

泊発電所 3号炉 耐津波設計方針について

(燃料等輸送船の漂流物影響に係る指摘事項回答)

令和 5 年 12 月 25 日
北海道電力株式会社

1. 本日の説明事項	2
2. 審査会合指摘事項に対する回答（指摘事項 230803-02）	3
2-1. 泊発電所における津波の特徴について	4～5
2-2. 燃料等輸送船の漂流物化防止対策に係る網羅的検討について	6～9
2-3. 漂流防止装置の概要	10～12
2-4. 漂流防止装置に対する要求機能と設計方針	13
2-5. 漂流防止装置の評価方針	14～16
3. 今後の説明内容	17

1. 本日の説明事項

審査会合指摘事項回答

〈現在までの説明経緯〉

- 第1177回（2023年8月3日）審査会合において、燃料等輸送船の漂流物化を防止する対策として、「緊急退避」を主な方針として退避時間の更なる短縮を行う方針をご説明した。
- 第1209回審査会合（2023年12月7日）において、燃料等輸送船実機による緊急離岸訓練の結果から、退避作業の不確かさを考慮した場合、十分な余裕時間が確保できない可能性があることから、「緊急退避を要しない漂流物化防止対策」を講じる方針に見直しを行うことをご説明した。

〈今回のご説明内容〉

- 今回の審査会合においては、指摘事項回答のうち一部、「燃料等輸送船の漂流物化防止対策の選定結果」、「漂流防止装置の概要」、「漂流防止装置の設計方針及び評価方針」についてご説明させて頂く。
- 「漂流物化防止対策の成立性」については、燃料等輸送船に係る次回会合でお示しさせて頂く。

2. 審査会合指摘事項に対する回答（指摘事項 230803-02）

【指摘事項 第1177回審査会合（2023年8月3日開催）】

燃料等輸送船の緊急退避の成立性について、退避作業の不確かさを考慮した上で、津波到達までに退避できることを説明すること。また、津波到達までに十分な余裕時間が確保できない可能性を踏まえ、緊急退避ができない場合を想定しても、他の対策によって燃料等輸送船が漂流物とならないことを説明すること。

【回答】

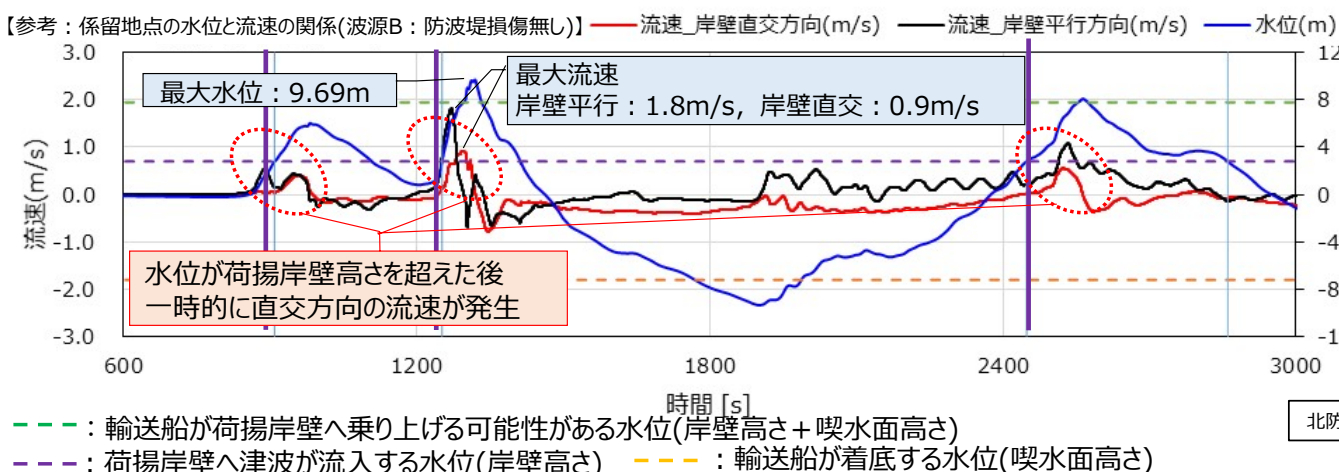
- 第1209回審査会合（2023年12月7日）において、燃料等輸送船実機による緊急離岸訓練の結果から、退避作業の不確かさを考慮した場合、十分な余裕時間が確保できない可能性があることから、「緊急退避を要しない漂流物化防止対策」を講じる方針に見直しを行うことをご説明した。（説明経緯の再掲）
- 第1177回（2023年8月3日）審査会合での指摘事項、泊発電所における津波の特徴や先行プラントとの比較結果を踏まえ、漂流物化防止対策の網羅的な検討について、漂流物化防止対策の評価フローを見直し、採用する対策について再評価を実施した。
- **評価の結果、「係留③：海域から輸送船を係留する方策等」を対策の第一候補として、検討を進めることとした。**
- 泊発電所専用港の海域から燃料等輸送船を係留することにより、燃料等輸送船の荷揚岸壁への乗り上げ及び漂流を防止することが可能であることから、緊急退避ができない場合を考慮しても、有効な漂流物化防止対策と考える。

2. 審査会合指摘事項に対する回答（指摘事項 230803-02）

2-1. 泊発電所における津波の特徴について（1/2）

【泊発電所専用港湾内の津波の流況考察】

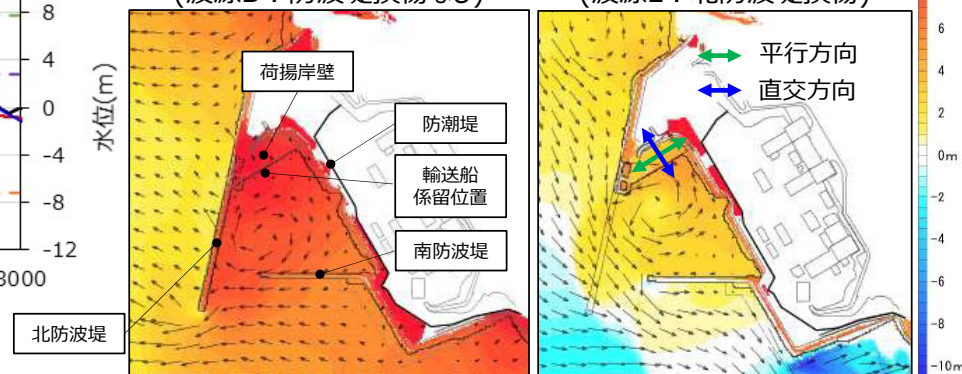
- 泊発電所における基準津波の最大水位は15.68m^{※1}、最大流速は17.63m/s^{※2}であるが、燃料等輸送船は、荷揚岸壁近傍に係留されるため、係留地点の津波の流況を分析した。 ※1：波源F（北防波堤損傷）評価地点：防潮堤全面 ※2：波源K（防波堤損傷なし）評価地点：北防波堤先端付近
- 泊発電所専用港は、防潮堤や荷揚岸壁、護岸、防波堤等に囲まれているため、津波流入時にはそれらが障壁となり、水位上昇を伴いつつ流れの方向を変えるため、基本的には港湾内で渦を巻くような流れが生じる。
- 港湾内への津波の侵入方向は、津波の進行方向と防波堤の損傷状況により異なるため、港湾内での渦は、時計回り、反時計回りのどちらも存在するが、防潮堤や荷揚岸壁、護岸、防波堤等に沿った流れとなるため、各構築物に平行な流れが支配的となる。
- 押し波による水位上昇に伴い、海面水位が荷揚岸壁の高さ（T.P.3.0m）を超えた場合は、荷揚岸壁、護岸方向への海水の流れ込みも開始されるため、その流れ込みに伴い荷揚岸壁、護岸に直交した流れが一時的に生じる。
- 引き波による水位低下時、海水が港湾外へ港湾開口部を経由して流れ出ていくため、防波堤の損傷状況に応じた港湾開口部に向けた流れが生じる。
- 本流況は先行プラントも同傾向と想定され、燃料等輸送船における緊急退避以外の対策を検討する上で考慮する。



【参考：港湾内での流況例】

左図：時計回りの流れ
(波源B：防波堤損傷なし)

右図：反時計回りの流れ
(波源L：北防波堤損傷)



2. 審査会合指摘事項に対する回答（指摘事項 230803-02）

2-1. 泊発電所における津波の特徴について（2/2）

第1177回（2023年8月3日）資料
1-4-2 P.6 一部修正
（修正箇所：黄色ハッチ）

【先行プラントとの比較】

- 燃料等輸送船が荷揚岸壁に乗り上げる可能性がある水位を有する津波の到達時間が早く、燃料等輸送船の緊急退避が困難であることが泊発電所における特徴であり、先行プラントとの相違点である。岸壁近傍（燃料等輸送船の係留地点）における最大流速は、先行プラントと比較しても大きな差はない。
- 専用港湾内の津波の流況及び、上記特徴を踏まえ、緊急退避以外の漂流物化防止対策を検討する。

プラント	津波の種類	評価に用いる最大水位	到達時間※1	漂流物化を防止する対応	岸壁高さ※6	岸壁近傍の（輸送船係留位置）最大流速
東海第二	基準津波	T.P.17.7m	約37分	緊急退避	T.P.2.61m	1.9m/s (岸壁平行方向の最大流速)
	早く到達する津波	F16を波源とした津波：T.P.2.08m	F16を波源とした津波：約26分	係留		
柏崎刈羽	基準津波	基準津波1：T.M.S.L. 6.2m※2	基準津波1：約37分	緊急退避	T.M.S.L.5.0m (T.M.S.L.2.71m)	3.2m/s (岸壁平行方向の最大流速)
	早く到達する津波	基準津波3：T.M.S.L.5.02m※2	基準津波3：約12分	係留		
女川	基準津波	O.P.21.81m※3	約42分	緊急退避	O.P.3.5m	0.5m/s (岸壁平行方向の最大流速)
	早く到達する津波	F-2断層・F-4断層による津波：O.P.3.05m※3	F-2断層・F-4断層による津波：約21分	係留		
島根	基準津波	基準津波1：T.P.11.9m	基準津波1：約110分	緊急退避	T.P.6.0m	2.3m/s (岸壁平行方向の最大流速)
	早く到達する津波	基準津波4：T.P. 2.1m	基準津波4：約15分	係留		
泊	基準津波	基準津波候補の中で押し波第1波の到達が最も早い波：※4 T.P.7.36m（押し波第1波の最大水位） T.P.11.65m（当該津波の最大水位）	基準津波候補の中で押し波第1波の到達が最も早い波：※4 約14分（押し波第1波の到達時間） 約21.5分（最大水位の到達時間）	緊急退避以外の漂流物化防止対策を検討する。	T.P.3.0m (T.P.1.5m)	4.3m/s※7 (岸壁平行方向の最大流速)
	早く到達する津波	海域活断層（FS-10断層）：※5 T.P.3.46m（押し波第1波の最大水位） T.P.5.23m（当該津波の最大水位）	海域活断層（FS-10断層）：※5 約13分（押し波第1波の到達時間） 約41.5分（最大水位の到達時間）	係留		

※1：東海・女川・泊は、地震発生後からの時間。柏崎・島根は、津波警報発令後からの時間。

※2：柏崎の審査資料は、水位の表記がT.M.S.L.である。T.P.に換算する場合は、「T.M.S.L=T.P.」。

※3：女川の審査資料は、水位の表記がO.P.である。T.P.に換算する場合は、「O.P. - 1.3m = T.P.」。

※4：波源E（損傷①）が対象。最大水位は、朔望平均満潮位：0.26mを含む。

※5：基準津波よりも早く到達する津波の中から、押し波第1波の最大水位（T.P.3.46m）が1番大きい「海域活断層（FS-10断層）」を仮選定した。

※6：地盤沈下を考慮するプラントは、（ ）内に地盤沈下を考慮したレベルを記載する。

※7：基準津波12波源（20ケース）の燃料等輸送船の係留地点における最大流速。

2. 審査会合指摘事項に対する回答（指摘事項 230803-02）

2-2. 燃料等輸送船の漂流物化防止対策に係る網羅的検討について（1/4）

【基準津波来襲時における漂流物化防止対策として検討した項目】

燃料等輸送船の漂流物化を防止する対策を以下のとおり整理した。

第1177回（2023年8月3日）資料
1-4-2 P.7 一部修正
（修正箇所：黄色ハッチ）

No.	対策案	
1	係留 ①	荷揚岸壁の耐震化 + 荷揚岸壁に燃料等輸送船に係留
2	係留 ②	荷揚岸壁の耐震化 + 漂流物化を防止する柵（または柱、壁等）の設置
3	係留 ③	海域から輸送船に係留する方策等
4	造船	泊発電所専用の輸送船の造船
5	構外停泊（事業所外運搬）	燃料等輸送船の停泊港の変更（発電所構外港の利用）し、事業所外運搬を行う
6	時間短縮	緊急退避（離岸）に掛かる時間の短縮（退避時間を短縮し、津波到達前に緊急退避（離岸）を完了させる）

【基準津波来襲時における漂流物化防止対策の選定に係る考慮事項】

漂流物化防止対策の選定に係る考慮事項を以下のとおり整理した。考慮事項を踏まえ、対策案を選定する。

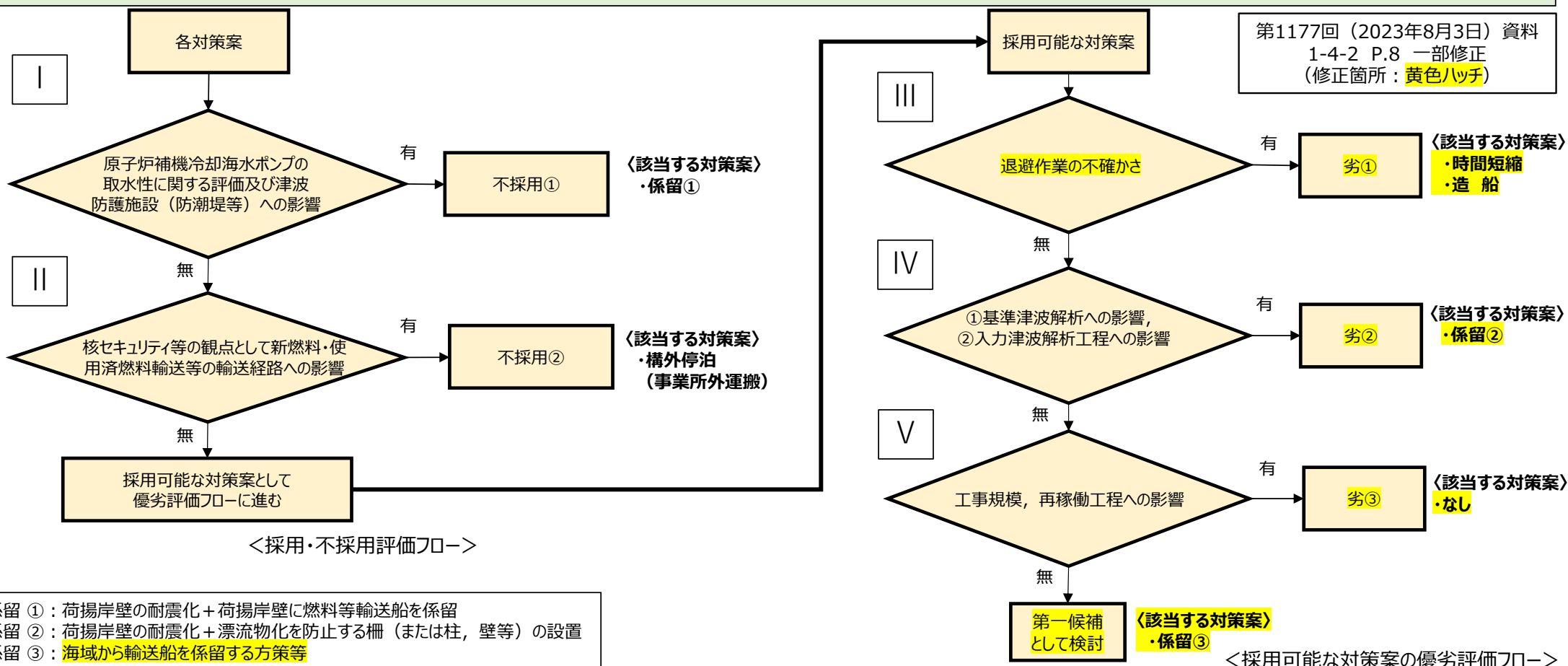
No.	考慮事項	
I	必須考慮事項	原子炉補機冷却海水ポンプの取水性に関する評価及び津波防護施設（防潮堤等）への影響
II		核セキュリティ等の観点における新燃料・使用済燃料輸送等の輸送経路への影響
III	影響を可能な限り回避する事項	退避作業の不確かさ
IV		①基準津波解析への影響，②入力津波解析工程への影響
V		工事規模，再稼働工程への影響

2. 審査会合指摘事項に対する回答（指摘事項 230803-02）

2-2. 燃料等輸送船の漂流物化防止対策に係る網羅的検討について（2/4）

【漂流物化防止対策の採否及び優劣評価フロー（見直し版）】

- 第1177回審査会合（2023年8月3日開催）でご説明した評価フローから見直しを行った以下評価のフローにて、漂流物化防止対策の評価を実施した。
- 評価結果の詳細は、P.8を参照。



2. 審査会合指摘事項に対する回答（指摘事項 230803-02）

2-2. 燃料等輸送船の漂流物化防止対策に係る網羅的検討について（3/4）

第1177回（2023年8月3日）資料1-4-2
P.16～18を統合し、一部修正
（修正箇所：黄色ハッチ）

■ 評価結果の整理

		影響評価項目					評価結果
		不採用①	不採用②	劣①	劣②	劣③	
		I. 原子炉補機冷却海水ポンプの取水性に関する評価及び津波防護施設への影響	II. 新燃料・使用済燃料輸送等輸送経路への影響	III. 退避作業の不確かさ	IV. ①基準津波解析への影響、 ②入力津波解析工程への影響	V. 工事規模、再稼働工程への影響	
係留①	有	津波の最大水位が到達した際、水位と喫水の関係から輸送船が荷揚岸壁に乗り上げ、漂流する可能性がある。荷揚岸壁に係留しても漂流物化を防止することは出来ないため、取水性の評価や津波防護施設に影響がある。	発電所内の海域における対策であるため、輸送経路への影響はない。	係留における対策であるため、退避作業の不確かさの影響はない。	荷揚岸壁の耐震化により、敷地の線形形状に変更が生じる可能性があるため、解析結果に影響があると想定。	荷揚岸壁における対策工事（荷揚岸壁の耐震化含む）が発生し、防潮堤設置工事との錯綜により、再稼働工程に影響を及ぼす可能性がある。	不採用①
係留②	無	耐震性のある柵（または柱、壁等）を設置することで、燃料等輸送船の荷揚岸壁乗り上げ防止を図ることが可能であることから、有効な対策と考える。	発電所内の海域における対策であるため、輸送経路への影響はない。	係留における対策であるため、退避作業の不確かさの影響はない。	有 荷揚岸壁の耐震化や、耐震性のある柵（または柱、壁等）を設置することにより、敷地の線形形状に変更が生じ解析結果に影響があると想定。	上記に加え、耐震性のある柵（または柱、壁等）を設置した場合、荷役作業の実施が困難になる可能性もある。	劣②
係留③	無	海域からの係留により、燃料等輸送船の荷揚岸壁への乗り上げ及び漂流防止を図ることが可能であることから、有効な対策と考える。	発電所内の海域における対策であるため、輸送経路への影響はない。	無 係留における対策であるため、退避作業の不確かさの影響はない。	無 港湾内にシンカー（又は荷揚岸壁に係船柱）の追加が必要となるが、敷地の線形形状に変更は生じないことから、影響はない。	シンカーの設置工事は防潮堤設置工事との錯綜なく実施可能であり、影響はない。	第一候補として検討
造船	無	現状の燃料等輸送船よりも退避時間の短い輸送船を採用することで、基準津波来襲時には、緊急退避（離岸）が可能となることから、有効な対策と考える。	発電所内の海域における対策であるため、輸送経路への影響はない。	有 退避作業の不確かさを考慮した場合、津波到達までに十分な余裕時間が確保できない可能性がある。	使用する燃料等輸送船が変更となるだけであるため、影響はない。	新規輸送船の成立性確認や造船までの期間を考慮すると再稼働工程に影響がある。	劣①
構外停泊（事業所外運搬）	無	燃料等輸送船の停泊港を発電所構外（岩内港を想定）とすることで、発電所敷地内海域船舶の評価対象として、燃料等輸送船の考慮が不要となることから、有効な対策と考える。	有 発電所敷地外において、新燃料・使用済燃料等を扱うことは、核セキュリティのリスクが上昇する。	停泊港を構外に変更する対策であるため、影響はない。	停泊港を構外に変更する対策であるため、影響はない。	<ul style="list-style-type: none"> 輸送経路のテロ対策の検討が必要となるため、再稼働工程に影響がある。 また、輸送経路上に掛かる橋の補強も必要となる。 	不採用②
時間短縮	無	基準津波来襲時には、緊急退避（離岸）が可能となるため、有効な対策と考える。	発電所内の海域における対策であるため、輸送経路への影響はない。	有 退避作業の不確かさを考慮した場合、津波到達までに十分な余裕時間が確保できない可能性がある。	緊急退避（離岸）の手順や運用を見直す対策であるため、影響はない。	同左	劣①

2. 審査会合指摘事項に対する回答（指摘事項 230803-02）

2-2. 燃料等輸送船の漂流物化防止対策に係る網羅的検討について（4 / 4）

■ 燃料等輸送船に対する漂流物化防止対策の検討結果

【検討結果】

- 第1177回（2023年8月3日）審査会合での指摘事項，泊発電所における津波の特徴や先行プラントとの比較結果を踏まえ，漂流物化防止対策の網羅的な検討について，漂流物化防止対策の評価フローの見直しを行った。
- 見直しを行った漂流物化防止対策の採否及び優劣評価フローでの評価結果より，**燃料等輸送船の漂流物化防止対策は“係留③（海域から輸送船を係留する方策等）”を第一候補として検討※を実施する。**
※：泊発電所に入港する船舶の中で船体規模が最大である使用済燃料運搬船（総トン数：約5,000トン）をベースとして検討を実施。低レベル放射性廃棄物運搬船（総トン数：約4,500トン）や新燃料運搬船（総トン数：約2,200トン）については，船体規模が使用済燃料運搬船より小さいことから，使用済燃料運搬船での成立性を確認することで，漂流物化防止対策の適用が可能と考えている。
- 泊発電所専用港の海域から燃料等輸送船を係留することにより，燃料等輸送船の荷揚岸壁への乗り上げ及び漂流を防止することが可能であることから，緊急退避ができない場合を考慮しても，有効な漂流物化防止対策と考える。
- 係留③（海域から輸送船を係留する方策等）の概要及び設計方針・評価方針を次項から，ご説明させて頂く。

2. 審査会合指摘事項に対する回答（指摘事項 230803-02）

2-3. 漂流防止装置の概要（1/3）

■ 係留③（海域から燃料等輸送船を係留する方策等）の概要と規制基準上の位置付け

【係留③（海域から燃料等輸送船を係留する方策等）の概要】

- 泊発電所における基準津波の特徴として、押し波の最大水位が高く、津波の来襲時には燃料等輸送船が荷揚岸壁に乗り上げ及び漂流する可能性がある。
- “押し波時における燃料等輸送船の荷揚岸壁への乗り上げ及び漂流防止” 及び “引き波時における燃料等輸送船の港湾内での漂流防止”を達成するため、**泊発電所専用港の海域から係留を行う。（以降、「沖だし係留」という）**
- 沖だし係留の実施にあたり、泊発電所専用港の港湾内にシンカーを設置する（4箇所）※。また、燃料等輸送船の船体に、船体胴巻きロープ及び沖だし係留索（高強度繊維ロープ）を取り付ける。（p.10 図1～3参照）
- シンカー（4箇所）※と沖だし係留索（ロープ連結用の係留ブイ含む）を接続することで、沖だし係留を達成させ、燃料等輸送船が取水口へ到達すること及び津波防護施設や浸水防止設備に影響を及ぼさない設計とする。
- また、沖だし係留の設置作業時に津波警報が発令した場合においても、作業員が安全に退避可能であることを確認する。（作業員の退避については、次回お示しする。）

※：荷揚岸壁側のシンカー（2箇所）については、港湾内にシンカーを設置するのではなく、荷揚岸壁を補強の上、沖だし係留用の係船柱を荷揚岸壁に設置し、沖側に設置するシンカー（2箇所）と合わせて沖だし係留を達成させることも検討中。

【沖だし係留（シンカー、各種ロープ、係留ブイ）についての規制基準上の位置付け】

- 沖だし係留が機能せず、燃料等輸送船が漂流した場合は、取水口への到達及び防潮堤等へ衝突する可能性が否定出来ないことから、耐津波設計において、**沖だし係留（シンカー、各種ロープ、係留ブイ）については、漂流防止装置と位置付け設計する。**

【規制基準における要求事項等】

- 津波防護施設の外側の発電所敷地内及び近傍において建物・構築物、設置物が破損又は損壊した後に漂流する可能性について検討すること。
- 上記の検討の結果、漂流物の可能性がある場合には、防潮堤等の津波防護施設、浸水防止設備に波及的影響を及ぼさないよう、漂流防止措置または津波防護施設・設備へ影響防止措置を施すこと。

➤ **沖だし係留（漂流防止装置）の配置、構造概要（各部材の機能等）を次スライドの表1及び図1～3に示す。**

2. 審査会合指摘事項に対する回答（指摘事項 230803-02）

2-3. 漂流防止装置の概要（2/3）

表1 沖だし係留（漂流防止装置）の構成部材と機能

No.	構成部材	機能	
①	船体胴巻きロープ	船体側面を水平方向に固縛して、船に作用する津波荷重を係留ロープへ伝達する。	
②-1	沖だし係留索	船体接続ロープ	係留ブイと船体を接続するロープであり、船体に作用する津波荷重をシンカー接続ロープ及びシンカーへ伝達する。
②-2		係留ブイ	船体接続ロープとシンカー接続ロープを連結するブイ。
②-3		シンカー接続ロープ	係留ブイとシンカーを接続するロープであり、船体に作用する津波荷重をシンカーへ伝達する。
③	シンカー	シンカー接続ロープから伝達する船体に作用する津波荷重に対して、自重及び摩擦による抵抗力でアンカーする。	

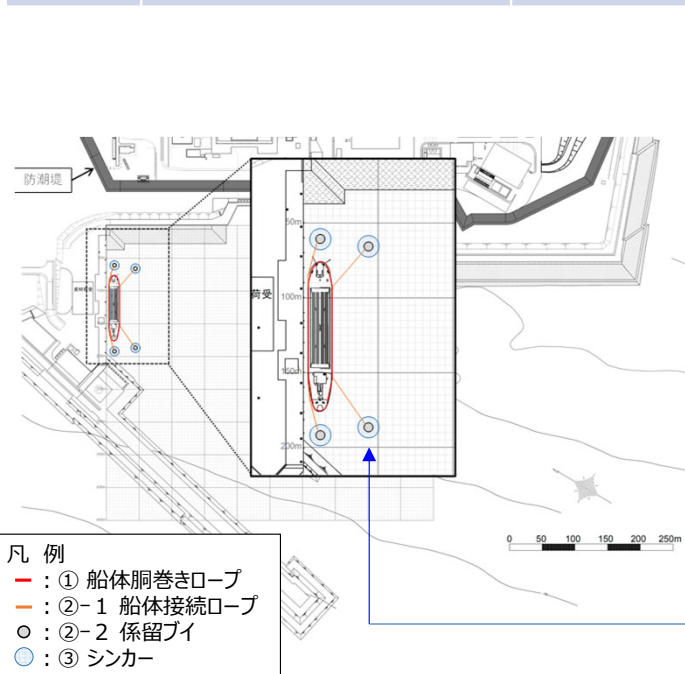


図1 沖だし係留（漂流防止装置）概要図①（沖だし係留イメージ 平面）

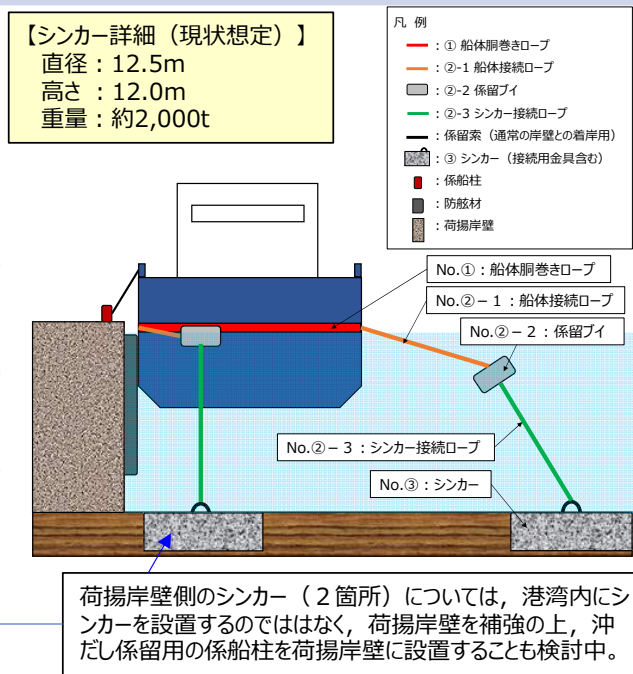


図2 沖だし係留（漂流防止装置）概要図②（沖だし係留イメージ 断面）

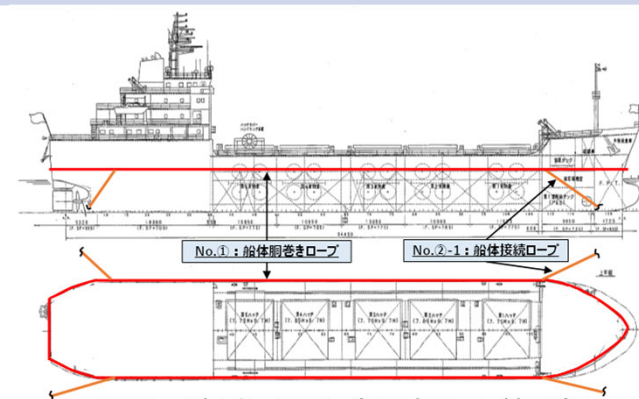


図3 沖だし係留（漂流防止装置）概要図③（船体取り付けイメージ）

- 沖だし係留の構成部材のうち、①：船体胴巻きロープと②-1：船体接続ロープは、泊発電所専用港へ入港する前に燃料等輸送船の船体に取り付けた状態とする。
- 燃料等輸送船の入港前に、②-2：係留ブイと②-3：シンカー接続ロープを港湾内に設置する。（クレーンによりシンカーと接続する）
- 専用港へ入港後、事前に専用港に設置した②-2：係留ブイと船体に取り付けた②-1：船体接続ロープを連結し、沖だし係留を完成させる。
- 沖だし係留の設置、取り外し作業の詳細は、P.19～20の参考参照。

2. 審査会合指摘事項に対する回答（指摘事項 230803-02）

2-3. 漂流防止装置の概要（3/3）

■ 沖だし係留（漂流防止装置）取り付け状態における，津波来襲時（押し波時，引き波時）の船体挙動イメージは図4のとおり。

- 押し波時は，水位上昇とともに押し波により燃料等輸送船が荷揚岸壁側へ移動しようとする。その際，荷揚岸壁から遠い側のシンカー（A）に取り付けてある沖だし係留索（②-1～3）により，燃料等輸送船が荷揚岸壁に乗り上げることを防止する。
- 引き波時は，水位低下とともに引き波により燃料等輸送船が沖側に移動する。その際，荷揚岸壁側のシンカー（B）に取り付けてある沖だし係留索（②-1～3）により，燃料等輸送船が港湾内で漂流物化することを防止する。

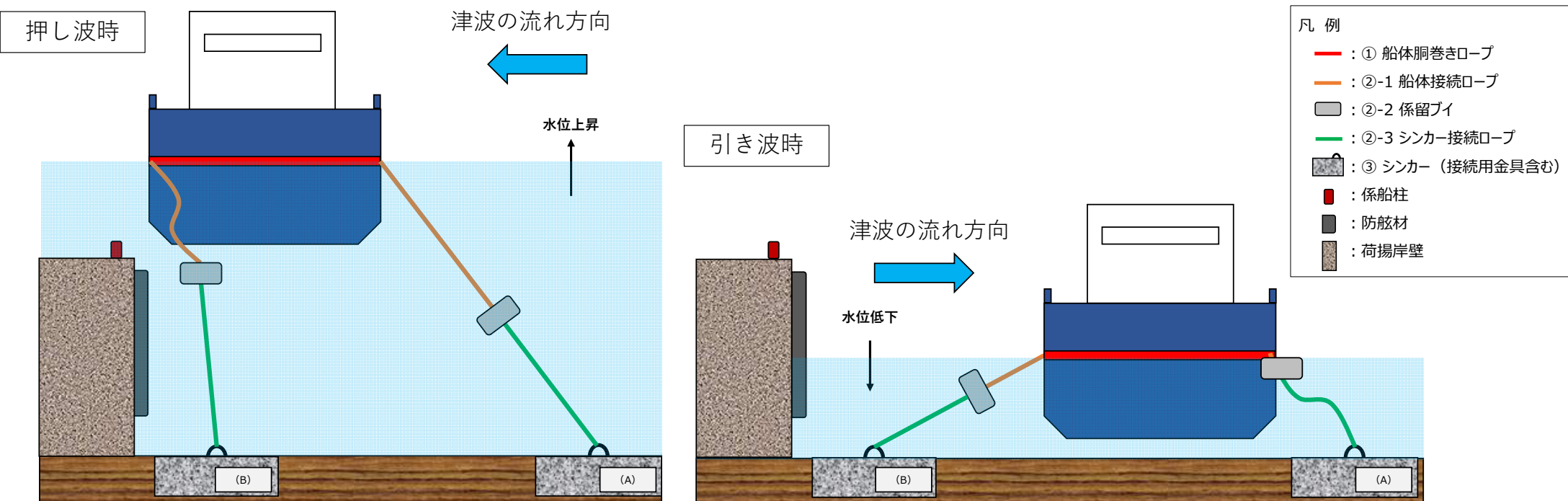


図4 沖だし係留（漂流防止装置）取り付け状態における津波来襲時の船体挙動イメージ

2. 審査会合指摘事項に対する回答（指摘事項 230803-02）

2-4. 漂流防止装置に対する要求機能と設計方針

■ 要求機能に対する設計方針

- 「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、漂流防止装置への規制要求を踏まえて、漂流防止装置を構成する部位（胴巻きロープ、沖だし係留索、シンカー）が要求機能を満たすように設計する。

要求機能		【要求機能1】 基準津波の水位変動を考慮しても係留を維持すること		【要求機能2】 基準津波による波力に対して係留を維持すること		【要求機能3】 地震の影響を考慮しても係留状態を維持すること	
		性能目標	評価項目	性能目標	評価項目	性能目標	評価項目
設計方針	胴巻きロープ	基準津波の水位上昇に伴う船体の浮き上がりに対して、沖だし係留索が追従できること	沖だし係留索が、基準津波の最大水位時でも船体を係留できる長さを有すること	基準津波の波力により作用する荷重に対して破断しないこと	破断評価	－	－
	沖だし係留索					－	－
	シンカー			基準津波の波力により作用する荷重に対してシンカーが許容変位内であること	滑動評価 (変位量評価)	地震荷重に対してシンカーが損傷しないこと	損傷評価

※：引き波により燃料等輸送船が着底しても漂流物とならないことについては、燃料等輸送船が座礁、転覆しないことにより確認する。

2. 審査会合指摘事項に対する回答（指摘事項 230803-02）

2-5. 漂流防止装置の評価方針（1/3）

■ 【要求機能1】基準津波の水位変動を考慮しても係留を維持すること

- 基準津波の水位変動に対する設計方針を満足していることを、以下の評価にて確認する。

設備名称		胴巻きロープ	沖だし係留索	シンカー
要求機能		基準津波の水位変動を考慮しても係留を維持すること		
設計方針	性能目標	基準津波の水位上昇に伴う船体の浮き上がりに対して、沖だし係留索が追従できること		
	評価項目	沖だし係留索が、基準津波の最大水位時でも船体を係留できる長さを有すること		
評価方針	評価方法	・最大水位となる船体位置において必要な沖だし係留索の長さを算出し、沖だし係留索の長さが満足することを確認する。		
	評価条件	・船体係留位置での、基準津波として選定された12波源(20ケース)の水位変動量の最大値を評価に用いる。 ・基準津波による水位変動量に加え、朔望平均満潮位及び潮位変動を考慮する。		

2. 審査会合指摘事項に対する回答（指摘事項 230803-02）

2-5. 漂流防止装置の評価方針（2/3）

■ 【要求機能2】基準津波による波力に対して係留を維持すること

- 基準津波の波力に対する設計方針を満足していることを、以下の評価にて確認する。

設備名称		胴巻きロープ	沖だし係留索	シンカー
要求機能		基準津波による波力に対して、係留を維持すること		
設計方針	性能目標	基準津波の波力により作用する荷重に対して破断しないこと		基準津波の波力により作用する荷重に対してシンカーが動かないこと
	評価項目	破断評価	破断評価	滑動評価
評価方針	評価方法	<ul style="list-style-type: none"> ・基準津波による流圧力は先行プラントと同様に石油会社国際海事評議会(OCIMF)の算出手法を用いて算出する。（詳細はP.24の参考参照） ・基準津波の流速を岸壁に平行と直交な成分に分解して船首-船尾方向に作用する流圧力と船側方向に作用する流圧力を各々算出し、その組合せを考慮する。 		<ul style="list-style-type: none"> ・沖だし係留索に作用する荷重の反力に対して、外的安定評価としてシンカーの自重及び摩擦力で抵抗するとして滑動評価を実施する。（詳細はP.25の参考参照）
	評価条件	<ul style="list-style-type: none"> ・船体係留位置での、基準津波として選定された12波源(20ケース)の流速の最大値を評価に用いる。 		<ul style="list-style-type: none"> ・沖だし係留索に作用する最大荷重に対して評価を実施する。

2. 審査会合指摘事項に対する回答（指摘事項 230803-02）

2-5. 漂流防止装置の評価方針（3/3）

■ 【要求機能3】地震の影響を考慮しても係留状態を維持すること

- 地震力に対する設計方針を満足していることを、以下の評価にて確認する。

設備名称	胴巻きロープ	沖だし係留索	シンカー
要求機能	地震の影響を考慮しても係留状態を維持すること		
設計方針	性能目標	無し※1	地震荷重に対してシンカーが損傷しないこと※2
	評価項目	—	損傷評価
評価方針	評価方法	—	地震力（Ss）に対して、内的安定評価として二次元動的解析FLIP（有効応力）を用いて、地震荷重に対してシンカーが損傷しないことを確認する。
	評価条件	—	地震力（Ss）を用いた評価を実施する。

※1：沖だし係留索は緩んだ状態にあることから、船体とシンカー間で荷重の相互作用はなく、沖だし係留索に地震力による荷重は作用しないことから、評価対象外とする。

※2：地震荷重によってシンカーが移動・沈下することによる係留状態への影響については、基準津波を発生させる地震を用い、各評価項目にて影響評価を実施する。

3. 今後の説明内容

■ 今後の審査会合にて以下の内容を説明する。

【漂流防止装置の成立性】

- 基準津波による最大水位の状態に必要な沖だし係留の長さを算出し、成立性があることをご説明する。
- 基準津波による波力により各部位に作用する荷重を算出し、その荷重に耐えうる設備仕様案をご説明する。
- 基準津波を発生させる地震力に対して、損傷しないシンカーの設備仕様案をご説明する。

【燃料等輸送船による漂流物影響の防止の達成】

- 漂流防止装置を用いた運用において、津波警報発令時に作業員が退避可能であることをご説明する。

以降，参考資料

(参考) 沖だし係留の設置作業イメージ

■ 沖だし係留（漂流防止装置）の設置作業は、下記イメージ図のとおり。

■ 構成部材のうち、No. ①：船体胴巻きロープとNo. ②- 1：船体接続ロープは、泊発電所専用港へ入港する前に、他港（室蘭港、むつ小川原港等）で燃料等輸送船の船体に取り付けた状態とする。下記作業は、No. ①とNo. ②- 1の各ロープを船体に取り付けた状態で専用港へ入港した後の作業である。

【沖だし係留設置：作業状況 1】

- 専用港へ入港後、沖だし係留接続作業位置に燃料等輸送船をセットする。
- 船体に取り付けていたNo. ②- 1：船体接続ロープを海面に落とし、小型船舶等を用いて、No. ②- 1：船体接続ロープの先端をNo. ②- 2：係留ブイまで運搬する。
- この時点で津波警報が発令された場合は、緊急退避を行う。

【沖だし係留設置：作業状況 2】

- No. ②- 1：船体接続ロープとNo. ②- 2：係留ブイを接続※する。
※：接続はシャックル等を用い、即時接続可能な構造とする。係留ブイの構造詳細については、現在検討中。
- 船体接続ロープと係留ブイを4箇所接続した時点で、沖だし係留は完成状態となる。
- **4箇所中どこか1箇所でも接続した段階から燃料等輸送船は緊急退避不可の状態となるため、4箇所を同時に接続する。**
- 接続完了後、タグボート（2隻）を用いて燃料等輸送船を荷揚岸壁側へ押し込み、接岸させる。

【沖だし係留設置：作業状況 3】

- 荷揚岸壁に接岸後、通常の係留索（船体と荷揚岸壁の固定用）を設置する。
- 接岸状態においては、沖側の係留ブイは海中に沈んだ状態となる。

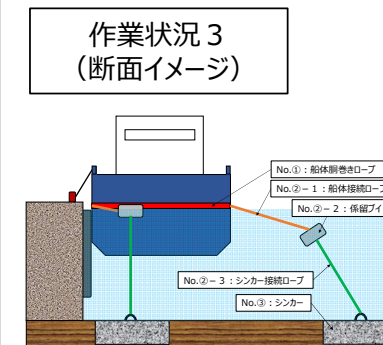
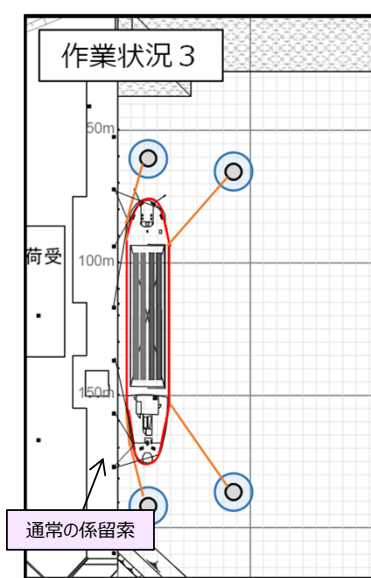
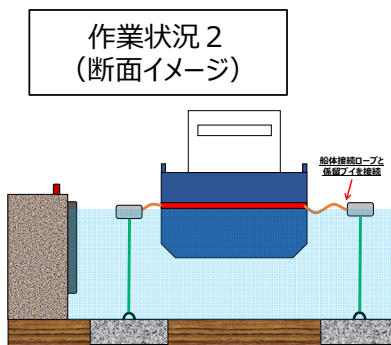
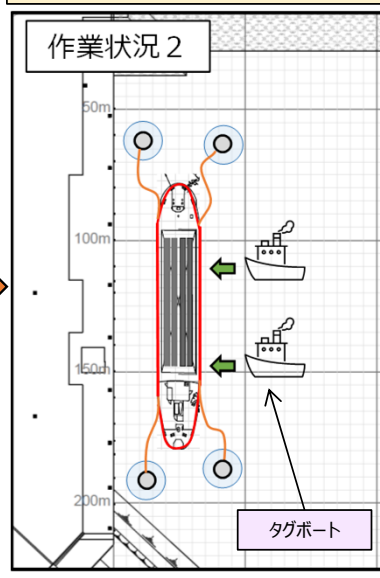
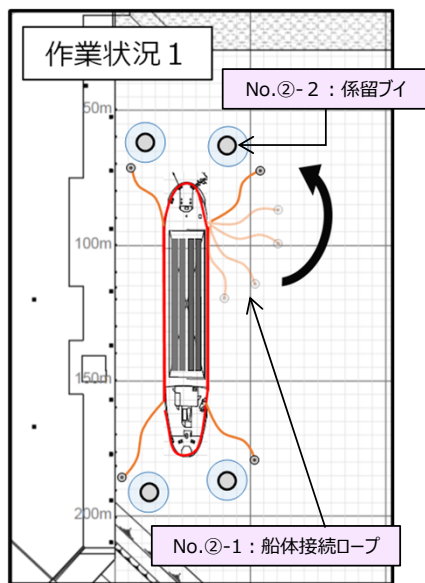


図 沖だし係留設置作業イメージ

(参考) 沖だし係留の取り外しイメージ

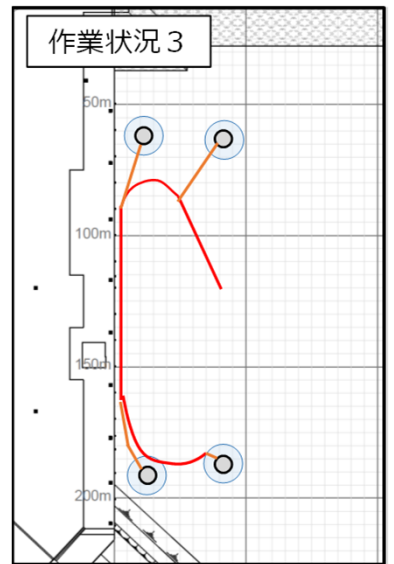
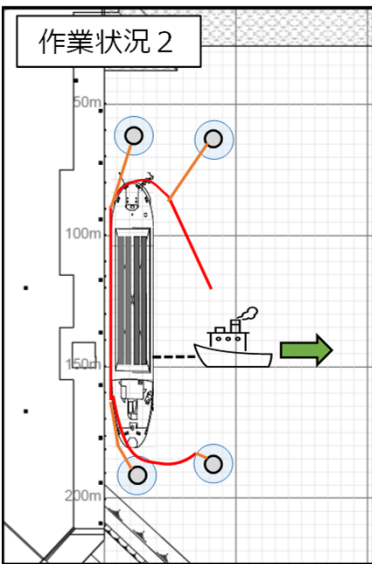
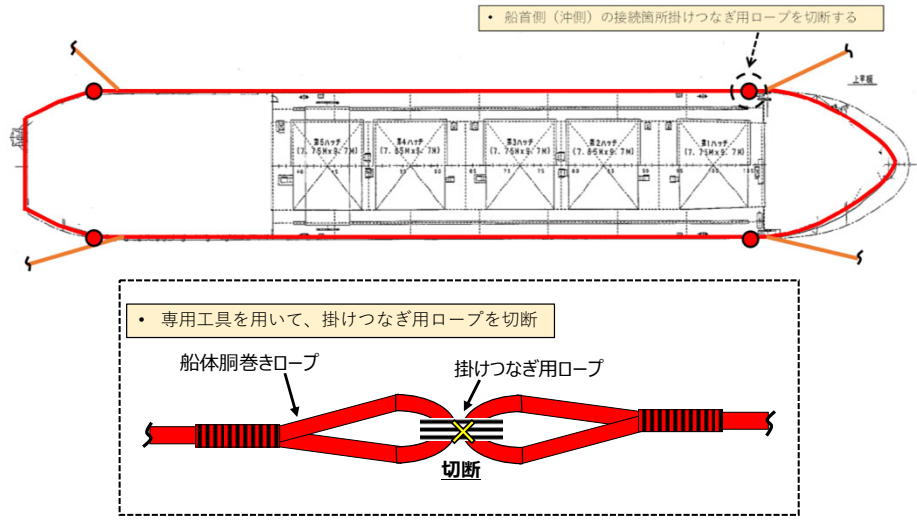
■ 沖だし係留（漂流防止装置）の取り外し作業は、下記イメージ図のとおり。

【沖だし係留取り外し：作業状況 1】
 ・①：船体胴巻きロープの接続箇所（船首沖側）の掛けつなぎ用ロープを燃料等輸送船の甲板上から専用工具を用いて切断する。

【沖だし係留取り外し：作業状況 2】
 ・胴巻き解放ロープに加え、タグボートで燃料等輸送船を引き出し、胴巻きロープを解放する。
 ・解放完了後、燃料等輸送船は出航する。

【沖だし係留取り外し：作業状況 3】
 ・燃料等輸送船の出航後、港湾内に残置された沖だし係留の構成部材を回収する。

作業状況 1



- 凡 例
- : ① 船体胴巻きロープ
 - : ②-1 船体接続ロープ
 - : 船体胴巻きロープ接続箇所

図 沖だし係留取り外し作業イメージ

(参考) 燃料等輸送船の着底時の座礁，転倒に対する設計方針

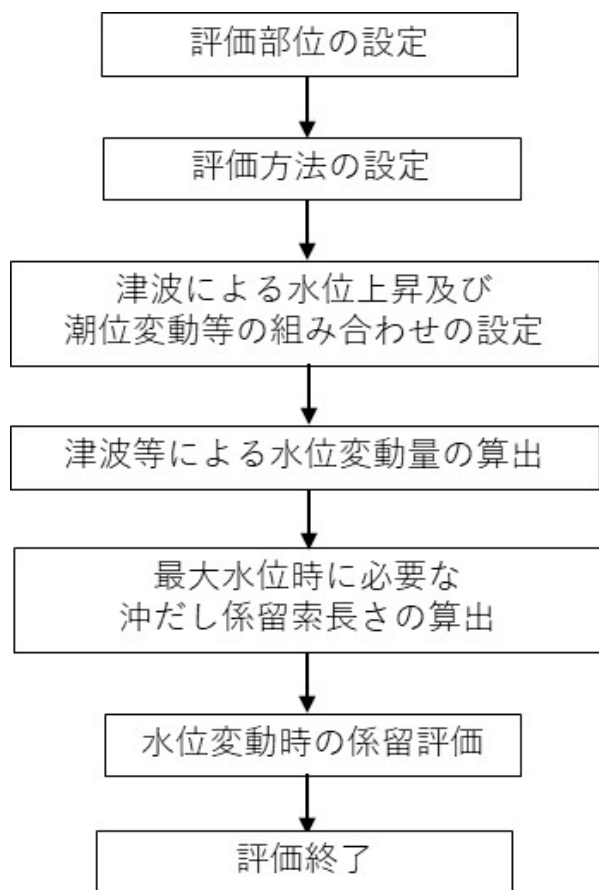
■ 着底時の座礁，転倒に対する設計方針

【着底時の座礁，転倒に対する設計方針】

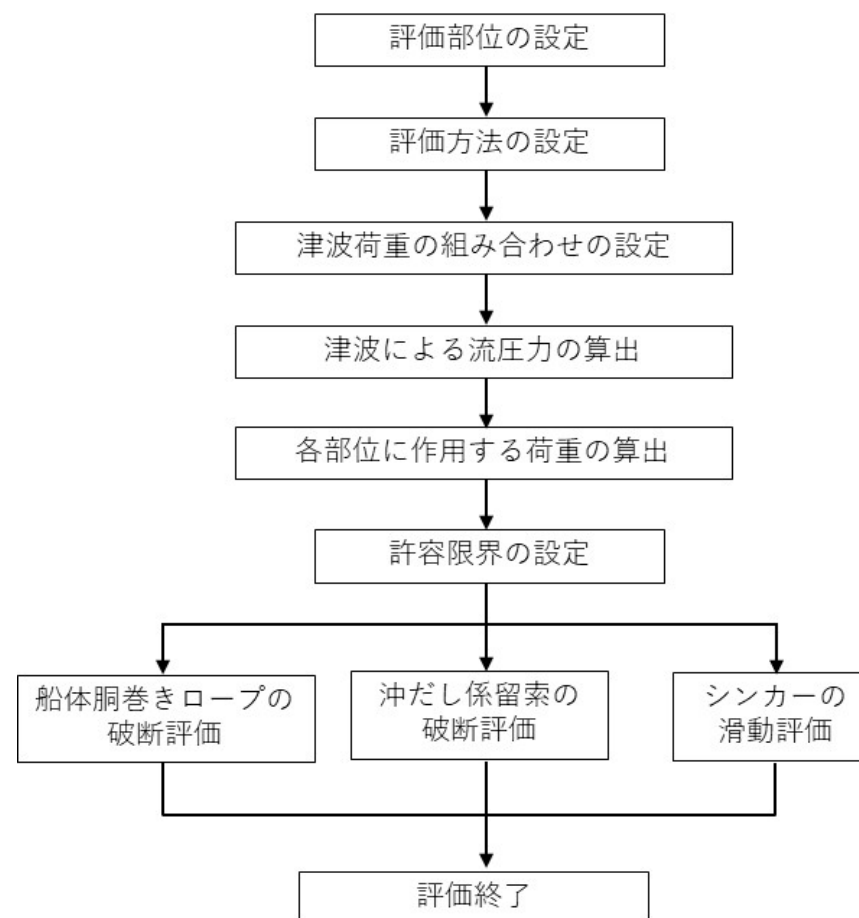
- 泊発電所専用港湾の海底面は砂層であることから，燃料等輸送船が着底しても自重は底面に均等に負担されるため，座礁する恐れはない。
- 燃料等輸送船が着底した状態で津波による流圧力を受けても転倒しない設計とし，下表のとおり転倒評価で設計を満足することを確認する。

設備名称		燃料等輸送船
要求機能		引き波状態でも係留状態を維持すること
設計方針	性能目標	着底状態の燃料等輸送船が流圧力で転倒しない
	評価項目	転倒評価
評価方針	評価手法	・重力による抵抗モーメントと流体力等によって燃料等輸送船に作用する転倒モーメントを比較する
	評価条件	・船体係留位置での，基準津波として選定された12波源(20ケース)の流速の最大値を評価に用いる。

(参考) 評価フロー (1 / 2)



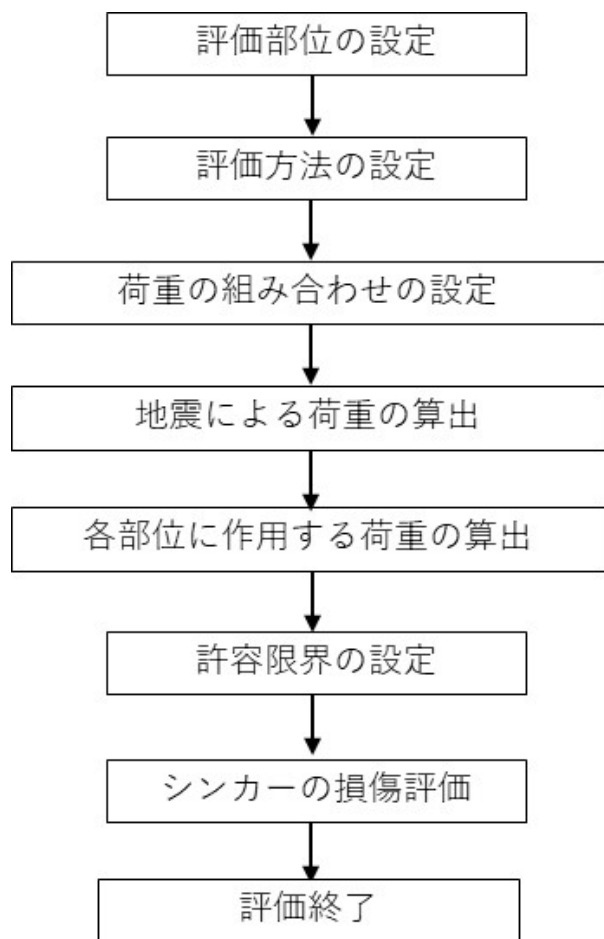
水位変動に対する係留評価フロー



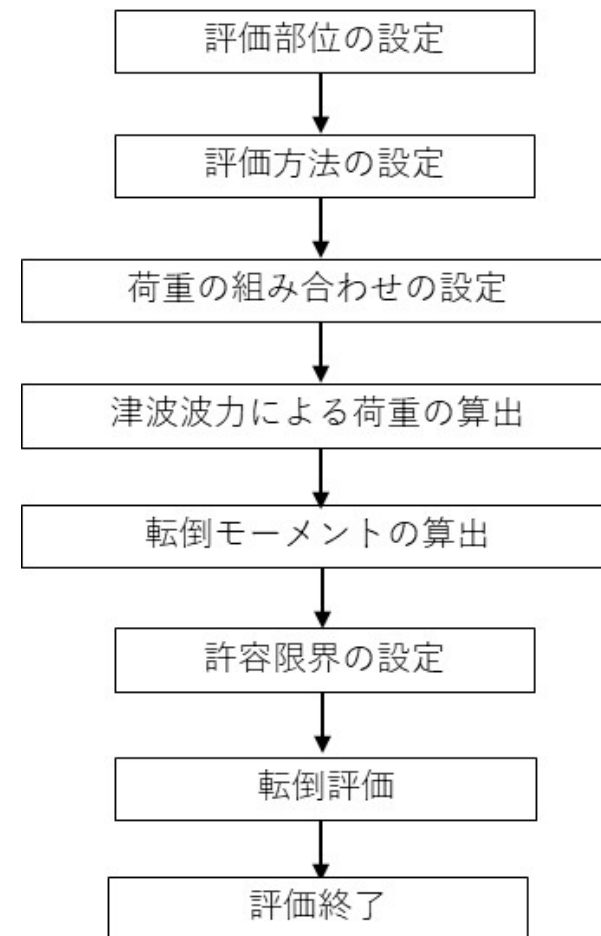
津波波力に対する評価フロー

(参考) 評価フロー (2 / 2)

23



地震荷重に対する損傷評価フロー



燃料等輸送船の転倒評価フロー

(参考) 津波による流圧力の算出式※

津波による流圧力の算出式※

$$F_{Xc} = \frac{1}{2} C_{Xc} \rho_c V_{Xc}^2 L_{pp} d$$

$$F_{Yc} = \frac{1}{2} C_{Yc} \rho_c V_{Yc}^2 L_{pp} d$$

F_{Xc} : 船首-船尾方向の流圧力 (kgf)

C_{Xc} : 縦方向流圧力係数

V_{Xc} : 岸壁に平行な流速 (m/s)

L_{pp} : 垂線間長 (m)

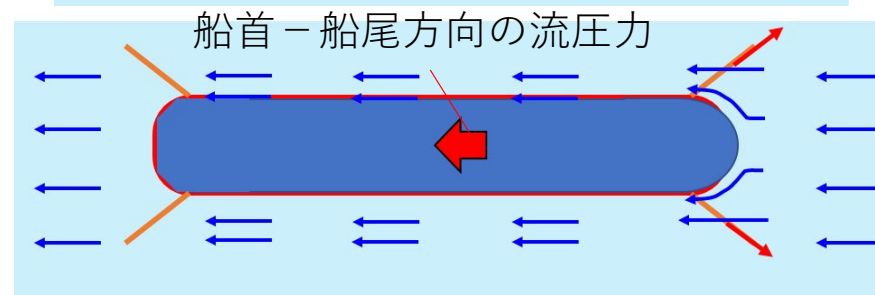
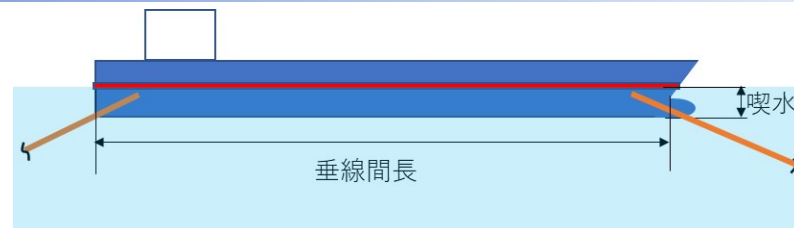
d : 喫水 (m)

ρ_c : 水密度 (kgf・sec²/m⁴)

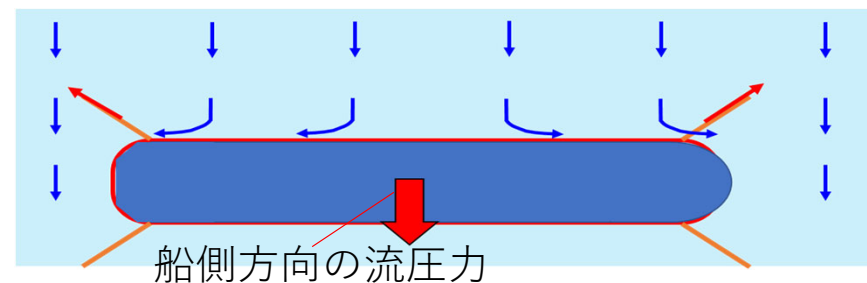
F_{Yc} : 船側方向の流圧力 (kgf)

C_{Yc} : 横方向流圧力係数

V_{Yc} : 岸壁に直交な流速 (m/s)



岸壁に平行な流れによって、船首-船尾方向の流圧力が発生し、係留索に伝達する



岸壁に直交な流れによって、船側方向の流圧力が生じ、係留索に荷重が伝達する

※ : 石油会社国際海事評議会 (Oil Companies International Maritime Forum) 刊行“Mooring Equipment Guidelines”の手法

(参考) シンカーの自重, 摩擦力求出式

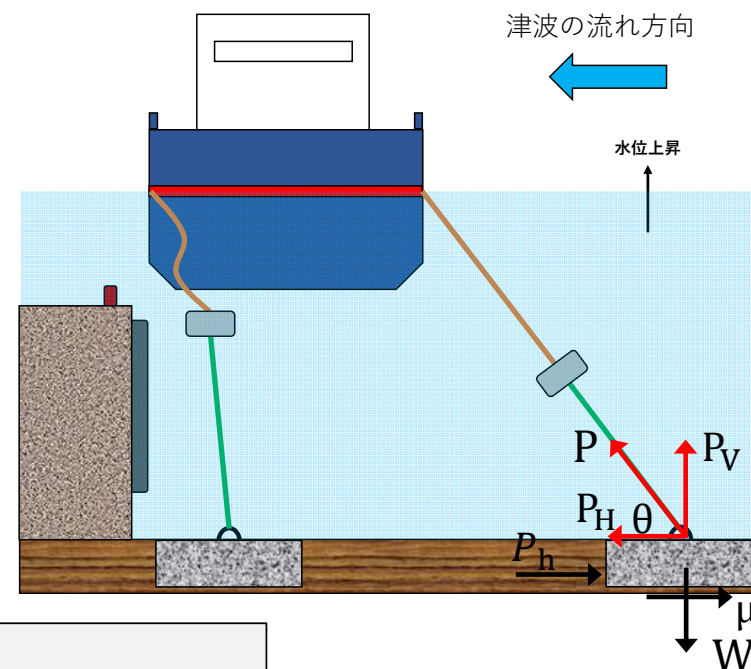
- 滑動評価においては, シンカーの底面摩擦力 (R) が滑動力 (P_H) に対し, 所要安全率を確保することを確認する。

底面摩擦力 (R) / 滑動力 (P_H) ≥ 1.2

$$R = \mu W - P_V + P_h$$

$$P_H = P \cos \theta$$

- R : 底面摩擦力
- μ : 底面摩擦係数
- W : シンカーの自重 (kN)
- P_H : 滑動力 (kN)
- P_V : 牽引力の鉛直成分 (kN)
- P_h : 受働土圧 (kN)
- P : 基準津波の波力により作用する荷重 (張力) (kN)
- θ : 係留ロープの傾斜角 (deg)



【シンカー詳細 (現状想定)】

〈シンカー形状と重量〉

- ・シンカー形状 : 直径 : 12.5 (m) 高さ : 12.0 (m)
- ・シンカー重量 : 約2,000 (t)

〈設計条件〉

- ・牽引力 : 10,000 (kN)
- ・底面摩擦係数や受働土圧に関しては, 各種基準 (港湾技術基準, 道路橋示法書等) に基づいた値を設定する。

■ 要求機能に対する設計方針

【基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド：令和3年6月23日施行】

5.4.2 漂流物による波及的影響の検討

【規制基準における要求事項等】

津波防護施設の外側の発電所敷地内及び近傍において建物・構築物、設置物等が破損又は損壊した後に漂流する可能性について検討すること。

上記の検討の結果、漂流物の可能性がある場合には、防潮堤等の津波防護施設、浸水防止設備に波及的影響を及ぼさないよう、漂流防止措置又は津波防護施設・設備への影響防止措置を施すこと。

【確認内容】

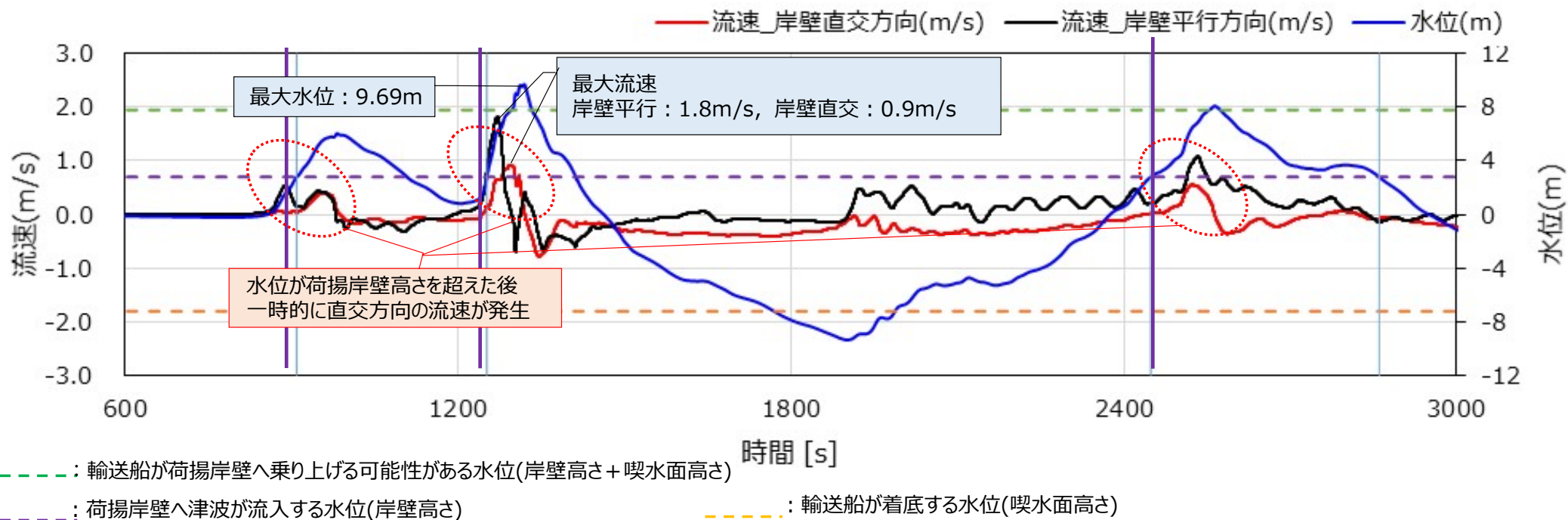
- (1) 漂流物による波及的影響の検討方針が、要求事項に適合する方針であることを確認する。
- (2) 設計方針の確認に加え、入力津波に対して津波防護機能が十分保持できる設計がなされることの見通しを得るため、以下の例のような具体的な方針を確認する。

漂流防止装置への
要求事項

- ① 敷地周辺の遡上解析結果等を踏まえて、敷地周辺の陸域の建物・構築物及び海域の設置物等を網羅的に調査した上で、敷地への津波の来襲経路及び遡上経路並びに津波防護施設の外側の発電所敷地内及び近傍において発生する可能性のある漂流物を特定する方針であること。なお、漂流物の特定に当たっては、地震による損傷が漂流物の発生可能性を高めることを考慮する方針であること。また、敷地港湾及び敷地前面海域において航行、停泊、係留される船舶がある場合は、津波の特性、地形、設置物の配置、船舶の退避行動等を考慮の上、漂流物となる可能性について検討していること。
- ② 漂流防止装置、影響防止装置は、津波による波力、漂流物の衝突による荷重との組合せを適切に考慮して設計する方針であること。

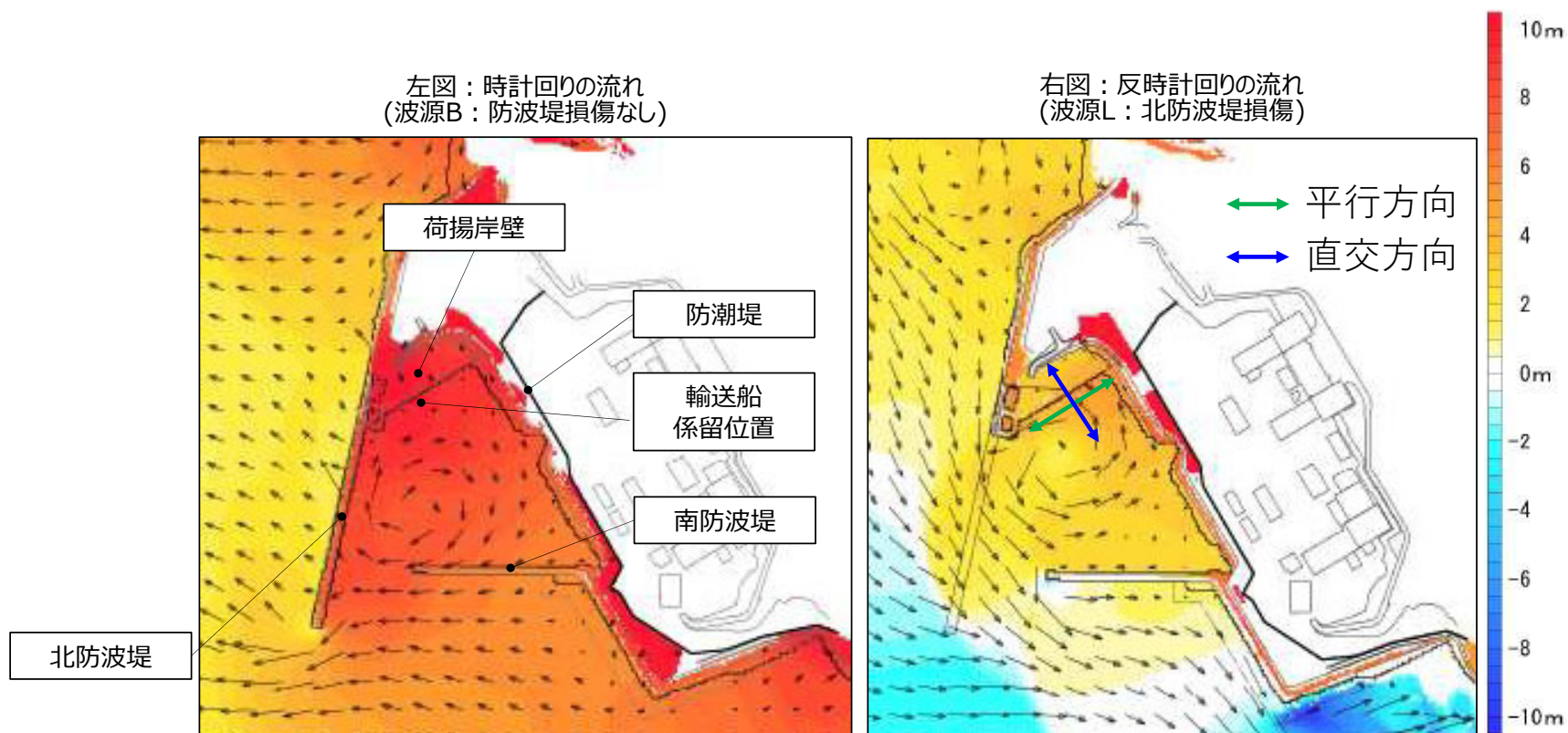
(拡大図) 参考：係留地点の水位と流速の関係 (波源B：防波堤損傷無し)

【参考：係留地点の水位と流速の関係(波源B：防波堤損傷無し)】



(拡大図) 参考：港湾内での流況例

【参考：港湾内での流況例】



(拡大図) 図 1

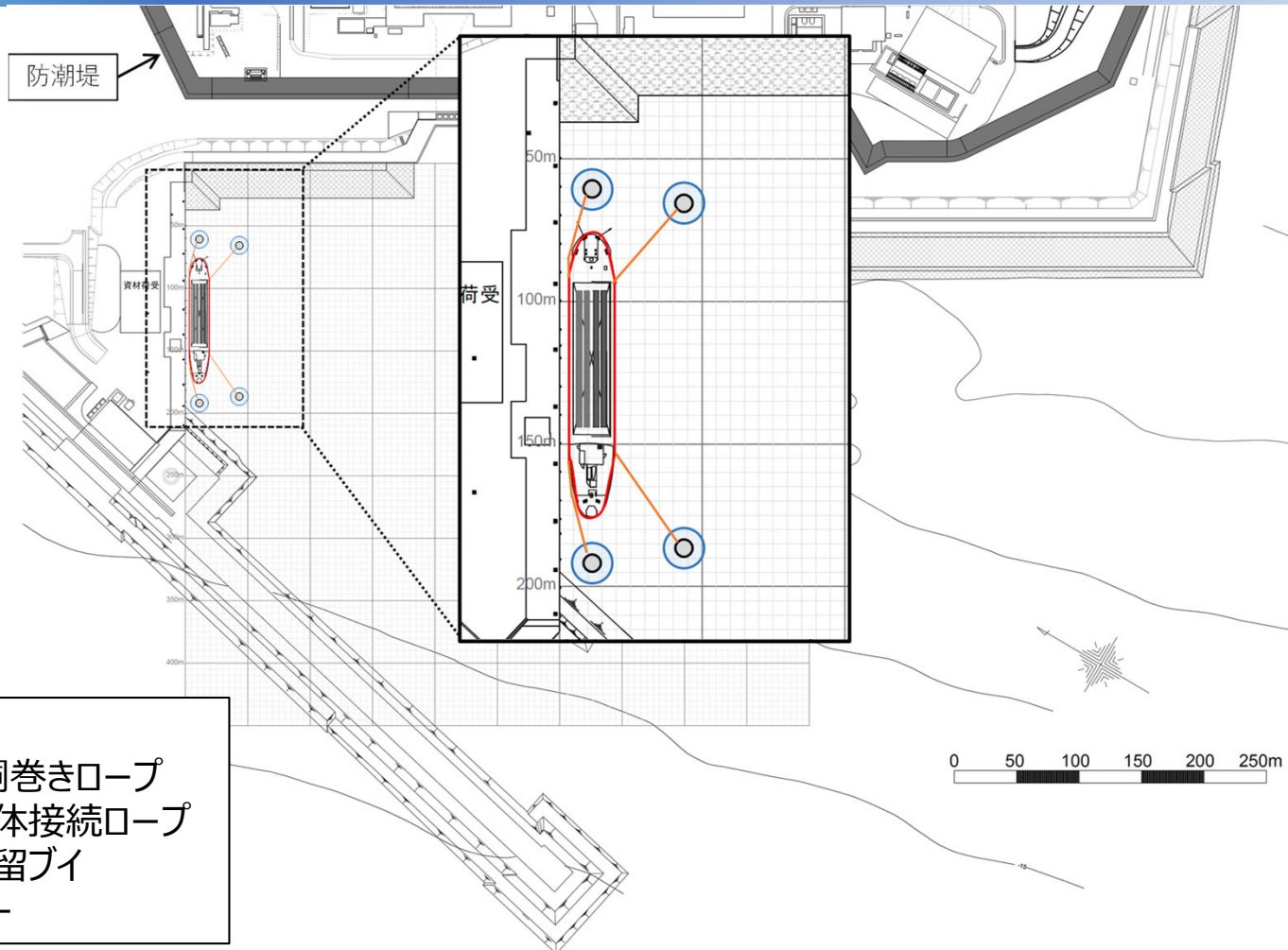
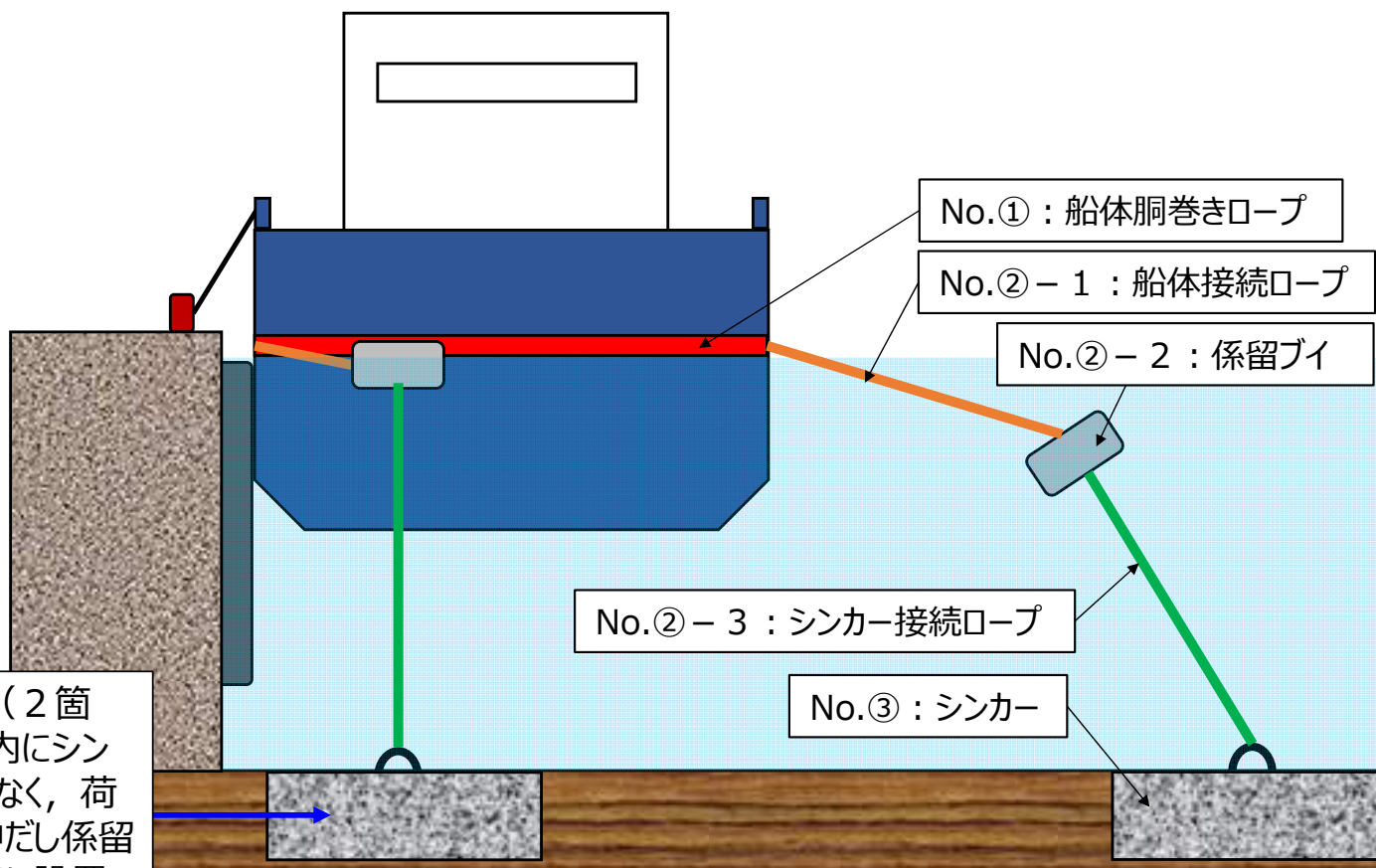


図 1 沖だし係留（漂流防止装置）
概要図①（沖だし係留イメージ 平面）

(拡大図) 図2

- 凡 例
- ① 船体胴巻きロープ
 - ②-1 船体接続ロープ
 - ②-2 係留ブイ
 - ②-3 シンカー接続ロープ
 - 係留索 (通常の岸壁との着岸用)
 - ③ シンカー (接続用金具含む)
 - 係船柱
 - 防舷材
 - 荷揚岸壁



荷揚岸壁側のシンカー（2箇所）については、港湾内にシンカーを設置するのではなく、荷揚岸壁を補強の上、沖だし係留用の係船柱を荷揚岸壁に設置することも検討中。

図2 沖だし係留（漂流防止装置）
概要図②（沖だし係留イメージ 断面）

(拡大図) 図3

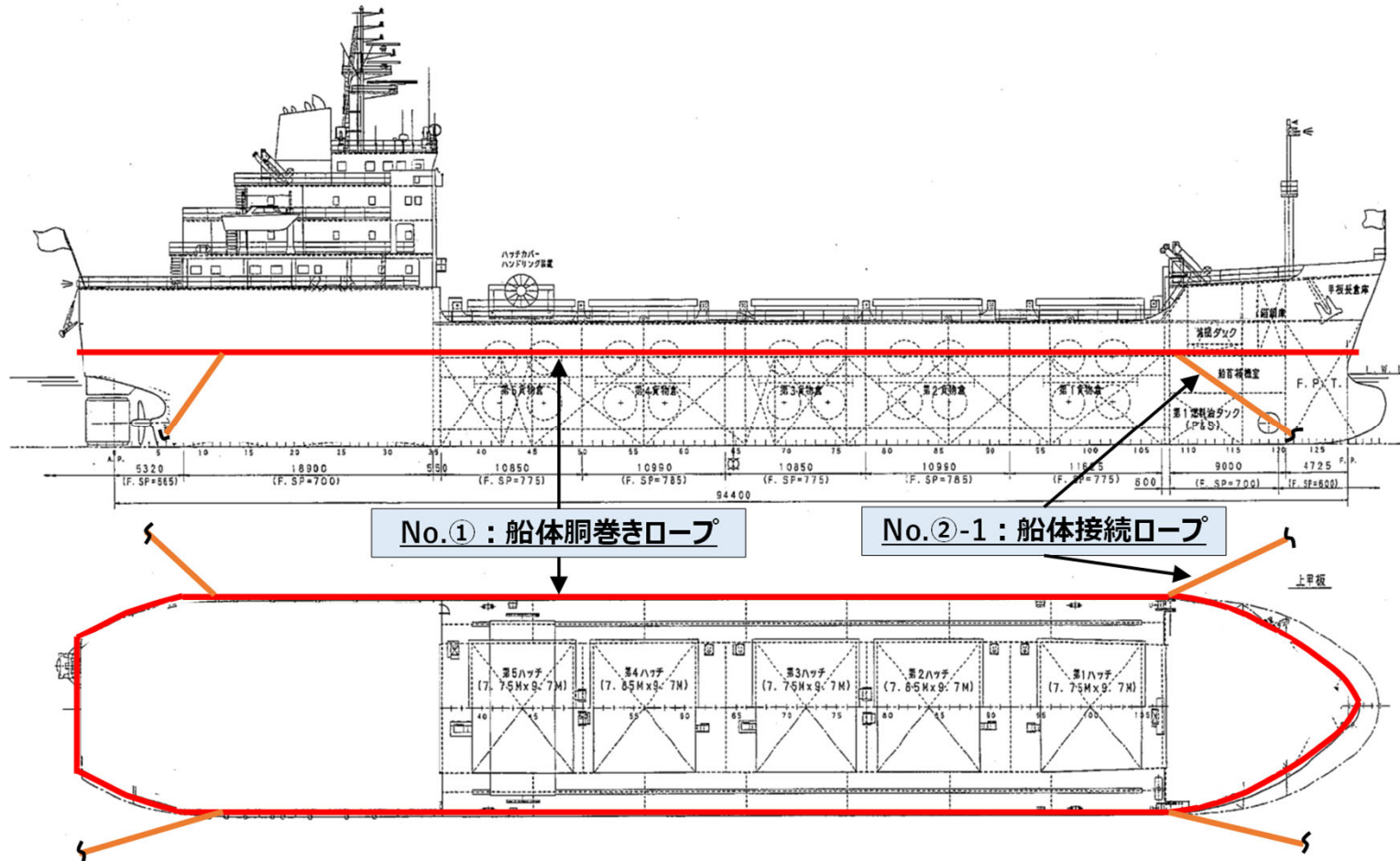


図3 沖だし係留（漂流防止装置）
概要図③（船体取り付けイメージ）