体型構造）を設置する防波壁の構造成立性の見通し（4 / 4）

詳細設計段階における検討方針

- 詳細設計段階においては、既往の漂流物衝突荷重の算定式又は非線形構造解析等を用いて漂流物衝突荷重を算定のうえ、津波防護施設本体の性能目標の維持に必要な漂流物対策工（一体化構造）の仕様を決定する。また、非線形構造解析により、鋼材の変形による漂流物衝突荷重の軽減を考慮する。
- なお、詳細設計段階において津波防護施設の安全性の裕度が確保できなくなった場合は、以下の対策を講じる。
 - 漂流物対策工を構成する部材を適切に配置することにより軽量化することで、津波防護施設にかかる地震時の慣性力を低減する。
 - 津波防護施設本体への影響が懸念される場合は、適切な補強対策（地盤改良、擁壁の増厚等）を講じる。