

d) 恒流（平均流）の特徴

海域の流れは一般に、その駆動力によって表-6.9.1.8のように大きく分類されます。このうち、潮汐流を除いた潮汐残差流、密度流、吹送流及び海浜流は総称して恒流（平均流）と呼ばれています。事業実施区域の周辺海域においても、潮汐によって駆動される流れや淡水流入等による密度流、吹送流は常時発生していますが、特にリーフエッジや中干瀬での砕波によって生じる海浜流が重要と考えています。また、リーフ上のように水深の浅い場所では風による吹送流とリーフエッジで発生した海浜流が作用し、複雑な流れを形成していると考えられます。

水質や濁り等、物質の広がり方を評価する上では、潮汐流により往復する流れよりもある特定の方向に卓越する恒流（平均流）が重要と考えられます。

また、潮流の調和解析結果によると、辺野古前面海域のリーフ上や大浦湾内の潮汐流は数 cm/s 程度であり、前述した流れの季節的な変化、場所的な変化は海浜流や吹送流等に起因する恒流（平均流）によるものと考えられます。

そこで、潮汐周期変動を除去するため、25 時間移動平均を施した流速ベクトルと外力条件（波浪や風）の経時変化を図-6.9.1.6に、調和解析により得られた恒流（平均流）の水平分布を図-6.9.1.7に示し、その特徴を以下に示します。

表-6.9.1.8 海域の流れを構成する要素

項目	流れの駆動力	流れの分類	
海域の流れ	潮汐	a) 潮汐流	
		b) 潮汐残差流	恒流 (平均流)
	淡水流入 海面と大気の熱収支	c) 密度流	
	風	d) 吹送流	
波浪	e) 海浜流		

(7) 気象・海象と恒流(平均流)の時間変化

辺野古崎と長島の間 (K-16) では、波浪条件が静穏な時期は風の影響（吹送流）を受けていますが、高波浪時には海浜流に起因する北流が強められています。ただし、高波浪の継続期間は数日程度であり、波浪の低下とともに恒流(平均流)の強さは静穏期と同じ状況になっています。また、冬季は常時 1m 程度の波浪が来襲しており、夏季に比べて大浦湾の奥部に向かう北流が顕著となっています。

辺野古前面のリーフ内（辺野古漁港前面の K-19、豊原前面の K-22）の平均流速は K-16 に比べると小さい傾向ですが、高波浪時には南流（離岸流）が強ま

る様子がみられています。

#### (イ) 恒流（平均流）の空間分布

辺野古リーフ上では西向きの流れと東向きの流れが混在し、複雑な流れの様子がみられています。夏季については、東向きの流れが多くみられ、観測期間中に連吹していた南西風の影響と考えられます。冬季については、西向きの流れが多くみられました。また、辺野古崎と長島の間では、夏季及び冬季ともに北流傾向となっており、夏季よりも冬季の方が顕著となっています。これらの季節的な流れの違いは、冬季の波高が夏季にくらべて高い傾向であることから、海浜流の影響が夏季よりも大きいためと考えられます。

大浦湾においては、夏季と冬季で流れの傾向が明瞭に異なっています。夏季については、大浦湾西部の表層では、水深の深い水路部に沿って概ね流出する流れの様子が確認できます。また、底層では表層とは逆に概ね流入傾向の流れとなっており、大浦湾東部でも同様に、表層で流出、底層で流入する流れとなっています。一方、冬季については、大浦湾の表層では、東西の水深の深い谷地形部を中心として湾全体で流入する流れとなっています。底層では大浦湾西部で流出する流れが明瞭にみられています。大浦湾東部では、海面下 10～20m では流入する傾向となっていますが、20m 以深では流出する流れとなっています。

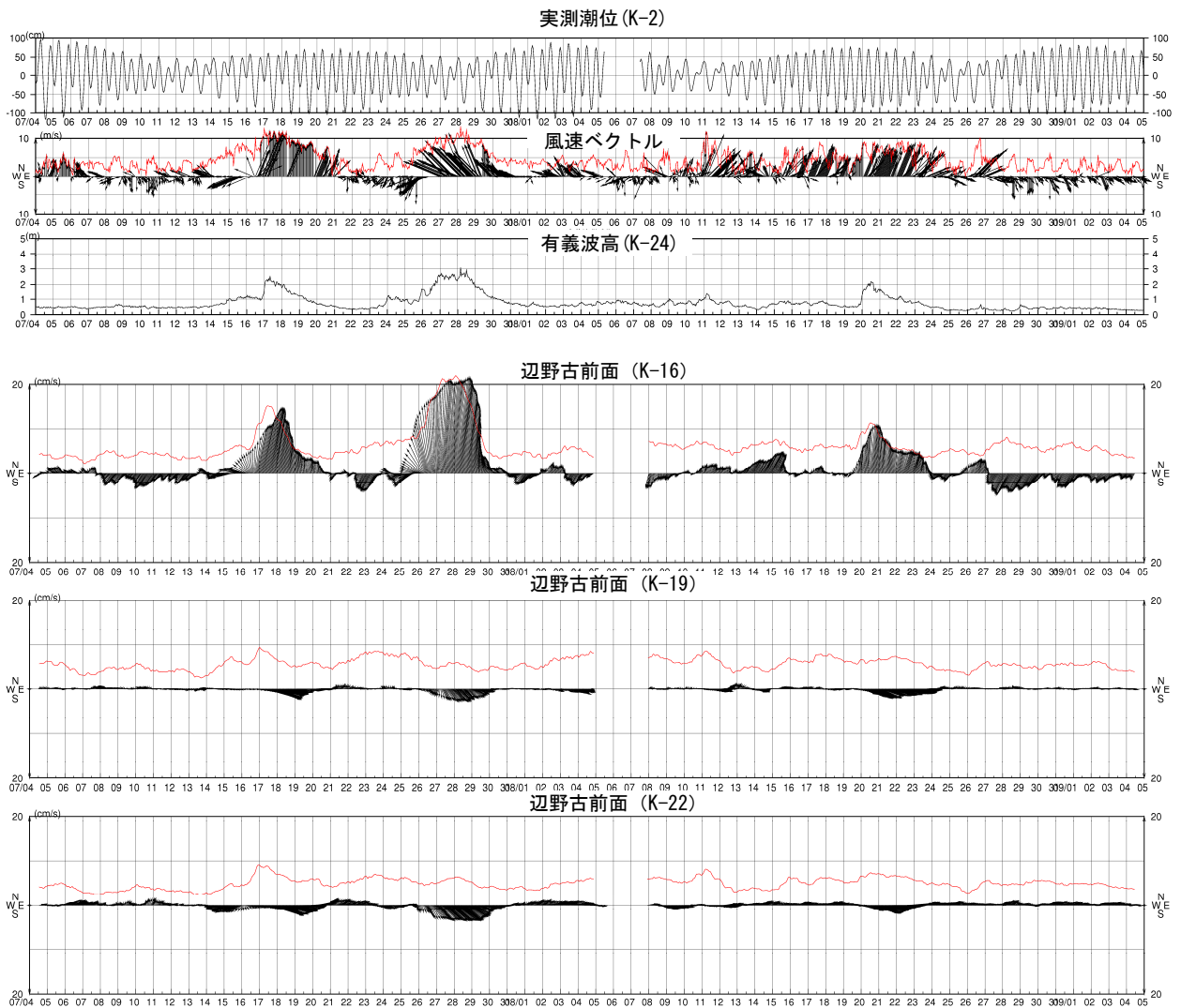
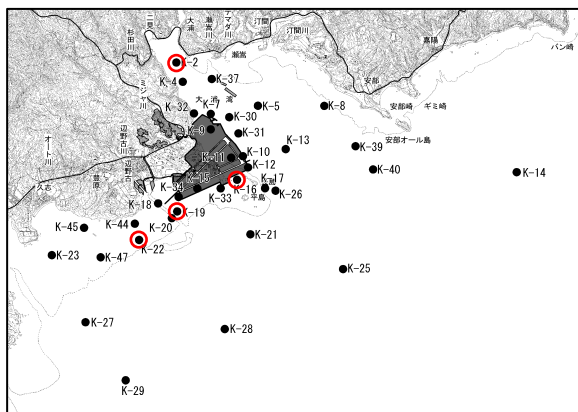
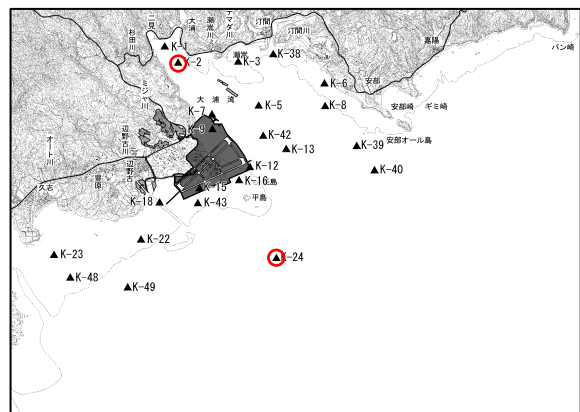


図-6.9.1.6(1) 気象・海象と恒流(平均流)の経時変化(平成20年度、夏季)

注) 10分間隔で測定された流向・流速データに対し、25時間の移動平均を施して潮汐成分を除去した後、60分間隔で描画しています。



《潮流調査地点》



《波浪調査地点》

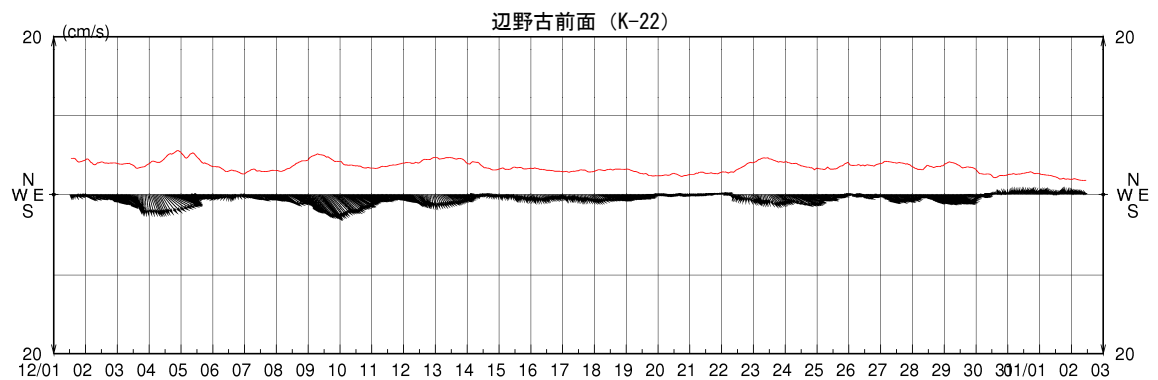
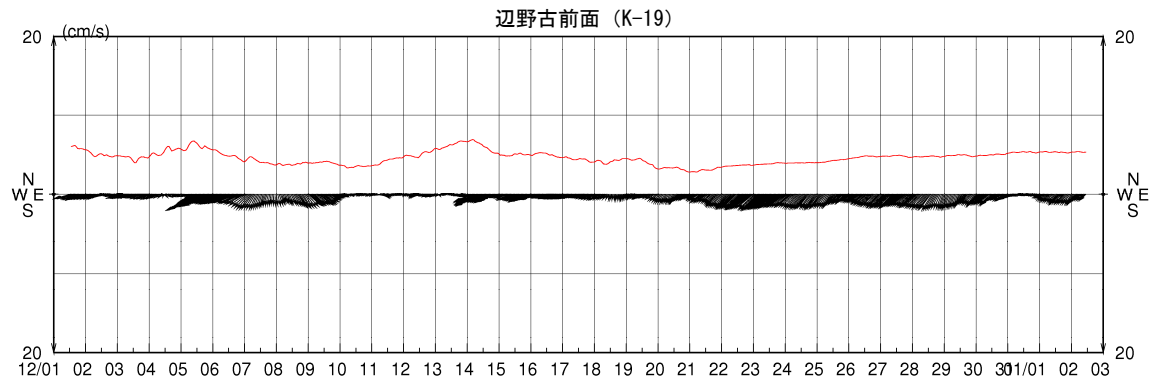
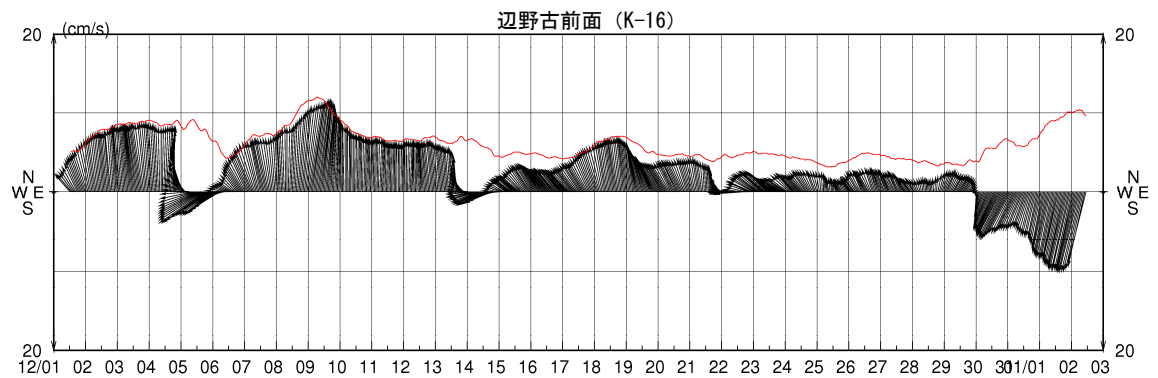
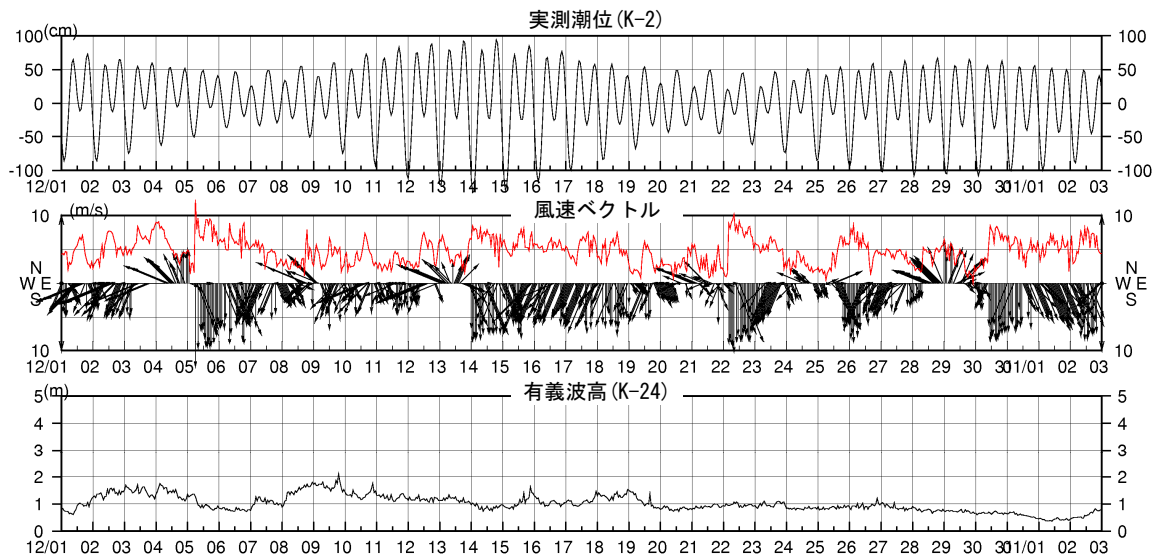
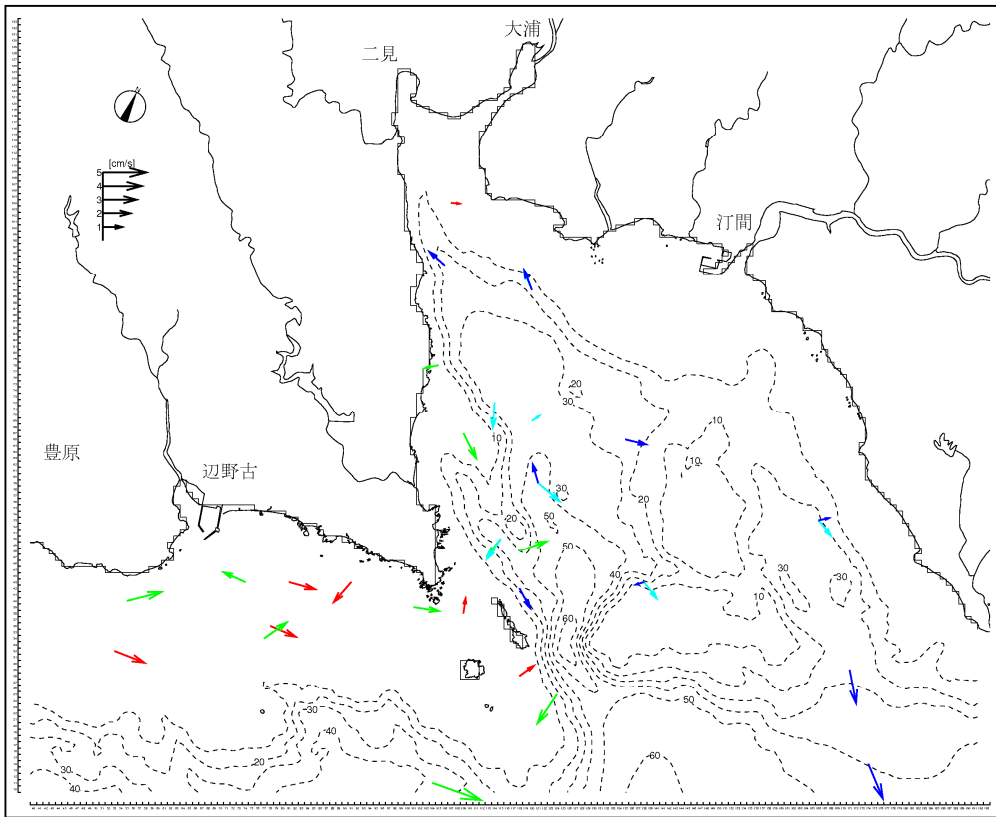


図-6.9.1.6(2) 気象・海象と恒流(平均流)の経時変化(平成20年度、冬季)

注) 10 分間隔で測定された流向・流速データに対し、25 時間の移動平均を施して潮汐成分を除去した後、60 分間隔で描画しています。

【表層 (→ : 海面下 0~2m、→ : 2~4m、→ : 4~6m、→ : 6~10m)】



【底層 (→ : 海面下 10~20m、→ : 20~30m)】

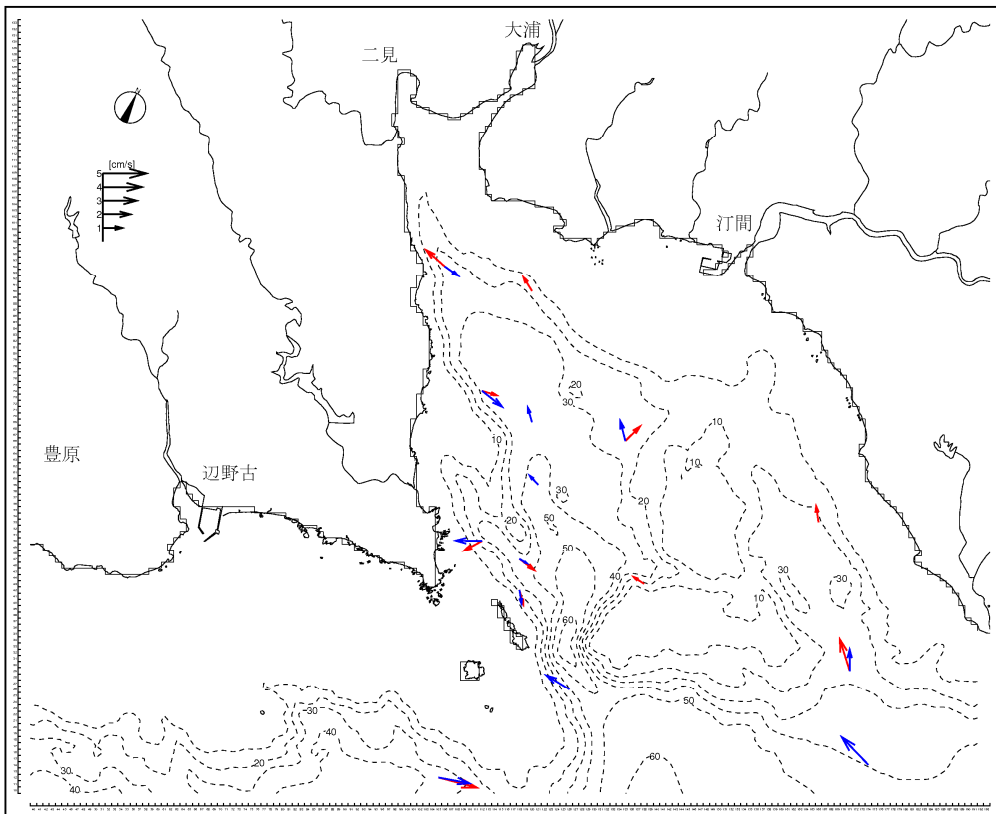
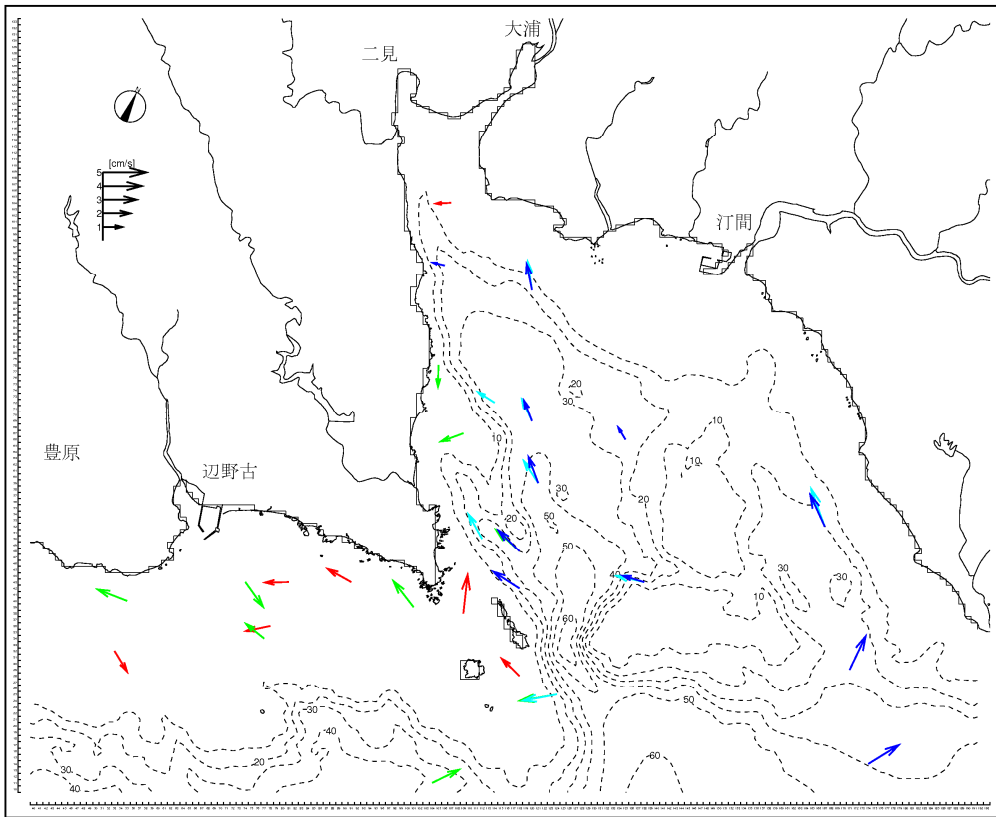


図-6.9.1.7(1) 恒流(平均流)分布 (平成20年度、夏季)

注) 平成20年8月の30昼夜を対象に解析した結果を示しています。

【表層 (→ : 海面下 0~2m、→ : 2~4m、→ : 4~6m、→ : 6~10m)】



【底層 (→ : 海面下 10~20m、→ : 20~30m)】

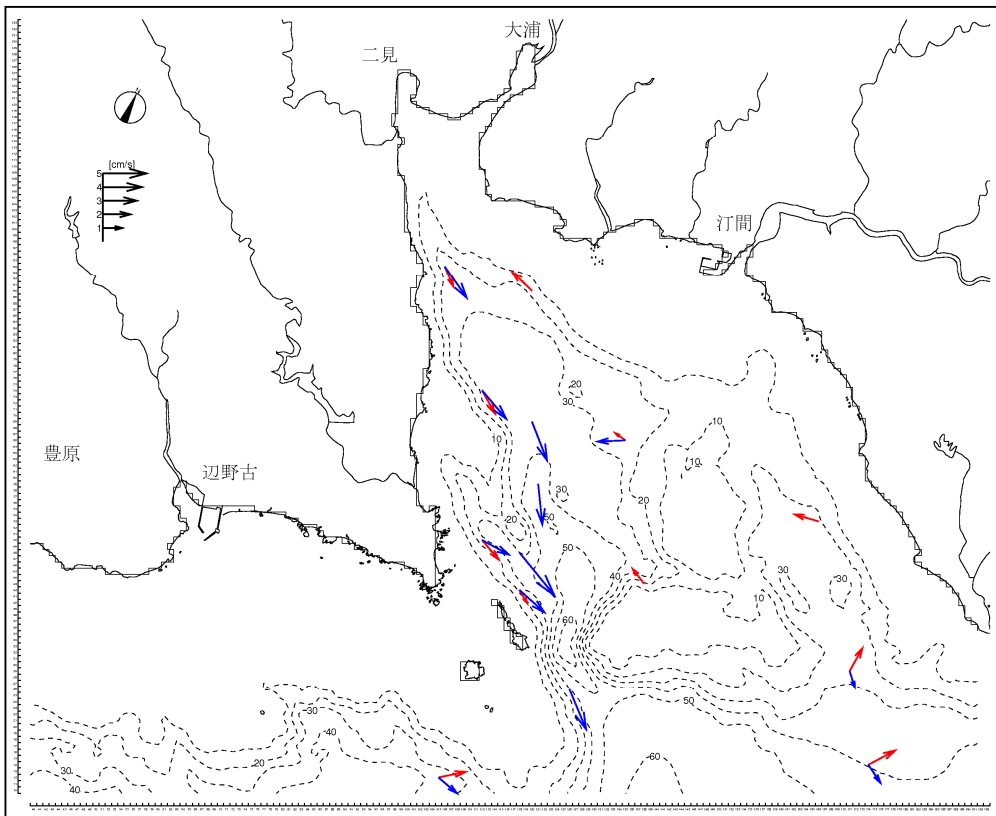


図-6.9.1.7(2) 恒流(平均流)分布 (平成20年度、冬季)  
 注) 平成20年8月の30昼夜を対象に解析した結果を示しています。

(b) 波浪の状況

波浪（波向・波高）についての調査は、平成 19 年度は夏季、秋季及び冬季に 16 地点（辺野古沿岸のリーフ内 5 地点、沖側のリーフ外 1 地点、大浦湾内 10 地点）において、平成 20 年度は春季～冬季の四季に図-6.9.1.8及び表-6.9.1.9に示す 23 地点（上記の 16 地点に加えて安部オール島周辺に 2 地点、代替施設本体の形状や辺野古集落から久志集落の海岸地形を踏まえて 4 地点、汀間川の河口域に 1 地点）において、波高計を設置することにより、波向、周期（波長）及び波高を観測しました。

なお、平成 19 年度においては、7 月に来襲した台風に伴い沖縄島での観測史上類例にない高波浪が来襲しましたが、夏季の調査ではその時期を含む波浪観測を行うことにより、調査データを取得することができました。

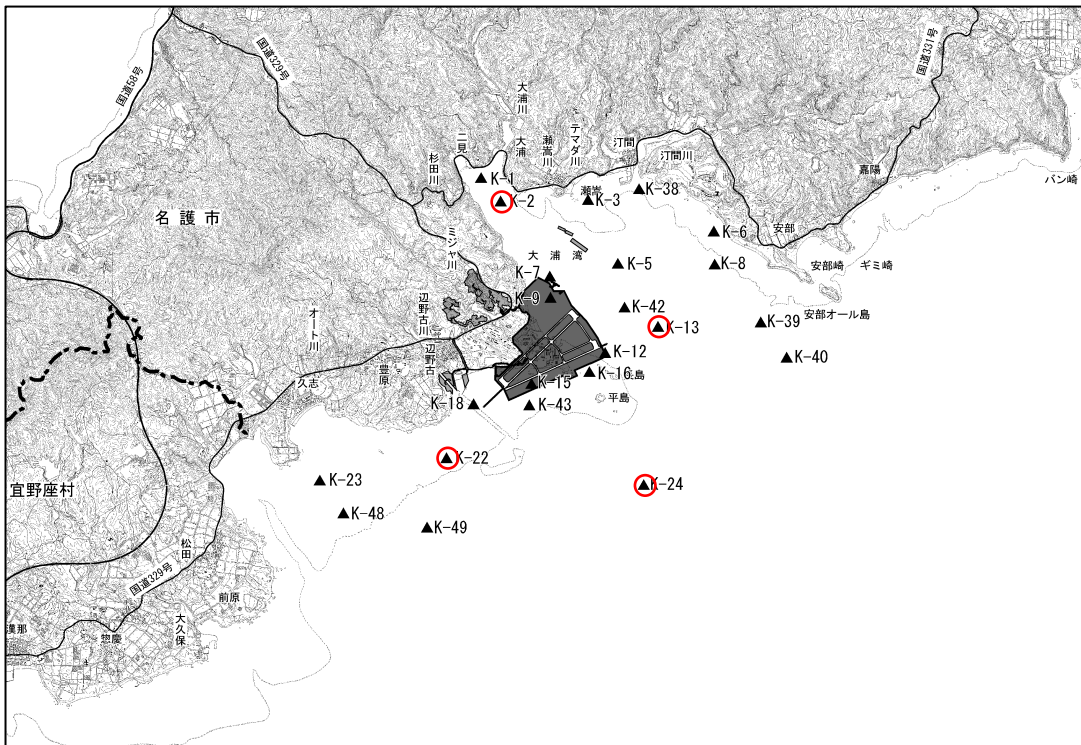


図-6.9.1.8 波浪の調査地点（平成 20 年度）

注）波浪の経時変化等（後述の図-6.9.1.9～図-6.9.1.11）は○で示した 4 地点について示しました。

表-6.9.1.9 波浪調査地点の水深

調査地点	K-1	K-2	K-3	K-5	K-6	K-7	K-8	K-9
水深(m)	2.5	1.5	3.5	23.8	0.5	33.0	20.9	4.5
調査地点	K-12	K-13	K-15	K-16	K-18	K-22	K-23	K-24
水深(m)	28.2	18.0	0.5	1.5	1.8	1.5	3.3	36.8
調査地点	K-38	K-39	K-40	K-42	K-43	K-48	K-49	
水深(m)	4.1	28.3	39.4	39.3	3.5	3.8	41.0	

#### a) 経時変化

大浦湾内の有義波高は、静穏時は概ね 1m 未満ですが、台風接近時には 1.0m 以上の高波浪が出現する場合もありました。ここでは、台風接近時に高波浪が出現した状況の例として、平成 20 年度夏季調査時の代表地点における波浪の経時変化を図-6.9.1.9に示します。なお、各調査時期における波浪の経時変化及び各調査地点における波浪の最大値について整理した結果は、「6.10 地形・地質」及びその資料編に示しています。

平成 20 年度夏季の調査期間中には以下の台風が発生したことにより、いずれも上陸ではなかったものの、比較的高波浪が観測されました。

- ・ 7 月 16 日～7 月 18 日（沖縄島近海を台風 7 号が接近）
- ・ 7 月 25 日～7 月 30 日（沖縄島近海を台風 8 号が接近）
- ・ 8 月 19 日～8 月 21 日（沖縄島近海を台風 12 号が接近）

最も影響が大きかったのは台風 8 号接近時で、高波浪の状態が 2 日間続きました。また、この期間中に有義波高の最大値を記録した地点が多く、特に大浦湾沖合の K-40 では 3.0m 以上の有義波高が観測されました。

台風の影響によって波浪周期は通常長くなる傾向にありますが、上記の台風接近時には多少周期が長くなったものの、いずれの調査地点においても顕著な変化はありませんでした。

大浦湾奥部及び辺野古リーフ内では、接近時の波高は 0.1～0.2m ですが、台風接近時には 0.3～0.5m 未満の波高値が観測されました。また、大浦湾の中央部及び湾口部では、台風接近時に最大で 1.0m 程度の波が観測され、湾口部中央から西側にかけての地点では 1.0m 以上の波が観測されました。

大浦の湾口部 (K-8)、大浦湾沖 (K-39、K-40) 及び辺野古リーフ外 (K-49) では、通常時は 1.0m 未満の波がほとんどですが、台風接近時には 2.0～3.0m の波が観測されました。



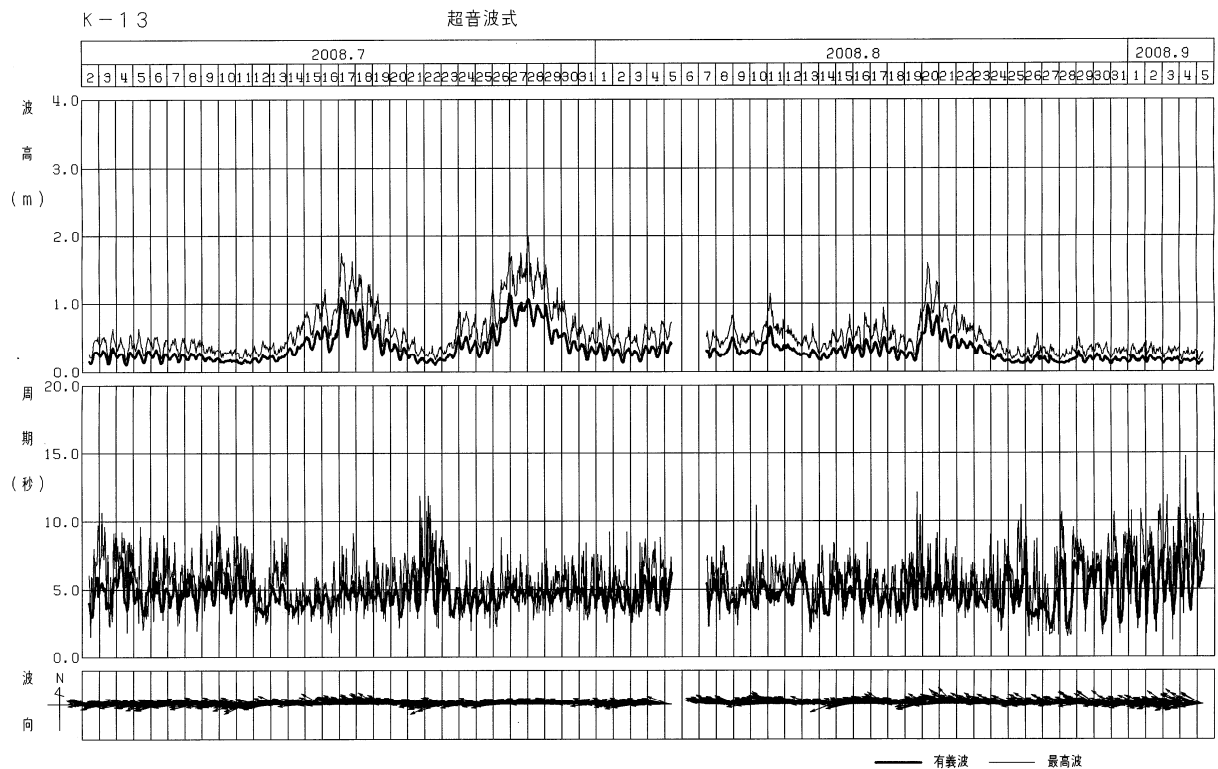
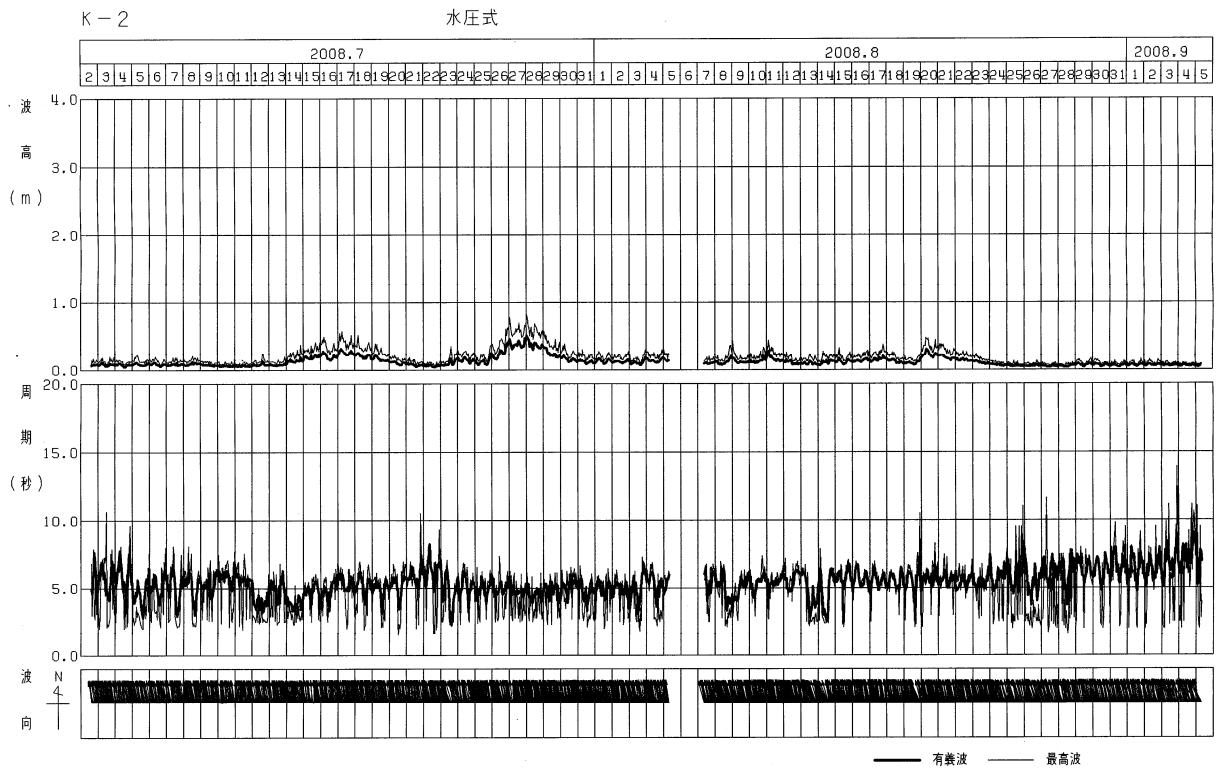


図-6.9.1.9(1) 平成20年度夏季調査時における波浪の経時変化 (K-2、K-13)

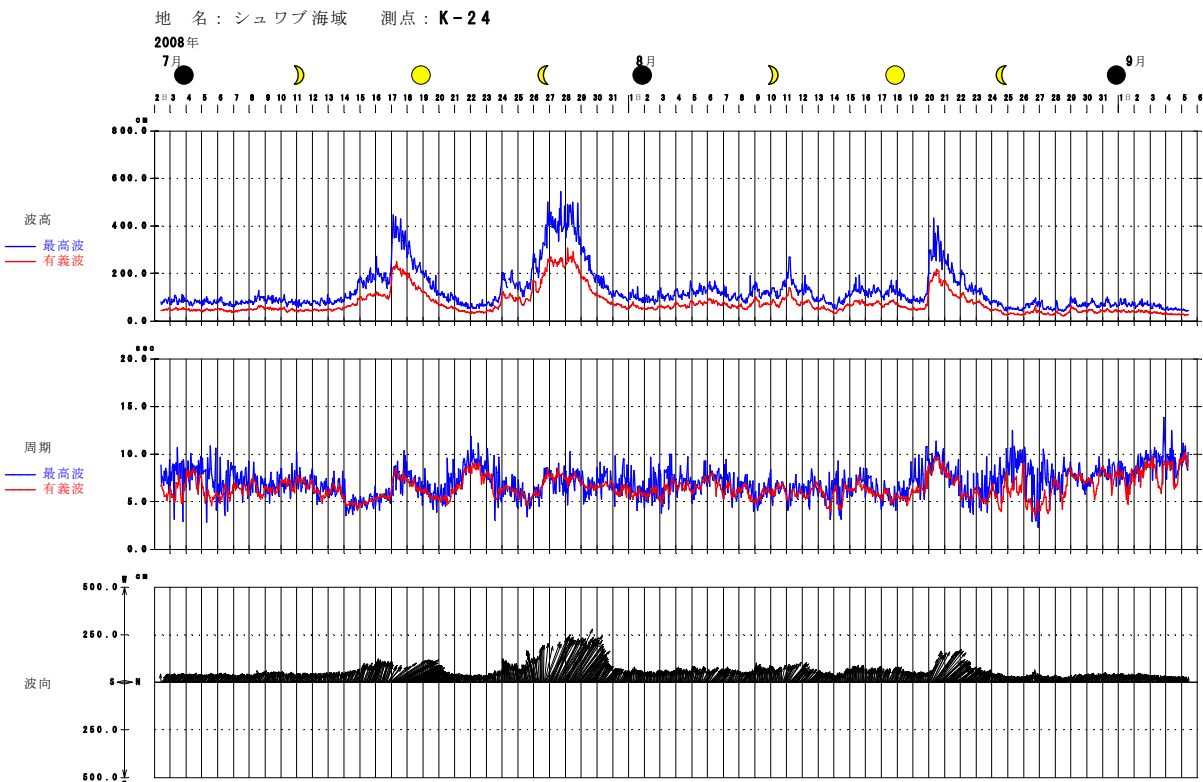
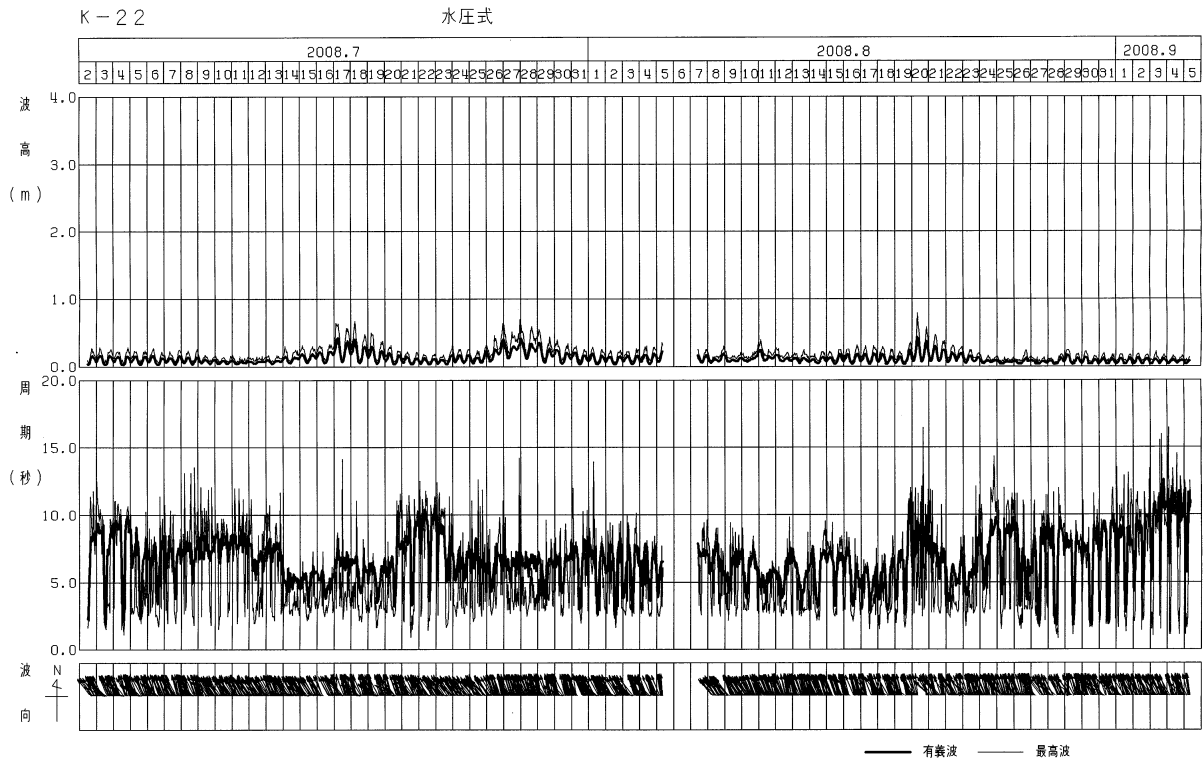


図-6.9.1.9(2) 平成20年度夏季調査時における波浪の経時変化 (K-22、K-24)

b) 波向別有義波高出現頻度

平成 20 年度夏季調査時の代表地点における波向別有義波高頻度を図-6.9.1.10に示します。なお、波向別の有義波高出現頻度、平均波向別有義波高出現頻度の平面分布等について整理した結果は、「6.10 地形・地質」及びその資料編に示しています。

大浦湾内の有義波高は、静穏時は概ね 1m 未満ですが、台風等の低気圧や気圧の谷が接近した際には沖合で 3.0m 以上、湾中央部や湾口部でも 1.0m 以上の高波浪が出現する場合もありました。大浦湾奥部及び辺野古前面のリーフ内は相対的に波浪が小さく、静穏時で 0.1~0.2m、台風接近時でも 0.3~0.5m でした。

春季や夏季は気象状況に応じて波浪が大きく変化する場合がありますが、秋季や冬季は有義波高 1m 前後の波浪が継続して来襲する傾向にありました。

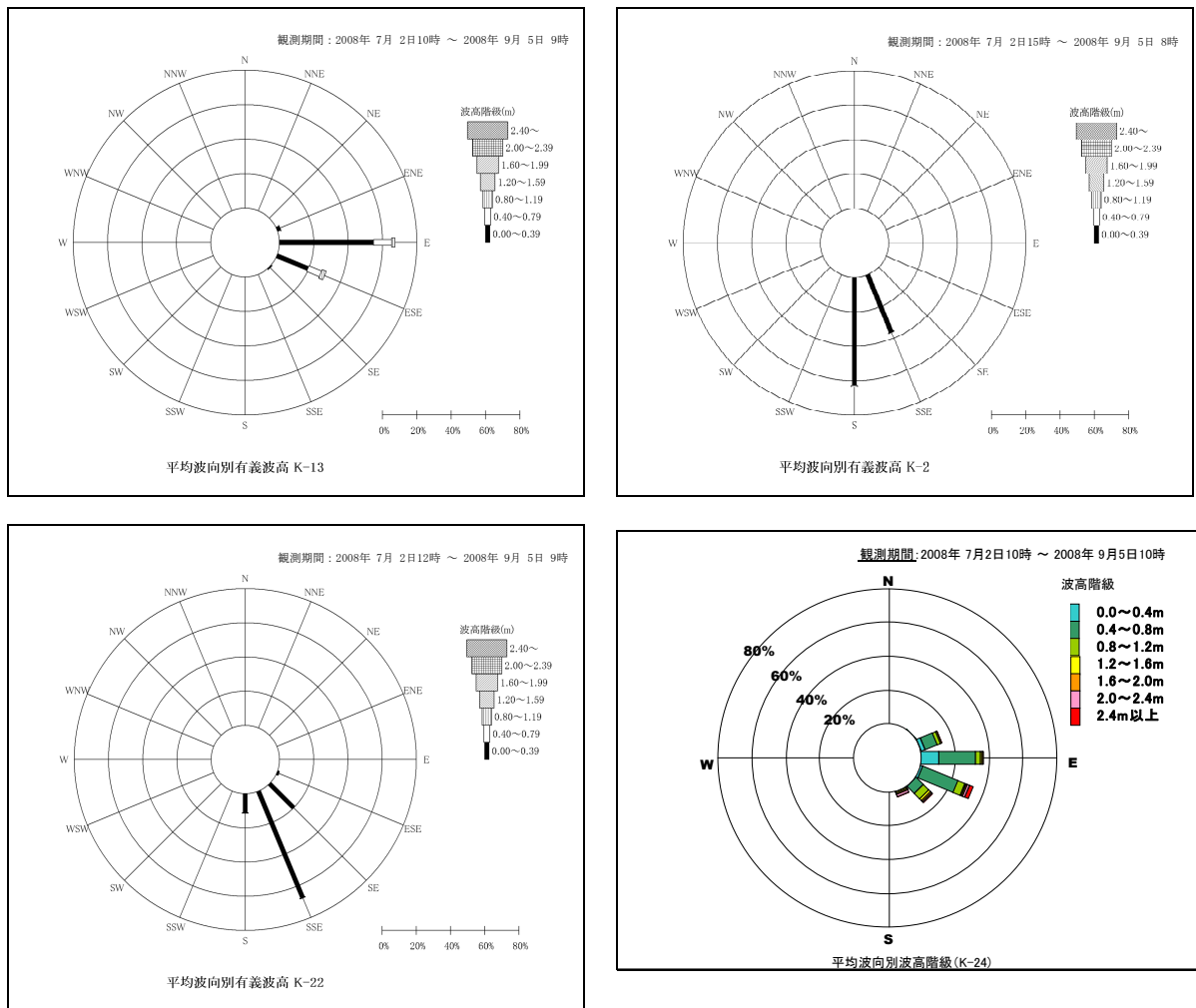


図-6.9.1.10 平成 20 年度夏季調査時における波向別有義波高頻度

c) 沖波の波高に対する各調査地点の波高比

図-6.9.1.11に示すとおり、沖波の波高（K-24の波高）に対する波高比の平均値（回帰直線の傾き）は、大浦湾の湾奥部（K-2）で0.136、湾口部（K-13）で0.412、辺野古前面のリーフ内（K-22）で0.128でした。また、波向による差が非常に小さいことを確認しました。この結果によれば、辺野古前面のリーフ内へ作用する波のエネルギーは、沖波に対して僅か1.6%（ $=0.128^2$ ）程度です。

沖波の波高と各地点の波高には、比較的高い相関が認められますが、ある程度のバラつきもみられます。その原因のひとつとして、潮位条件による砕波の影響の違いが挙げられます。図-6.9.1.9の波高の経時変化で短周期の波高の変動がみられますが、12時間周期の潮位の干満に概ね対応しています。

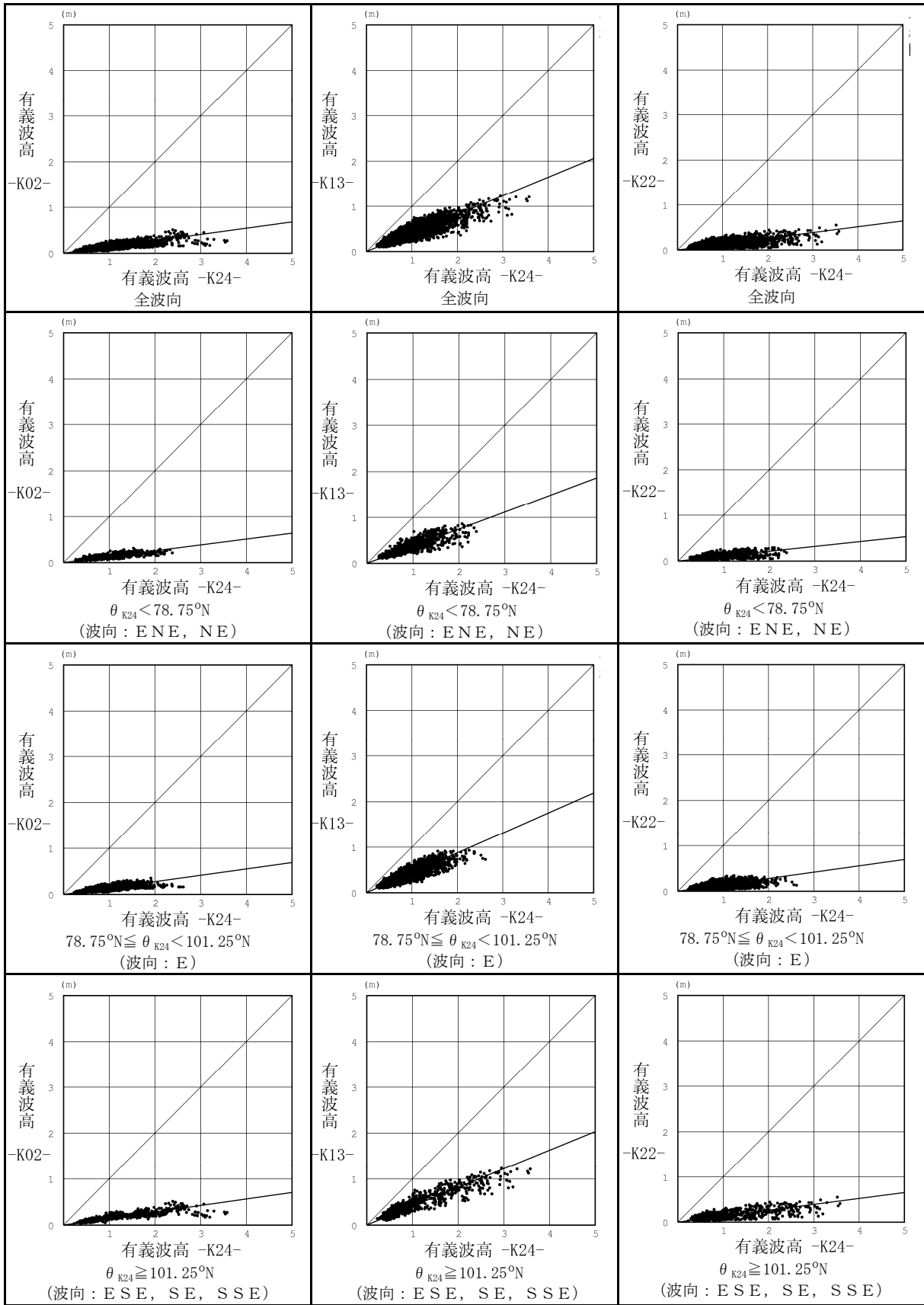


図-6.9.1.11 沖波の波高 (K-24 の波高) に対する大浦湾の湾奥部 (K-2)、湾口部 (K-13) 及び辺野古前面のリーフ内 (K-22) の有義波高の波高比 (平成 20 年度の四季を通じた観測データの比較)

## 6.9.2 予測

### 6.9.2.1 工事の実施

#### (1) 予測の概要

対象事業における工事の実施が水象に及ぼす影響の予測の概要は表-6.9.2.1.1に示すとおりであり、護岸の工事、埋立ての工事及び進入灯の工事による水象の変化を予測しました。

表-6.9.2.1.1 予測概要（工事の実施）

項目	内容
予測項目	流れの状況(流動)
影響要因	<ul style="list-style-type: none"><li>・護岸の工事 代替施設本体の護岸工事 辺野古地先水面作業ヤードの工事 海上ヤードの工事</li><li>・埋立ての工事 代替施設本体の埋立工事</li><li>・進入灯(燃料栈橋を含む)の工事</li></ul>
予測地域	水域の特性を踏まえて流れの状況(流動)に係る環境影響を受けるおそれがあると認められる地域としました。
予測地点	水域の特性を踏まえて予測地域における流れの状況(流動)に係る環境影響を的確に把握できる地点としました。
予測対象時期	海上工事に伴い発生する水の濁りの負荷量及び工事の進捗に伴う護岸、埋立等の地形を考慮して設定しました。
予測方法	流れの状況(流動)の変化は、流動モデルを用いた数値シミュレーションにより予測しました。流動モデルは、事業実施区域周辺の流れの特性を考慮し、潮汐流、吹送流、海浜流及び干満による浅海域(リーフ)の干出と水没を考慮できるモデルとしました。また、事業実施区域周辺の主な河川からの淡水流入量及び供用時の代替施設本体からの排水も考慮しました。 なお、流動モデルの境界条件の一つである波浪は、波の屈折・浅水変形・砕波・構造物による反射等を考慮した波浪変形モデルを用いた数値シミュレーションにより予測しました。

## (2) 予測方法

工事の実施に伴う水象の変化の予測方法は、「6.9.2.3 施設等の存在及び供用(海域)」の水象変化の予測方法と同様です。

### 1) 予測対象時期

予測対象時期は、表-6.9.2.1.2に示すように「6.7 土砂による水の濁り」の海上工事に伴う水の濁りの予測対象時期と同じ2つの時期（1年次10ヶ月目、4年次4ヶ月目）と海上ヤードの使用面積が最大となる2年次3ヶ月目としました。

予測対象時期の事業実施区域周辺における地形条件を図-6.9.2.1.1に示しました。

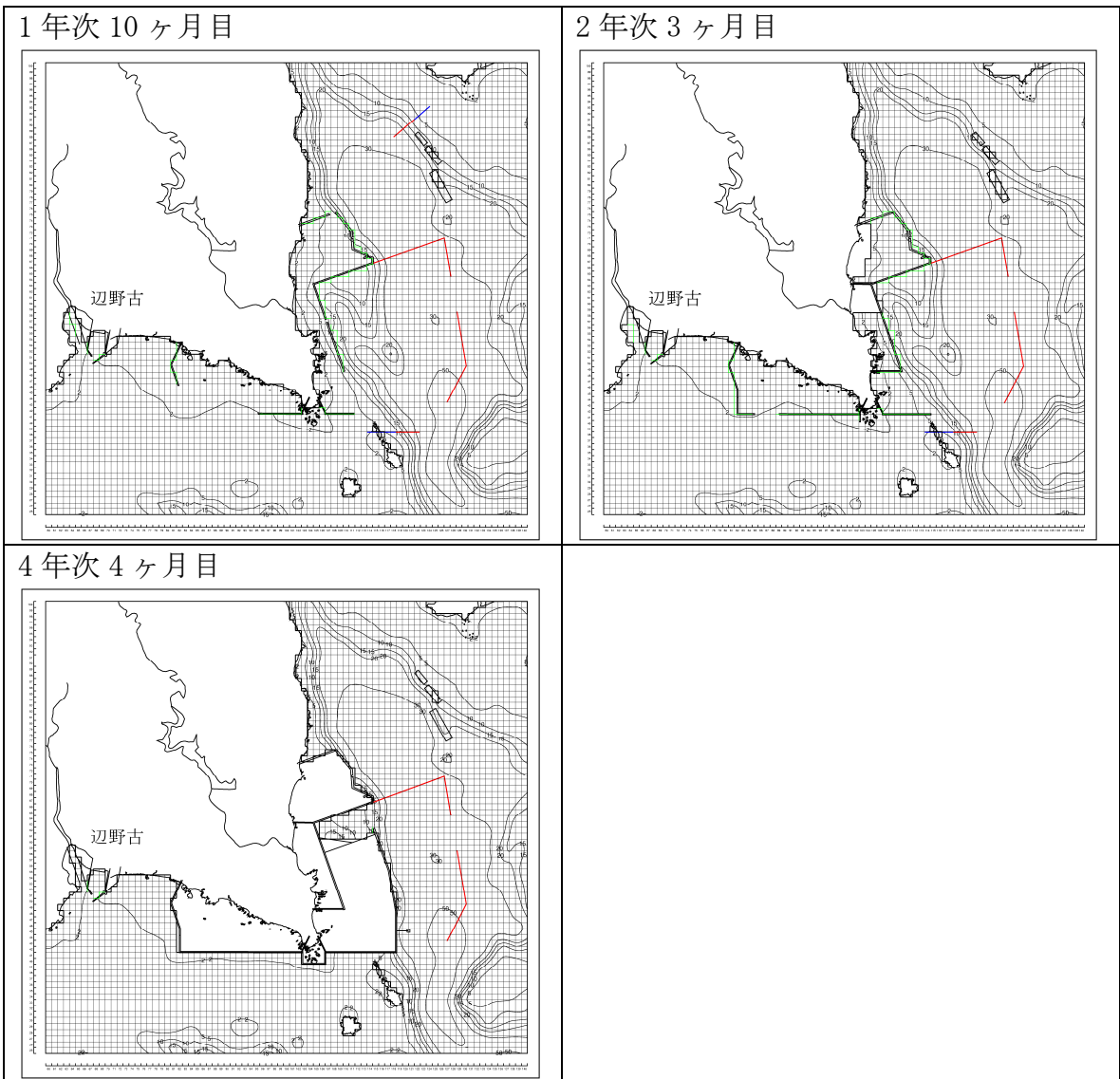
表-6.9.2.1.2 予測対象時期（工事の実施）

工事期間	設定根拠
1年次10ヶ月目 4年次4ヶ月目	海上工事に伴い発生する水の濁りの負荷量及び工事の進捗に伴う護岸、埋立等の地形を考慮しました。 (詳細については「6.7 土砂による水の濁り」を参照)
2年次3ヶ月目	ケーソン仮置に伴う水象への影響を予測するため、海上ヤードの使用面積最大時としました。 (詳細については「6.10 地形・地質」を参照)

### 2) 汚濁防止膜の取り扱いについて

工事中の水象予測では、汚濁防止膜設置箇所において海水が透過しないこととして設定しました。なお、汚濁防止膜は、水の濁りの影響を低減する環境保全措置であり、詳細は「6.7 土砂による水の濁り」に記載しています。

4年次4ヶ月目については、最終の埋立区域が閉鎖系水域にならないため、開口部から外側に濁りが広がる予測となったため、新たな環境保全措置として汚濁防止膜を追加展張する計画としました。追加展張する汚濁防止膜の効果は発生負荷量に対する除去率を適用する方法を用いており、図-6.9.2.1.1に示す地形条件としての取扱はしていません。



注) 1. — : 線境界(護岸等)、— : 汚濁防止膜(浮沈式垂下型)、— : 汚濁防止膜(自立式固定型)  
 2. 4年次4ヶ月目に追加展張する汚濁防止膜は、地形条件としてではなく、SS発生負荷量に対する除去率を用いて予測しました。

図-6.9.2.1.1 工事中の地形条件と汚濁防止膜の展張位置



### (3) 予測結果

#### 1) 海上工事の実施に伴う水象の変化

護岸及び埋立工事の実施に伴う海水の流れの予測結果として、「現況」との恒流（平均流）の流速ベクトルの比較を代表層について図-6.9.2.1.2及び図-6.9.2.1.3に示しました。ここで、代表層は最も流れの変化がみられた上層（第1層、海面下0～2m）及び汚濁防止膜の直接的な影響を受け難い下層（第5層、海面下10～20m）とし、その他の層は資料編に示しました。

- ・ 汚濁防止膜を設置することにより、現況からの流れの変化は大浦湾全域及び沖合にかけてみられますが、流れの変化は上層で大きく、下層になるほど小さくなる傾向にあります。
- ・ 工事期間中は工事の進捗に伴って護岸地形が変わり、海水の流れの状況も変化しますが、工事終了後は後述する施設等の存在時（供用時）の流れの変化傾向に移行すると考えられます。また、汚濁防止膜は代替施設本体の施工が終了した段階で撤去されるため、防止膜撤去後は流れの影響範囲はより小さくなると考えられます。
- ・ 汚濁防止膜として考慮している地形は、流れの計算上完全に固定されている状態としていますが、実際は流れによって動き、完全に固定される状態ではないものと考えられます。したがって、実際に生じる流れの変化は図-6.9.2.1.2及び図-6.9.2.1.3に示した結果よりも小さくなると考えられます。
- ・ 進入灯の工事による水象変化は、後述する「進入灯の存在に伴う水象の変化」に示したとおり、流れの変化は局所的と考えられます。