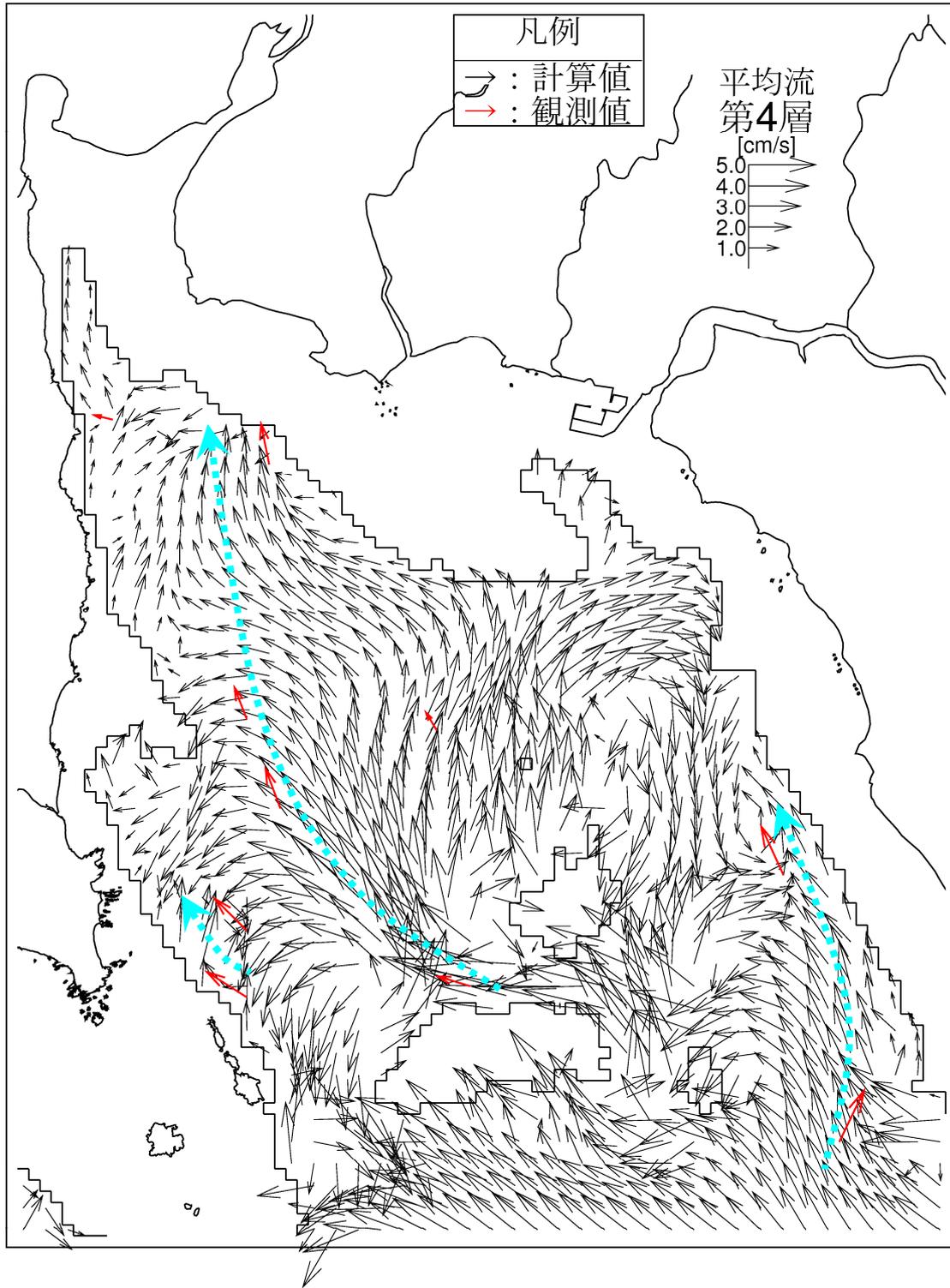


ウ) 大浦湾の鉛直循環パターン  
(冬季の上層流入、下層流出)

注) 計算値の流速ベクトルは2格子毎に表示

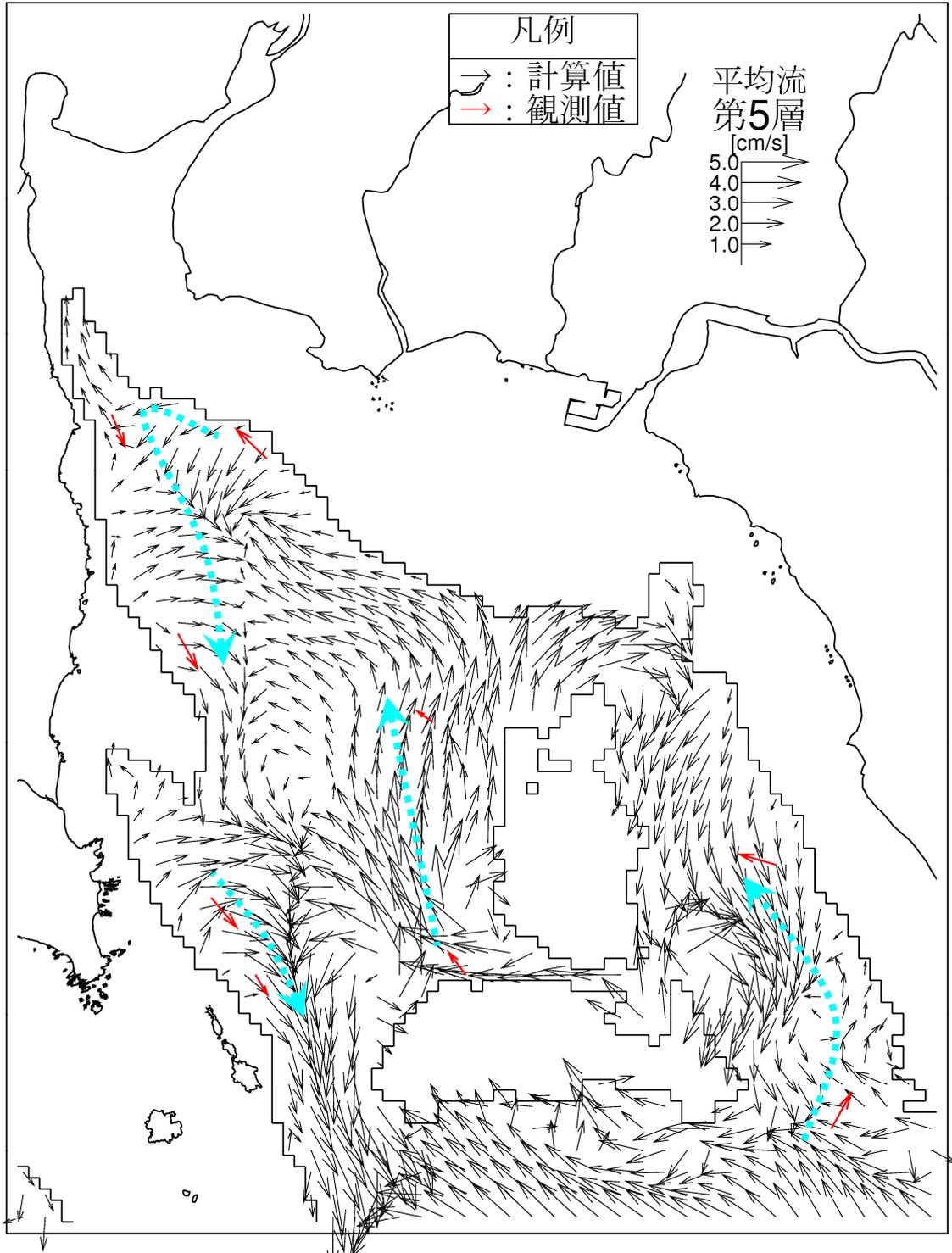
図-6.9.2.3.25(3) 大浦湾周辺の恒流(平均流)ベクトルの比較(第3層[4~6m])  
(冬季、→: 観測値から想定される流れのパターン)



ウ) 大浦湾の鉛直循環パターン  
(冬季の上層流入、下層流出)

注) 計算値の流速ベクトルは2格子毎に表示

図-6.9.2.3.25(4) 大浦湾周辺の恒流(平均流)ベクトルの比較(第4層[6~10m])  
(冬季、→: 観測値から想定される流れのパターン)

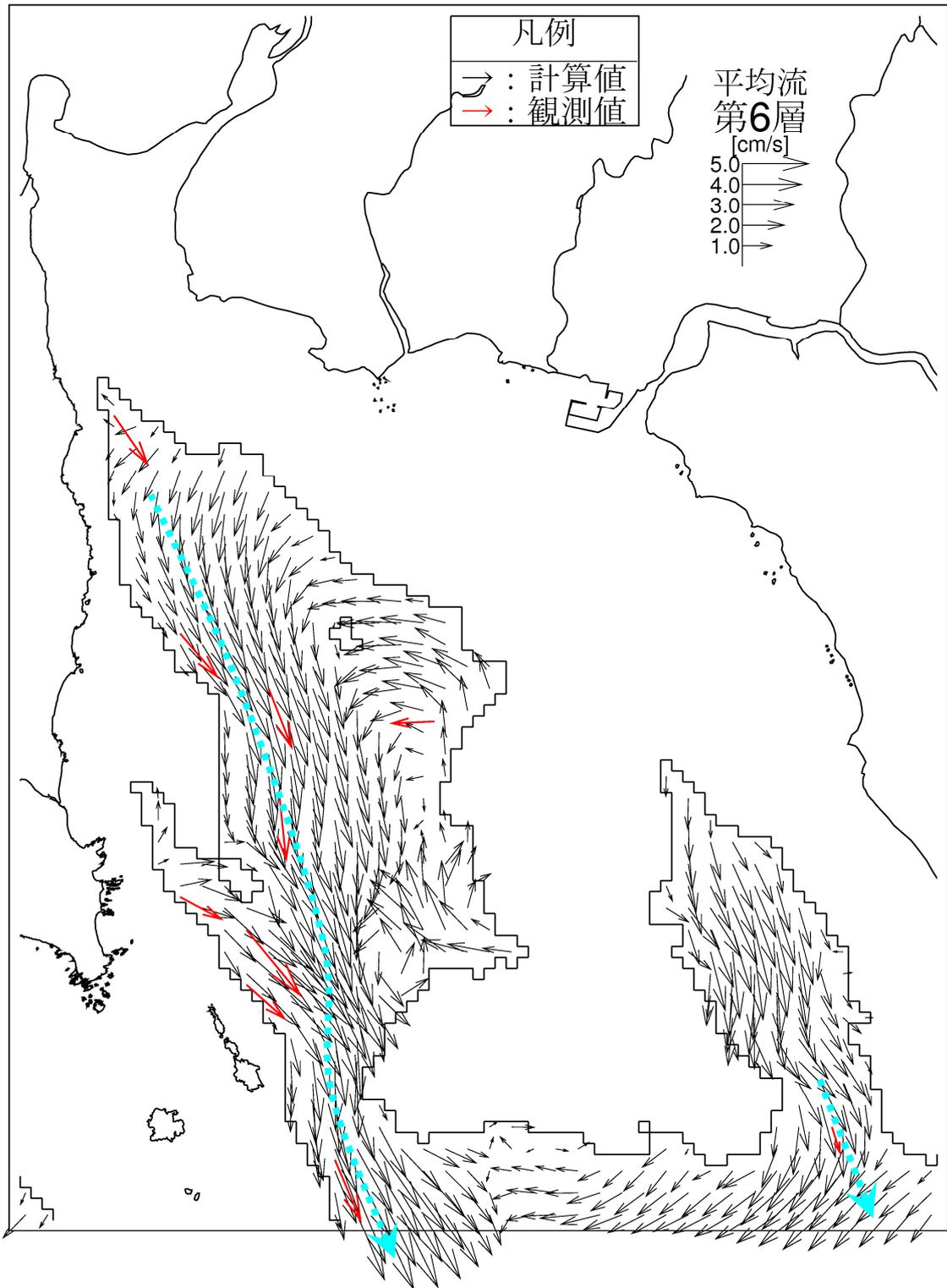


ウ) 大浦湾の鉛直循環パターン  
(冬季の上層流入、下層流出)

注) 計算値の流速ベクトルは2格子毎に表示

※) 大浦湾西側では流出する流れが強くなり、東側では上層と同様に流入傾向

図-6.9.2.3.25(5) 大浦湾周辺の恒流(平均流)ベクトルの比較(第5層[10~20m])  
(冬季、→: 観測値から想定される流れのパターン)



ウ) 大浦湾の鉛直循環パターン  
(冬季の上層流入、下層流出)

注) 計算値の流速ベクトルは2格子毎に表示

図-6.9.2.3.25(6) 大浦湾周辺の恒流(平均流)ベクトルの比較(第6層[20m以深])  
(冬季、→: 観測値から想定される流れのパターン)

e) 水温・塩分の再現性

水温と塩分の計算値と観測値の相関を図-6.9.2.3.26に示しました。また、代替施設周辺や大浦湾、沖合等において、多層の水温連続観測を実施した地点における鉛直分布の比較結果を図-6.9.2.3.27に示しました。

水温・塩分については、夏季と冬季の平均的な水温・塩分の鉛直分布パターンについて、観測値と計算値の比較を行っていますが、再現性の着目点とその評価結果を以下に示しました。

**(ア)水温・塩分の再現性の着目点：**

ア) 水温

- ・ 夏季の計算値は表層で高水温、底層で低水温の鉛直分布が表現されており、観測値の分布傾向を再現していると考えられます。
- ・ 冬季は計算値と観測値に±1℃程度の差がみられる地点もありますが、全体として水温の計算値は、鉛直混合や浅海域での低水温が表現されており、観測値の傾向を再現していると考えられます。

イ) 塩分

- ・ 鉛直方向に一樣な観測値の傾向を再現できていると考えられます。

f) モデルの妥当性の評価

前述した潮汐流、恒流(平均流)、水温・塩分を指標とした再現性の検証結果では、計算値と観測値の間に差異がある地点もみられました。特にリーフ内においては吹送流と海浜流がバランスして複雑な流れ場を形成しており、全てを完全に再現することは困難と考えています。しかし、事業実施予定区域周辺の特徴的な流れのパターン(辺野古崎と長島・平島の間から湾奥に向かう流れ、大浦湾内の流れの鉛直構造の季節変化等)について、計算値は観測値の傾向を再現していると考えられます。

また、予測に用いる数値モデルは、設定した境界条件やモデルパラメータについて感度解析を踏まえた十分な検討を行っており、計算誤差に起因する予測の不確実性は可能な限り低減できているものと考えられます。

以上により、構築した流動予測モデルは妥当であり、海上工事、代替施設本体等の存在時及び飛行場の施設の供用時の影響(護岸や埋立地等の存在による流れの変化、美謝川の切替えや供用時の污水排水による流れの変化等)を予測・評価することは十分可能と判断しました。

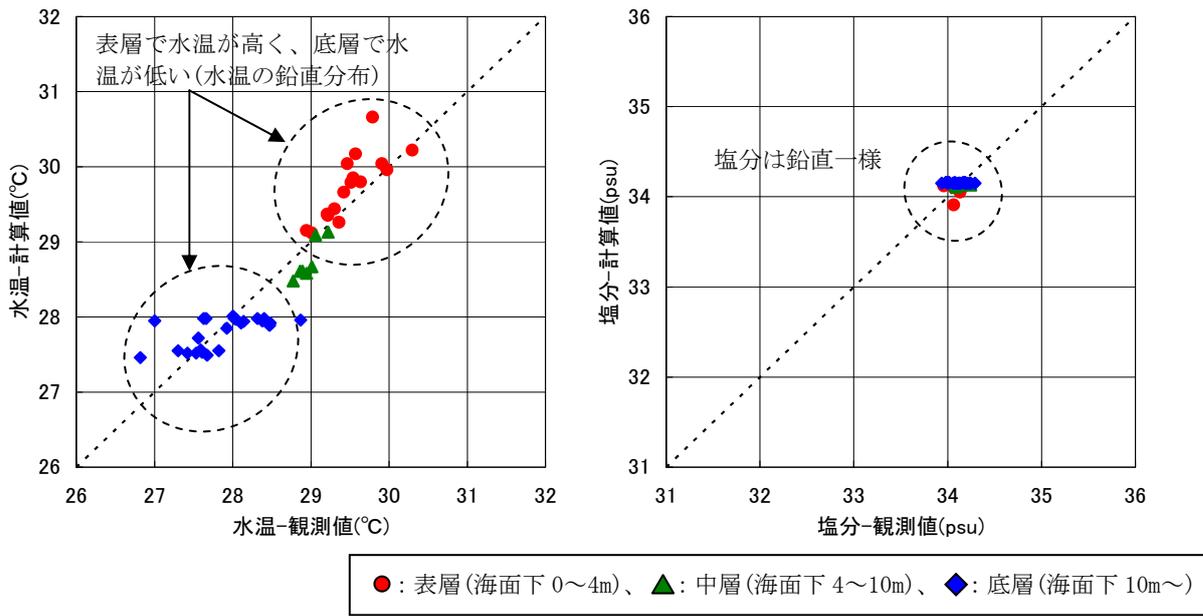


図-6.9.2.3.26(1) 水温・塩分の相関 (夏季)

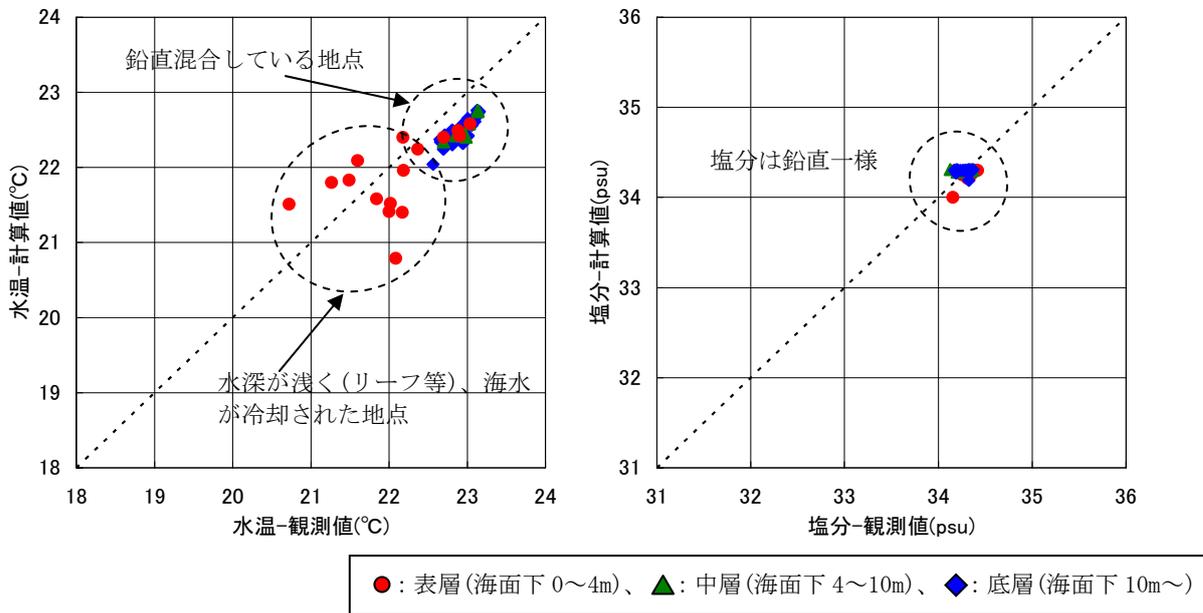
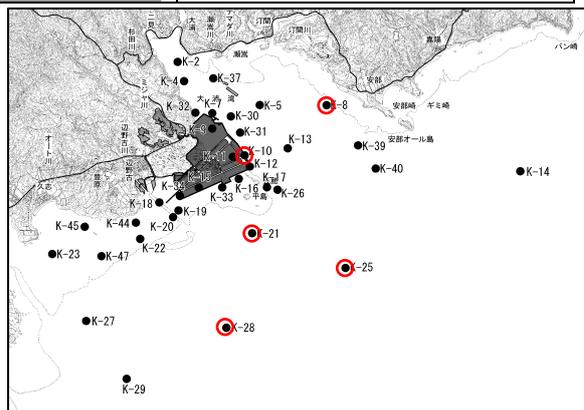
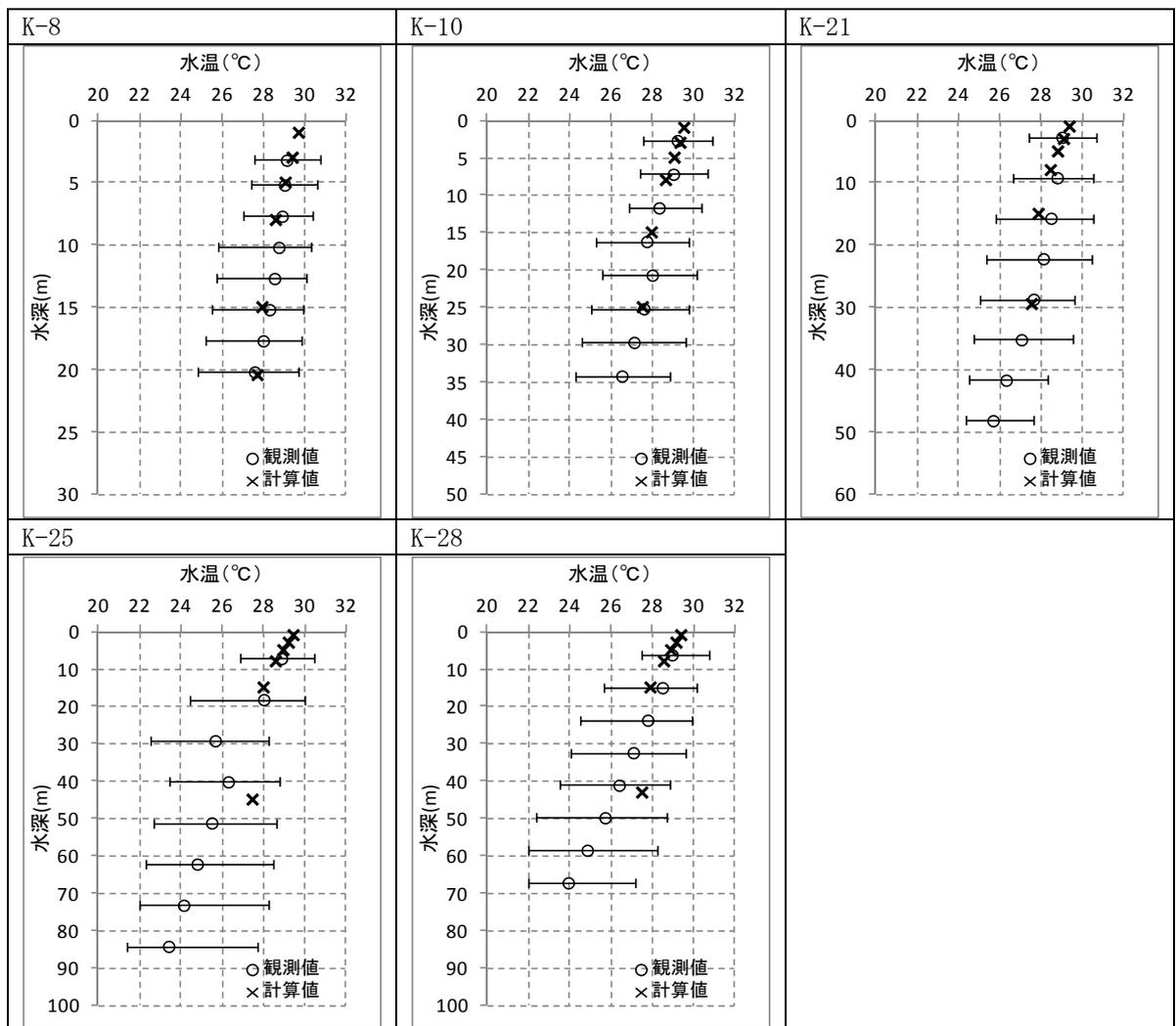
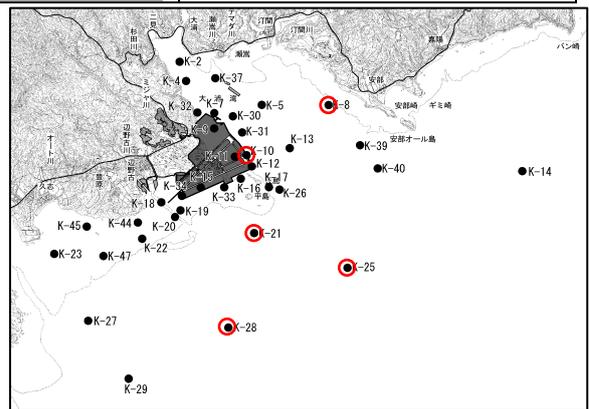
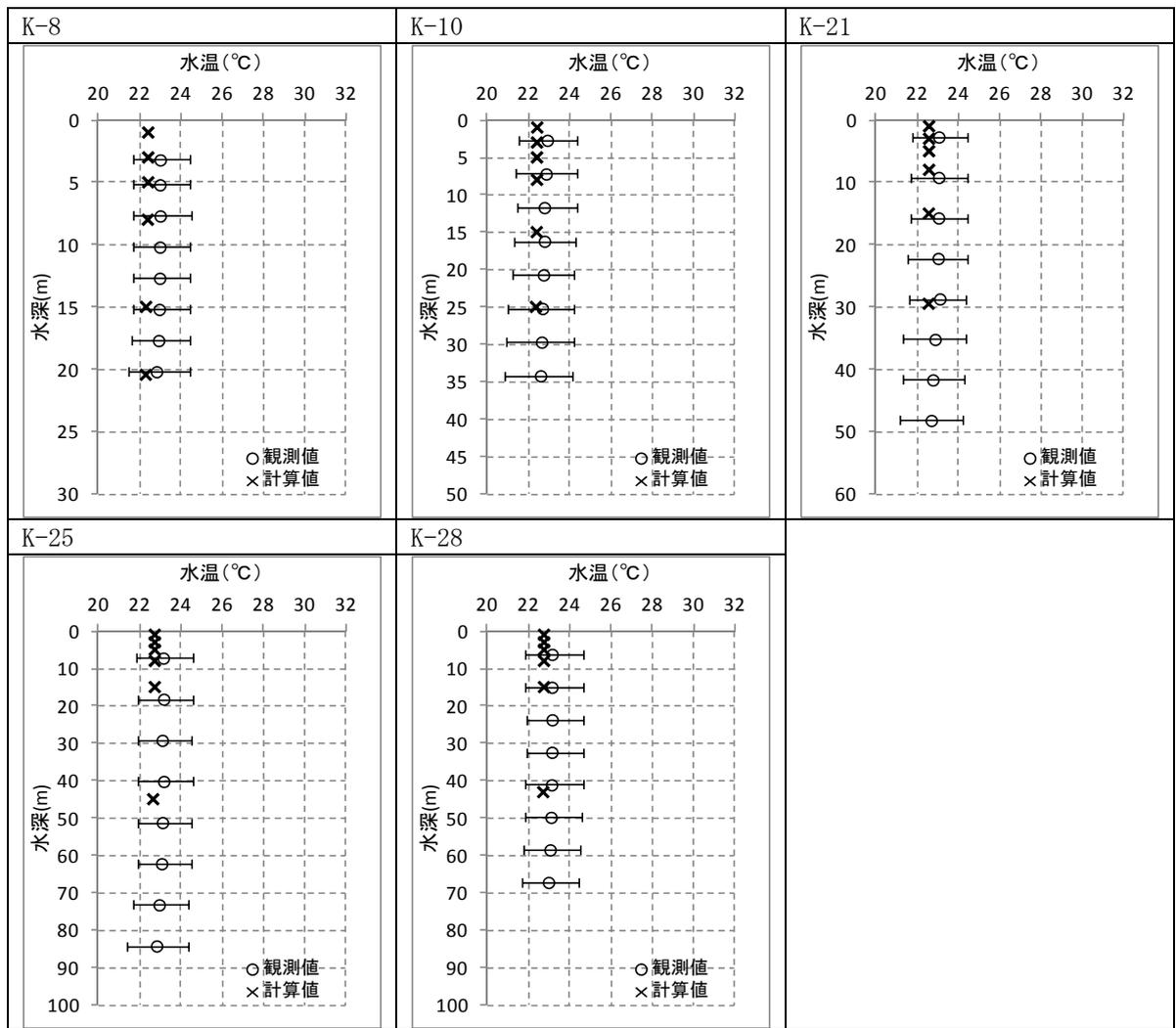


図-6.9.2.3.26(2) 水温・塩分の相関 (冬季)



- 注)1. 代替施設周辺や大浦湾、沖合等において、多層の水温・塩分連続観測を実施した地点（上図の丸印で示す 5 地点）の結果を用いました。  
 2. 観測値は平成 20 年 7 月 4 日～平成 20 年 9 月 3 日までの平均値と最大値、最小値を示しました。計算値は一潮汐の平均値を示しました。

図-6.9.2.3.27(1) 水温の鉛直分布の比較（平成 20 年度夏季）



- 注)1. 代替施設周辺や大浦湾、沖合等において、多層の水温・塩分連続観測を実施した地点（上図の丸印で示す 5 地点）の結果を用いました。  
 2. 観測値は平成 20 年 12 月 1 日～平成 21 年 1 月 6 日までの平均値と最大値、最小値を示しました。計算値は一潮汐の平均値を示しました。

図-6.9.2.3.27(2) 水温の鉛直分布の比較（平成 20 年度冬季）

## 2) 波浪の変化

### (a) 予測の前提

存在時及び供用時の波浪の変化を予測するにあたっては、夏季と冬季の平均的な波浪条件を設定し、埋立等の影響による波浪の変化を予測しました。

### (b) 予測モデル

事業実施区域周辺の波浪を適切に評価するにあたっては、以下に示す項目に着目し、その全てを考慮することが可能な方法として、高山ら(1991)\*のエネルギー平衡方程式法を用いました。

- ・浅水変形及び屈折を考慮できること
- ・波浪の不規則性を考慮できること
- ・任意水深の適用が可能であること
- ・砕波を考慮できること
- ・海底摩擦による波高減衰を考慮できること
- ・波の反射を考慮できること
- ・広い計算範囲に適用可能であること

#### a) 屈折及び浅水変形

エネルギー平衡方程式の基礎式を以下に示しました。

$$\frac{\partial}{\partial x}(SC_g \cos \theta) + \frac{\partial}{\partial y}(SC_g \sin \theta) + \frac{\partial}{\partial \theta} \left[ S \left( \frac{C_g}{C} \right) \left\{ \sin \theta \left( \frac{\partial C}{\partial x} \right) - \cos \theta \left( \frac{\partial C}{\partial y} \right) \right\} \right] = 0$$

ここに、 $S$  ( $=S(f, \theta)$ 、 $f$ : 周波数、 $\theta$ : 角度) は波の方向スペクトル、 $C_g$  は波の群速度、 $C$  は波速です。

上式において、左辺第1項と第2項は浅水変形による波高の変化を表し、第3項は屈折による波高変化を表しています。また、有義波高  $H$  ( $H_{1/3}$ ) は、方向スペクトルを用いて次式で表されます。

$$H = 4.0 \left( \int_0^{\infty} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} S(f, \theta) df d\theta \right)^{1/2}$$

---

\*高山知司・池田直太・平石哲也：砕波及び反射を考慮した波浪変形計算，港湾技術研究所報告，第30巻，第1号，平成3年（1991），pp. 21-67.

b) 砕波

砕波波高  $H_b$  は合田(1970)<sup>\*1</sup> の次式を用いて評価し、高山ら(1991)<sup>\*2</sup> の手法を用いてエネルギー平衡方程式法に取り込みました。

$$H_b = AL_0 \left\{ 1 - \exp \left[ -1.5 \frac{\pi h}{L_0} (1 + 15 \tan^{4/3} \theta) \right] \right\}$$

定数  $A$  は 0.12~0.18 の値が妥当とされますが、海底摩擦による波高減衰を別途考慮していることを踏まえて、最大値の 0.18 を適用しました。

具体的には、砕波によって失われる波のエネルギーは個々の成分波が持っているエネルギーに比例するものとして、エネルギー平衡方程式の基礎式の右辺に  $-\varepsilon_b' S$  とする減衰項を追加し、上式の砕波波高に対応するエネルギー逸散率  $\varepsilon_b'$  を算定しました。

c) 海底摩擦

以下に示す方法により、海底摩擦によるエネルギー消散項  $S_{bf}$  を基礎方程式に取り込みました（砕波と同様に、エネルギー平衡方程式の基礎式の右辺に  $-S_{bf}$  を追加しました）。

海底面における摩擦応力  $\tau_b$  は、

$$\tau_b = \frac{1}{2} f_w \rho_w u_b |u_b|$$

と表されると仮定すると、海底摩擦によるエネルギー消散項は以下のように表されます。

$$S_{bf} = -\frac{1}{2} f_w \frac{\sigma^2}{g \sinh^2 kh} \langle u_b \rangle S(f, \theta)$$

ここに、 $\rho_w$  : 海水の密度、 $u_b$  : 海底近傍の流速、 $\sigma$  : 角速度です。また、 $\langle u_b \rangle$  は海底近傍の流速の rms 値であり、次式で表されます。

$$\langle u_b \rangle = \left\{ 2 \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \frac{\sigma^2}{\sinh^2 kh} S(f, \theta) df d\theta \right\}^{1/2}$$

磯崎ら(1999)<sup>\*3</sup> が示しているように、風から波を推算する代表的な方法である WAM モデルなどの場合には、エネルギー消散項  $S_{bf}$  を以下のように簡略化して表現しています。

---

<sup>\*1</sup> 合田良實：砕波資料の整理について，土木学会論文集，No. 180，昭和 45 年（1970），pp. 39-49.

<sup>\*2</sup> 高山知司・池田直太・平石哲也：砕波及び反射を考慮した波浪変形計算，港湾技術研究所報告，第 30 巻，第 1 号，平成 3 年（1991），pp. 21-67.

<sup>\*3</sup> 磯崎一郎・鈴木靖：波浪の解析と予報，東海大学出版会，平成 11 年（1999）pp. 122-123.

$$S_{bf} = -C_{bottom} \frac{\sigma^2}{g^2 \sinh^2 kh} S(f, \theta)$$

また、 $\langle u_b \rangle$  の代わりに以下のような  $U_{rms}$  を取り扱っています。

$$U_{rms} = \left\{ \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \frac{\sigma^2}{\sinh^2 kh} S(f, \theta) df d\theta \right\}^{1/2}$$

ここで、 $C_{bottom}$  は、海底摩擦係数  $f_w$  と以下のように関係づけられます。

$$C_{bottom} = f_w \frac{g}{\sqrt{2}} U_{rms}$$

$C_{bottom}$  を一定として  $C_{bottom} = 0.30 \sim 0.60$  までの試算を行い、現地での波浪観測結果との検証を行って最適な  $C_{bottom} = 0.50$  を得ました（検証結果は後述の「現況再現結果」に示しました）。

#### d) 反射

構造物などからの反射波の計算については、高山ら(1991)<sup>\*1</sup>の方法を用いて、岸方向へ進む波と沖方向へ反射される波をエネルギー合成して波高を算定しました。ここで、入射波の波高を  $H_p$ 、反射波の波高を  $H_r$  とすると、エネルギー合成した波高  $H_s$  は以下のように計算できます。

$$H_s = \sqrt{H_p^2 + H_r^2}$$

反射率の設定値については、表-6.9.2.3.15に示す合田(1990)<sup>\*2</sup>による概略値をもとに、対応する構造様式の中央値を設定しました。また、代替施設本体の東側のスリットケーソン式護岸については、図-6.9.2.3.28に示す設計値をもとに、周期毎の平均潮位に対する反射率を設定しました。

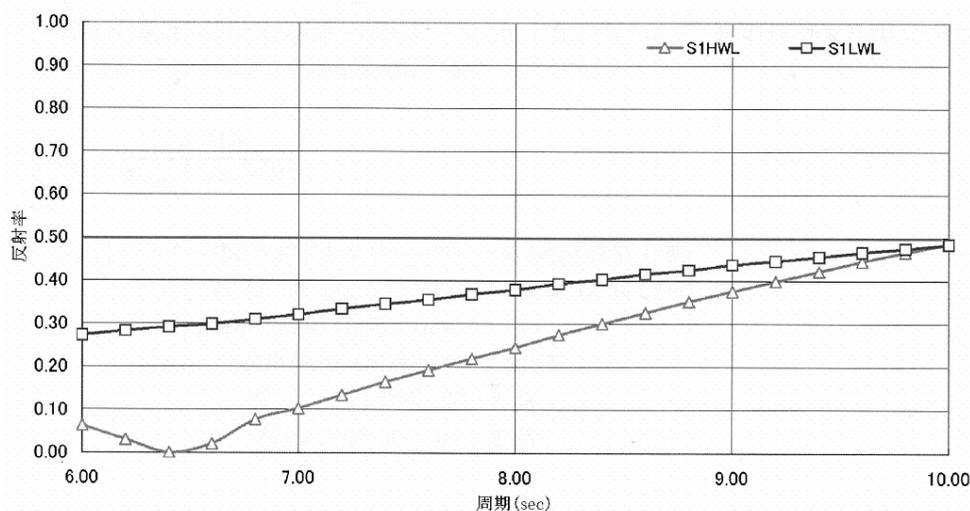
なお、スリットケーソン式護岸の反射率は潮位条件によって変わりますが、干満による差は最大でも 0.3 程度です。入射波高を 1 とした場合、入射波と反射波の合成波高は、上式より  $\sqrt{1^2 + 0.3^2} = 1.04$  となり、4%程度の差異です。したがって、平均潮位での反射率を設定することによるスリットケーソン式護岸前面での波高の予測誤差は、最大でも ±2%程度です。

<sup>\*1</sup> 高山知司・池田直太・平石哲也：砕波及び反射を考慮した波浪変形計算，港湾技術研究所報告，第30巻，第1号，平成3年（1991），pp.21-67.

<sup>\*2</sup> 合田良實：港湾構造物の耐波設計，鹿島出版会，平成2年（1990），70p.

表-6.9.2.3.15 波の反射率の概略値<sup>※2</sup>

構造様式	反射率
直立壁（天端は静水面上）	0.7～1.0
直立壁（天端は静水面下）	0.5～0.7
捨石斜面（2～3割勾配）	0.3～0.6
異形消波ブロック斜面	0.3～0.5
直立消波（スリットケーソン）構造物	0.3～0.8
天然海浜	0.05～0.2



(潮位 S1HWL=DL+2.2m、S1LWL=DL+0.1m)

図-6.9.2.3.28 スリットケーソン式護岸の反射率

(c) 計算条件

a) 計算領域

計算領域（19km×20km）は図-6.9.2.3.29に示すように、代替施設本体の沖側護岸法線が計算格子系と平行(垂直)になるよう南北線に対して 25° 傾けて設定しました。

b) 計算格子間隔

計算格子間隔は、流れの予測モデルの最小領域と整合が取れるよう配慮し、50mとしました。

c) 水深条件

流れの予測モデルと同一の資料をもとに水深データを作成しました。

d) スペクトル分割数

波の方向スペクトル分布の分割数は 36、周波数スペクトルの分割数は 5 としました。

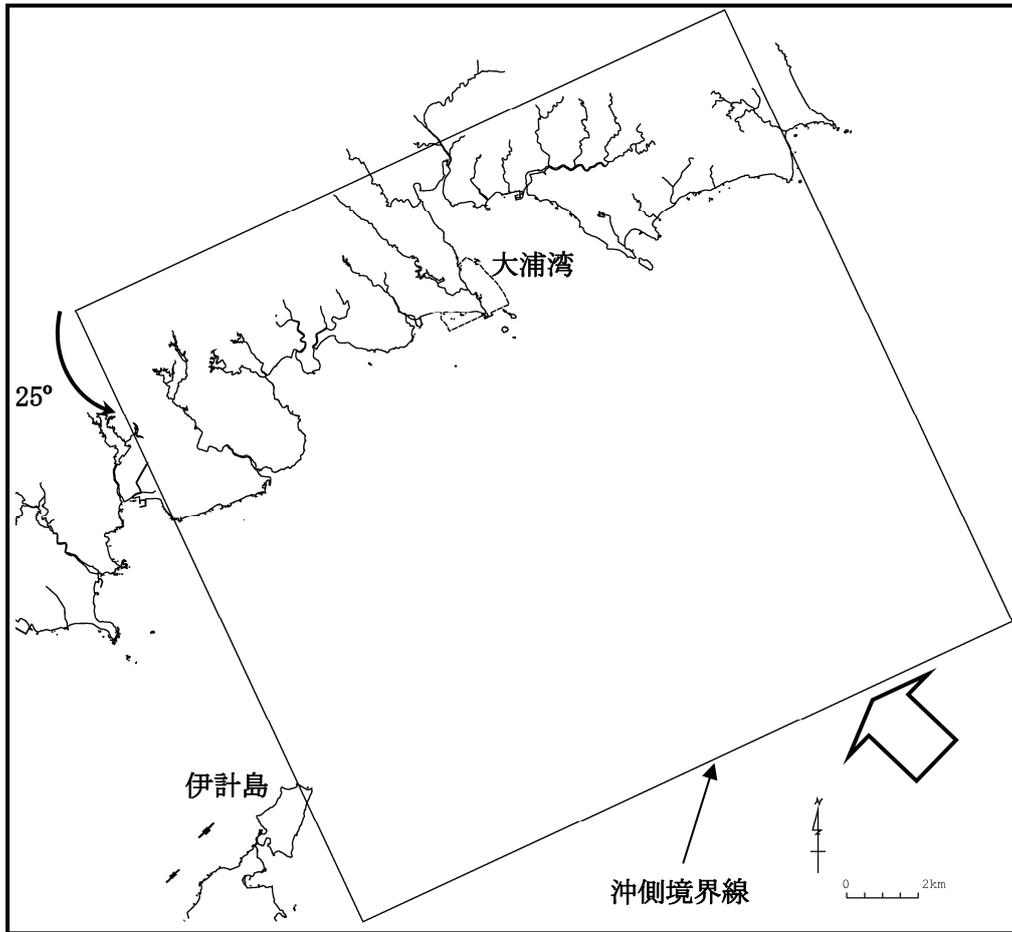


図-6.9.2.3.29 波浪予測の計算領域

(d) モデルの妥当性の検討

沖から事業実施区域周辺に伝播する波は、海底地形の影響を受けて複雑な波高分布となります。再現目標は、事業実施区域周辺の波高分布とし、代表例として「6.10 地形・地質」の図-6.10.1.81 に示す解析結果から、平均的な波浪条件での沖波波高に対する各地点の波高比を指標としました。

a) 波浪条件

流動場の現況再現期間中の波浪を対象とし、代表波浪を表-6.9.2.3.16に示すとおりに設定しました。なお、代表波浪の波高、周期及び波向は、基準点である K24 地点の観測波浪を統計解析してエネルギー平均波を算定したものです。

表-6.9.2.3.16 流動場の再現期間と代表波浪（沖波条件）

No.	統計期間	波高(m)	周期(s)	波向(°N)	備考
1	平成20年8月6日0時～9月5日0時	0.73	6.5	113	夏季
2	平成20年12月1日0時～12月31日0時	1.12	7.8	86	冬季

b) 潮位条件

以下の3ケースを設定しました。

平均高潮位 (HWL) (=D. L. +1.74m、MSL+楚久のM2分潮)

平均潮位 (MSL) (=D. L. +1.18m)

平均低潮位 (LWL) (=D. L. +0.62m、MSL-楚久のM2分潮)

c) 計算結果

波浪変形計算による波高分布を図-6.9.2.3.30～図-6.9.2.3.35に示しました。沖から伝播する波浪はリーフエッジで砕波するので、高潮位の条件ほど減衰が小さく、リーフ内の波高が高くなります。また、図中の矢印は波向をベクトル表示したものであり、リーフ先端での大きな水深変化に伴って波が屈折している状況を把握することができます。

図-6.9.2.3.36及び図-6.9.2.3.37は、代表波浪の有義波周期及び平均波向に対応する成分波の屈折図（潮位条件：HWL）です。岬の先端で波が収斂していることが分かります。また、大浦湾口部の浅瀬（中干瀬）の背後に波が回り込んでいる状況を理解することができます。

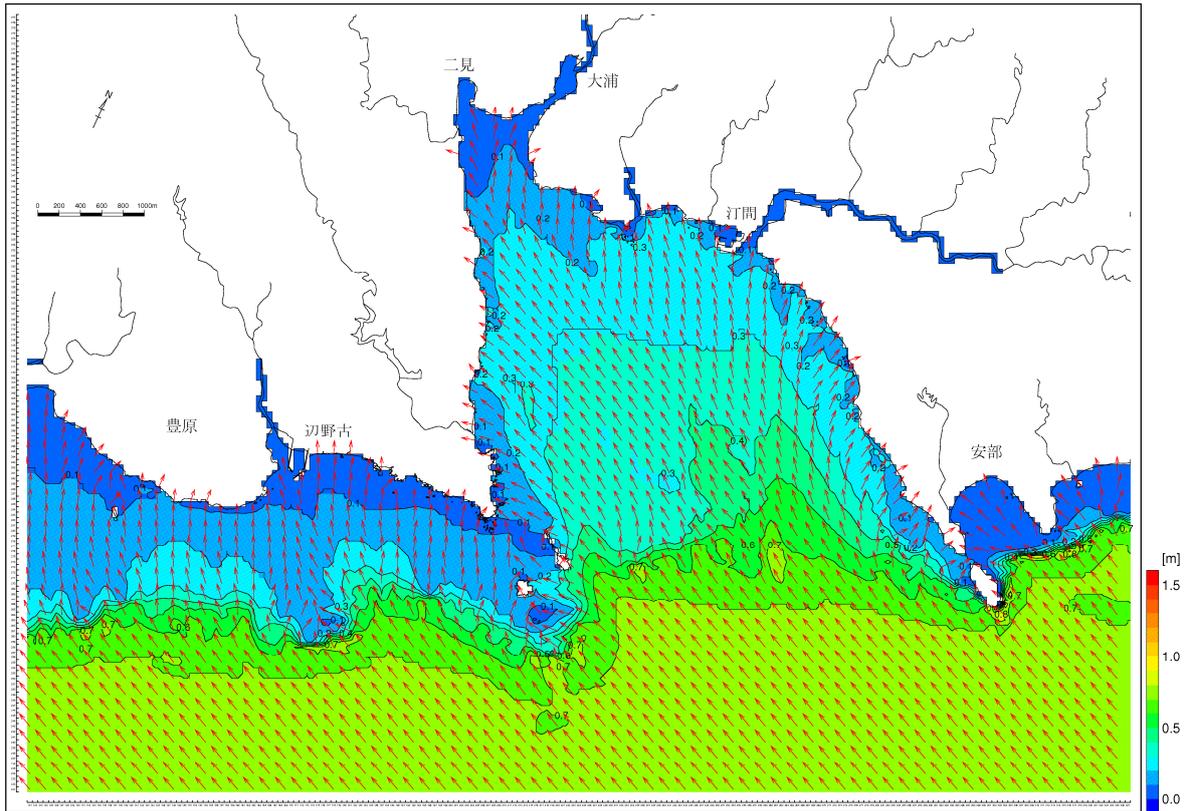


図-6.9.2.3.30 波高分布（波浪条件：夏季の代表波浪，潮位条件：LWL）

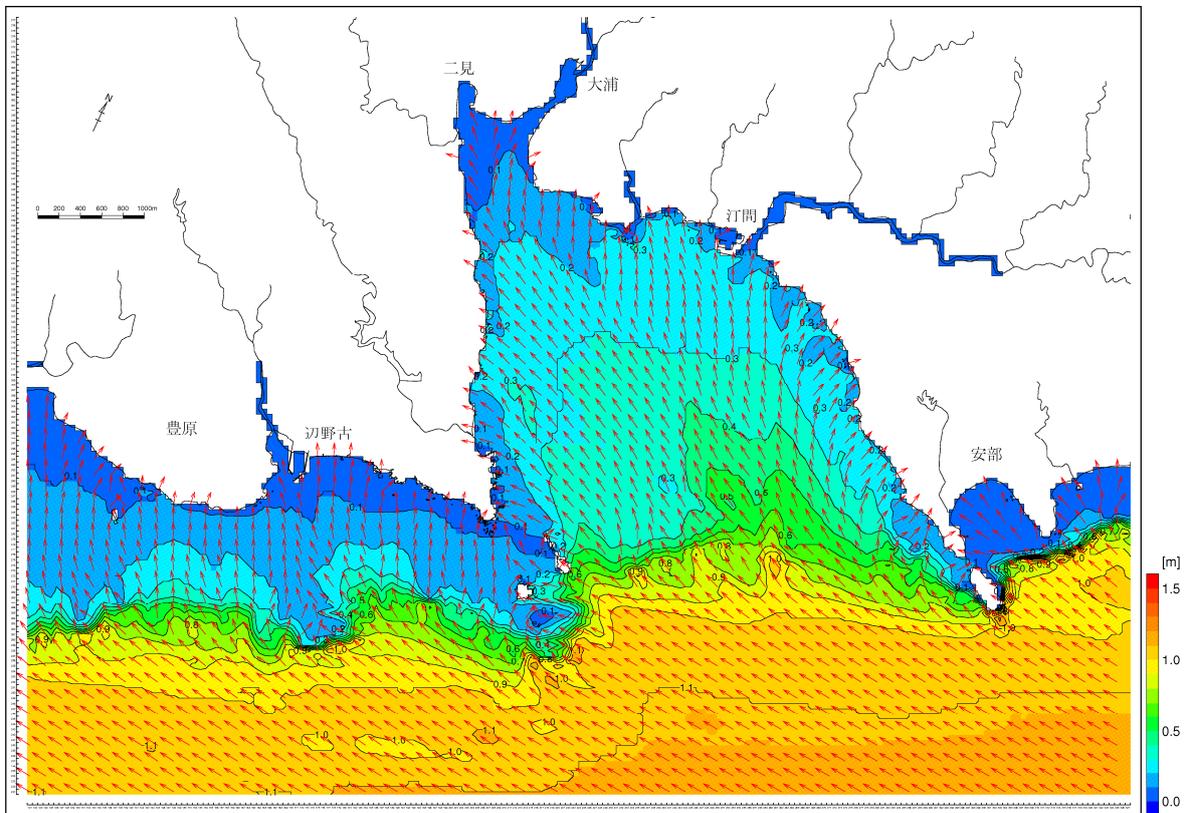


図-6.9.2.3.31 波高分布（波浪条件：冬季の代表波浪，潮位条件：LWL）

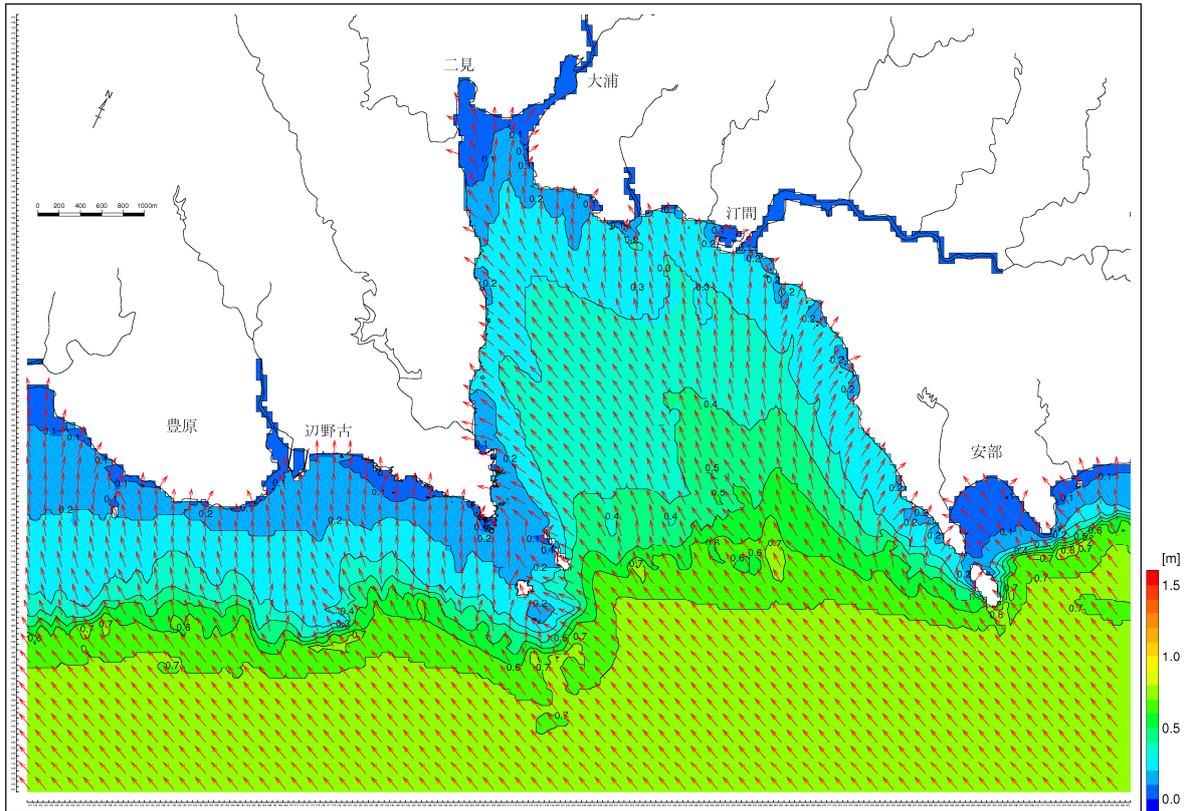


図-6.9.2.3.32 波高分布（波浪条件：夏季の代表波浪，潮位条件：MSL）

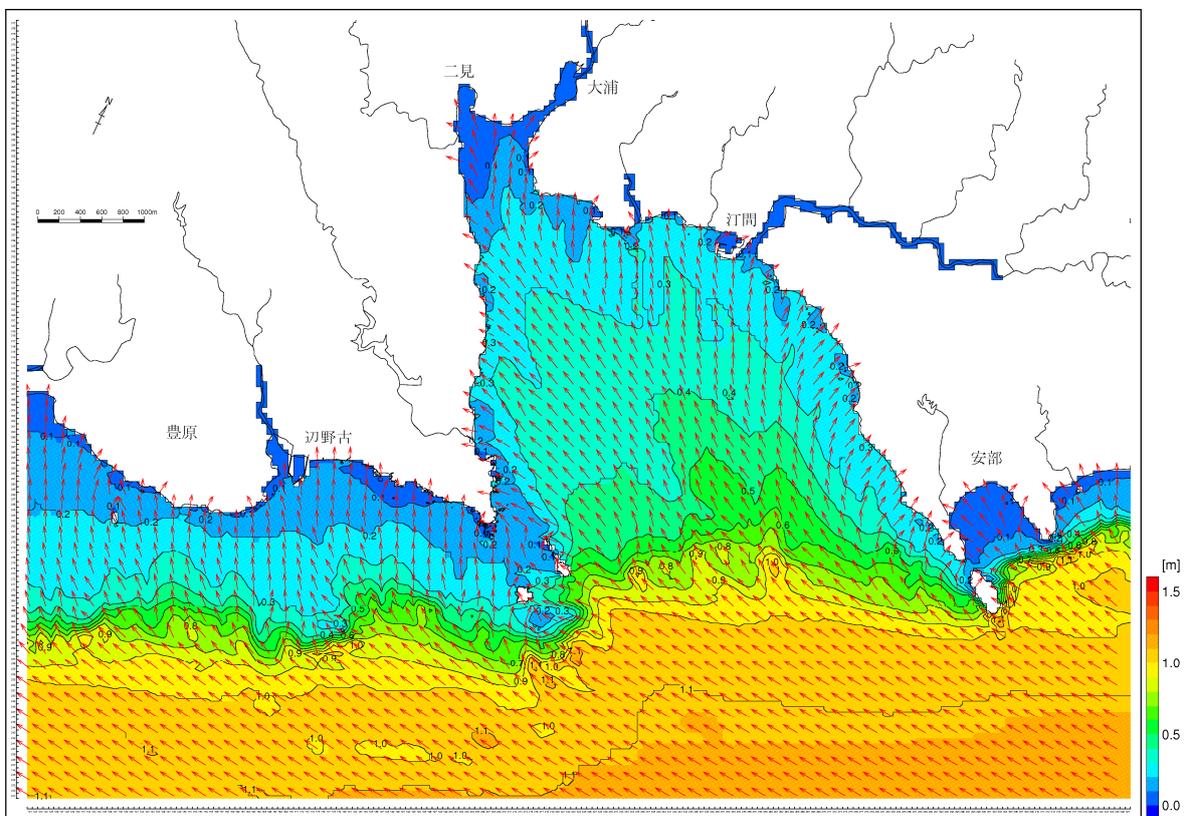


図-6.9.2.3.33 波高分布（波浪条件：冬季の代表波浪，潮位条件：MSL）