

第2章 計画地の現況把握

2.1 中城湾港（熱田地区）の現況把握

中城湾港（熱田地区）の現況を把握し、水中展望船の導入に向けての課題を整理する。



中城湾港（熱田地区）の現況について、以下の項目毎に整理する。

- ✓ 施設の整備状況
- ✓ 施設の利用状況
- ✓ 施設の管理状況
- ✓ 土地利用状況
- ✓ 水中展望船の導入に向けての課題整理

2.1.1 施設の整備状況

中城湾港（熱田地区）における施設の整備状況を表-2.1.1に示す。

中城湾港（熱田地区）は、2つの防波堤に囲まれ、静穏性の向上を図っている。また、泊地の計画水深は浅く、-2.0～-2.5mである。その他、物揚場、船揚場、護岸等の施設が整備されている。

表-2.1.1 施設の整備状況

施設分類		施設番号	規模		
大分類	小分類		水深(m)	延長(m)	面積(m ²)
水域施設	泊地	A-2-13	-2.0		10,450.0
		A-2-20	-2.0		20,900.0
		A-2-25	-2.5		5,396.0
外郭施設	防波堤	B-1-19		270.0	
		B-1-13		460.0	
	護岸	B-5-37		70.0	
		B-5-38		186.0	
係留施設	物揚場	C-6-19	-2.0	50.0	
		C-6-20	-2.5	50.0	
	船揚場	C-7-8		100.0	
荷捌施設	荷捌地	F-4-10			1,000.0
		F-4-16			500.0
		F-4-19		50.0	500.0
		F-4-19		50.0	
保管施設	野積場	H-2-7			2,296.0
		H-2-8			4,089.0
港湾環境整備施設	緑地	L-2-3			6,800.0



各施設を位置を写真-2.1.1 に示す。

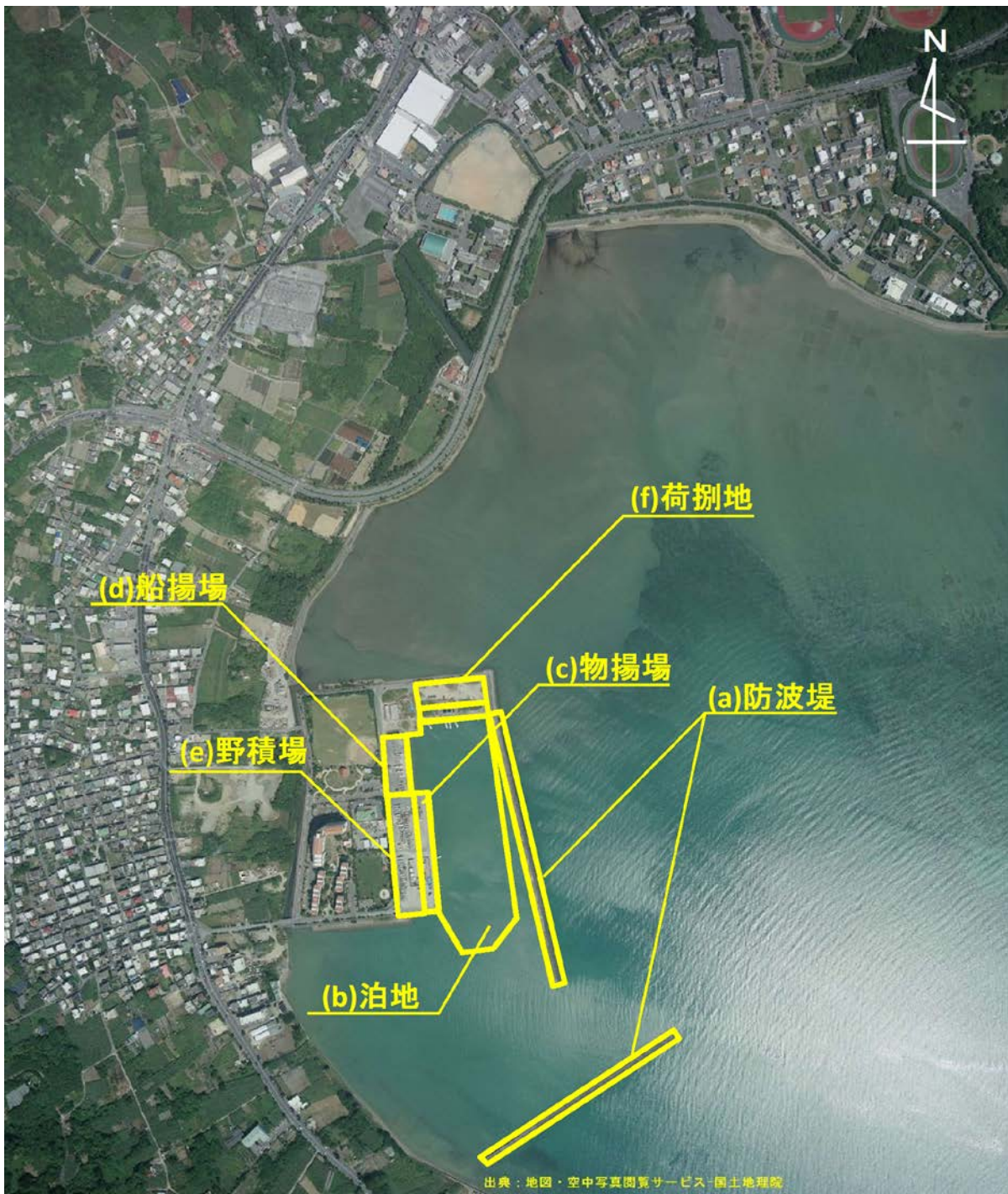


写真-2.1.1 各施設の位置

(a) 防波堤

防波堤は、東西と南北の2方向に整備され、防波堤の港外側に消波ブロックを設置している。



(d) 船揚場

船揚場は、野積場の北側に整備され、船揚場に漁船を陸揚げしている。



(b) 泊地

泊地は、物揚場と船揚場の前面に整備され、計画水深は-2.0~-2.5mである。



(e) 野積場

野積場は、物揚場の背後に整備され、野積場の表面は未舗装である。



(c) 物揚場

物揚場は、計画水深-2.0~-2.5mで整備され、物揚場の前面に縦付けで漁船を係留している。



(f) 荷捌地

荷捌地は、中城湾港（熱田地区）の北側に整備され、荷捌地の表面は未舗装である。



2.1.2 施設の利用状況

各施設の位置を写真-2.1.2に示す。



写真-2.1.2 各施設の位置

(a) 物揚場

物揚場に係留している漁船の隻数は少なく、あまり利用されていない。



(d) 野積場

野積場には、82 隻の遊漁船が陸揚げされていた (H29.6 調査結果より)。



(b) 船揚場

船揚場に陸揚げしている漁船の隻数は多い。



野積場には、18 台の普通車と 11 台のトレーラーが駐車していた (H29.6 調査結果より)。



(c) 荷捌地

荷捌地は空地になっており、利用されていない。



2.1.3 施設の管理状況

中城湾港（熱田地区）の施設は沖縄県が管理している。各施設の位置を写真-2.1.3 に示す。



写真-2.1.3 各施設の位置

(a) 船揚場

船揚場は、沖縄県が北中城村役場に管理委託している。



(b) 野積場

野積場は、沖縄県が管理しているが、放置船や放置車両が多数見られる。



2.1.4 土地利用状況

中城湾港（熱田地区）の背後地について、土地利用状況を写真-2.1.4に示す。

中城湾港（熱田地区）の背後地は、市街化調整区域に指定され、住居地域と公共地区に区分されている。住居地域には、県営北中城団地、公共地区には、しおさい公苑や熱田緑地公園などが整備されている。なお、しおさい公苑と熱田緑地公園は、北中城村地域防災計画において、一時避難場所として指定されている。



写真-2.1.4 土地利用状況

中城湾港（熱田地区）の土地利用状況について、以下の施設毎に整理する。

- | | |
|----------------------|---------------------|
| (a) しおさい公苑 | (b) しおさい市場・きた漁 |
| (c) 熱田緑地公園 | (d) 北中城村立・学校給食共同調理場 |
| (e) 佐敷中城漁業協同組合・北中城支所 | (f) 県営北中城団地 |

(a) しおさい公苑

しおさい公苑は、芝生広場、グラウンド、駐車場、管理棟及びトイレが整備されている。また、災害時の避難場所として指定されている。



(b) しおさい市場・きた漁

しおさい市場・きた漁は、北中城村の特産品「アーサ (アオサ)」などを販売する村営のアンテナショップである。



(c) 熱田緑地公園

熱田緑地公園は、緑地広場、遊具、四阿 (あずまや) 及びトイレが整備されている。また、災害時の避難場所として指定されている。



(d) 北中城村立・学校給食共同調理場

北中城村立・学校給食共同調理場は、近隣の幼稚園、小学校及び中学校に学校給食を調理・調達する施設である。



(f) 県営北中城団地

県営北中城団地は、熱田緑地公園の背後に位置し、RC造10階建て1棟、4階建て3棟、合計137戸の世帯がある。



(e) 佐敷中城漁業協同組合・北中城支所

佐敷中城漁業協同組合・北中城支所は、熱田緑地公園の北側に隣接している。敷地内にトイレが設置されている。



2.1.5 水中展望船導入に向けての課題整理

中城湾港（熱田地区）に水中展望船を導入するに当たり、以下の施設が必要である。

- (a) 水中展望船の発着場
- (b) 浮棧橋
- (c) 発券所
- (d) 管理棟
- (e) 駐車場
- (f) トイレ
- (g) 電気設備、水道設備

施設毎に課題を整理する。

(a) 水中展望船の発着場

- 中城湾港（熱田地区）の北側に船揚場があり、漁船を陸揚げしている。そのため、水中展望船の発着場を、船揚場付近の候補地Aに計画すると、漁船や遊漁船の航行に支障を来すだけでなく、海難事故等の安全上の問題がある。よって、水中展望船の発着場は、出来るだけ中城湾港（熱田地区）の南側、候補地B又は候補地C付近に計画することが望ましい。
- 水中展望船の発着場を候補地B又は候補地Cに計画した場合、野積場に多数の遊漁船が陸揚げされているため、遊漁船の撤去が必要である。
- 候補地B又は候補地C付近は、港口（防波堤と防波堤の間）から近く、外洋波の影響を受けやすい場所である。そのため、中城湾港（熱田地区）における泊地の静穏度を確認する必要がある。⇒ 港内静穏度解析の実施
- 中城湾港（熱田地区）における泊地の計画水深は-2.0~-2.5mであるが、港口から入ってくる漂砂により土砂が堆積し、水深が浅くなっている可能性がある。そのため、泊地の現況水深を確認する必要がある。⇒ 深浅測量成果の確認

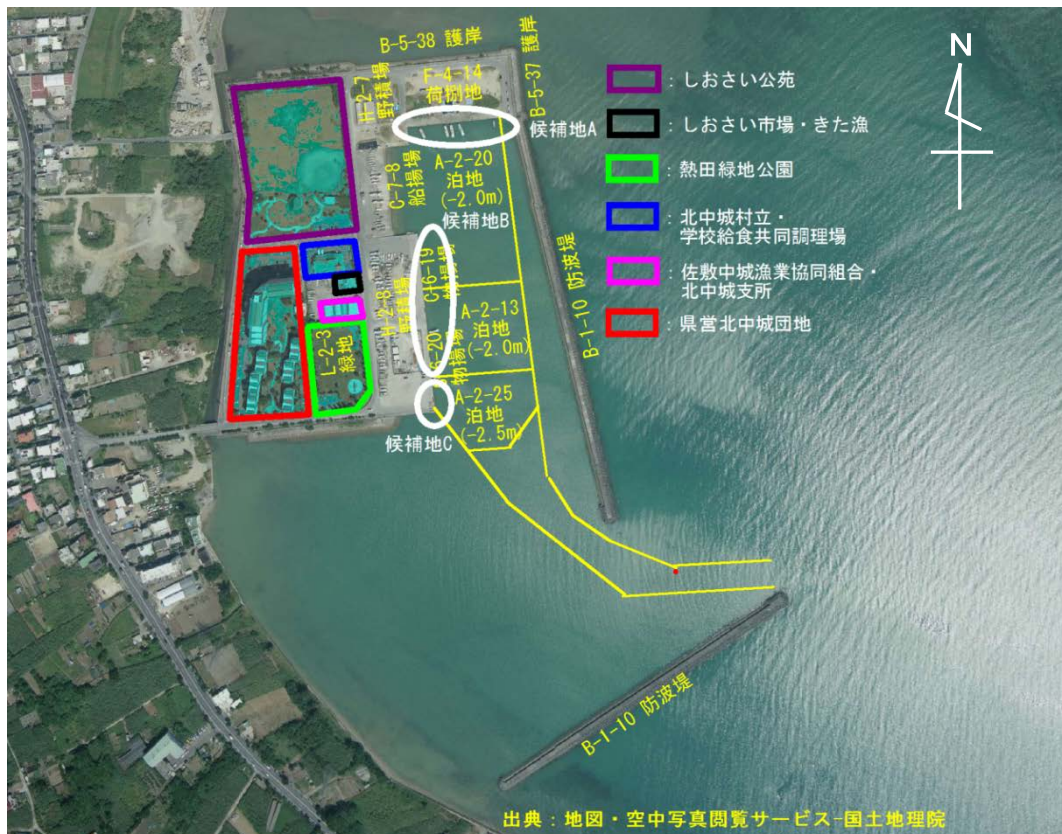


写真-2.1.5 各施設の位置

(b) 浮棧橋

- 中城湾港（熱田地区）の潮位差（満潮位と干潮位の差）は、概ね2 mであり、干潮時においては、物揚場の天端面と水中展望船のデッキ面との高低差が大きくなる。水中展望船への乗り降りを円滑に行うためには、浮棧橋の設置が必要である。
- 浮棧橋は、将来2隻体制での運行を想定して、物揚場の法線に対して直角方向に設置することが望ましい。その際、漁船の航行に対して十分な航路幅が確保されているかを確認する必要がある。
- 物揚場と浮棧橋の間に連絡橋を設置して観光客が渡れる様にする。その際、連絡橋の勾配は、満潮時と干潮時においてバリアフリーを考慮した勾配を満足するものとする。
- 連絡橋を設置する場合、物揚場上部工の改良が必要である。

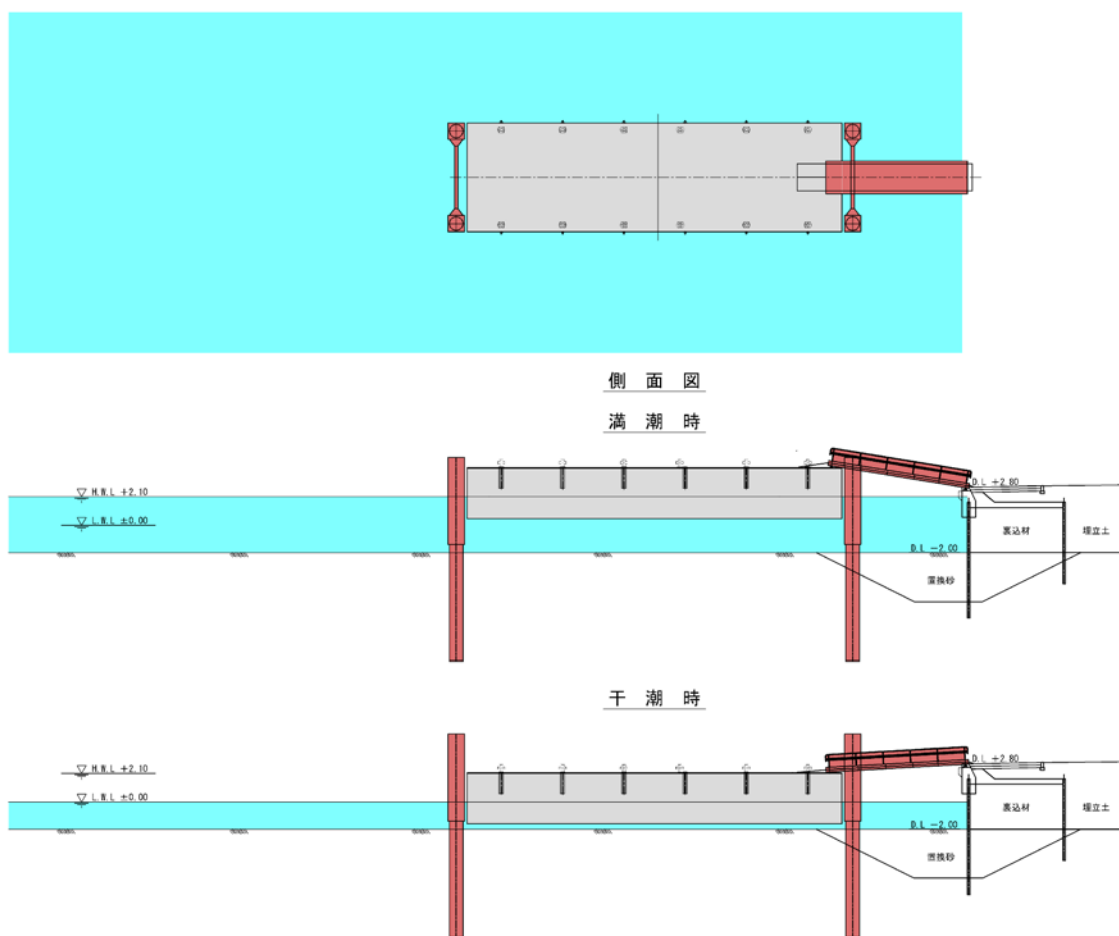
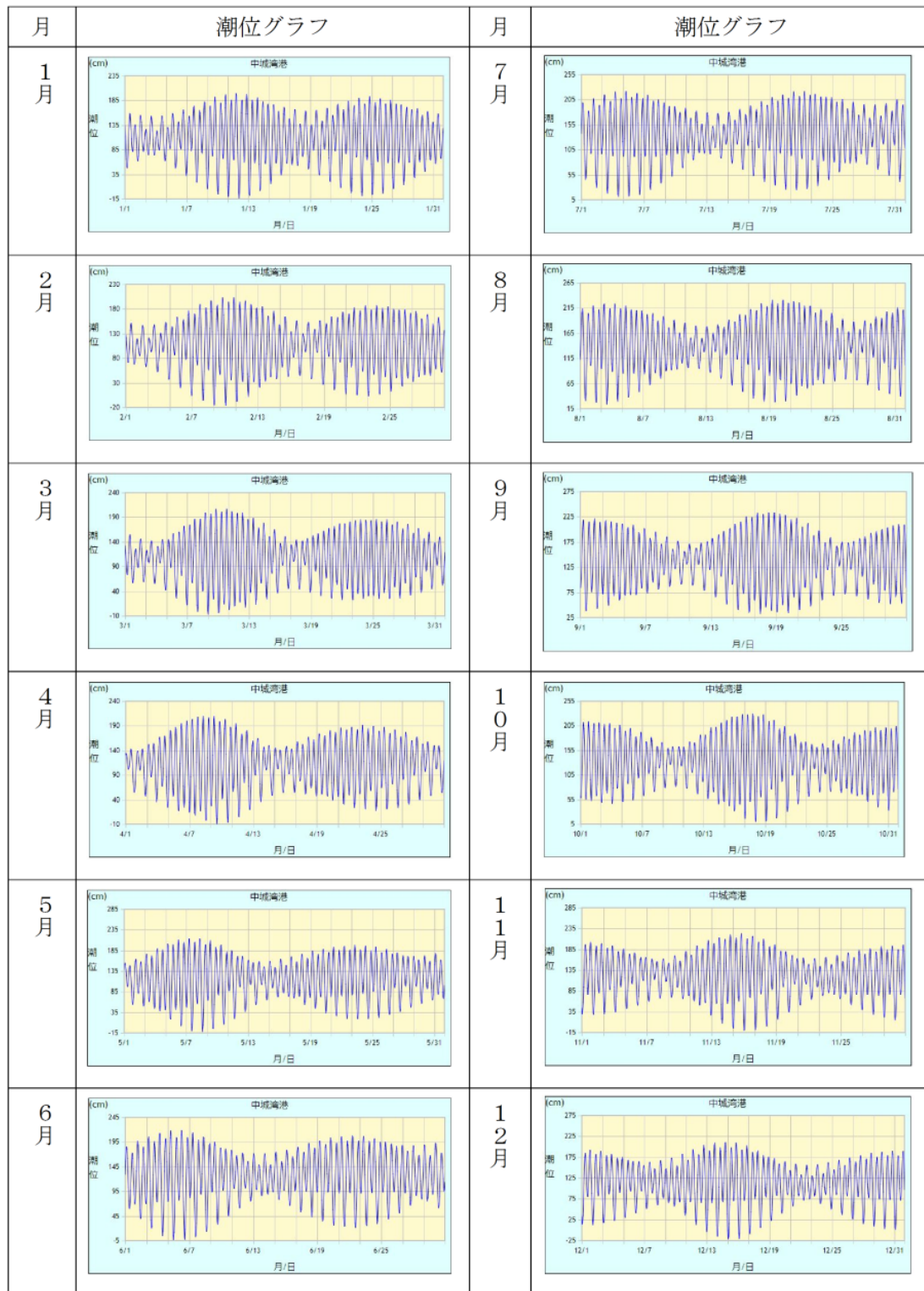


図-2.1.1 浮棧橋イメージ

中城湾港における 2016 年の潮位グラフを以下に示す。



出典：国土交通省気象庁HP

図-2.1.2 中城湾港（熱田地区）の潮位

(c) 発券所

- しおさい市場で発券を行うことが想定される。しおさい市場で発券を行う場合、観光客が北中城村の特産品を購入するというメリットがあるが、一般客と観光客で店内が混雑するというデメリットもあるため、しおさい市場の隣に発券所を併設することが望ましい。

(d) 管理棟

- 管理棟の新設は行わず、しおさい市場が管理棟を兼ねることが望ましい。

(e) 駐車場

- 佐敷中城漁業協同組合・北中城支所としおさい市場の間のスペースを駐車場として利用することが望ましい。

(f) トイレ

- 熱田緑地公園のトイレ及び佐敷中城漁業協同組合・北中城支所の敷地内にあるトイレが利用できる。ただし、後者は観光地向け快適トイレに対応できていないため改修が必要である。

(g) 電気設備・水道設備

- 水中展望船の発着場付近に電気設備・水道設備が必要である。水道設備は、観覧中に海水を被った水中展望船を洗浄するために必要である。

2.2 港内静穏度

2.2.1 深浅測量

中城湾港（熱田地区）において、平成29年2月に実施した深浅測量結果（提供：沖縄県土木建築部 中部土木事務所）を次頁以降に示す。

深浅測量結果によると、物揚場の前面、泊地（-2.0m）及び泊地（-2.5m）の南側中央付近が浅くなっている。ただし、水深が浅くなっている箇所については、平成29年度内に浚渫工事を実施する予定である。

上記の水深が浅い箇所を除くと、泊地（-2.0m）、泊地（-2.5m）及び航路（-2.5m）については、概ね計画水深が確保されている。

表-2.2.1 中城湾港（熱田地区）の現況水深

施設名	計画水深	深浅測量結果
泊地（-2.0m）	-2.0m	-0.75*~-2.6m
泊地（-2.5m）	-2.5m	-1.8*~-3.0m
航路（-2.5m）	-2.5m	-2.5~-5.0m

※印の水深については、浚渫工事を実施する予定である。

2.2.2 港内静穏度解析

(1) 静穏度解析結果

中城湾港（熱田地区）における港内静穏度解析の結果を図-2.2.1 に示す。港内波高は、物揚場の前面で 最大 0.22m、泊地内で 最大 0.26m であった。詳しい静穏度解析の内容については、次頁以降に示す。

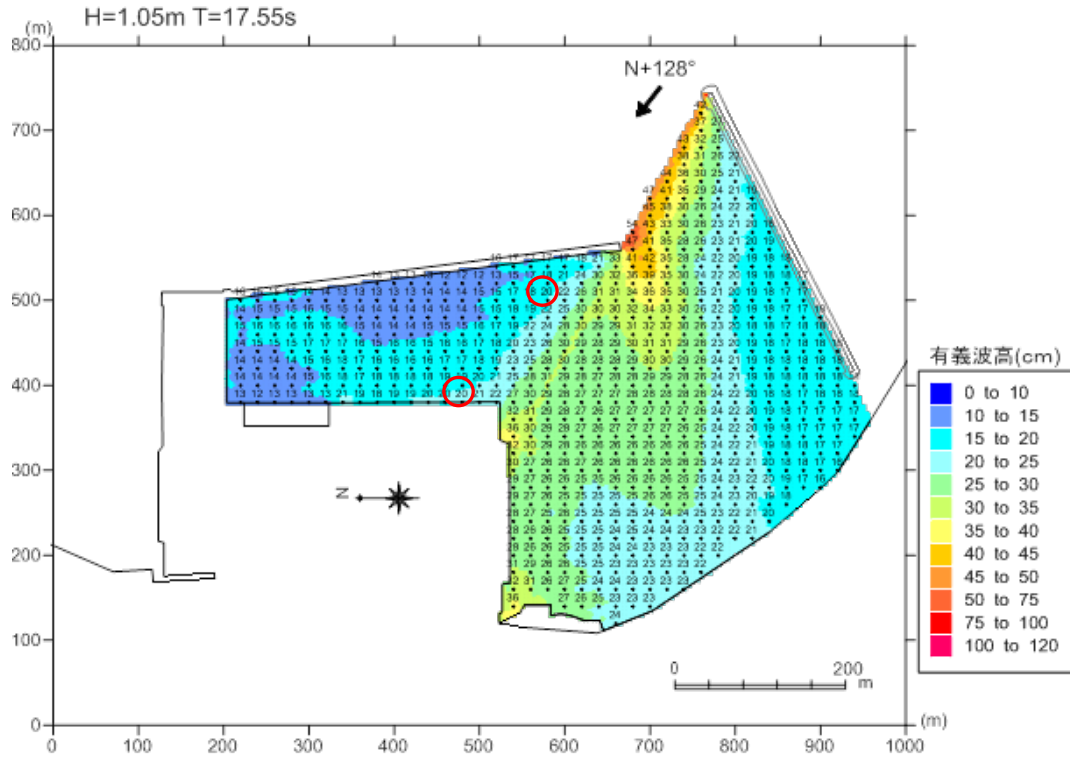


図-2.2.1 静穏度解析結果

「港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成19年7月」によると、小型船の荷役限界波高が 0.30m、「漁港・漁場の施設の設計参考図書 2015年版」によると、-3.0m未満の水深、かつ陸揚げ、準備が可能な最大波高が 0.30m である。よって、静穏度の判定に用いる指標は、0.30m とする。

静穏度解析結果より、港内波高は 0.30m以下 となるため、中城湾港（熱田地区）の泊地内における静穏度は確保されている。

表-3.3.3 荷役限界波の参考値		表7-1-1 係留施設・水域施設の使用可能な最大波高			
船型	荷役限界波高(H1/3)	係船岸、泊地の水深	-3.0m未満	-3.0m以上	対象来襲波浪
小型船	0.3m	航路が使用可能な最大波高	0.90m	1.20m	出漁限界波高
中・大型船	0.5m	陸揚げ、準備が可能な最大波高	0.30m	0.40m	30年確率波
超大型船	0.7~1.5m	休けい岸壁の使用が可能な最大波高	0.40m	0.50m	

注)ここで、小型船とは主に船だまりを利用する概ね500GT未満の船舶、超大型船とは主に大型のドレフインやシーハースを利用する概ね30,000GT以上の船舶、中・大型船とは小型船及び超大型船以外の船舶である。

注)休けい岸壁の使用を検討する場合、基本的に30年確率波を用いることを原則とするが、荒天時に漁船を陸揚げしたり、他漁港等へ避難させるなどの対応を想定される漁港の場合はこの限りではなく、利用形態等を踏まえ適切に対象来襲波浪の設定を行ってもよい。

出典元:「港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成19年7月 P.609」

出典元:「漁港・漁場の施設の設計参考図書 2015年版 P.629」

(2) 静穏度解析

1) エネルギー平衡方程式

(a) 計算方法

○基礎式

本調査では、港湾や漁港および海岸施設の構造の安定検討などに多く使用される「多方向不規則波のエネルギー平衡方程式」に基づいた波浪変形モデルを用いて到達波を計算した。モデルの基礎式は微小領域内に流出入するエネルギーフラックスの連続と、波の屈折による波向変化に伴うエネルギーフラックスの連続を仮定したもので次のとおりである。

$$\frac{\partial}{\partial x}(Sv_x) + \frac{\partial}{\partial y}(Sv_y) + \frac{\partial}{\partial \theta}(Sv_\theta) = -\varepsilon'_b S \quad (2.1)$$

$$\left. \begin{aligned} V_x &= C_g \cos \theta \\ V_y &= C_g \sin \theta \\ V_\theta &= \frac{C_g}{C} \left(\sin \theta \frac{\partial C}{\partial x} - \cos \theta \frac{\partial C}{\partial y} \right) \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

ここに、 x は波の進行方向の座標、 y は x と垂直方向の座標、 S は方向スペクトル、 C は波速、 C_g は波の群速度、 θ は x の正方向からの反時計回りの角度、 ε'_b は砕波によるエネルギー減衰係数を表す。式(2.1)の左辺第1項と第2項は浅水変形による波高変化の項であり、第3項が屈折による波高変化の項である。ただし、この基礎式は定常状態におけるエネルギー平衡方程式であり次の仮定を伴う。

- ①波の状態は時間的に変化しない
- ②成分波の周期は変化しない
- ③外部エネルギーの授受はない（エネルギーの損失はない）

式(2.1)は1階微分の方程式なので沖側から波の進行方向に向けて解くことができる。そこで、沖側境界で入射波のスペクトルを与え、また側方境界では1つ内側の計算領域内のスペクトルと同じにするか、エネルギーが常に流出するといった条件を設定する。波向としては $-\pi/2 < \theta < \pi/2$ の条件を与え、波は常に x 軸の正方向（岸方向）に伝搬し、沖側方向には伝搬する成分波はないと仮定する。このように仮定することによって方向スペクトルを順次沖側から求めることができる。

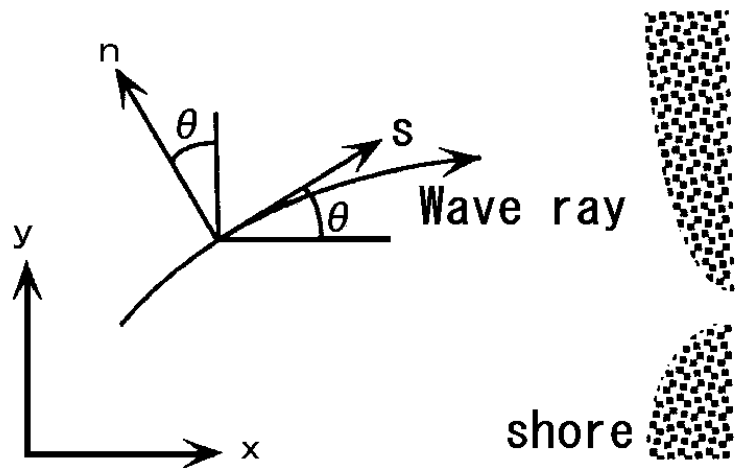


図-2.2.2 座標系の定義方法

砕波高の計算には、エネルギー減衰係数 ε'_b では単位時間内に砕波によって失われるエネルギー逸散率を導入する。この値はある計算格子に進入した波が、その格子を出るまでに要する平均時間に反比例すると仮定して次式で求める。

$$\varepsilon'_b = \frac{\varepsilon_b C}{\sqrt{\delta x \delta y}} \quad (2.3)$$

ここに、 δx 、 δy は x 、 y 方向の計算格子間隔である。無次元量 ε_b は格子内において砕波する波のエネルギーの割合を与えるもので、砕波後であっても波高はレイリー分布に近い分布形を仮定すると次式で求められる。

$$\begin{aligned} \varepsilon_b &= \frac{\left[\int_0^{H_{bi}/H_{1/3}} P_E(H_s^*) dH_s^* - \int_0^{H_{bo}/H_{1/3}} P_E(H_s^*) dH_s^* \right]}{\int_0^{H_{bi}/H_{1/3}} P_E(H_s^*) dH_s^*} \\ &= 1 - \frac{1 - \left\{ 1 + \frac{\pi}{4} \left(\alpha \frac{H_{bo}}{H_{1/3}} \right)^2 \right\} \exp \left\{ -\frac{\pi}{4} \left(\alpha \frac{H_{bo}}{H_{1/3}} \right)^2 \right\}}{1 - \left\{ 1 + \frac{\pi}{4} \left(\alpha \frac{H_{bi}}{H_{1/3}} \right)^2 \right\} \exp \left\{ -\frac{\pi}{4} \left(\alpha \frac{H_{bi}}{H_{1/3}} \right)^2 \right\}} \end{aligned} \quad (2.4)$$

ここで、 H_{bi} は計算格子に入るときの砕波波高、 H_{bo} は計算格子から出るときの砕波波高であり、これらは次に示す合田の砕波指標を用いて求めた。

$$\frac{H_b}{L_0} = A \left[1 - \exp \left\{ -1.5 \frac{\pi h}{L_0} (1 + 15 \tanh^{4/3} \beta) \right\} \right] \quad (2.5)$$

ここで、 H_b は砕波波高、 L_0 、 h 、 $\tan \beta$ はそれぞれ沖波波長、砕波水深、海底勾配である。A は砕波帯内の場所により定まる係数であり、 $A=0.18$ として求めた砕波波高 H_{b1} 以上の波はすべて砕波し、 $A=0.12$ として求めた砕波波高 H_{b2} 以下の波高の波は砕波しないものとして、砕波する波の確率が $A=0.12$ から $A=0.18$ の波まで線形的に変化すると仮定し、砕波帯の幅を考慮できる。

また、式(2.4)の $P_E(H)$ はエネルギーの分布を表す関数であり次式で示される。

$$P_E = \frac{\pi^2}{8} \alpha^4 H_s^{*3} \exp \left[-\frac{\pi}{4} (\alpha H_s^*)^2 \right] \quad H_s^* = \frac{H}{H_{1/3}}, \quad \alpha = \frac{H_{1/3}}{\bar{H}} \quad (2.6)$$

ここに、 \bar{H} は平均波高である。

(b) 計算条件

①計算領域

30,000m × 26,000m(図 2 参照) 格子間隔 100m

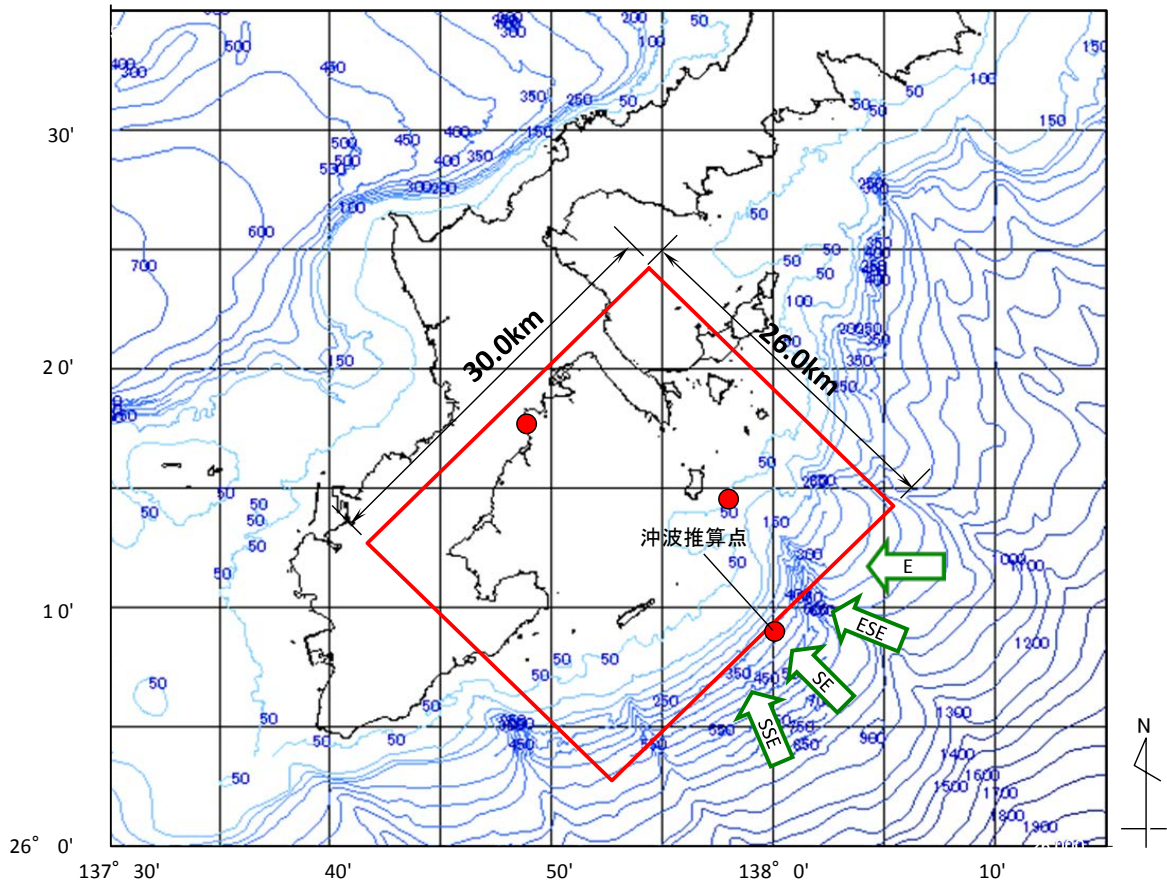
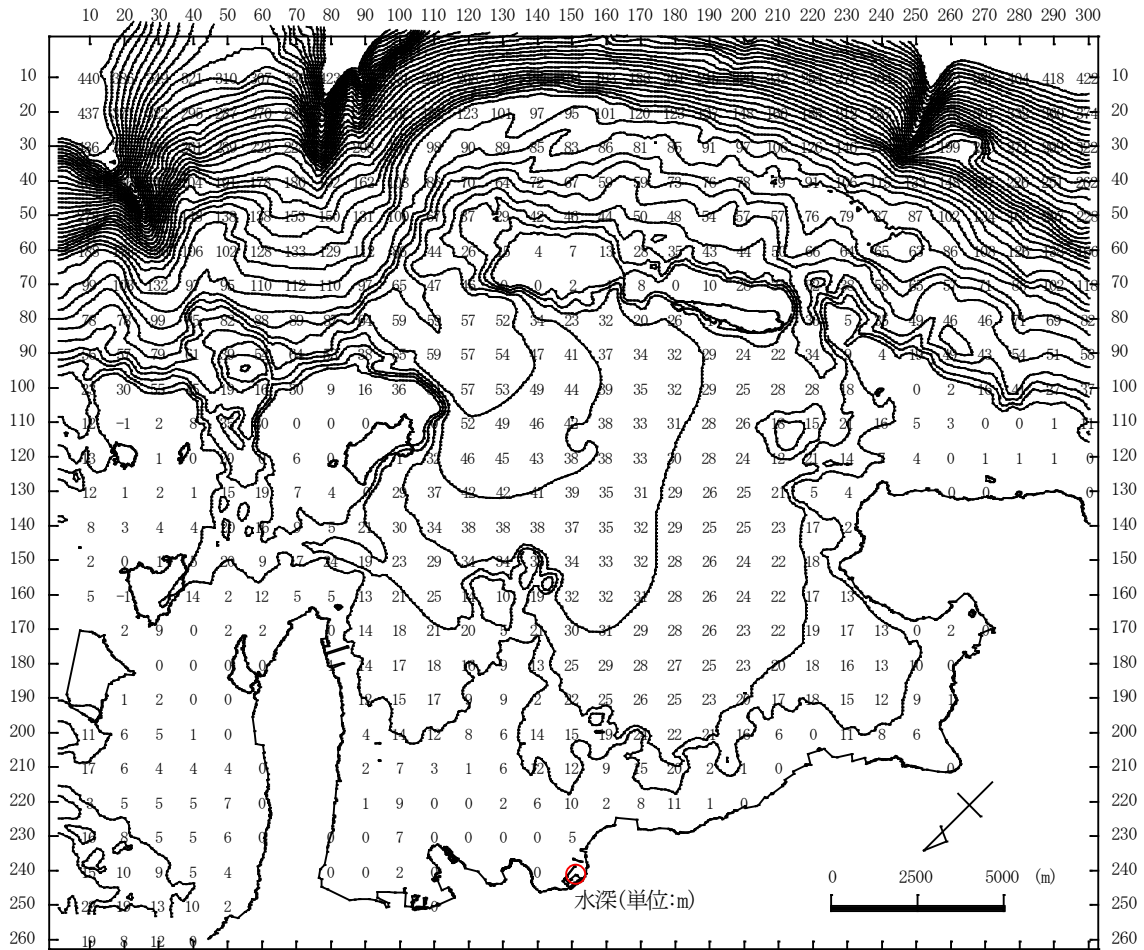


図-2.2.3 計算領域

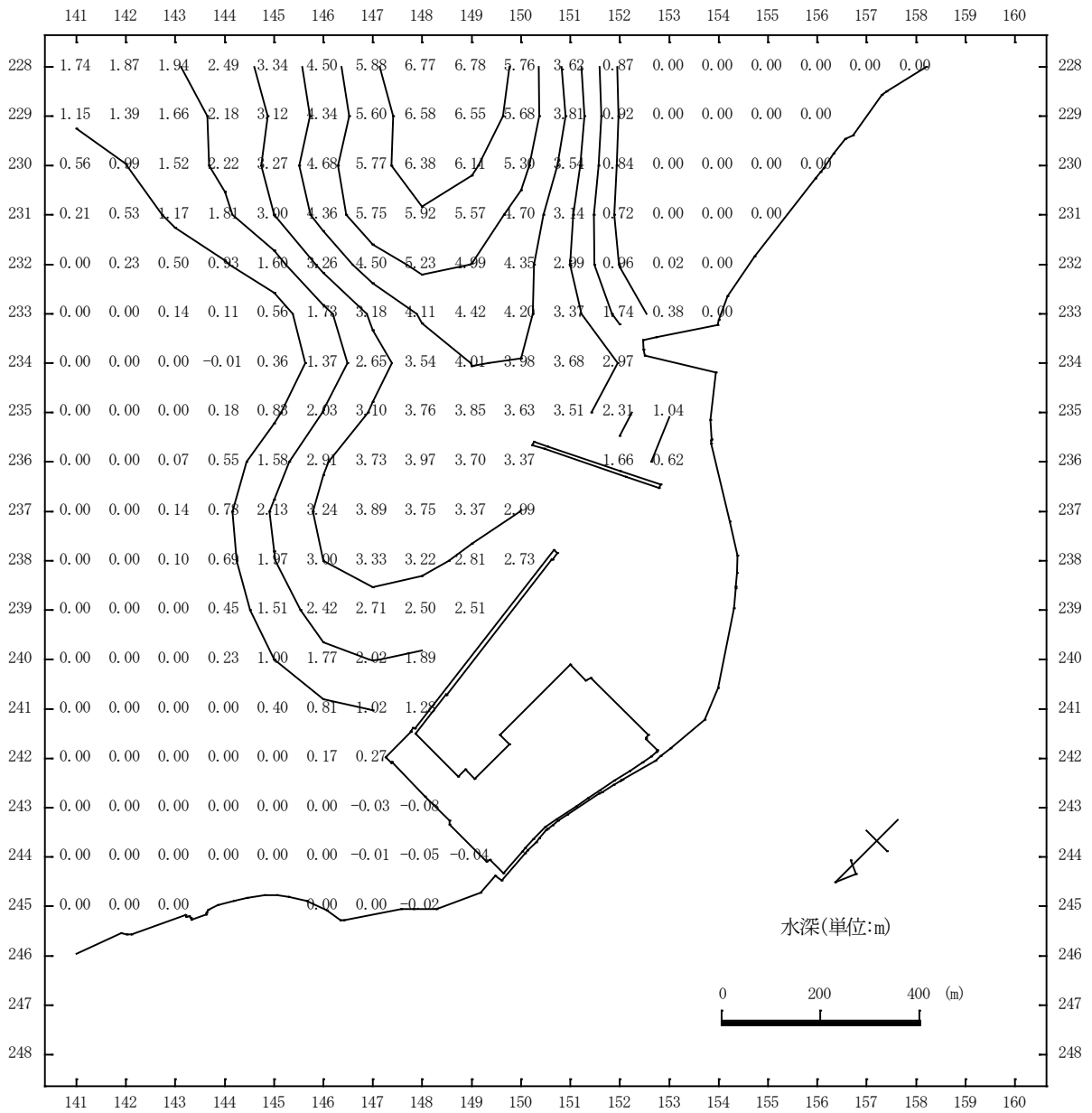
②水深データ

海底地形デジタルデータ M7020 沖縄本島海域（一般財団法人日本水路協会販売）を用いて格子化した。



D. L. 基準

図-2.2.4 水深図(大領域)



D. L. 基準

图-2.2.5 水深图(对象地点周边)

③潮位

H. W. L. +2.10m

④沖波条件

沖波条件は、中城湾の沖波浪推算点の50年確率波に基づいた。諸島配置からみて侵入しやすい、あるいは波高が大きいという観点よりE波からSSE波の4波向を対象とした。

表-2.2.2 沖波条件(50年確率波)

沖波向	Ho (m)	To (s)	Lo (m)	Ho/Lo	Smax (深海域)
E	12.22	16.18	408.4	0.030	25
ESE	12.09	16.07	402.9	0.030	25
SE	12.39	16.27	413.0	0.030	25
SSE	14.41	17.55	480.5	0.030	25

⑤波のスペクトル

不規則波を計算するために用いる波のスペクトル諸元は、次の条件によった。

ブレットシュナイダー・光易型

方向分布関数：光易の式

周波数分割数：10

方向分割数：36

(c) 算定結果

図-2.2.14～図-2.2.25 から赤枠内の 4 点平均による波高($H_{1/3}$)と入射角を整理すると表-2.2.3 のとおりである。入射角は 4 波向で等しいことから、波高の高い SSE 波について静穏度解析を行うこととした。

表-2.2.3 港口部における波高と入射角

沖波向	Ho (m)	To (s)	$H_{1/3}$ (m)	入射角 (°)
E	12.22	16.18	0.84	128
ESE	12.09	16.07	0.84	128
SE	12.39	16.27	0.93	128
SSE	14.41	17.55	1.05	128

入射角は北を基準に時計回りの角度を表す。

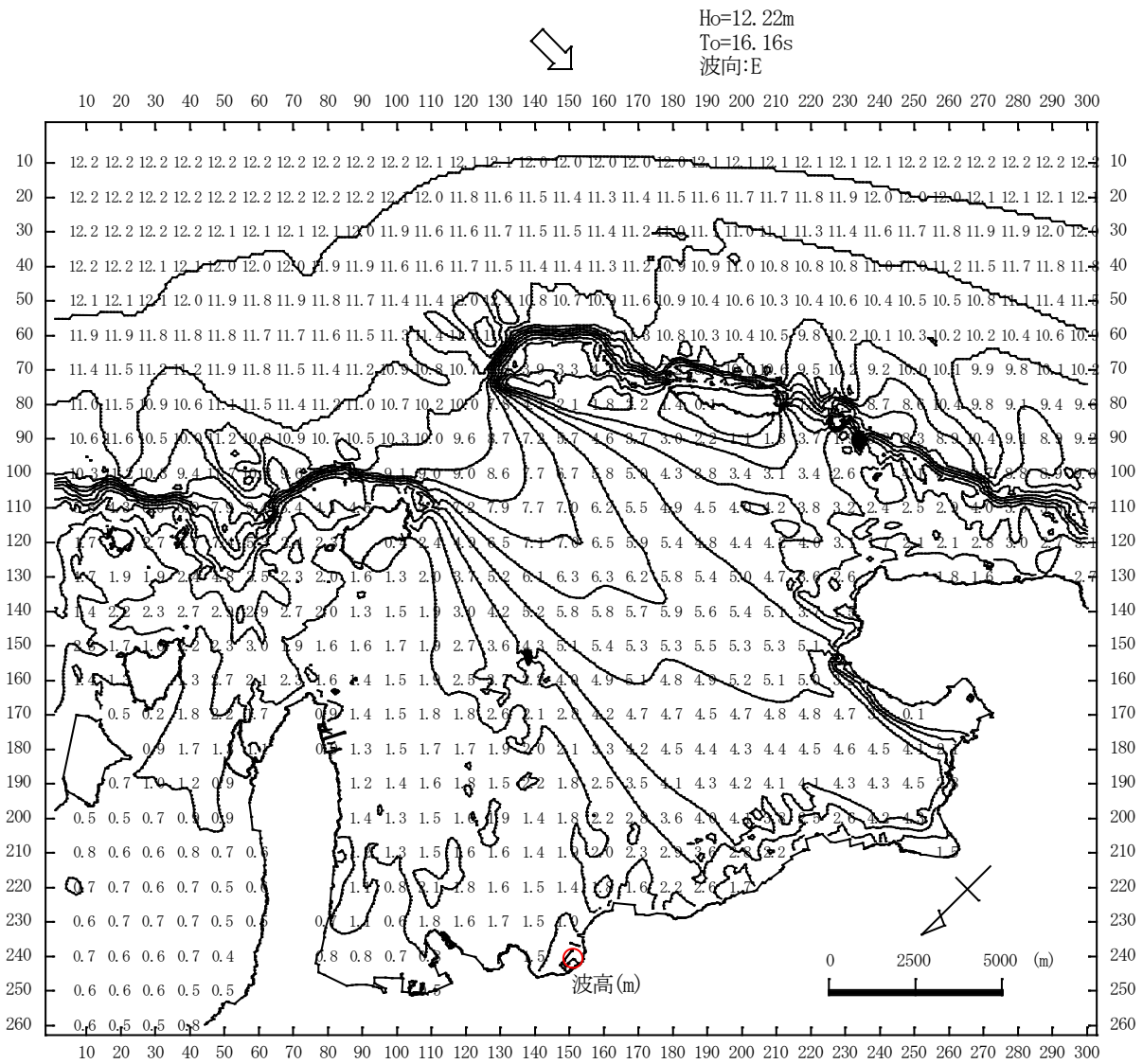


图-2.2.6 波高分布(全领域_冲波向:E)

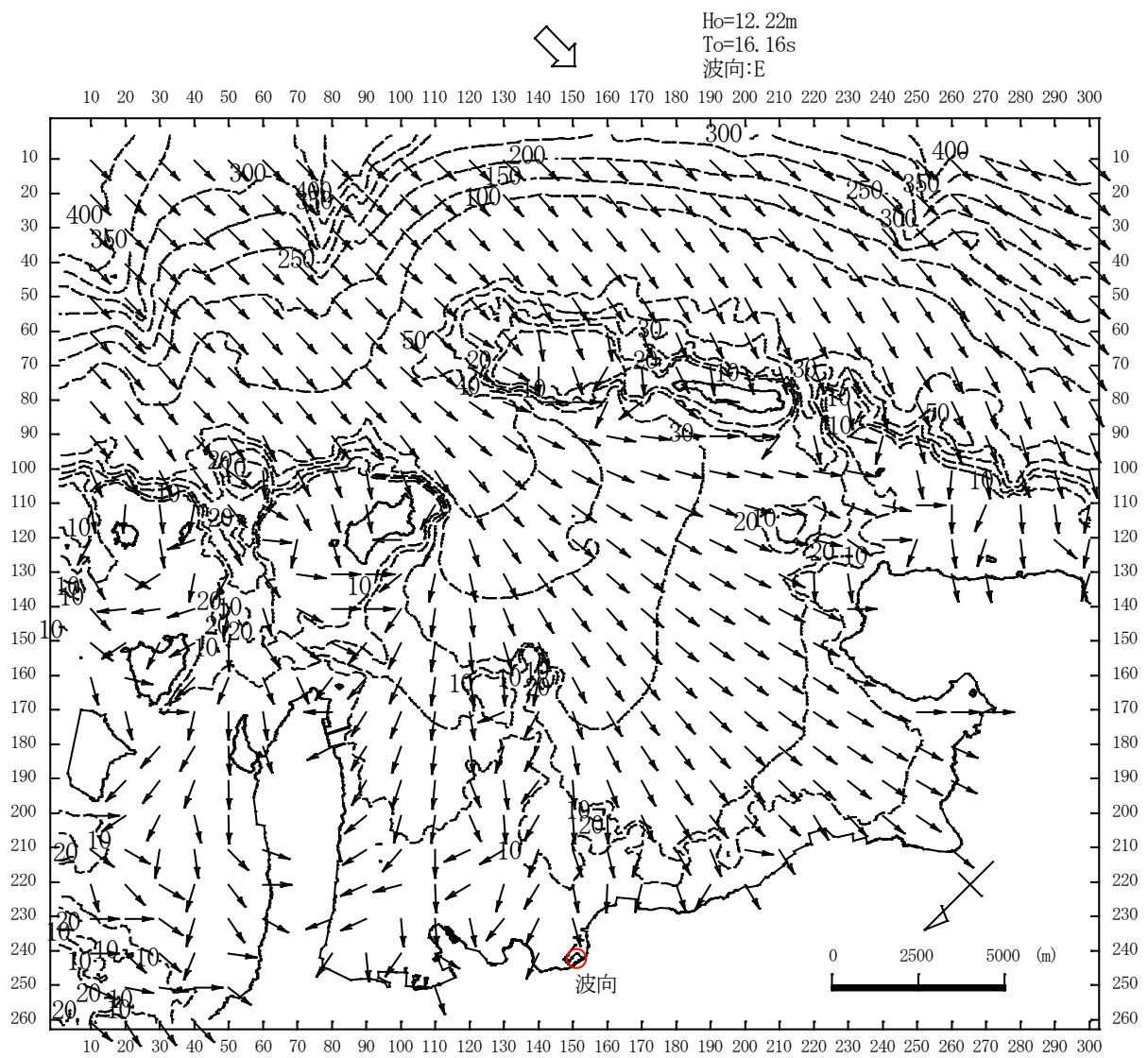


图-2.2.7 波向分布(全领域_冲波向 : E)

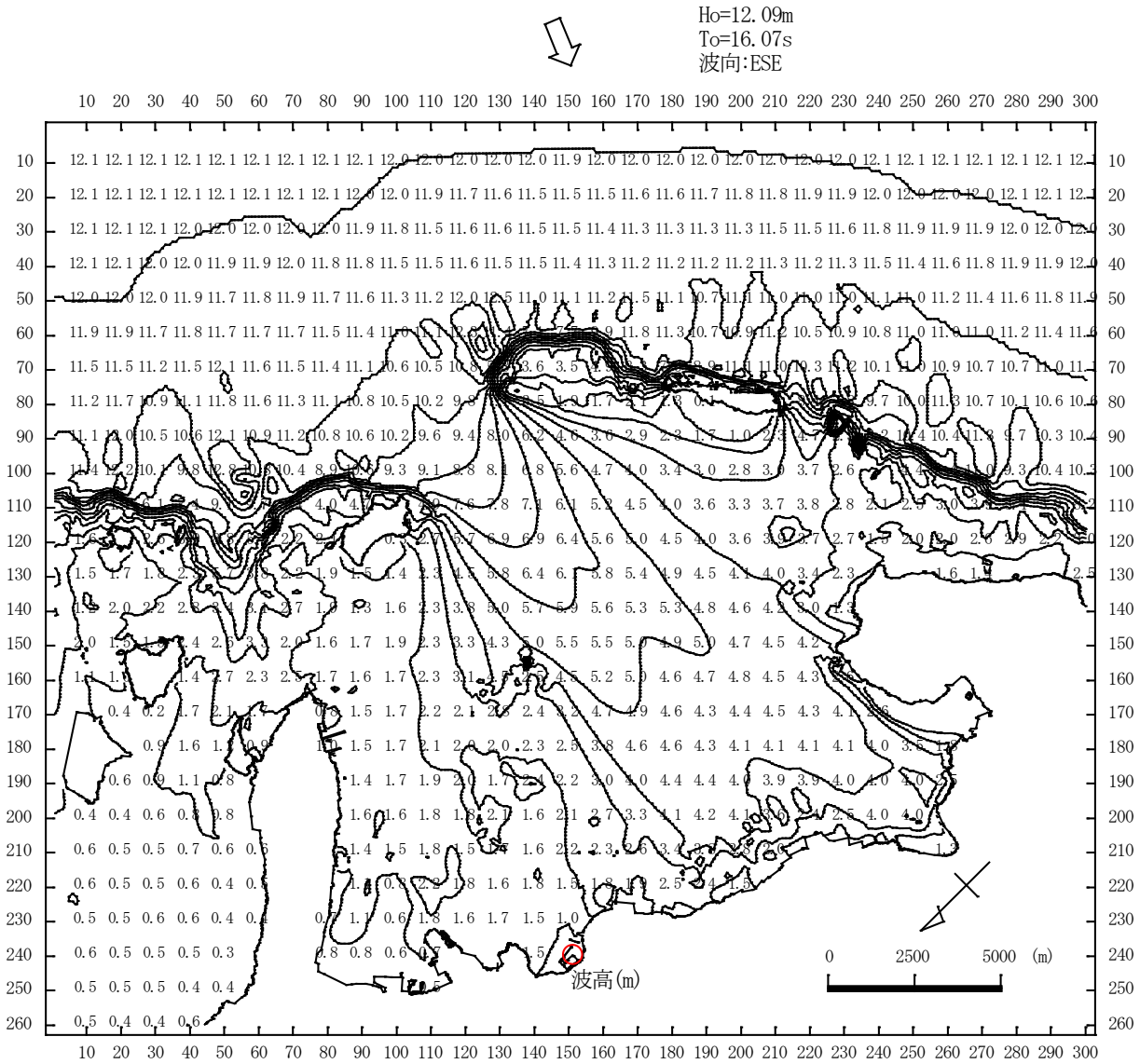


图-2.2.8 波高分布(全领域_冲波向:ESE)

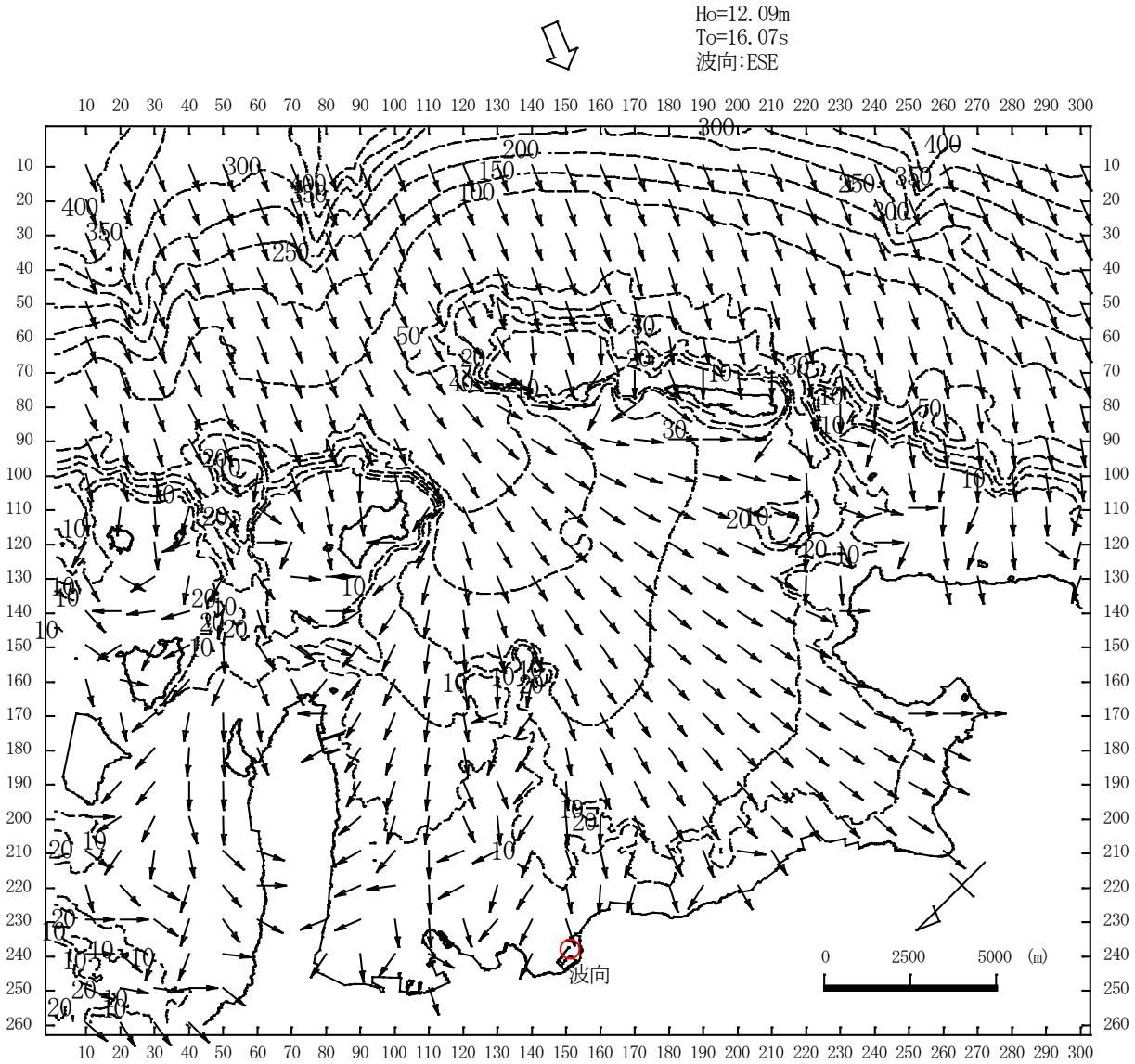


图-2.2.9 波向分布(全领域_冲波向:ESE)

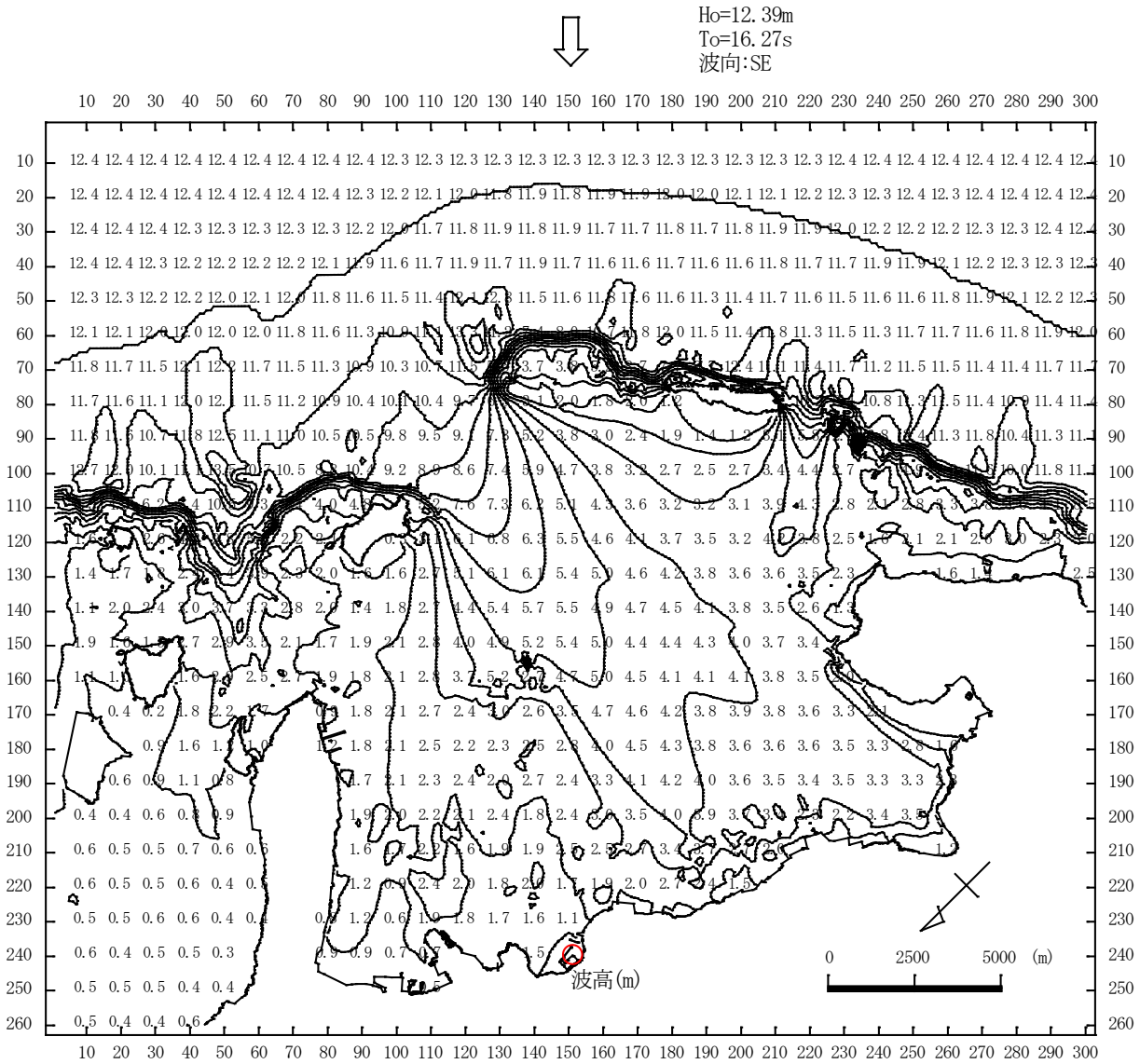


图-2.2.10 波高分布(全领域_冲波向:SE)

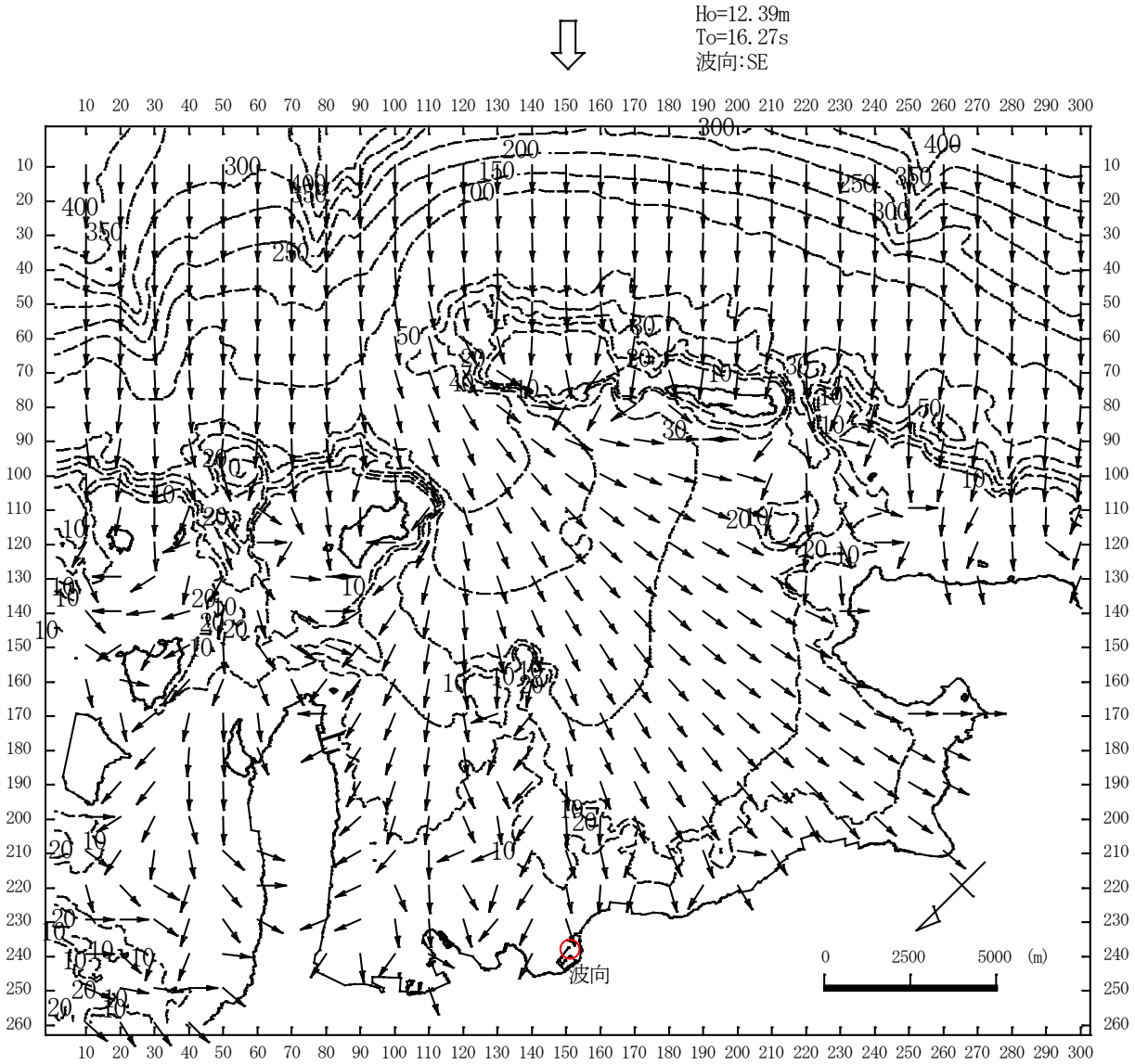


图-2.2.11 波向分布(全领域_冲波向:SE)

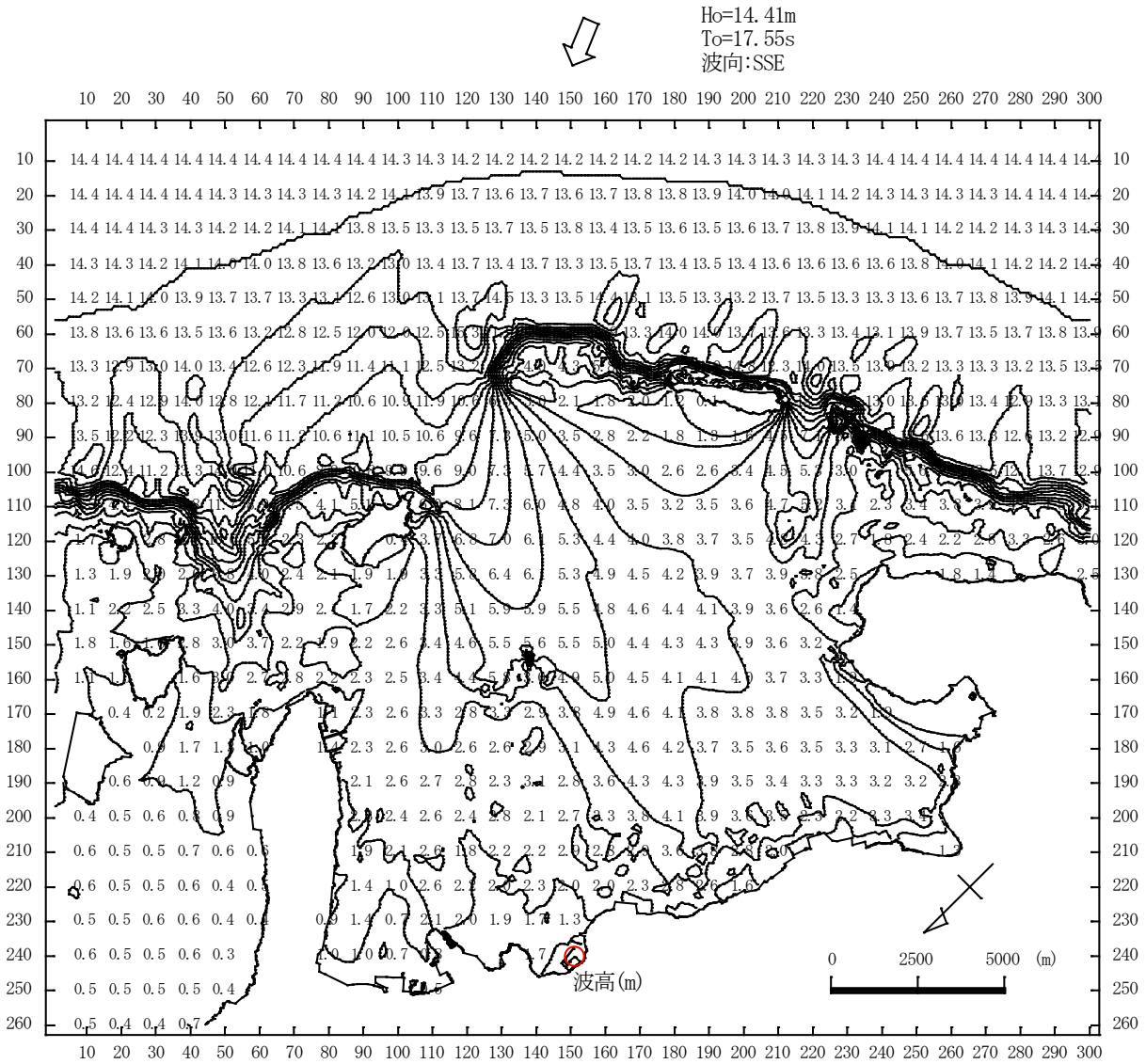


图-2.2.12 波高分布(全领域_冲波向:SSE)

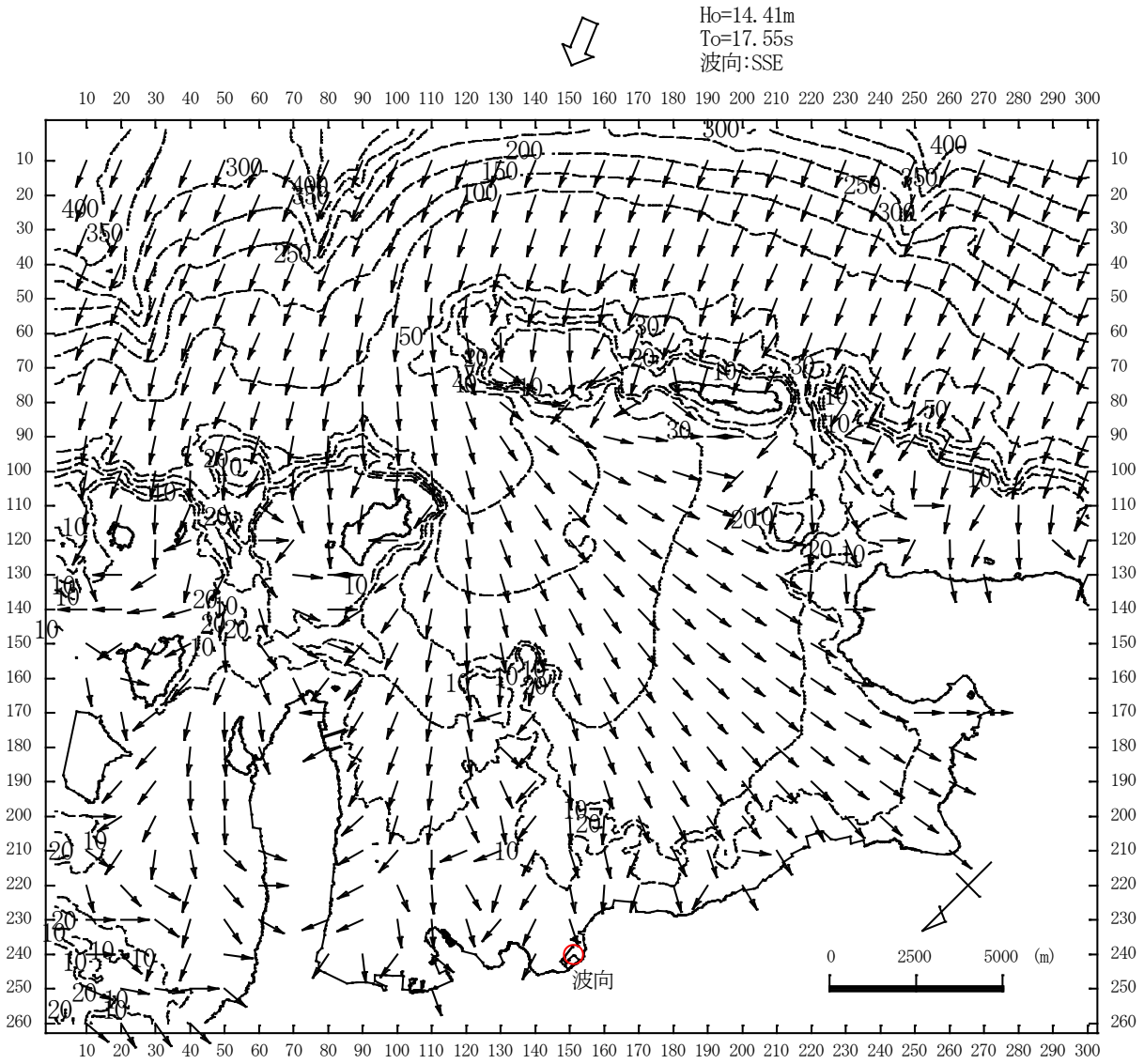
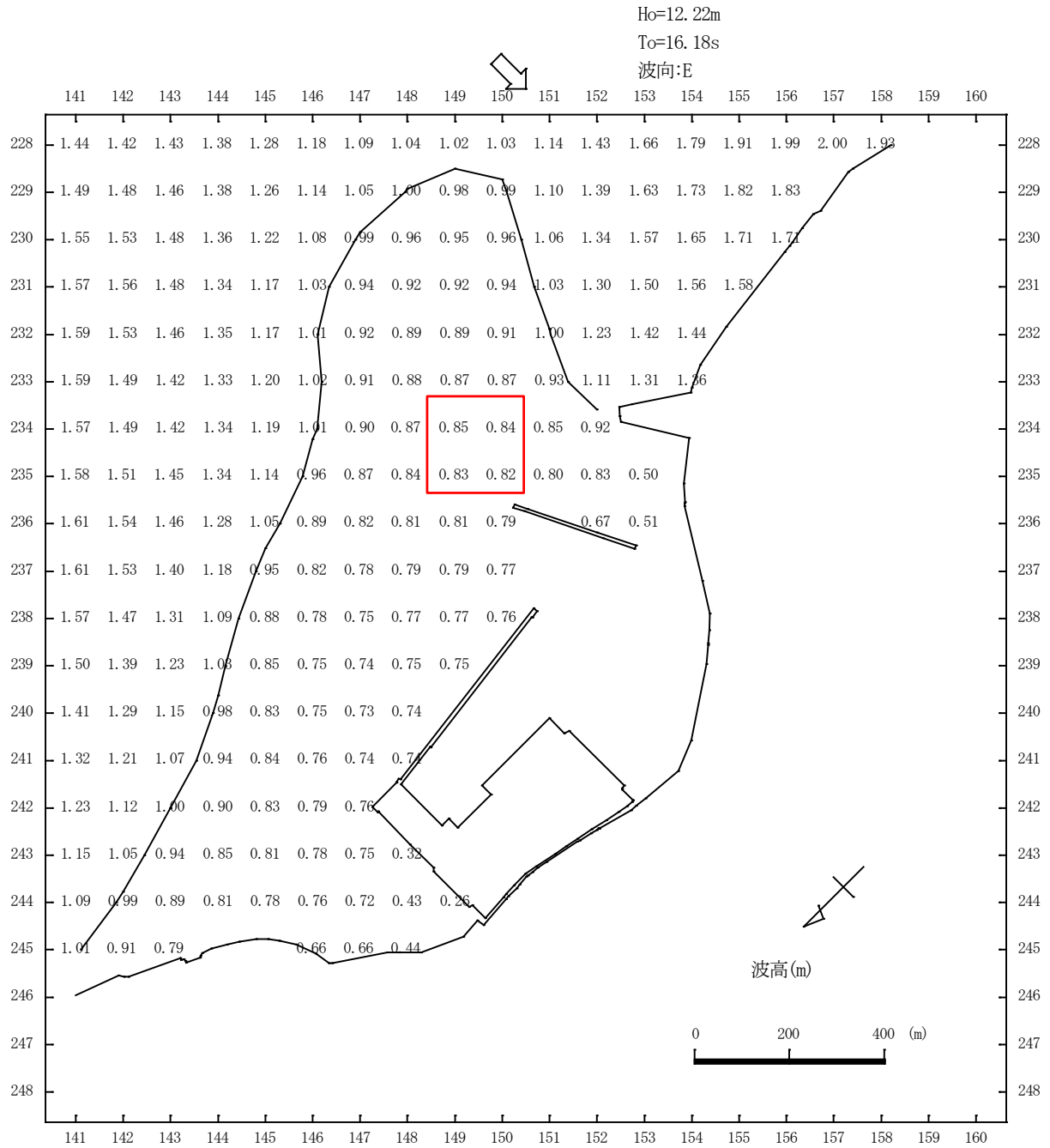


图-2.2.13 波向分布(全领域_冲波向:SSE)



赤枠内 4 点平均值 : 0.84m

图-2.2.14 波高分布(对象地点周边_冲波向:E)

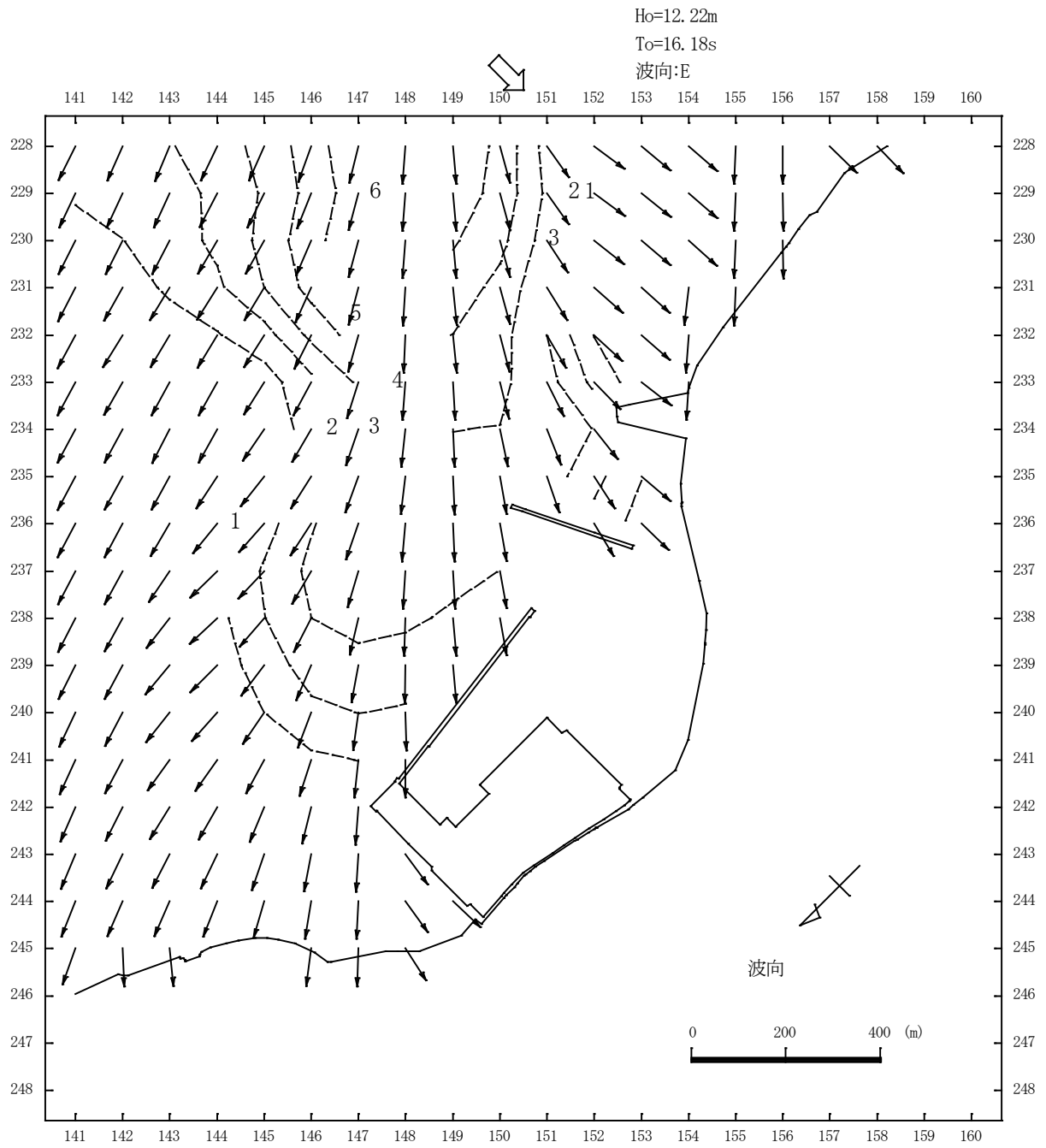
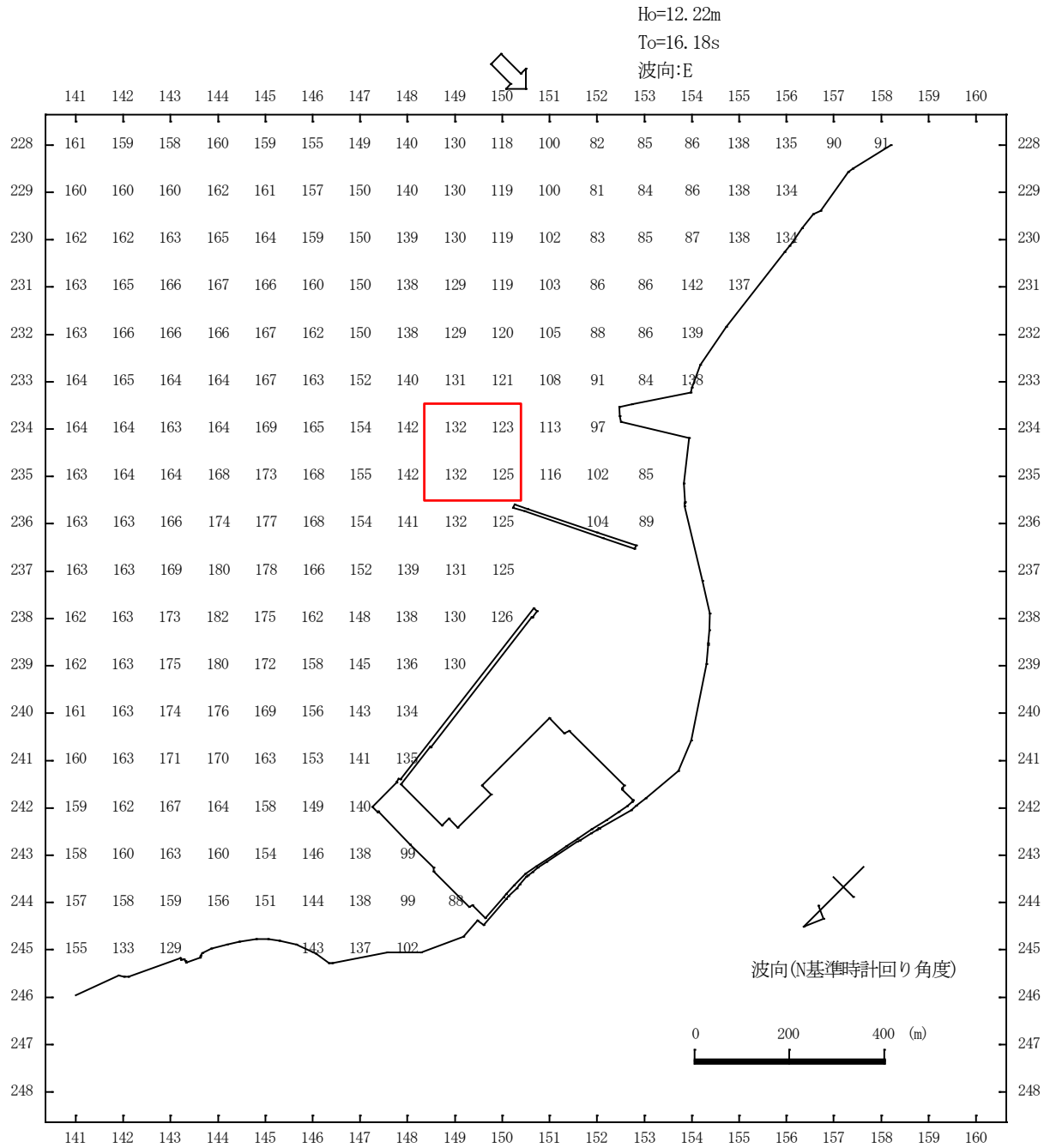
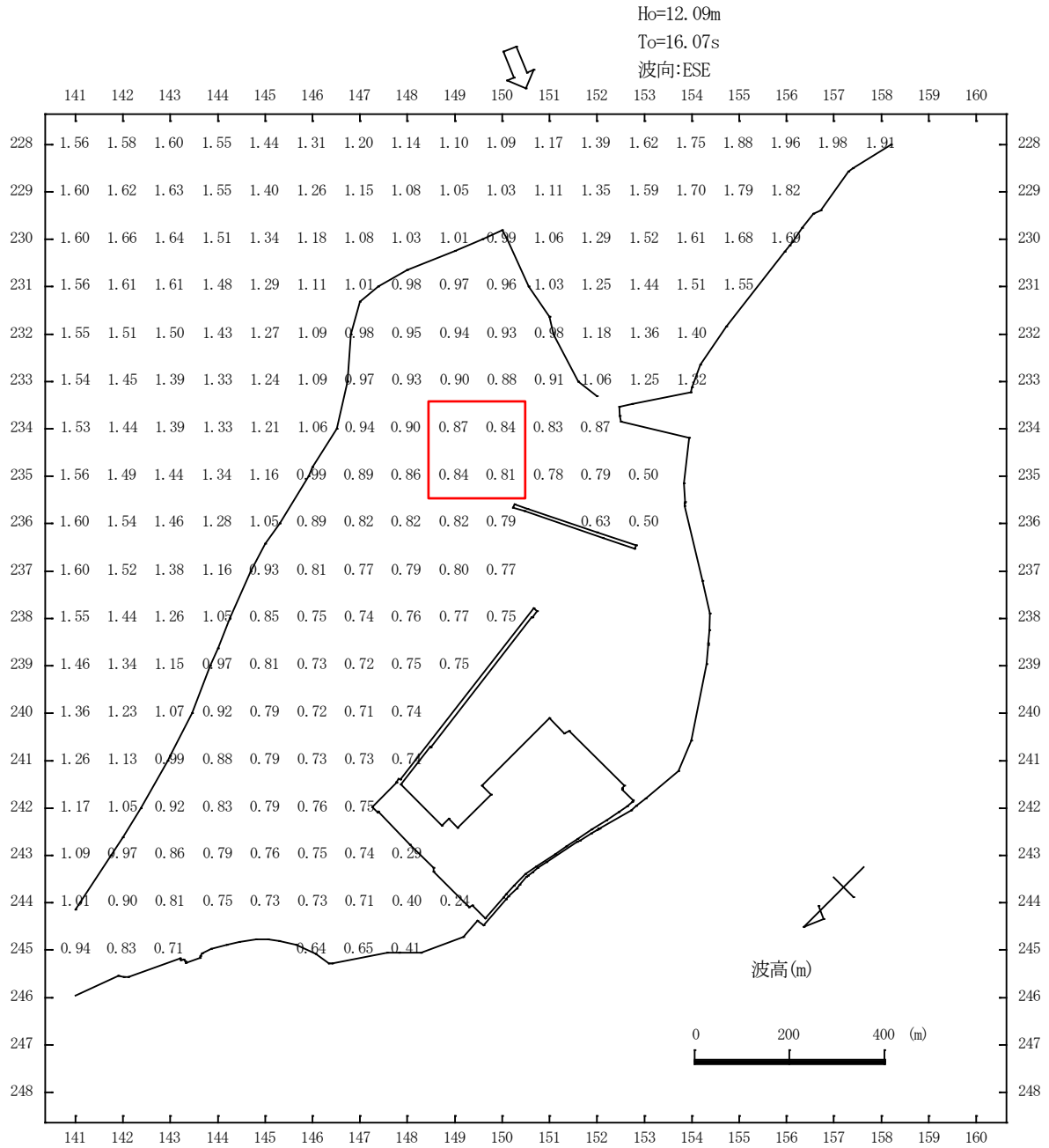


图-2.2.15 波向分布(对象地点周边_冲波向:E)



赤枠内 4 点平均値 : 128°

図-2.2.16 波向分布(対象地点周辺_沖波向:E)

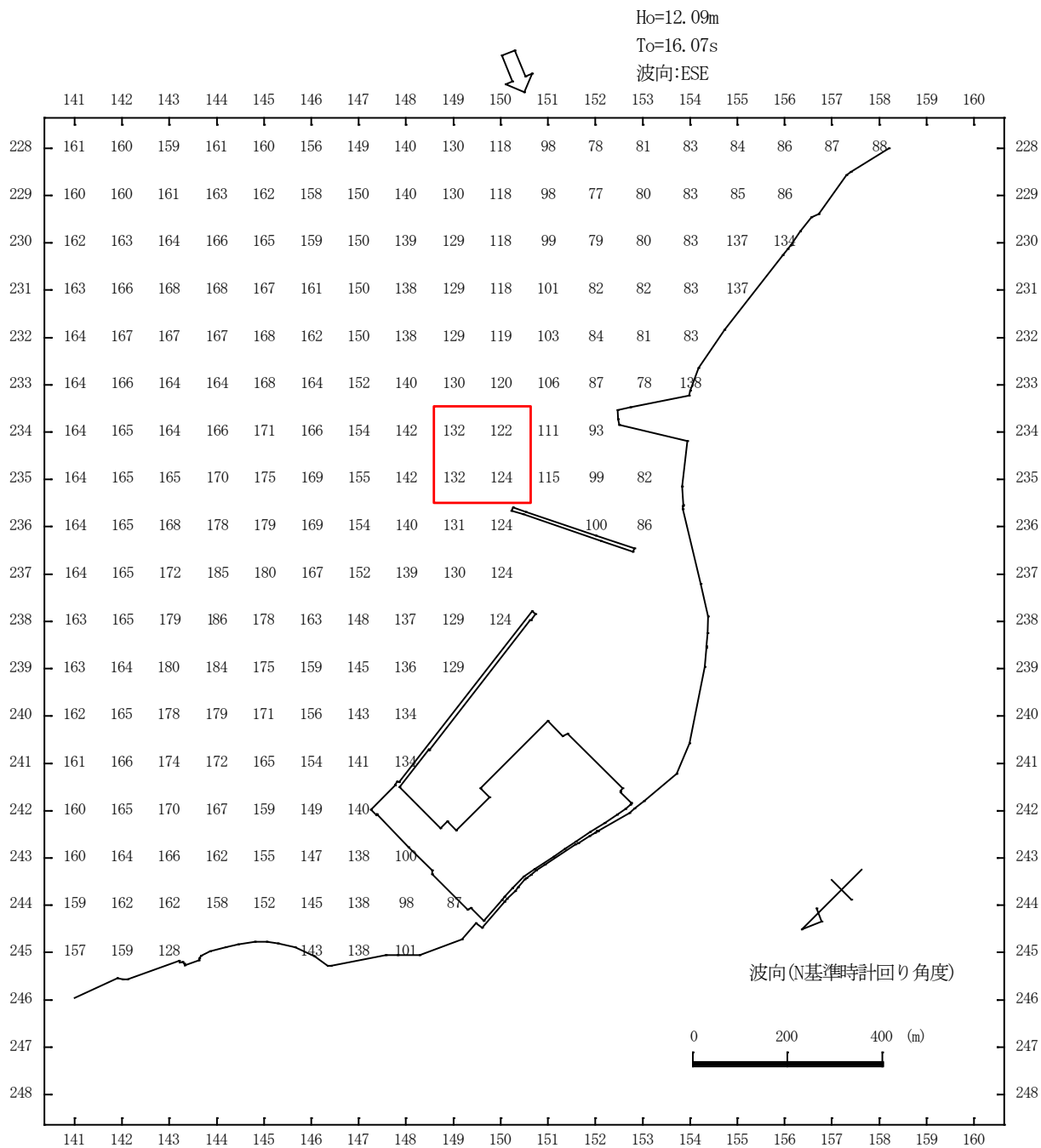


赤枠内 4 点平均值 : 0.84m

图-2.2.17 波高分布(对象地点周边_冲波向 : ESE)

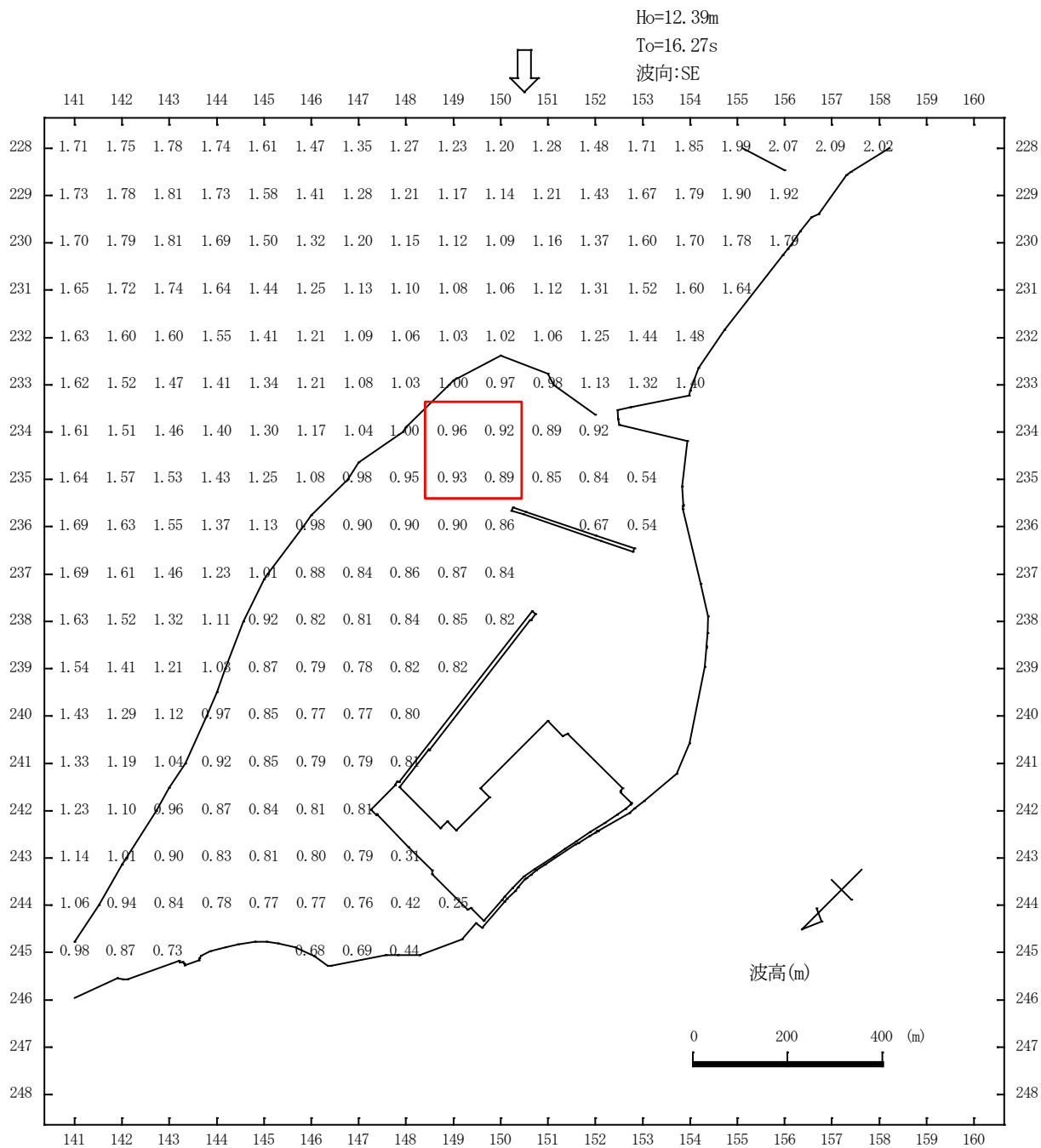


图-2.2.18 波向分布(对象地点周边_冲波向:ESE)



赤枠内 4 点平均値 : 128°

図-2.2.19 波向分布(対象地点周辺_沖波向 : ESE)

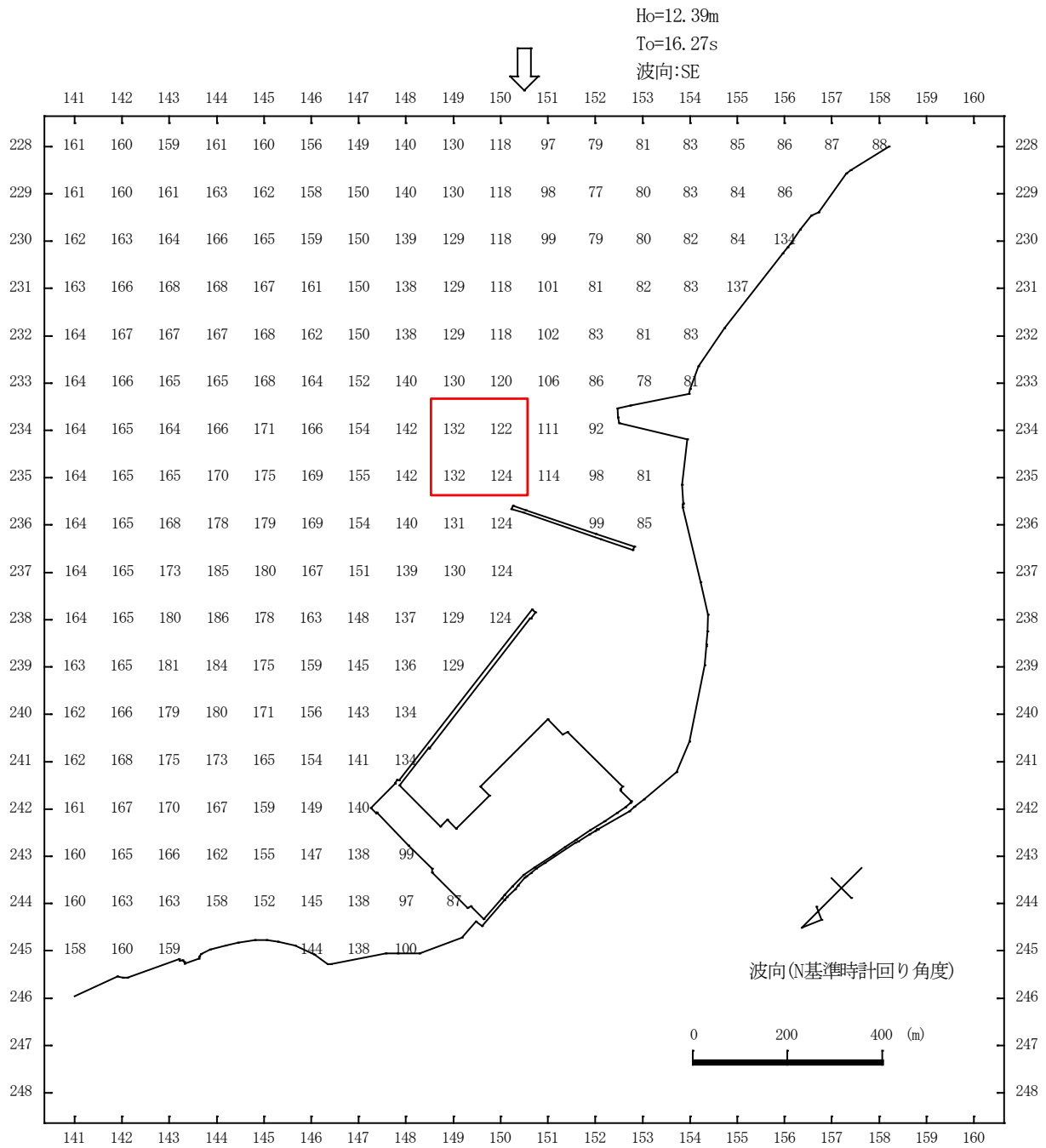


赤枠内 4 点平均値 : 0.93m

图-2.2.20 波高分布(对象地点周边_冲波向:SE)

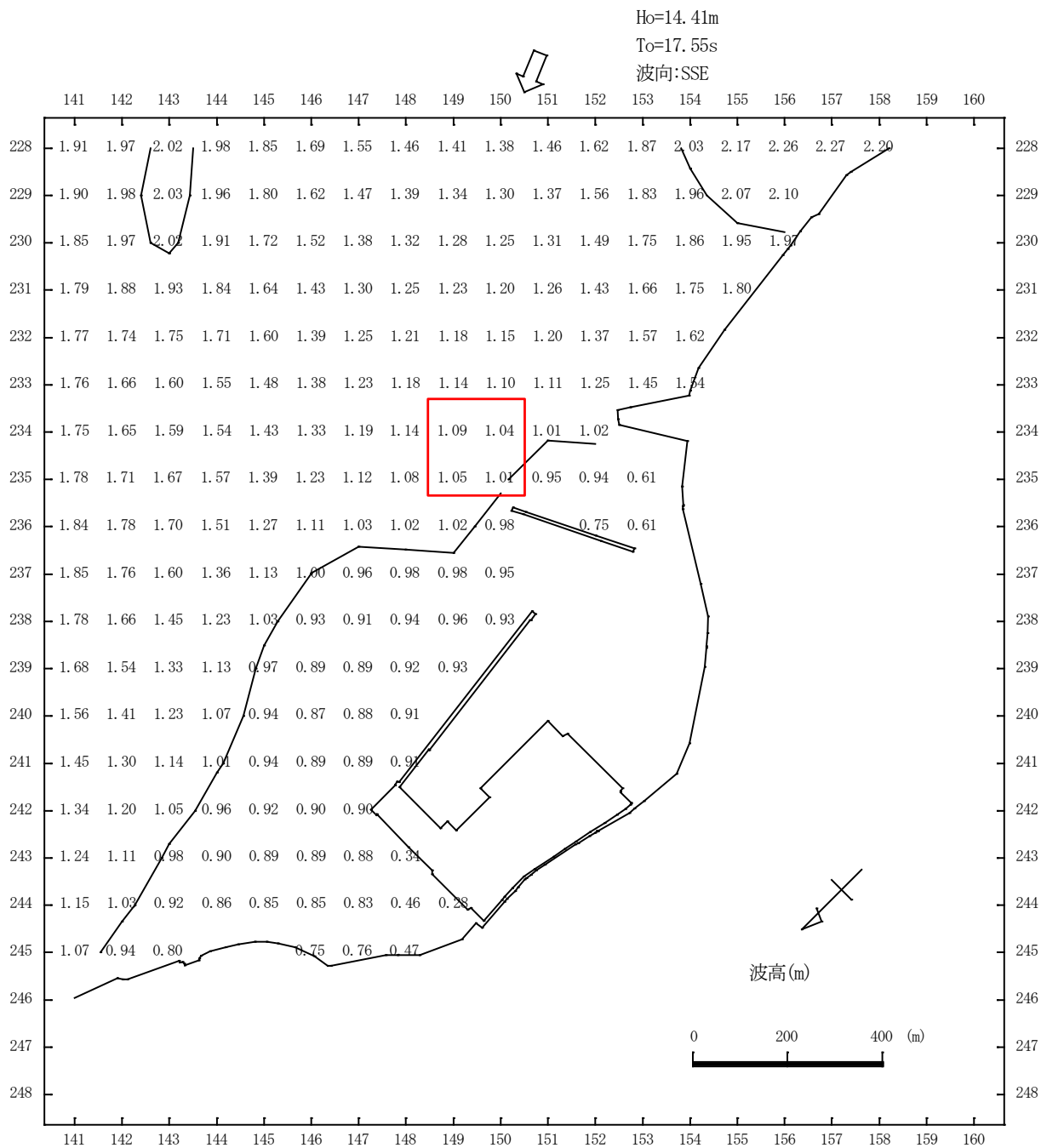


图-2.2.21 波向分布(对象地点周边_冲波向:SE)



赤枠内 4 点平均値 : 128°

図-2.2.22 波向分布(対象地点周辺_沖波向:SE)

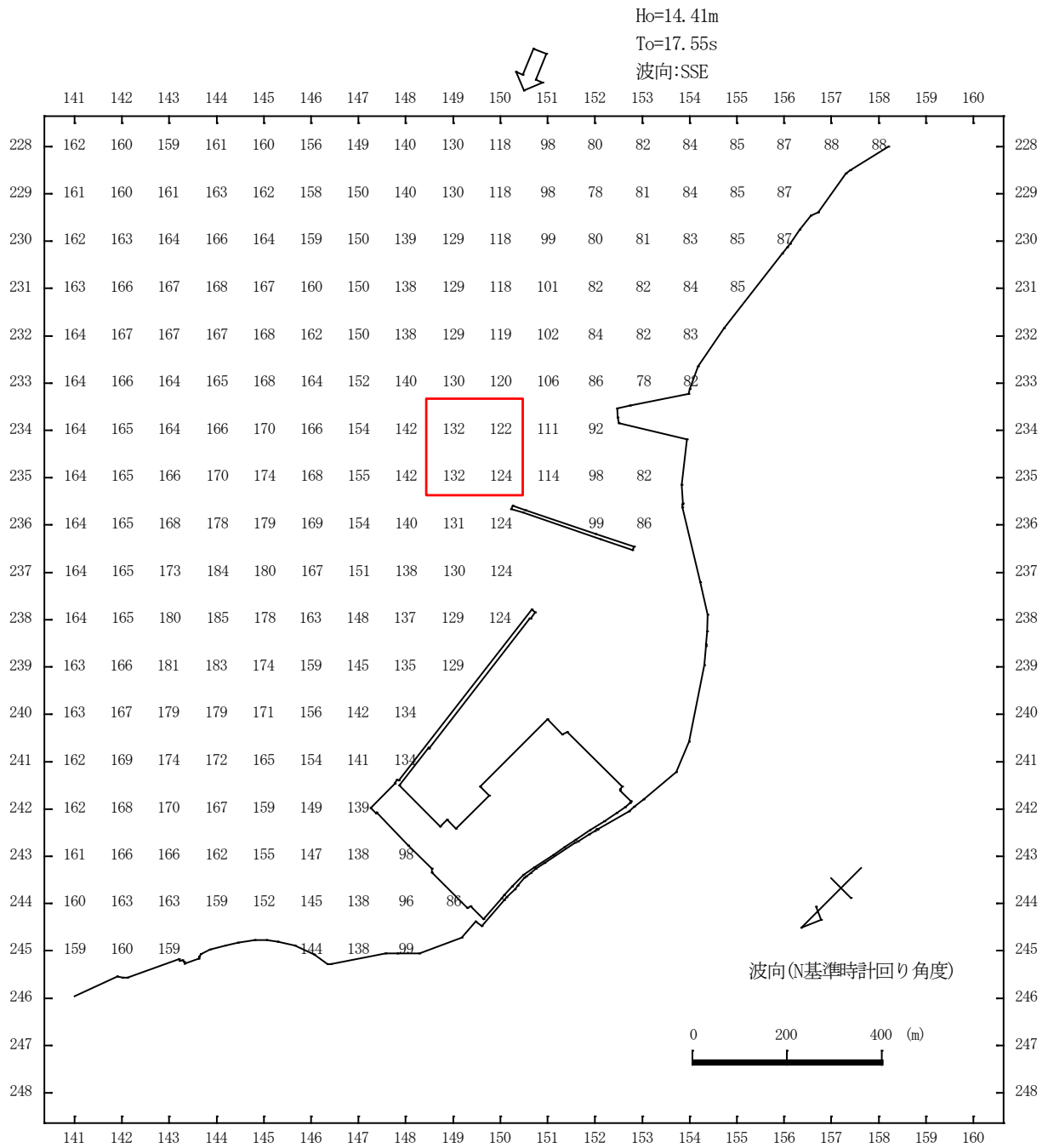


赤枠内 4 点平均值 : 1.05m

图-2.2.23 波高分布(对象地点周边_冲波向 : SSE)



图-2.2.24 波向分布(对象地点周边_冲波向:SSE)



赤枠内4点平均値：128°

図-2.2.25 波向分布(対象地点周辺_沖波向:SSE)

2) 高山法

(a) 計算方法

①概要

高山法は港内波高分布の計算を簡便に行う近似解法で、方向スペクトルを有する不規則入射波を容易に扱える利点をもつ。計算手法は港内に入射する波の変形を次の2つに大別し、それぞれ個別に計算・合成するものである。

(イ) I 開口部と岸壁端部からの回折波

(ロ) II 岸壁からの反射波

(イ)については半無限堤の Sommerfeld の解析解を任意反射率の場合に拡張した近似解より得られる回折係数を用い、(ロ)については島堤による反射波の論理解を用いて計算する。なお、計算の前提条件はつぎのとおりである。

- ・水深は一様とする
- ・屈折変形は考慮しない
- ・砕波（浅水変形）は考慮しない

②基本式

高山法の基本式は sommerfeld による完全反射の解析解に、任意の反射率 K_R を乗じた近似式として次のように表される。

$$K_d = |\phi(r, \theta)|$$

$$\begin{aligned} \phi(r, \theta) = & \frac{1}{\sqrt{2}} \exp \left[i \left\{ kr \cos(\theta - \alpha) + \frac{\pi}{4} \right\} \right] \times \left[\left\{ C(\gamma_1) + \frac{1}{2} \right\} - i \left\{ S(\gamma_1) + \frac{1}{2} \right\} \right] \\ & + \frac{K_R}{\sqrt{2}} \exp \left[i \left\{ kr \cos(\theta + \alpha) + \frac{\pi}{4} \right\} \right] \times \left[\left\{ C(\gamma_2) + \frac{1}{2} \right\} - i \left\{ S(\gamma_2) + \frac{1}{2} \right\} \right] \end{aligned} \quad (2.7)$$

$$C(\gamma) = \int_0^\gamma \cos \frac{\pi}{2} x^2 dx, \quad S(\gamma) = \int_0^\gamma \sin \frac{\pi}{2} x^2 dx$$

$$\gamma_1 = \sqrt{\frac{4kr}{\pi}} \cos \frac{\theta - \alpha}{2}, \quad \gamma_2 = \sqrt{\frac{4kr}{\pi}} \cos \frac{\theta + \alpha}{2}$$

ここに、 K_d : 回折係数
 K : 波数
 r, α, θ : 極座標 (右図参照)

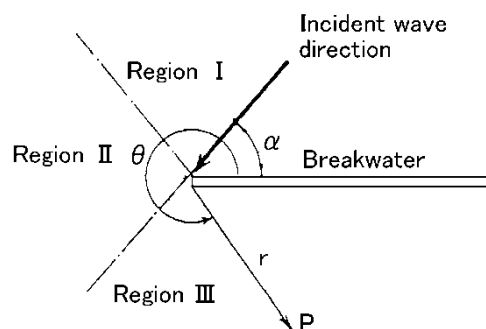


図-2.2.26 計算座標

③入射波の計算

入射波の波高分布は防波堤配置と入射波向を下図のようにパターン化し、式(2.7)を基本とする各条件に応じた波浪場の解を用いて計算する。

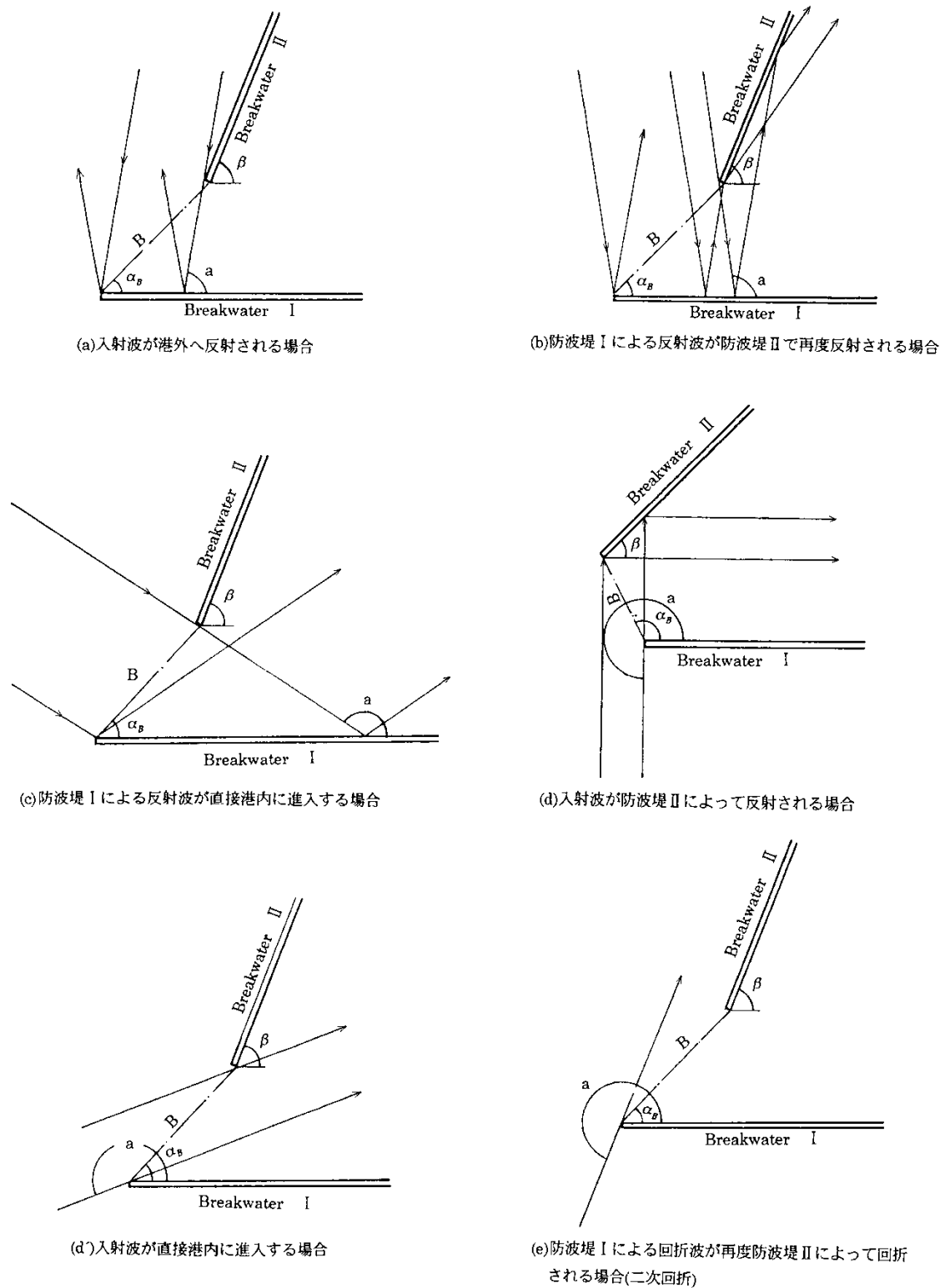


図-2.2.27 防波堤の配置と波の進入角度による波浪場の分類

④岸壁の反射波

岸壁の反射波は反射面の一つ一つを独立した島堤と考えて、島堤前面（図-2.2.28 において堤の上側）の波高分布から入射波成分を差し引いた次式により計算する。

$$\begin{aligned} \phi_r(r_1, r_2, \theta_1, \theta_2) = & \frac{1}{\sqrt{2}} \exp \left[i \left\{ kr_1 \cos(\theta_1 - \alpha) + \frac{\pi}{4} - \frac{kB}{2} \cos \alpha \right\} \right] \times \left[\left\{ C(\gamma_{11}) - \frac{1}{2} \right\} - i \left\{ S(\gamma_{11}) - \frac{1}{2} \right\} \right] \\ & + \frac{K_R}{\sqrt{2}} \exp \left[i \left\{ kr_1 \cos(\theta_1 + \alpha) + \frac{\pi}{4} - \frac{kB}{2} \cos \alpha \right\} \right] \times \left[\left\{ C(\gamma_{12}) - \frac{1}{2} \right\} - i \left\{ S(\gamma_{12}) - \frac{1}{2} \right\} \right] \\ & + \frac{1}{\sqrt{2}} \exp \left[i \left\{ kr_2 \cos(\theta_2 - \pi + \alpha) + \frac{\pi}{4} + \frac{kB}{2} \cos \alpha \right\} \right] \times \left[\left\{ C(\gamma_{21}) - \frac{1}{2} \right\} - i \left\{ S(\gamma_{21}) - \frac{1}{2} \right\} \right] \\ & + \frac{K_R}{\sqrt{2}} \exp \left[i \left\{ kr_2 \cos(\theta_2 + \pi - \alpha) + \frac{\pi}{4} + \frac{kB}{2} \cos \alpha \right\} \right] \times \left[\left\{ C(\gamma_{22}) + \frac{1}{2} \right\} - i \left\{ S(\gamma_{22}) + \frac{1}{2} \right\} \right] \end{aligned}$$

(2.8)

$$C(\gamma) = \int_0^\gamma \cos \frac{\pi}{2} x^2 dx, \quad S(\gamma) = \int_0^\gamma \sin \frac{\pi}{2} x^2 dx$$

$$\gamma_{11} = \sqrt{\frac{4kr_1}{\pi}} \cos \frac{\theta_1 - \alpha}{2}, \quad \gamma_{12} = \sqrt{\frac{4kr_1}{\pi}} \cos \frac{\theta_1 + \alpha}{2}$$

$$\gamma_{21} = \sqrt{\frac{4kr_2}{\pi}} \cos \frac{\theta_2 - \alpha + \pi}{2}, \quad \gamma_{22} = \sqrt{\frac{4kr_2}{\pi}} \cos \frac{\theta_2 + \alpha - \pi}{2}$$

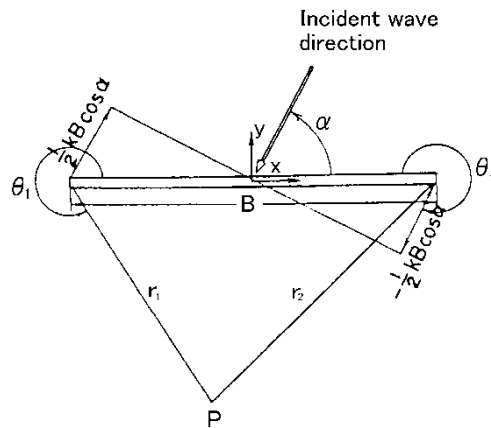


図-2.2.28 計算座標（島堤）

⑤不規則波の波高計算

一点における水面変動は無数の成分波の線形重ね合わせとして表現できると仮定すると、不規則波の波高比 K_d は次のように表される。

$$K_d = \sqrt{\frac{\sum_{n,m} \{(K_d)_{n,m}\}^2 S(f_n, \alpha_m) \delta f_n \delta \alpha_m}{\sum_{n,m} S(f_n, \alpha_m) \delta f_n \delta \alpha_m}} \quad (2.9)$$

ここに、 $S(f_n, \alpha_m)$: 入射波の方向スペクトル

f_n : n 番目の周波数分割区域

α_m : m 番目の方向分割区域

$\delta f_n, \delta \alpha_m$: n 番目の周波数分割区間幅と m 番目の方向分割区間幅

(b) 計算条件

①領域条件

計算点間隔：5m(ただし、出力は20mピッチ)

代表水深：2.5m

②潮位

H. W. L. +2.10

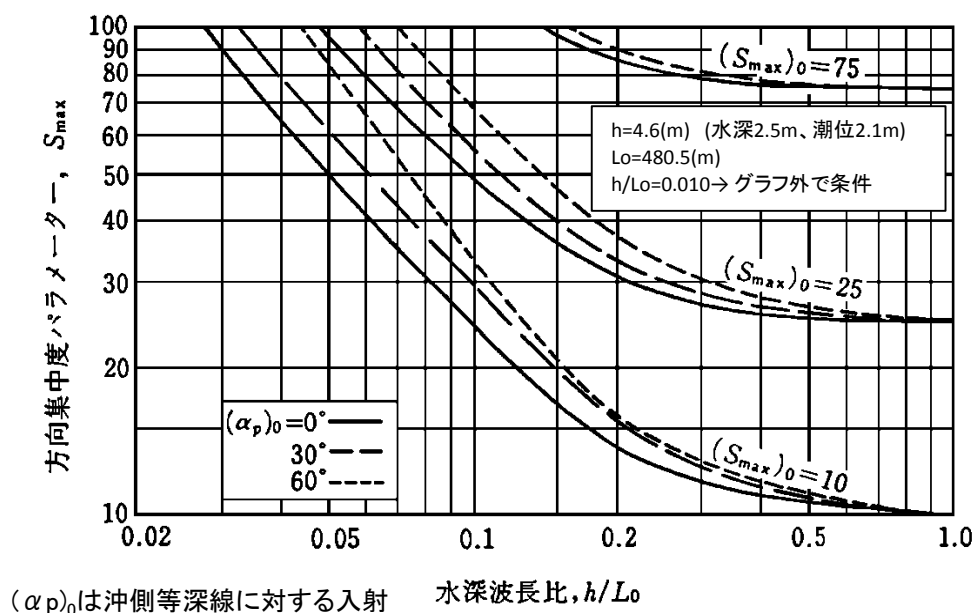
③入射波

沖波 ESE から時計回りに SSE までの波浪変形計算による港口部の状況から、港内への影響が大きいとみなされる SSE 波を対象とした。港口部での換算沖波波高と波向は表-2.2.4 のとおりである。

風波性かうねり性の指標となる方向集中度パラメータは図-2.2.29 より推定するが、対象とする周期が長く波長が長いことから h/L_0 がグラフ外の条件となり、 S_{max} は判読できない大きな値となる。そこで、通常うねり性に分類する $S_{max}=75$ を設定した。

表-2.2.4 港口部の条件(50年確率波)

沖波向	$H_{1/3}$ (m)	T(s)	波向	S_{max}
SSE	1.05	17.55	N+128°	75



出典元：港湾の施設の技術上の基準・同解説／平成19年7月／日本港湾協会／p.138

図-2.2.29 水深による S_{max} の変化

④反射率と成分波の入射範囲

反射率は表-2.2.5の一般堤のおよそ中間的な値を用いて、図-2.2.30のとおりに設定した。

表-2.2.5 構造形式の違いによる反射率

構造様式	反射率	
	採用値	一般値
直立壁(天端は静水面上)	0.90	0.7~1.0
直立壁(天端は静水面下)	-	0.5~0.7
捨石斜面	0.40	0.3~0.6
異形消波ブロック	0.40	0.3~0.5
直立消波	-	0.3~0.8
天然海岸・船揚場	0.10	0.05~0.2

※一般値は「耐波工学」合田良實，鹿島出版会，p.83などによる



図-2.2.30 反射率の設定

不規則波としての計算では、主方向を中心とした $\pm 90^\circ$ の方向成分波を考慮するが、その際の範囲は図-2.2.31のように設定した。

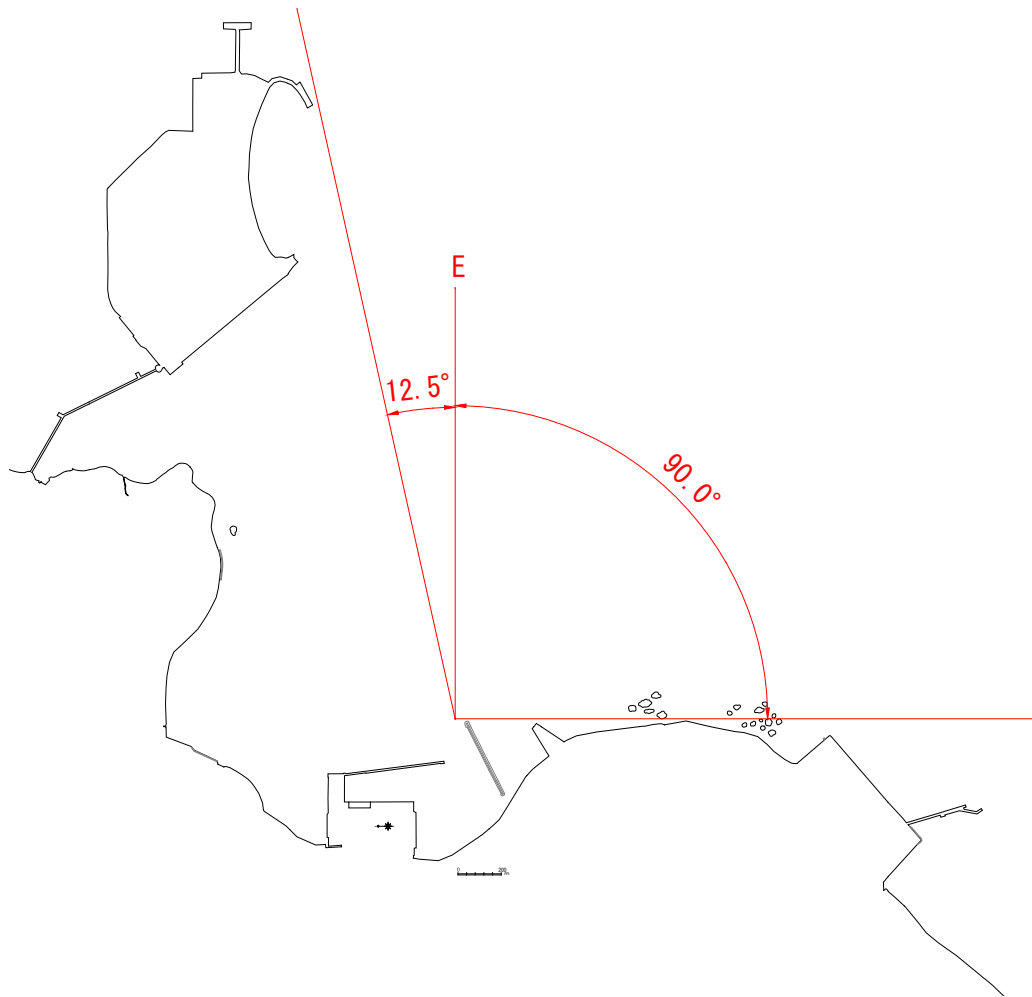


図-2.2.31 方向成分波の範囲

⑤その他の条件

周波数分割数：7

方向分割数：27(5° 刻み)

反射次数：2

(c) 静穏度解析結果

静穏度解析結果を図-2.2.32に示す。泊地は0.31m、物揚場は0.20m、荷捌地は0.15m以下である。

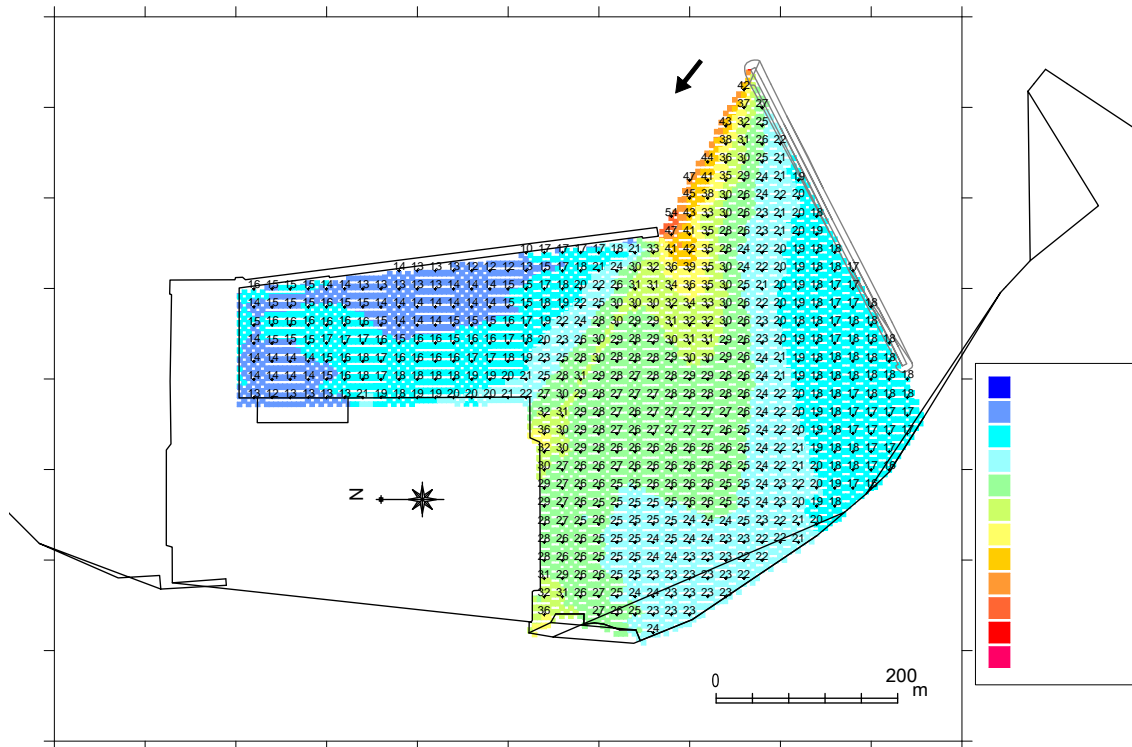


図-2.2.32 静穏度解析結果

(3) 静穏度解析手法

波の現象は、「浅水」^{注)}、「屈折」、「回折」、「砕波」および「反射」に大別でき、これら波の変形要素を考慮した解析手法は種々ある。本業務では、一般的に用いられている解析手法のエネルギー平衡方程式（港外側）と高山法（港内側）の組み合わせにより、中城湾港（熱田地区）の静穏度解析を行った。ただし、表-2.2.6 に示すとおり、それぞれの解析手法には長所と短所がある。

注) 水深の変化（深い → 浅い）により波が発達・減衰する現象のこと。

表-2.2.6 解析手法の適用性

項目	エネルギー平衡方程式	高山法	ブシネスク方程式
基本式	伝播方程式	回折波の近似式	運動方程式
水深	任意	同様	任意
波の不規則性	○	○	○
考慮できる波の変形要素	浅水 注)	○	×
	屈折	○	×
	回折	△	○
	砕波	△	×
	反射	△	○
計算時間	短い	短い	長い

凡例 ○：計算可能、△：条件によっては計算可能、×：計算不可能

解析手法と適用性（イメージ）を図-2.2.33 に示す。エネルギー平衡方程式は、波の屈折を精度良く計算できるが、回折、砕波および反射の計算精度が落ちる。また、高山法は、波の屈折と砕波が計算できないものの、回折と反射を精度良く計算できる。一方、ブシネスク方程式は、全ての波の変形要素を精度良く計算できる解析手法といえる。

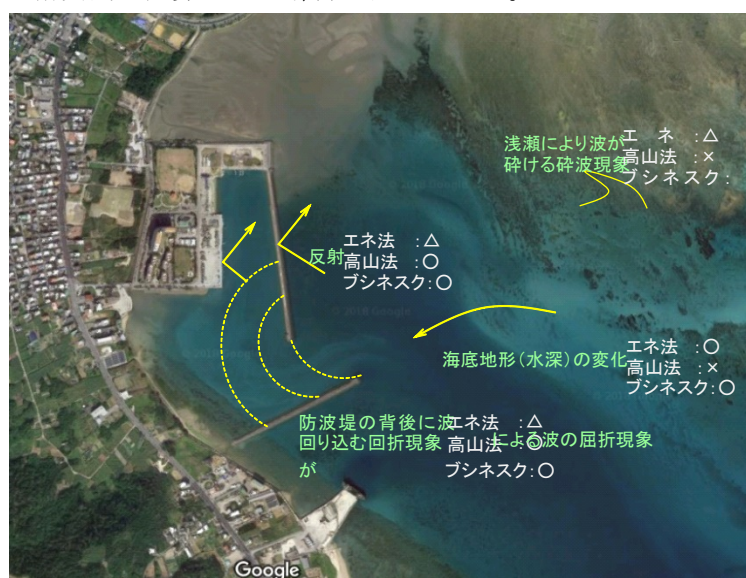


図-2.2.33 解析手法と適用性（イメージ）

凡例 ○：計算可能、△：条件によっては計算可能、×：計算不可能

近年、ブジネスク方程式が、全ての波の変形要素を精度良く計算できる解析手法として、静穏度解析に用いられる機会が多くなってきている。特に、浅瀬による波の砕波現象を、他の解析手法よりも精度良く計算できることが大きな特徴である。

中城湾の海図を図-2.2.34 に示す。中城湾港（熱田地区）の東側には、サンゴ礁の浅瀬が広がっているため、設計波高の算出においては、ブジネスク方程式による静穏度解析が適しているといえる。よって、浮棧橋の詳細設計においては、ブジネスク方程式により静穏度解析を実施し、設計波高の見直しを行うものとする。

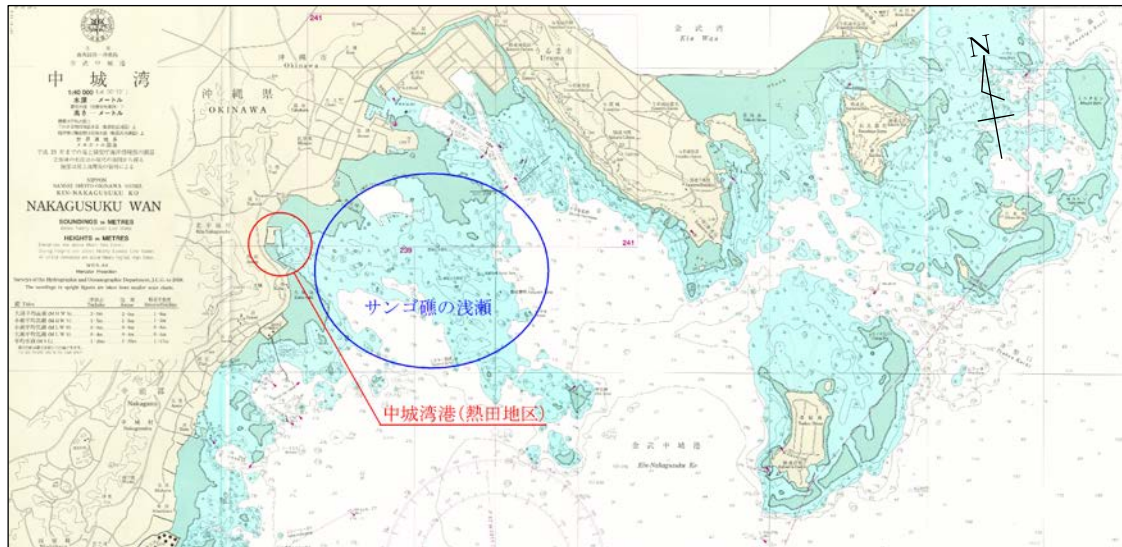


図-2.2.34 中城湾の海図

2.3 中城湾港（熱田地区）の整備計画

2.3.1 施設の整備計画

深浅測量及び静穏度解析の結果、及び「北中城村マリンビジョン策定検討委員会」での意見を踏まえて、水中展望船の発着場所は、物揚場（-2.0m）の前面に計画する。

- 深浅測量の結果より、泊地の計画水深は確保されており、水深は-2.0m～-2.5mである。
- 静穏度解析の結果より、泊地の静穏度は確保されており、港内波高は最大0.26mである。
- 船揚場付近は、漁港関係者が利用するため、水中展望船の発着場所は、出来るだけ船揚場より南側にして欲しいと要望があった。（H29.12.8 第1回委員会にて）
- 物揚場（-2.5m）付近は、工事の際に利用することがある。（H30.2.1 第2回委員会にて）

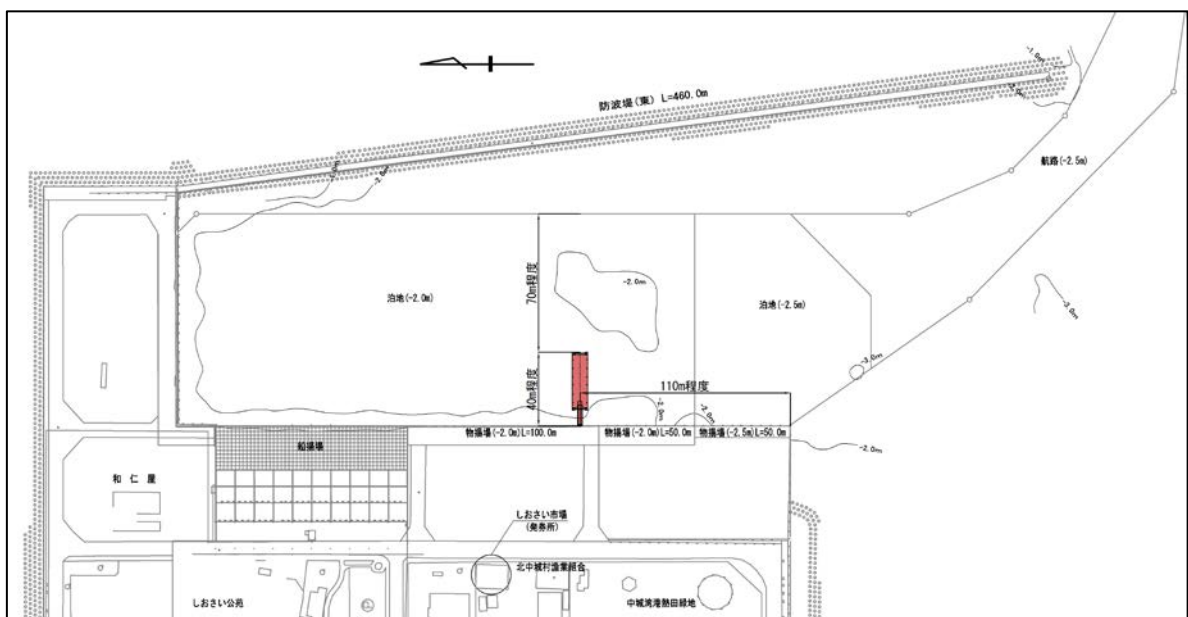


図-2.2.35 水中展望船の発着場所

2.3.2 浮棧橋の位置及び方向

(1) 浮棧橋の位置

物揚場 (-2.5m) は、工事の際に利用することを想定し、浮棧橋の位置は、物揚場 (-2.0m) 側に計画する。

この位置は、発券所の併設を計画している「しおさい市場」に近く、アクセスがよい。

(2) 浮棧橋の方向

浮棧橋の方向は、物揚場 (-2.0m) の法線に対して直角方向となる「縦付け」とする。浮棧橋を「縦付け」にした場合、船が航行できる幅は70m程度である。

1) 漁船への影響

本港を利用する漁船の最大は19G. T. である。

下図に示すとおり、20G. T. の漁船が旋回しても影響のない幅である。

2) 工事用台船への影響

本港を利用した台船の最大は1500t (長さ48m、幅17m、高さ3.4m) である。台船が航行しても影響のない幅である。

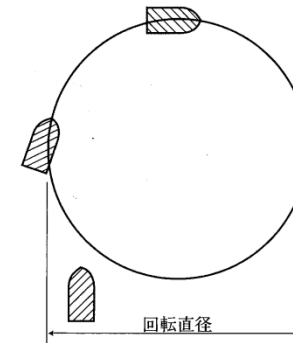
※必要な航路幅：24m以上 (台船全長の0.5倍以上)

注) 浮棧橋の長さ30m程度、連絡橋の長さ10m程度を想定

表 2-14-1 漁船の諸元

船型 (G.T.)	船の長さ (L)	船の幅 (B)	喫水	
			最大 (dmax)	最小 (dmin)
1	7.0m	1.8m	1.0m	—
2	8.0	2.2	1.2	—
3	9.0	2.4	1.4	—
4	10.0	2.6	1.6	—
5	11.0	2.8	1.8	—
10	13.0	3.5	2.0	1.9
20	17.0	4.3	2.2	2.1
30	20.0	4.7	2.5	2.3
40	22.0	5.2	2.7	2.5
50	24.0	5.5	2.9	2.6
100	30.0	6.5	3.7	3.2
150	35.0	7.2	4.2	3.5
200	40.0	7.6	4.6	3.8
300	46.0	8.4	5.2	4.2
400	52.0	8.9	5.6	4.5
500	55.0	9.4	5.9	4.8

漁船の旋回及び船まわしについて 中小型漁船の場合



静穏の場合船長の2~4倍=2L~4L
風波を考慮した場合船長の3~5倍=3L~5L

操船用水面として必要な面積の考え方 (旋回)

- 1: 本船停止, 前進微速右かじ一杯
本船前進, 後進微速左かじ一杯
- 2: 本船停止
本船後進, 前進微速左かじ一杯
- 3: 本船停止
- 4: 本船前進右かじ一杯

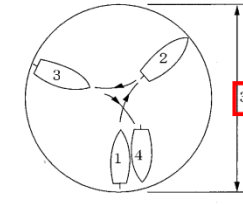
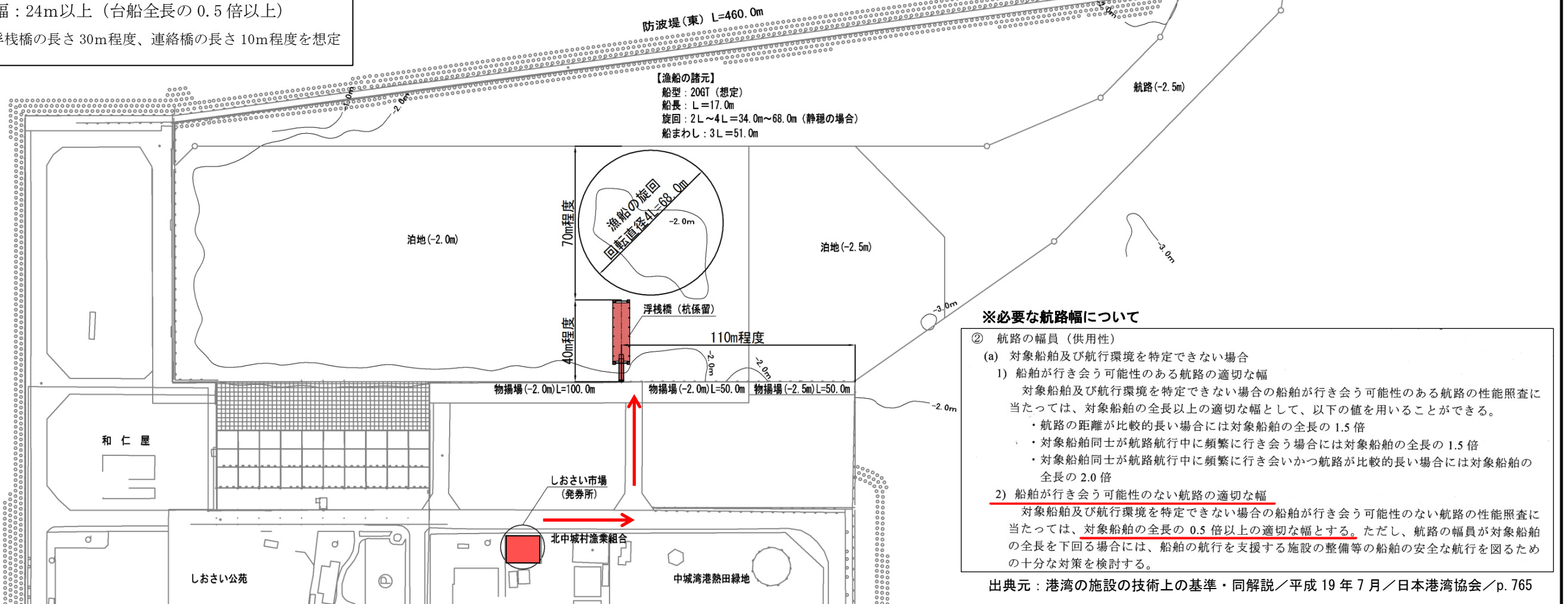


図 7-3-1 操船用水面として必要な面積の考え方 (船まわし)

出典元：漁港・漁場の施設の設計参考図書／2015年版／全国漁港漁場協会／p.194、p.633

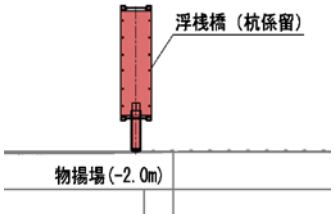
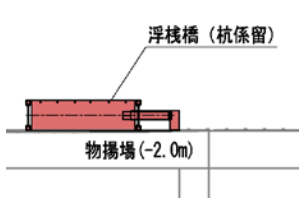


参考資料 浮棧橋の方向について

浮棧橋の方向には、縦付けと横付けの2タイプがある。

浮棧橋の方向に関する比較を参表-1に示す。縦付けは、荒天時の波浪に対する安定性は劣るものの、利用性や経済性の面で優れている。よって、浮棧橋の方法としては、縦付けを推奨する。

参表-1 浮棧橋の方向

方 向	縦付け	横付け
概 念 図		
概 要	<ul style="list-style-type: none"> ・物揚場 (-2.0m) の法線に対して直角方向に浮棧橋を設置する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・物揚場 (-2.0m) の法線に対して平行方向に浮棧橋を設置する。
安 定 性 (安 全 性)	<ul style="list-style-type: none"> ・荒天時の波浪に対して、長辺方向に波力を受けるため、安定性に劣る (△) 	<ul style="list-style-type: none"> ・荒天時の波浪に対して、短辺方向に波力を受けるため、安定性に優れる (○)
利 用 性	<ul style="list-style-type: none"> ・漁船や工事用台船への航行に影響はない (○) ・将来、水中展望船を2隻体制で運航する時に浮棧橋の両側を使用できる (○) 	<ul style="list-style-type: none"> ・漁船や工事用台船への航行に影響はない (○) ・将来、水中展望船を2隻体制で運航する時に浮棧橋がもう1個必要になる (△)
経 済 性	<p>比較的安い (○) (連絡橋に杭基礎が不要)</p>	<p>比較的高い (△) (連絡橋に杭基礎が必要)</p>
総合評価	<p>推奨 ^{注)}</p>	<p>—</p>

注) 浮棧橋の方向については、詳細設計を行い、最適な配置を決定する。

2.3.3 浮棧橋の係留方式

浮棧橋の係留方式には、杭係留とアンカー係留の2タイプがある。

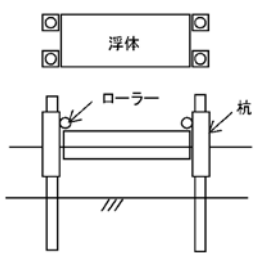
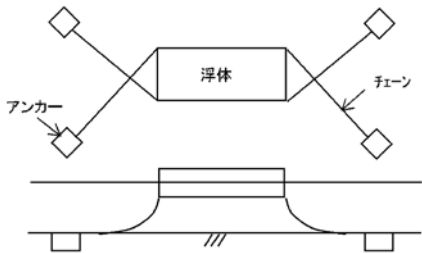
係留方式比較表を表-2.2.7に示す。杭係留は、安定性（安全性）、利用性、経済性、及び「北中城村マリビジョン策定検討委員会」での意見を総合的に勘案して比較検討を行う。

委員会での主な意見を以下に記す。

- アンカー係留は、チェーンに弛みがあり、浮棧橋の付近を航行する漁船や工事用台船などの船底を擦る恐れがある。
- アンカー係留は、チェーンに弛みがあり、台風時に浮棧橋の変位や動揺が大きく、大変危険である。
- アンカー係留は、チェーンに弛みがあり、台風時に浮棧橋の変位や動揺が大きく、連絡橋の支承部（桁かかり）に影響がある。

経済性の面でアンカー係留に劣るものの、安定性（安全性）や利用性の面で優れている。よって、浮棧橋の係留方式としては、杭係留を推奨する。

表-2.2.7 係留方式比較表

係留方式	杭係留	アンカー係留
概念図		
構造概要	<ul style="list-style-type: none"> ・地盤に杭を打設し、浮棧橋を支える構造である ・地盤が軟弱な場合は杭を大きくするか、地盤改良が必要となる ・杭の取り換えは困難であるため、防食対策を施す必要がある 	<ul style="list-style-type: none"> ・地盤にアンカーを埋設し、浮棧橋とアンカーをチェーンで繋ぐ構造である ・地盤が軟弱な場合でも地盤改良は必要ない ・チェーンは腐食したら取り換えが可能である
安定性 (安全性)	<ul style="list-style-type: none"> ・沖縄県は台風の常襲地帯であり、荒天時の波浪に対して、変位や動揺が少なく、安定性が高い (◎) 	<ul style="list-style-type: none"> ・沖縄県は台風の常襲地帯であり、荒天時の波浪に対して、変位や動揺が大きく、安定性が低い (△)
利用性	<ul style="list-style-type: none"> ・漁船や工事用台船が浮棧橋の周辺を航行する際は特に支障がない (◎) 	<ul style="list-style-type: none"> ・漁船や工事用台船が浮棧橋の周辺を航行する際はチェーンに注意が必要である (△)
経済性	比較的が高い (△)	比較的に安い (○)
総合評価	推奨 ^{注)}	—

注) 浮棧橋の係留方式については、詳細設計を行い、最適な構造を決定する。