

波浪変形計算結果について

波浪変形計算結果

- 波浪変形計算による検討 3
- 波あたりの違いの検討 4
- 共振・重複波の影響確認 14
- 波あたりの違いによる影響確認に関する考察 . . 19

2.1 波浪変形計算による検討

□ 波浪変形計算による検討

- 第1回委員会の委員意見をふまえ、波浪変形計算にて波あたりの違いや共振・重複波の作用が影響しているかを確認した。

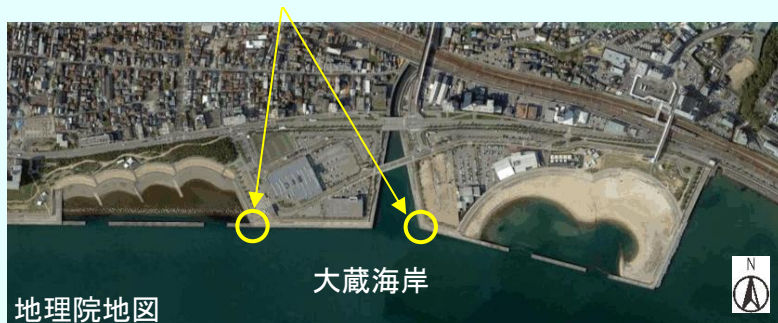
【第1回委員会の委員意見】

- ✓ ケーソン構造の違いに起因する空洞発生以外に、他の要因として波あたりの違いが影響していないか確認した方がよい。
- ✓ 舞子海岸 防波護岸1の東部は、共振・重複波の影響も考えられるため、波の作用を確認した方がよい。



波あたりの違いの検討

異型函の箇所で空洞を確認
⇒ 波浪推算モデル (SWAN) にて、
波あたりの違い有無について確認



共振・重複波の影響確認

防波護岸1の東部 (最も空洞が大きい箇所)
⇒ ブシネスクモデルにて、**共振・重複波による
沖波変形の有無**を確認



2.2 波あたりの違いの検討

□対象風況の設定(設定の概要)

- 大蔵・舞子海岸は、**西系**の波浪(播磨灘で発達)と**東系**の波浪(大阪湾で発達)が到達(表1)。
- 2015～2024年の**観測値**から、西系と東系について、波浪計算に入力する**対象風況**を設定(表2)。

表1 来襲波浪の特性

波浪	発達海域	波の来襲方向
西系の波浪	播磨灘	南西～西
東系の波浪	大阪湾	東南東～南

表2 対象風況の設定概要

- ① 波浪の観測値から、代表擾乱を設定。
- ② 代表擾乱時の風の観測値より、方位別最大風速を整理
- ③ ②の整理結果より、波浪計算に入力する対象風況を設定

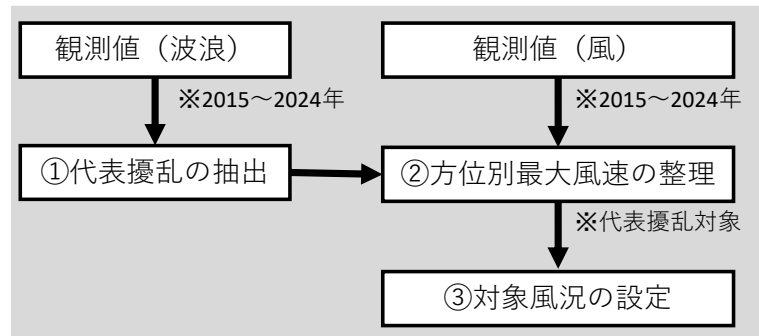


図2 対象風況の設定フロー



図1 波の来襲イメージ

2.2 波あたりの違いの検討

□対象風況の設定(代表擾乱の抽出)

- 西系の波浪は江井ヶ島、東系の波浪はナウファス神戸の観測値より、代表擾乱を抽出。
- 両観測所について、2015～2024年における年毎の高波浪(年間上位5位)を整理(図3)。
- 江井ヶ島、ナウファス神戸ともに、10年間の上位3位の高波浪は、2018年台風第20号、2018年台風第21号、2021年台風第09号、の3台風。
⇒上記3台風を代表擾乱として抽出。

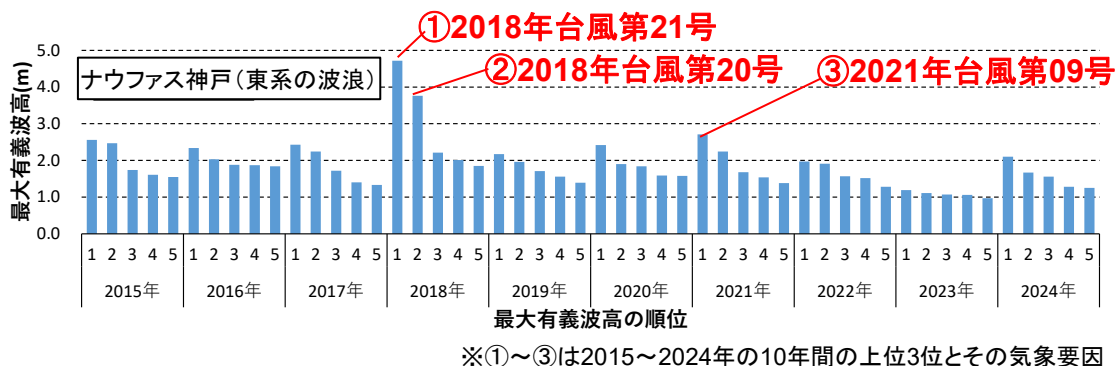
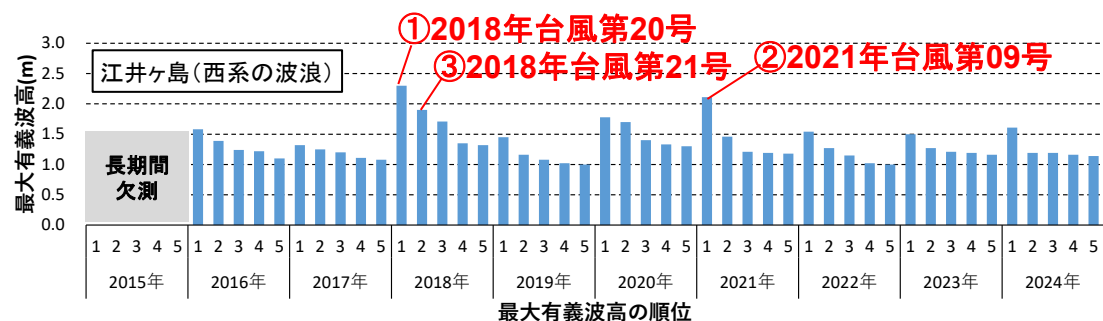


図3 2015～2024年に発生した高波浪(年間上位5位)



図4 波浪観測地点

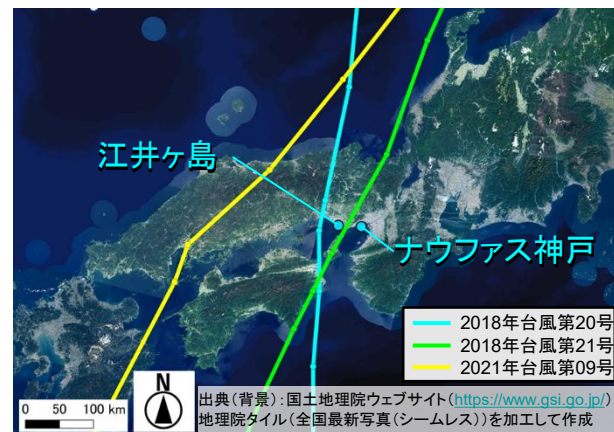


図5 代表擾乱の台風経路

2.2 波あたりの違いの検討

□対象風況の設定(方位別最大風速の整理の概要)

- 代表擾乱時の風の観測値から、西系、東系について、方位別最大風速を整理(表3、図6)。

表3 対象風況の検討の概要

- ① 代表擾乱を対象に、風の観測値を時系列図※¹にて整理。
- ② 時系列図から、方位別最大風速を抽出※²。
- ③ 西系、東系について、方位別最大風速を整理。

※1:ピーク時を含む3日間で整理

※2:表4の「波の来襲方向」の方位を対象に抽出

表4 来襲波浪の特性と使用する観測値

波浪	発達海域	波の来襲方向	使用する風の観測所
西系の波浪	播磨灘	南西～西	明石(アメダス) 江井ヶ島
東系の波浪	大阪湾	東南東～南	神戸空港(アメダス) 関空島(アメダス)

※ 使用する風の観測所は、海域に隣接している箇所とした。

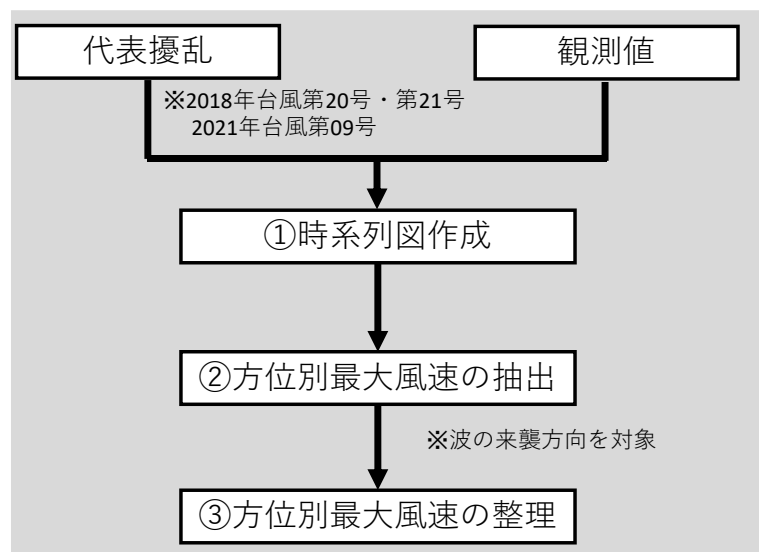


図6 対象風況の設定フロー



図7 風況観測地点

波浪変形計算結果について

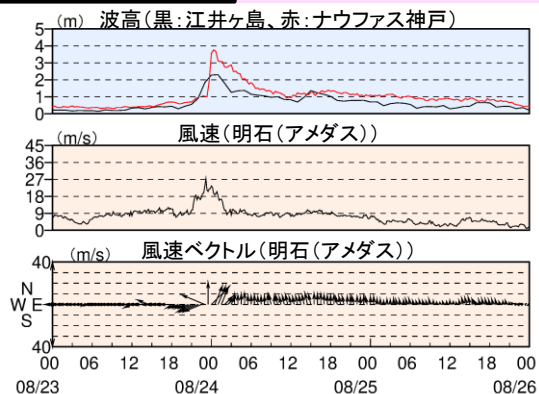
2.2 波あたりの違いの検討

□対象風況の設定(方位別最大風速の抽出, 2018年台風第20号)

- 代表擾乱時の観測値より、方位別最大風速を抽出。

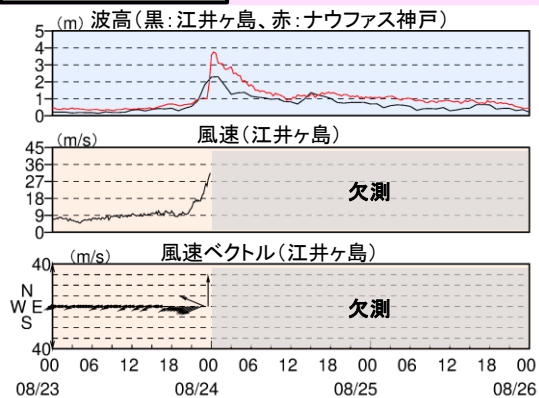
西系(播磨灘)

明石(アメダス)



方位別最大風速

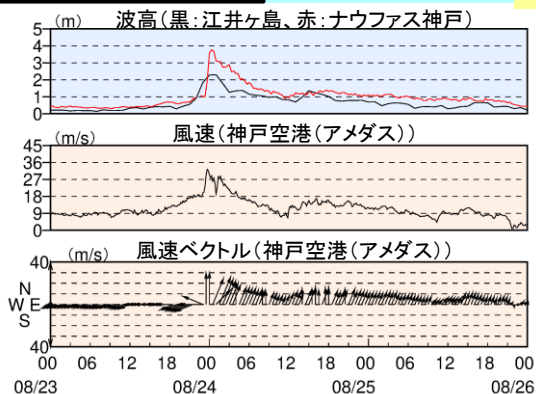
江井ヶ島



方位別最大風速

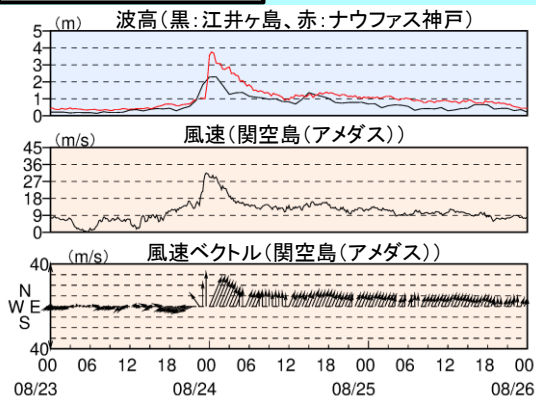
東系(大阪湾)

神戸空港(アメダス)



方位別最大風速

関空島(アメダス)



方位別最大風速



図9 風況観測地点

- ※1: 風況(風速、風速ベクトル)の時系列と併せて、参考として波高の時系列を掲載
- ※2: 時系列は、波高のピーク時を含む3日間で整理
- ※3: 方位別最大風速は、前述で整理した波の来襲方向を対象に整理

図8 波浪・風況の時系列と方位別最大風速(2018年台風第20号)

波浪変形計算結果について

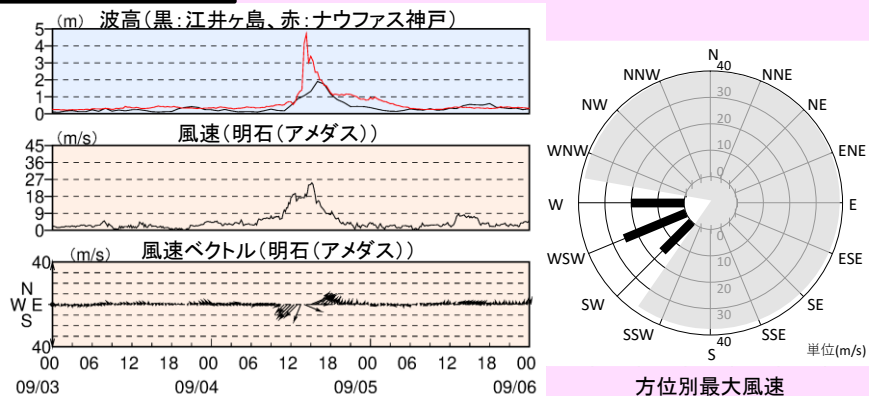
2.2 波あたりの違いの検討

□対象風況の設定(方位別最大風速の抽出, 2018年台風第21号)

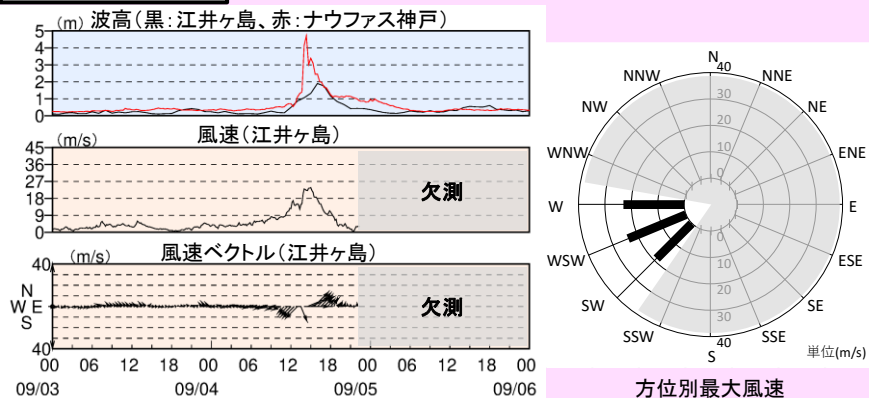
- 代表擾乱時の観測値より、方位別最大風速を抽出。

西系(播磨灘)

明石(アメダス)

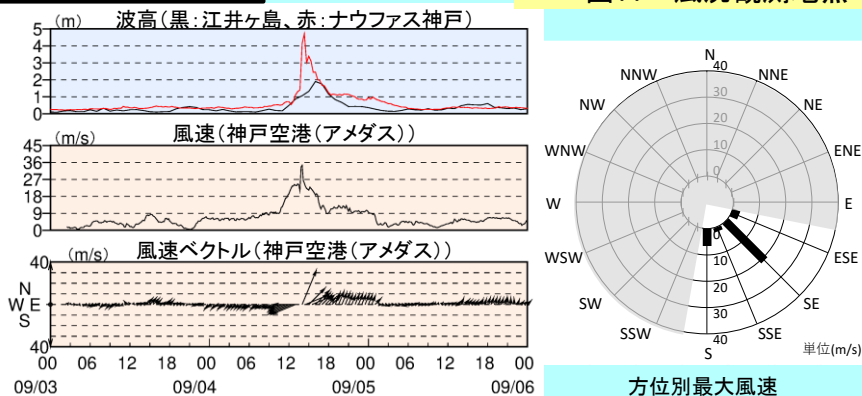


江井ヶ島



東系(大阪湾)

神戸空港(アメダス)



関空島(アメダス)

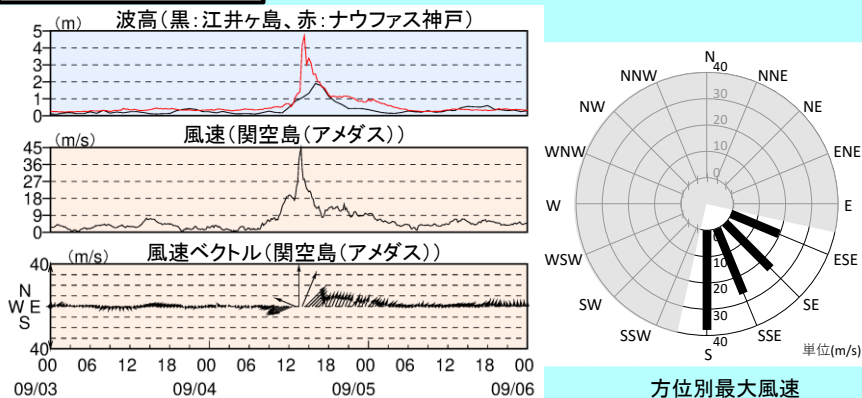


図11 風況観測地点

- ※1: 風況(風速、風速ベクトル)の時系列と併せて、参考として波高の時系列を掲載
- ※2: 時系列は、波高のピーク時を含む3日間で整理
- ※3: 方位別最大風速は、前述で整理した波の来襲方向を対象に整理

図10 波浪・風況の時系列と方位別最大風速(2018年台風第21号)

波浪変形計算結果について

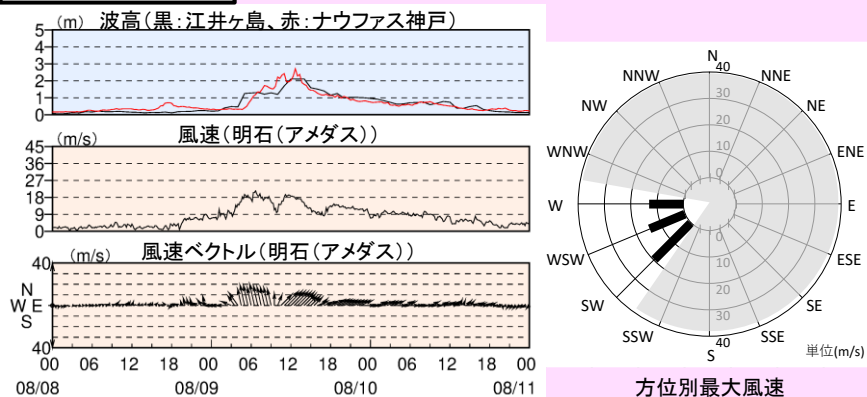
2.2 波あたりの違いの検討

□対象風況の設定(方位別最大風速の抽出, 2021年台風第09号)

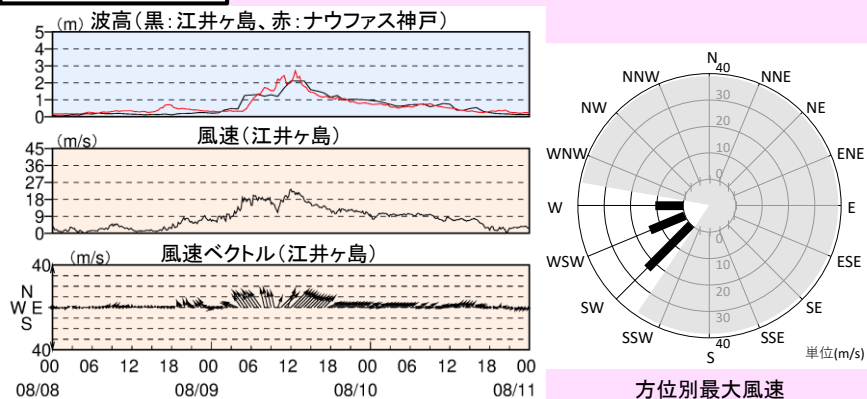
- 代表擾乱時の観測値より、方位別最大風速を抽出。

西系(播磨灘)

明石(アメダス)

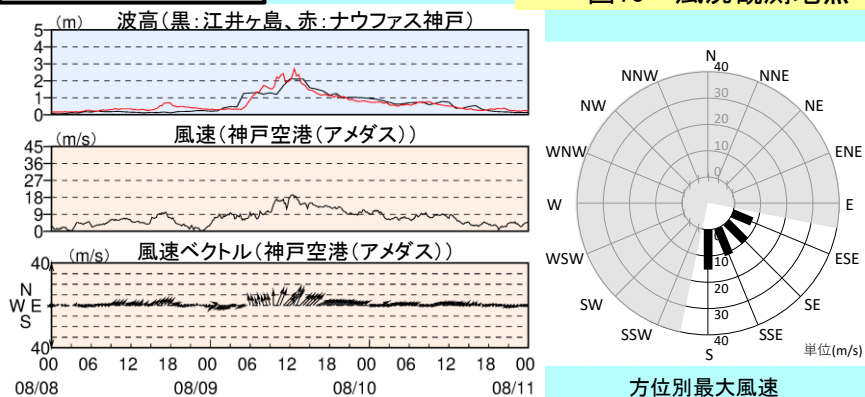


江井ヶ島



東系(大阪湾)

神戸空港(アメダス)



関空島(アメダス)

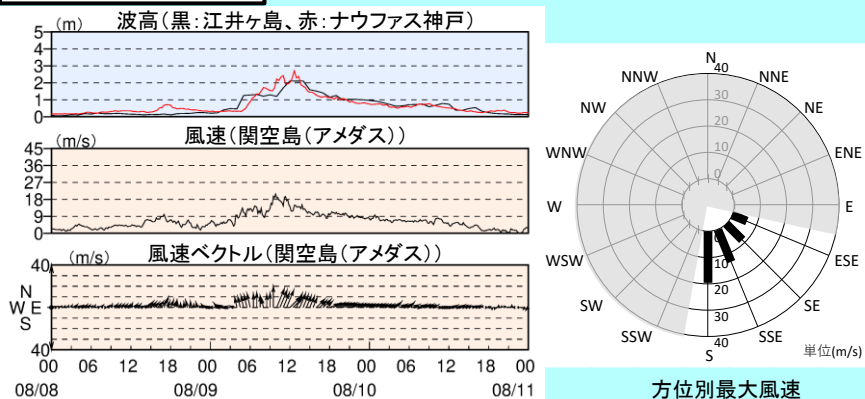


図13 風況観測地点

- ※1: 風況(風速、風速ベクトル)の時系列と併せて、参考として波高の時系列を掲載
- ※2: 時系列は、波高のピーク時を含む3日間で整理
- ※3: 方位別最大風速は、前述で整理した波の来襲方向を対象に整理

図12 波浪・風況の時系列と方位別最大風速(2021年台風第09号)

2.2 波あたりの違いの検討

□対象風況の設定(方位別最大風速の整理と対象風況の設定)

- 西系(播磨灘)、東系(大阪湾)の観測所について、方位別最大風速を整理(図14、図15)。
 - 方位別最大風速の最大値は、西系(播磨灘)で約25m/s、東系(大阪湾)で約38m/s
 - 上記の風速と波の来襲方向(前述で整理)をふまえ、対象風況を設定(表5、表6)。
- 風速については、上記の風速を基本ケースとし、基本ケース±10%の風速も対象風況とした。

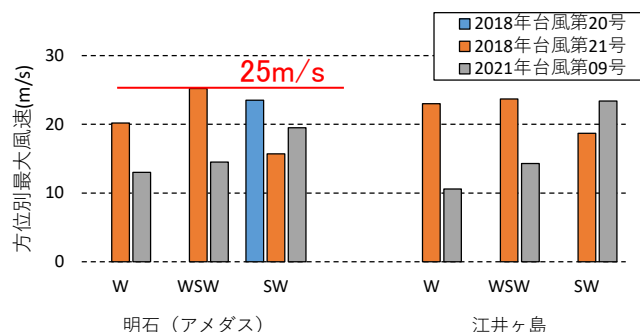


図14 方位別最大風速(西系(播磨灘))

表5 対象風況(西系(播磨灘))

No.	風速	風向
西-1	25m/s (基本ケース)	W
西-2		WSW
西-3		SW
西-4	23m/s (10%風速減)	W
西-5		WSW
西-6		SW
西-7	28m/s (10%風速増)	W
西-8		WSW
西-9		SW

※ 風向は、前述で整理した波の来襲方向を設定

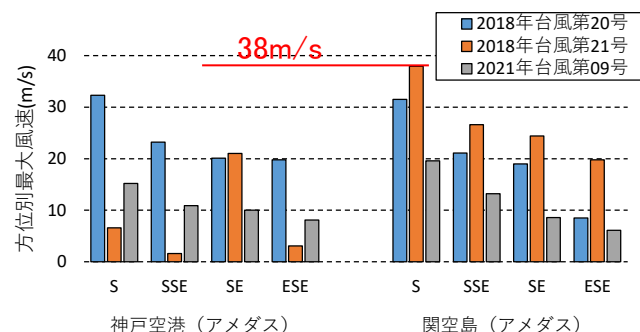


図15 方位別最大風速(東系(大阪湾))

表6 対象風況(東系(大阪湾))

No.	風速	風向	No.	風速	風向
東-1	38m/s (基本ケース)	S	東-9	42m/s (10%風速増)	S
東-2		SSE	東-10		SSE
東-3		SE	東-11		SE
東-4		ESE	東-12		ESE
東-5	34m/s (10%風速減)	S	—	—	—
東-6		SSE	—	—	—
東-7		SE	—	—	—
東-8		ESE	—	—	—

※ 風向は、前述で整理した波の来襲方向を設定

2.2 波あたりの違いの検討

□ 計算条件の設定と計算実行

- 計算条件は表7のとおり設定。
- 表8、表9に示すケースについて計算を実行。

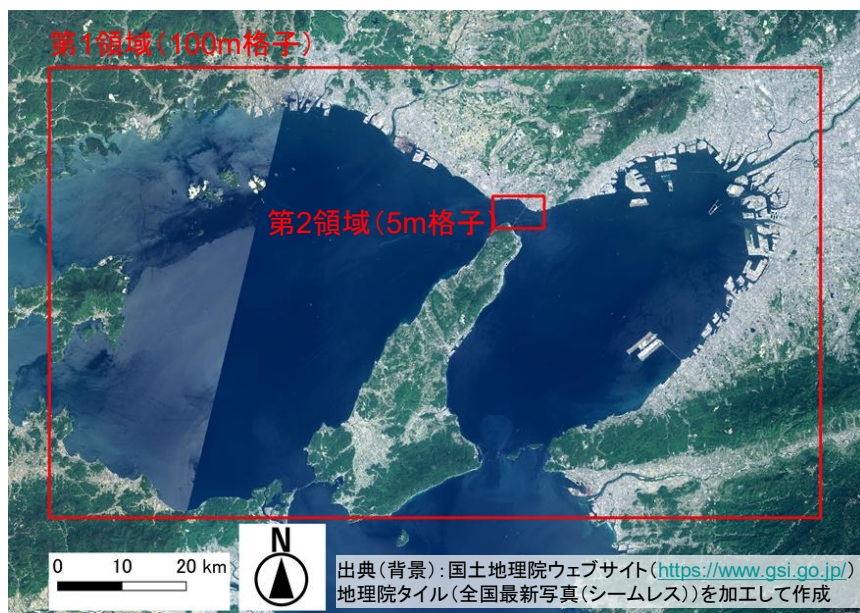


図16 計算領域

表7 計算条件

項目	計算条件
計算モデル	第三世代波浪推算モデル: SWAN
計算ケース	下表に示す風速・風向を変えた21ケース
計算領域	第1領域: 大阪湾、播磨灘を含む範囲(格子幅: 100m) 第2領域: 大蔵海岸、舞子海岸を含む範囲(格子幅: 5m)
潮位条件	T.P.+0.60m(明石の朔望平均満潮位)
風の条件	定常条件 (計算領域全体に下表に示す風向・風速を与えて計算)
その他	風から波へのエネルギー輸送項: GEN3 KOMEN

表8 計算ケース(西系)

No.	風速	風向
西-1	25m/s (基本ケース)	W
西-2		WSW
西-3		SW
西-4	23m/s (10%風速減)	W
西-5		WSW
西-6		SW
西-7	28m/s (10%風速増)	W
西-8		WSW
西-9		SW

表9 計算ケース(東系)

No.	風速	風向
東-1	38m/s (基本ケース)	S
東-2		SSE
東-3		SE
東-4	34m/s (10%風速減)	ESE
東-5		S
東-6		SSE
東-7	42m/s (10%風速増)	SE
東-8		ESE
東-9		S
東-10	42m/s (10%風速増)	SSE
東-11		SE
東-12		ESE

2.2 波あたりの違いの検討

□ 波あたりの違いの検討(大蔵海岸、基本ケース)

- 波高抽出ライン(水深約10m)における波高の沿岸分布を整理※(図17)。
- 波の屈折による収斂で波高が高まる箇所がみられるが、異型函箇所(図17、図18の点D、点F)や空洞箇所の波高は、周辺と比べ特段高い傾向はみられなかった。

※ 基本ケース以外も計算を実施し、計算結果の傾向が基本ケースと変わらないことを確認。本資料では、基本ケースを対象に整理を実施。

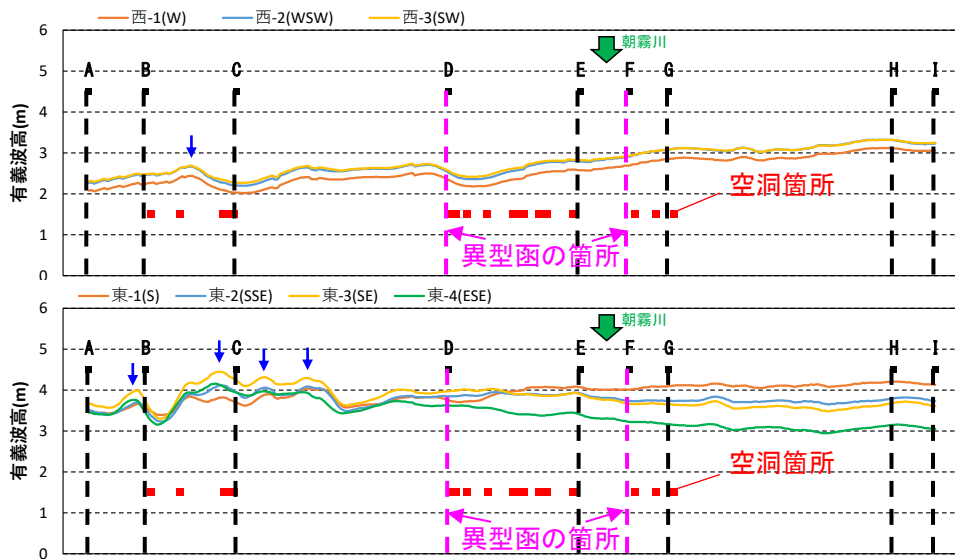


図17 波高の沿岸分布(基本ケース(西-1～西-3、東-1～東-4))

表10 検討ケース

No.	風速	風向
西-1	25m/s (基本ケース)	W
西-2		WSW
西-3		SW
東-1	38m/s (基本ケース)	S
東-2		SSE
東-3		SE
東-4		ESE

※1: A～Iは、図18と対応
 ※2: R6d調査にて、深さ10cm以上の空洞が発生している箇所を■で表示
 ※3: 波の屈折による収斂箇所を↓にて表示

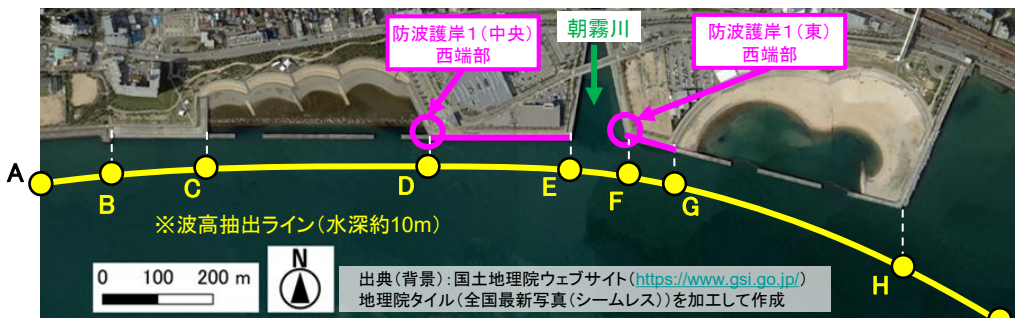


図18 波高の計算結果抽出地点

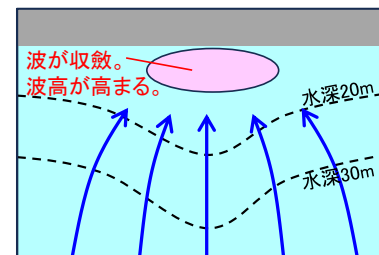


図19 波の収斂のイメージ

2.2 波あたりの違いの検討

□波あたりの違いの検討(舞子海岸、基本ケース)

- 波高抽出ライン(水深約10m)における波高の沿岸分布を整理※(図20)。
- 波の屈折による収斂で波高が高まる箇所がみられるが、防波護岸1開口部(図20、図21の点H)や空洞箇所の波高は、周辺と比べ特段高い傾向はみられなかった。

※ 基本ケース以外も計算を実施し、計算結果の傾向が基本ケースと変わらないことを確認。本資料では、基本ケースを対象に整理を実施。

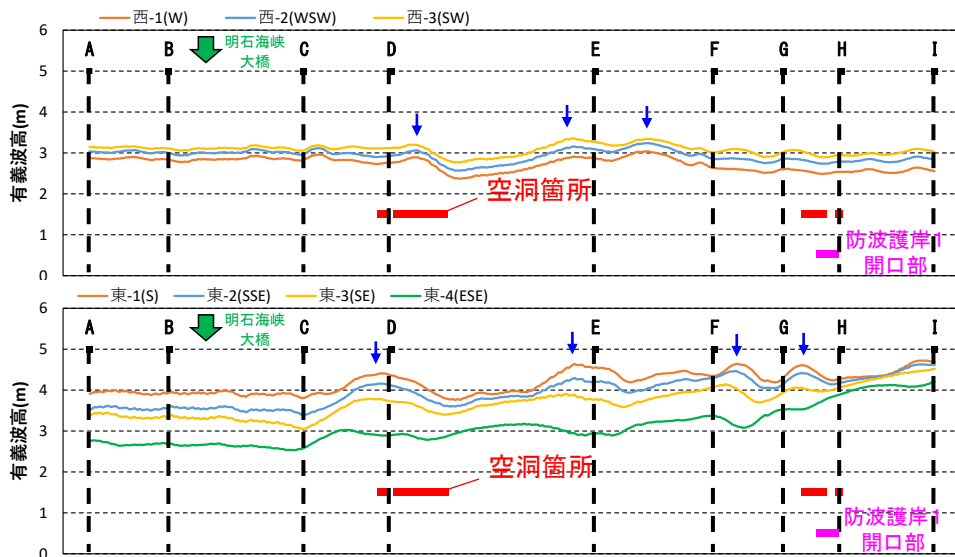


図20 波高の沿岸分布(基本ケース(西-1～西-3、東-1～東-4))

表11 検討ケース

No.	風速	風向
西-1	25m/s (基本ケース)	W
西-2		WSW
西-3		SW
東-1	38m/s (基本ケース)	S
東-2		SSE
東-3		SE
東-4		ESE

※1: A～Iは、図21と対応

※2: R6d調査にて、深さ100mm以上の空洞が発生している箇所を■で表示

※3: 波の屈折による収斂箇所を↓にて表示

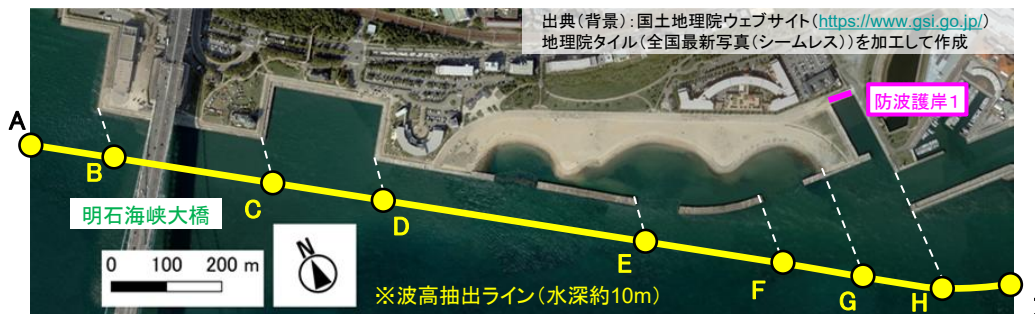


図21 波高の計算結果抽出地点

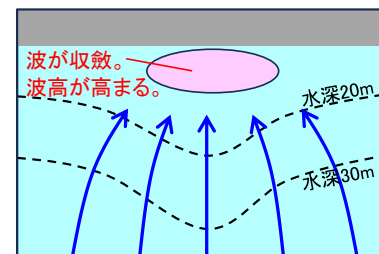


図22 波の収斂のイメージ

2.3 共振・重複波の影響確認

□ 感度分析ケースの設定

- 感度分析ケースの周期は、ナウファス神戸の「周期帯別の波高階級別出現頻度統計(表13)」をふまえ、表12のとおり設定。
- 波向は、開口部と防波堤や淡路島の位置関係をふまえ、表12のとおり設定。

表12 感度分析ケース

ケース	周期	波向
1	6s	180°
2	6s	190°
3	6s	200°
4	9s	180°
5	9s	190°
6	9s	200°
7	12s	180°
8	12s	190°
9	12s	200°

表13 周期帯別の波高階級別出現頻度統計

付表-B.5.49 神戸 周期帯別の波高階級別出現頻度統計(連続観測)
2018年 1月～2018年12月(年) 波高階級別出現頻度表 観測地点: 神戸

波高	f2 周期帯 16.0～25.6秒	f3 周期帯 10.7～14.0秒	f4 周期帯 8.0～9.8秒	f5 周期帯 4.3～7.5秒
751～		代表値 (12秒)	代表値 (9秒)	代表値 (6秒)
701～750				
651～700				
601～650				
551～600				
501～550				
451～500				
401～450				
351～400				
301～350				
251～300				
201～250				6 (0.0)
176～200				9 (0.0)
151～175				16 (0.1)
126～150				68 (0.3)
101～125			1 (0.0)	108 (0.5)
76～100			5 (0.0)	232 (1.0)
51～75		13 (0.1)	14 (0.1)	428 (1.9)
26～50	3 (0.0)	156 (0.7)	196 (0.9)	1241 (5.5)
～25	22657 (100.0)	22491 (99.3)	22444 (99.0)	20552 (90.7)
合計	22660 (100.0)	22660 (100.0)	22660 (100.0)	22660 (100.0)

周期14秒以下で、
波高51cm以上の波が存在

出典: 全国港湾海洋波浪観測年報(NOWPHAS 2018) (連続観測)



出典(背景): 国土地理院ウェブサイト(<https://www.gsi.go.jp/>)
地理院タイル(全国最新写真(シームレス))を加工して作成

図23 開口部と防波堤、淡路島との位置関係

2.3 共振・重複波の影響確認

□ 航走波による周期の試算(技術基準より)

- 2025年9月3日～16日の明石海峡航路(図24)の入港予定船舶情報※¹を収集・整理(図25)。
- 図25をふまえ、3～15万GTの船舶の航走波を技術基準※²に準じて試算(図26、図27)。
- 航走波の周期は、横波で最大11s程度、縦波で最大7s程度であり、前述の感度分析ケースの周期は、航走波の周期を網羅していることを確認。

※1: 大阪湾海上交通センターHP (<https://www6.kaiho.mlit.go.jp/osakawan/>)

※2: 港湾の施設の技術上の基準・同解説(平成30年5月)



図24 明石海峡航路位置図

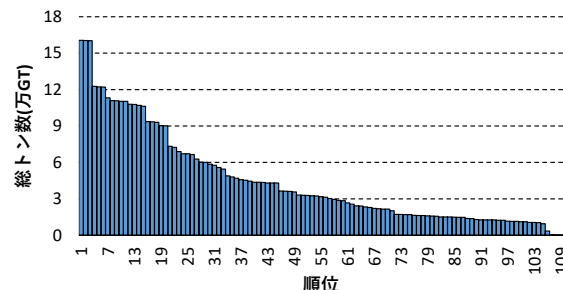
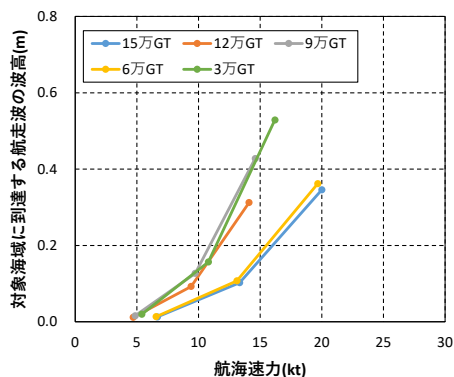
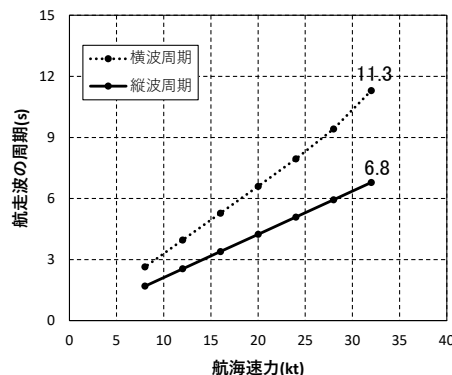


図25 入港予定船舶の総トン数(2025/9/3～16)



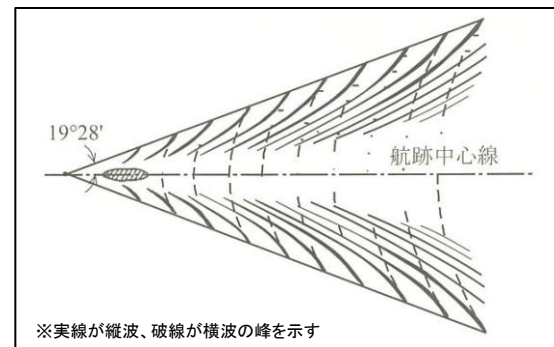
※ 波高は、入港予定船舶から総トン数や代表的な船舶諸元(速力、船舶長さ、馬力、排水量など)を設定して算出
 ※ 船舶の諸元は、日本船舶明細書Ⅰ(令和3年1月)を参考に設定
 ※ 明石海峡航路中心から対象海域までの距離減衰(約2km)を考慮

図26 航走波の波高の試算結果



※ 周期は、3～15万GTで出力可能な速力を設定して算出
 ※ 周期は、速力以外の船舶諸元の設定は不要。また、総トン数によらず一様(例えば、3万GTと15万GTの周期は同じ)

図27 航走波の周期の試算結果



出典: 港湾の施設の技術上の基準・同解説(平成30年5月)

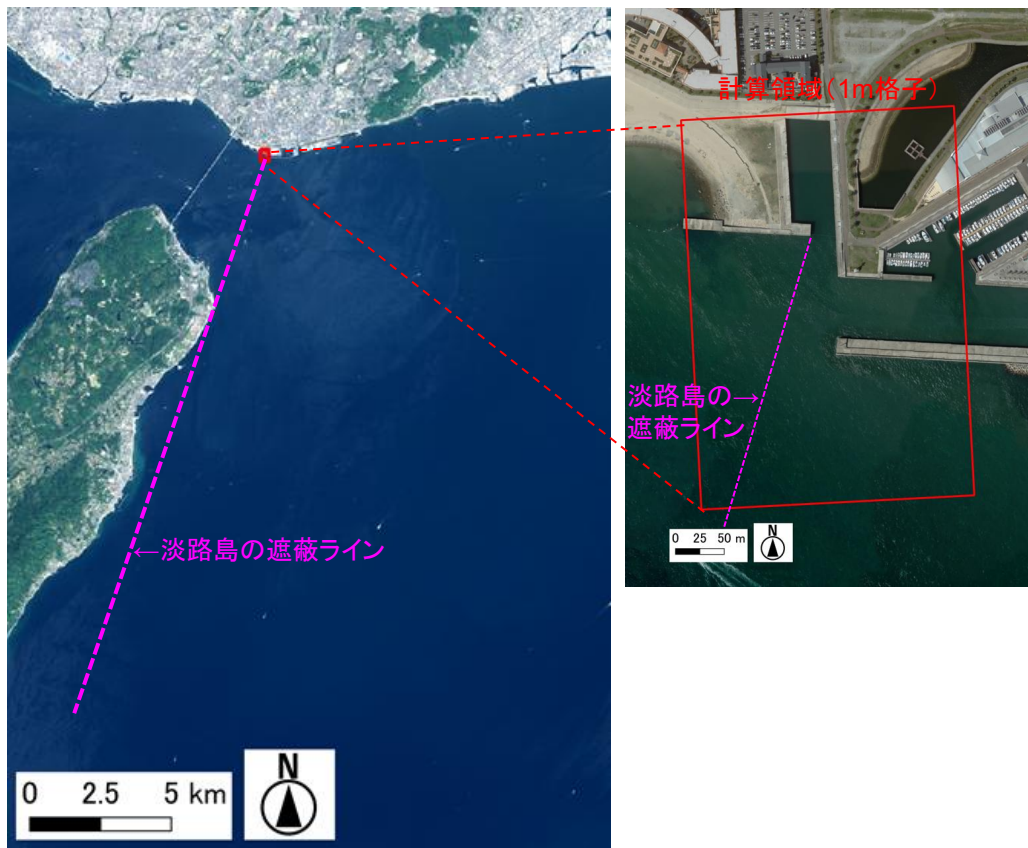
図28 航走波の平面図

波浪変形計算結果について

2.3 共振・重複波の影響確認

□ 計算条件の設定と計算実行

- 計算条件は表14のとおり設定。
- 表15に示すケースについて計算を実行。



出典(背景): 国土地理院ウェブサイト(<https://www.gsi.go.jp/>)
地理院タイル(全国最新写真(シームレス))を加工して作成

図29 計算領域

表14 計算条件

項目	計算条件
計算モデル	ブシネスクモデル(NOWTPARI v5.2)
計算領域	防波護岸1を含む420m×280mの範囲(格子幅:2m)
潮位条件	T.P.+0.60m(明石の朔望平均満潮位)
沖波条件	下表に示す周期・波向を変えた9ケース
反射率	技術基準※1より、該当する構造形態の反射率を設定(直立消波施設:0.8、直立壁:1.0)

※1 港湾の施設の技術上の基準・同解説(平成30年5月)

表15 沖波条件

ケース	周期	波向
1	6s	180°
2	6s	190°
3	6s	200°
4	9s	180°
5	9s	190°
6	9s	200°
7	12s	180°
8	12s	190°
9	12s	200°



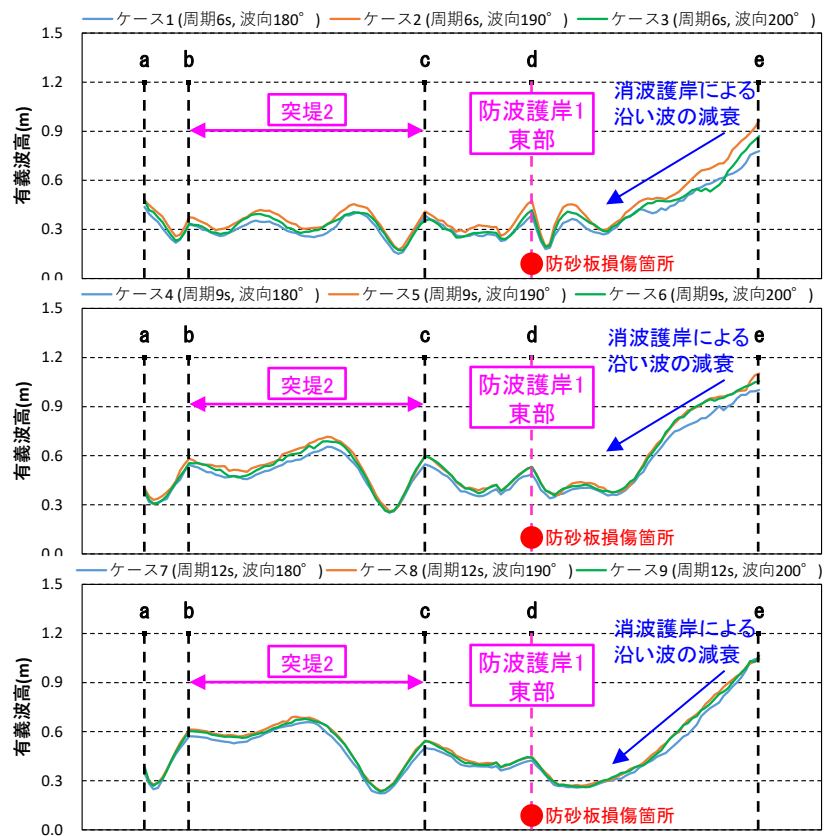
図30 反射率の設定

2.3 共振・重複波の影響確認

□ 波浪変形計算結果(護岸前面の分布)

- 波高抽出ライン(護岸前面)における波高の分布を整理(図31)。
- 防波護岸1の東部(図31、図32の点d)は、周囲より波高が高まる傾向にある。
- 周期が短い6sのケースでは、点dと突堤2前面(図31、図32の点b-c)で波高は同程度となっている。
- 周期9s、12sのケースでは、点dより点b-cの方が波高が高い傾向にある。

⇒ 防砂板損傷箇所(点d)のみでの、共振・重複波による顕著な沖波変形は確認されなかった。



※a～eは、図32と対応

図31 護岸前面の波高の分布図

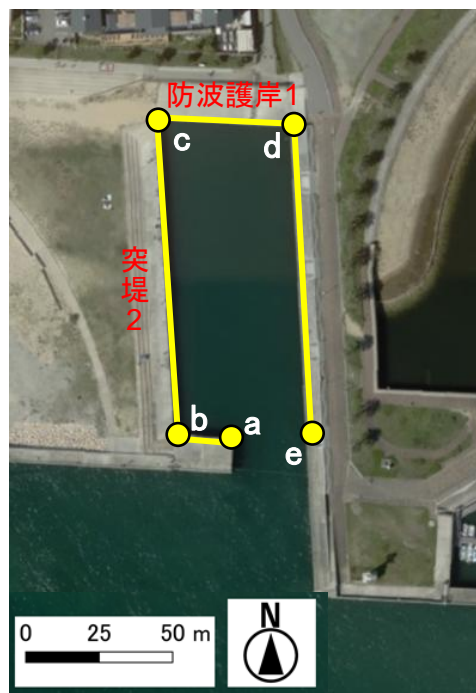


図32 波高の計算結果抽出地点

表16 感度分析ケース

ケース	周期	波向
1	6s	180°
2	6s	190°
3	6s	200°
4	9s	180°
5	9s	190°
6	9s	200°
7	12s	180°
8	12s	190°
9	12s	200°

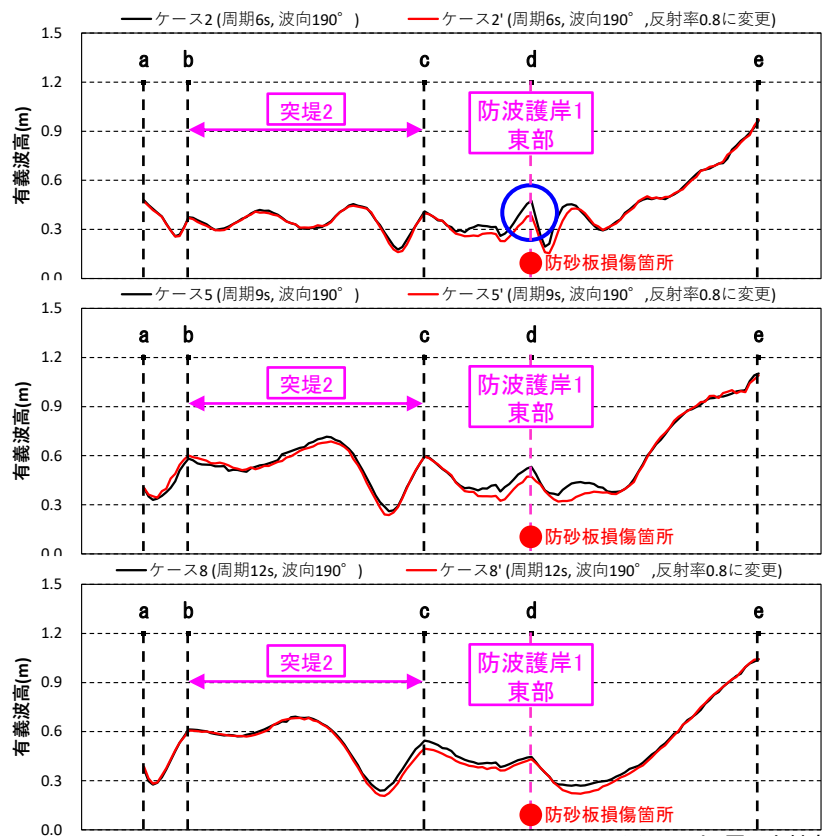
出典(背景): 国土地理院ウェブサイト(<https://www.gsi.go.jp/>)
地理院タイル(全国最新写真(シームレス))を加工して作成

2.3 共振・重複波の影響確認

□ 波浪変形計算結果(護岸前面の分布)

- 周期が短い6sのケースで点d付近の波高が高くなる要因として、隅角部周辺の反射の影響が考えられた。この確認のため、表17のケース2、5、8について、反射率を変更※した計算を実施。
- 波高抽出ライン(護岸前面)における波高の分布を整理(図33)。
- 周期が短い6sのケース2では、反射率変更による点d 付近の波高の減少が顕著。
⇒ 点dでは、周期が短いほど隅角部周辺の反射の影響を受けやすいと推察。

※点d南側の直立壁の反射率を1.0→0.8に変更



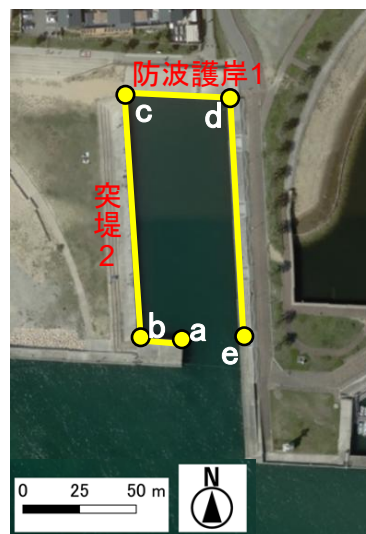
※a~eは、図34と対応

図33 護岸前面の波高の分布図

表17 感度分析ケース

ケース	周期	波向	ケース	周期	波向	ケース	周期	波向
1	6s	180°	4	9s	180°	7	12s	180°
2	6s	190°	5	9s	190°	8	12s	190°
3	6s	200°	6	9s	200°	9	12s	200°

※それぞれの周期で点dの波高が最も高くなった波向にハッチ



出典(背景): 国土地理院ウェブサイト(<https://www.gsi.go.jp/>) 地理院タイル(全国最新写真(シームレス))を加工して作成

図34 波高の計算結果抽出地点



図35 反射率の設定

2.4 波あたりの違いによる影響確認に関する考察

□ 確認結果について(考察)

- 西系の波浪、東系の波浪ともに、波の屈折による収斂で局所的に波高が高まる箇所がみられるが、空洞確認箇所の波高が周辺と比べ特段高くなるような傾向は確認できなかった。
- 防波護岸1において、共振・重複波による沖波変形の影響を確認した。
その結果、周期が短い6sのケースでは、防砂板損傷箇所である隅角部周辺において、反射の影響による波高の高まりを確認した。しかし、その他の周期のケースでは、隅角部周辺以外に突堤2でも波高が高まっていることを確認した。
(防砂板損傷箇所のみでの顕著な沖波変形は、確認できなかった)

⇒ 防波護岸1の隅角部で、波高の高まりがみられるためケーソン敷設時には目地間隔が規定値より大きくならないような注意を払う必要があるものの、空洞の発生要因として、波あたりの影響が支配的とは考え難く、現在の構造物を補修する方向で問題ないと考えられる。