

図-6.9.32 濁度測定結果(冬季)

## 6.9.2 予測

### 6.9.2.1 飛行場及びその施設の存在

#### (1) 予測の概要

対象事業による施設の存在が流況に及ぼす影響の予測の概要を表-6.9.9に示しました。飛行場及びその施設の存在に伴う影響は、港湾施設の存在による流れの変化、波浪の変化、海底地形の変化を予測しました。

表-6.9.9 予測の概要（施設の存在）

項目	内容
予測項目	流れの状況(流動)、波浪の状況、海底地形変化の状況
影響要因	飛行場及びその施設の存在（港湾施設の存在）
予測地域 予測地点	予測地域は、流れ、波浪及び海底地形の変化の特性を踏まえて流れ、波浪及び海底地形の変化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、予測地点は、流れ、波浪及び海底地形の変化の特性を踏まえて予測地域における流れ、波浪及び海底地形の変化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	各種工事の竣工完了時の夏季及び冬季
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、対象事業実施区域周辺の流れの特性を考慮し、潮汐流、海流、吹送流、干満による浅海域の干出と水没を考慮できるモデルとしました。また、対象事業実施区域周辺の主な河川からの淡水流入量も考慮しました。 波浪の状況は、波の屈折・浅水変形・碎波・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。 海底地形変化の状況は、浮遊砂の移流・拡散を考慮したフラックスモデル（海底地形変化もでる）を用いた数値シミュレーションにより予測しました。

流況で予測する流れ、波浪及び海底地形の状況は、水質や海域生物の予測に際しての基本的な情報となります。流況の予測結果と他の項目との関連性については、図-6.9.33に示しますように、流況の検討及び予測結果は「6.6 水の汚れ」、「6.7 土砂による水の濁り」、「6.8 底質」、「6.12 海域動物」、「6.14 海域植物」、「6.16 海域生態系」の予測に関係しています。

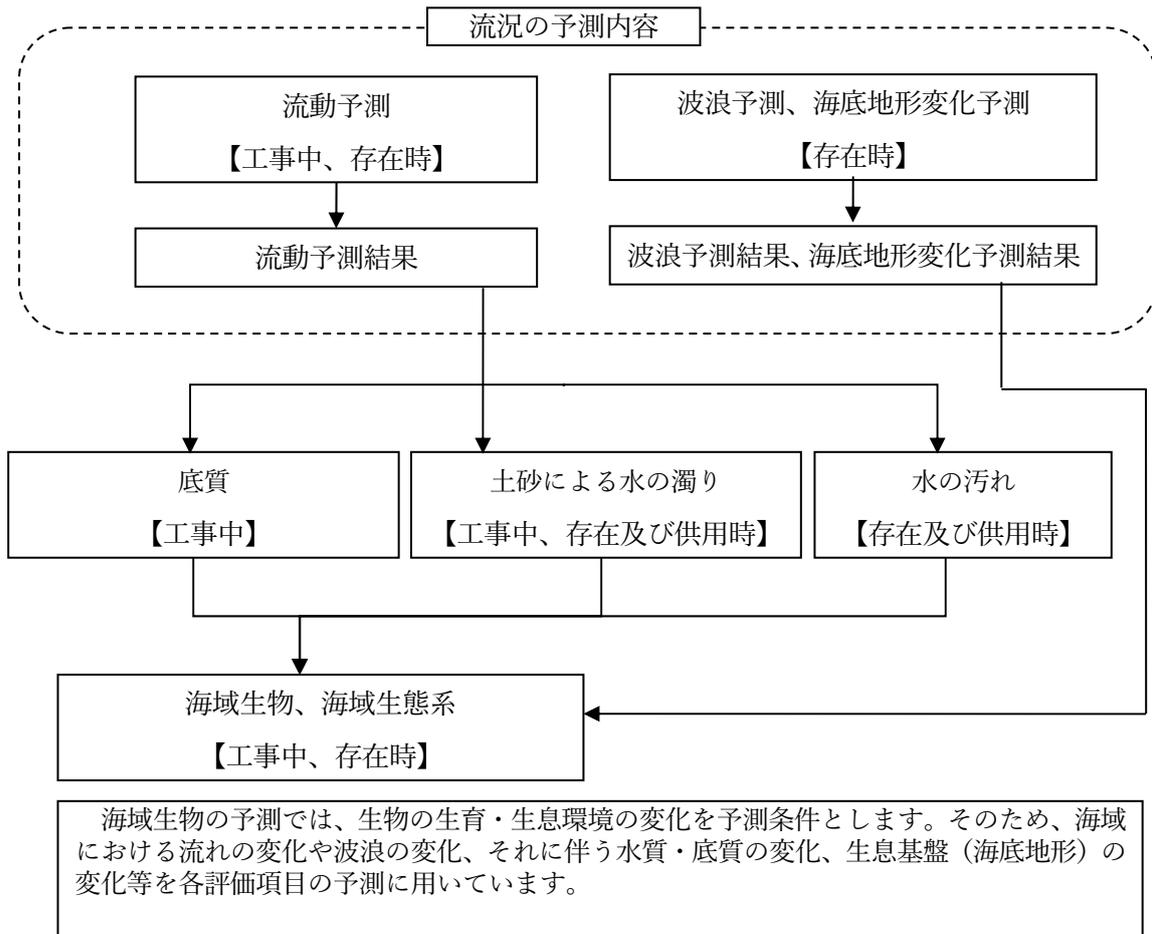


図-6.9.33 流況の予測と他の項目との関連性

## (2) 予測方法

### 1) 流れの変化

#### (a) 予測の前提

存在時の流れの変化を予測するにあたっては、既存河川の淡水流入量や気象条件等は現況と同じとし、夏季と冬季の平均的な場における流れの変化を予測しました。

#### (b) 予測手順

流れの予測手順を図-6.9.34に示しました。

予測にあたっては、計算値と観測値を比較することによりモデルの妥当性を検証した上で、事業計画に基づき将来の計算条件を設定し、港湾施設の存在に伴う流れの変化を予測しました。

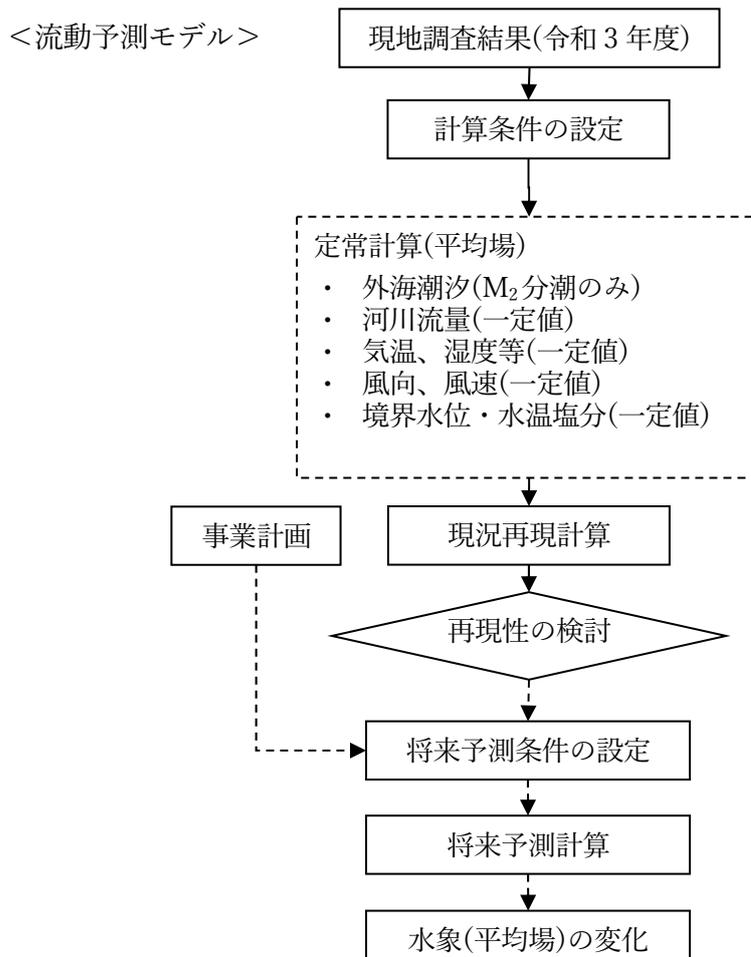


図-6.9.34 流れの予測手順

### (c) 予測モデル

#### a) 予測モデルの考え方

##### (ア) 海底地形の特徴

対象事業実施区域の周辺海域は、沿岸部は潮汐の変動とともに干出と水没を繰り返す水深の浅い水域が存在します。また、島しょ部から同心円状に水深が深くなり、沿岸から1~2 km程度の範囲では20m程度の水深帯となり、そのさらに沖合では比較的緩やかな水深変化となり、50~100m程度の水深帯が広がっています。

##### (イ) 流れの特徴

一般に海域の流れは、大別すると表-6.9.10のように分類され、b)~e)は総称して恒流(平均流)と呼ばれています。対象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おり、黒潮による流れも存在しています。また、水深の浅い場所では風による吹送流と潮汐流が作用し、複雑な流れを形成していると考えられます。

表-6.9.10 海域の流れを構成する要素

	流れの分類	流れの駆動力
海域の流れ	a) 潮汐流	潮汐
	b) 潮汐残差流	
	c) 密度流	淡水流入 海面と大気の熱収支
	d) 吹送流	風
	e) 海流(黒潮等)	地球規模の風・熱収支等

また、a)潮汐流の駆動力である潮汐は、表-6.9.11に示す西之表(種子島に存在する日本沿岸潮汐調和定数表の観測地点)の主要4分潮の振幅をみると、 $M_2$ 分潮が卓越していることがわかります。

表-6.9.11 主要4分潮の潮位振幅(西之表)

対象潮汐		振幅(cm)
半日周潮	$M_2$ 分潮	56.4
	$S_2$ 分潮	24.5
日周潮	$K_1$ 分潮	22.1
	$O_1$ 分潮	17.1

資料)海上保安庁：書誌第742号 日本沿岸潮汐調和定数表(平成4年2月)

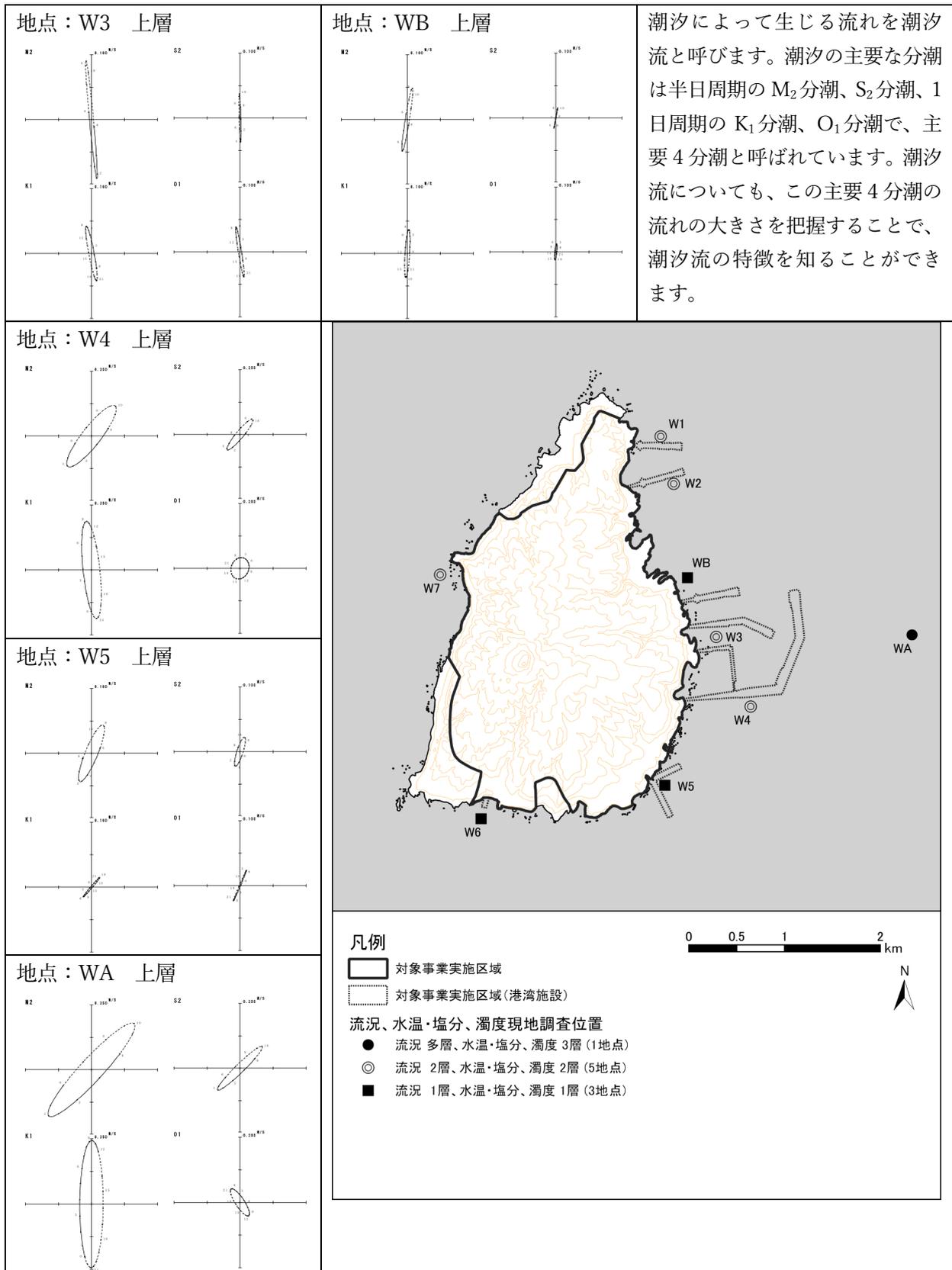
当該海域の潮汐流の状況については、現地調査で把握しました。ここでは、例として令和3年度の調査結果から、港湾施設周辺や沖合の潮汐流を表す代表的な地点における主要4分潮の潮流楕円を図-6.9.35に示しました。

この結果をみると、1日周期の $K_1$ 分潮及び $O_1$ 分潮や半日周期の $S_2$ 分潮の潮流楕円とくらべて、ほとんどの地点で、半日周期の $M_2$ 分潮の潮流楕円が大きいことがわかります。これは、当該海域で卓越している $M_2$ 分潮の潮汐によって生じる潮汐流が卓越していることを示しています。

これらのことから、 $M_2$ 分潮の潮汐を考慮することで、当該海域の潮汐流の状況を把握することが可能と考えられます。

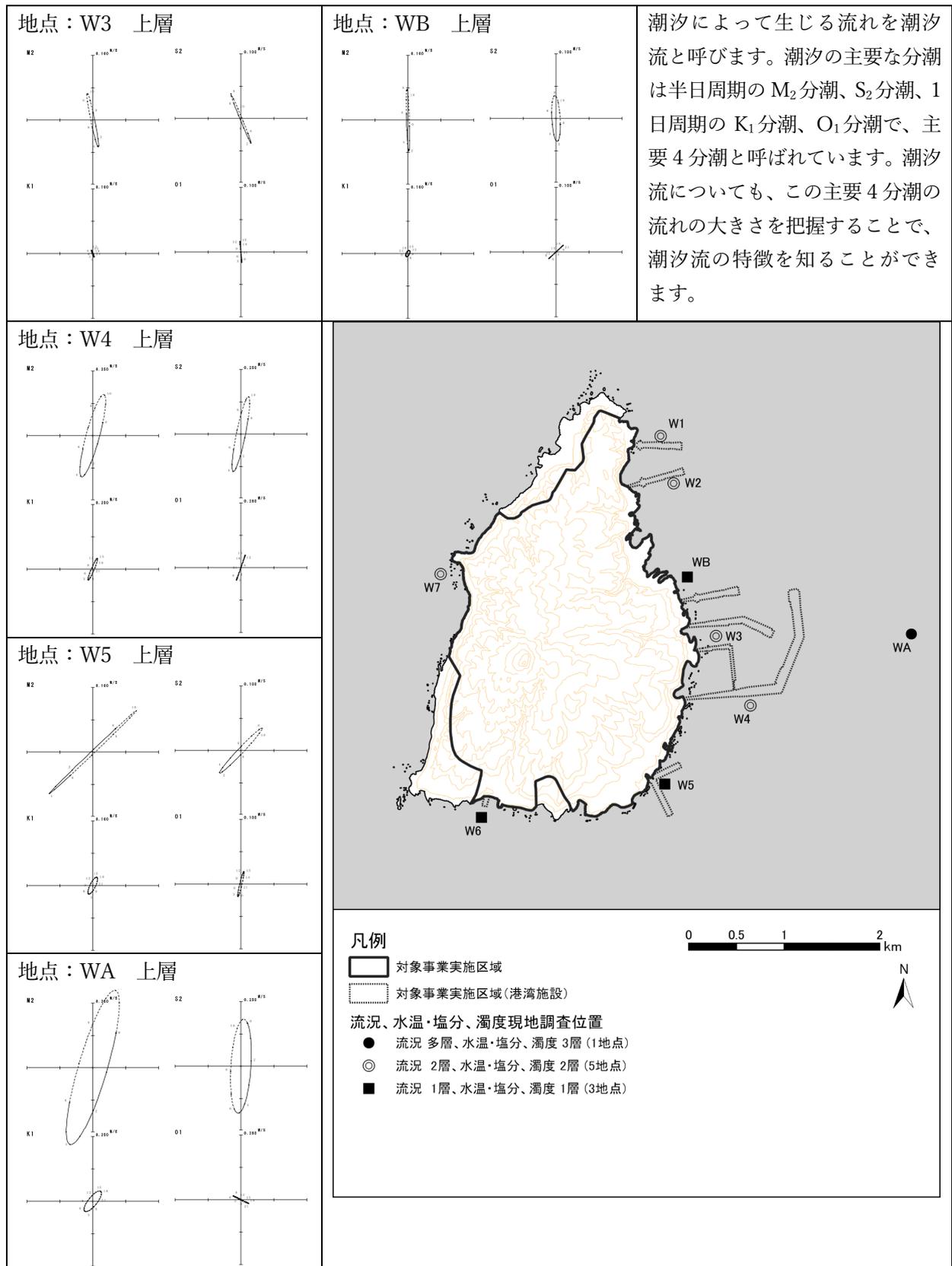
#### (ウ) 採用した予測モデル

以上から、海域の流れを予測するモデルは、干満による浅海域の干出と水没を考慮でき、内湾域で一般的に考慮される潮汐流、潮汐残差流、密度流、吹送流に加えて、黒潮等の海流の影響と、波浪によって引き起こされる流れ(海浜流)の効果を取り込んだ多層レベルモデルとしました。



注) 港湾施設周辺や沖合の潮汐流を表す代表的な地点として、主要4分潮の潮流楕円を示しました。

図-6.9.35(1) 当該海域の主要4分潮の潮汐流の概要 (令和3年度夏季調査結果)



注) 港湾施設周辺や沖合の潮汐流を表す代表的な地点として、主要4分潮の潮流楕円を示しました。

図-6.9.35(2) 当該海域の主要4分潮の潮汐流の概要(令和3年度冬季調査結果)

b) 基礎式

流動モデルの基本方程式は、以下のような連続の式、運動方程式、状態方程式、水温・塩分の拡散方程式からなります。

<連続の式>

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

<運動方程式>

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} - fv = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_M \frac{\partial u}{\partial z} \right) + F_x + R_x - Fb_{wx}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} + fu = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_M \frac{\partial v}{\partial z} \right) + F_y + R_y - Fb_{wy}$$

$$\rho g = -\frac{\partial p}{\partial z}$$

<状態方程式>

$$\rho(S, T) = \rho_w + (b_0 + b_1 T + b_2 T^2 + b_3 T^3 + b_4 T^4) S + (c_0 + c_1 T + c_2 T^2) S^{3/2} + d_0 S^2$$

<水温・塩分の拡散方程式>

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left( K_H \frac{\partial T}{\partial z} \right) + F_T$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + u \frac{\partial S}{\partial x} + v \frac{\partial S}{\partial y} + w \frac{\partial S}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left( K_H \frac{\partial S}{\partial z} \right) + F_S$$

運動方程式及び水温・塩分の拡散方程式の右辺の  $F$  は平均的な流れとは別に短時間の流れの強弱、方向の変化によって海水が混合され、運動量や水温・塩分が一様化される効果で、以下の式で表されます。

$$F_x = \frac{\partial}{\partial x} \left[ A_M \frac{\partial u}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ A_M \frac{\partial u}{\partial y} \right]$$

$$F_y = \frac{\partial}{\partial y} \left[ A_M \frac{\partial v}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[ A_M \frac{\partial v}{\partial x} \right]$$

$$F_{T,S} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ A_H \frac{\partial(T,S)}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ A_H \frac{\partial(T,S)}{\partial y} \right]$$

運動方程式の右辺の  $R$  は波の変形（主に砕波）による加速度、 $Fb$  は波と流れの相互作用による海底摩擦力です。

ここに、

$x, y, z$  : 右手系の直交座標系、上向きを正

$u, v, w$  :  $x, y, z$  方向の流速成分

$p$  : 圧力

$T$	: 水温
$S$	: 塩分
$f$	: コリオリ係数
$\rho$	: 密度
$K_M$	: 鉛直渦動粘性係数
$K_H$	: 鉛直渦動拡散係数
$A_M$	: 水平渦動粘性係数
$A_H$	: 水平渦動拡散係数
$g$	: 重力加速度
$t$	: 時間
$R_x, R_y$	: 波浪の変形に伴う加速度
$Fb_{wx}, Fb_{wy}$	: 波と流れの相互作用に伴う海底摩擦力

状態方程式は計算で得られた水温と塩分から密度を算出するものであり、式中の係数は UNESCO (1981) に準拠して以下のとおりとしました。

$$\rho_w = a_0 + a_1 T + a_2 T^2 + a_3 T^3 + a_4 T^4 + a_5 T^5$$

$a_0$	: 999.842594	$a_1$	: $6.793952 \times 10^{-2}$	$a_2$	: $-9.09529 \times 10^{-3}$
$a_3$	: $1.001685 \times 10^{-4}$	$a_4$	: $-1.120083 \times 10^{-6}$	$a_5$	: $6.536332 \times 10^{-9}$
$b_0$	: $8.24493 \times 10^{-1}$	$b_1$	: $-4.0899 \times 10^{-3}$	$b_2$	: $7.6438 \times 10^{-5}$
$b_3$	: $-8.2467 \times 10^{-7}$	$b_4$	: $5.3875 \times 10^{-9}$		
$c_0$	: $-5.72466 \times 10^{-3}$	$c_1$	: $1.0227 \times 10^{-4}$	$c_2$	: $-1.6546 \times 10^{-6}$
$d_0$	: $4.8314 \times 10^{-4}$				

海面における大気との間の熱のやりとりは、水温の拡散方程式で、海面と大気間の熱フラックスとして表現されています。この熱フラックスは、海水を暖める向きを正としたとき以下のように定義されます。

$$Q_{suf} = Q_s - (Q_b + Q_c + Q_e) \quad (\text{cal/cm}^2/\text{s})$$

ここに、

$Q_s$	: 太陽からの短波放射
$Q_b$	: 海洋からの長波放射
$Q_c$	: 海水と大気の接触面における対流や伝導による顕熱輸送
$Q_e$	: 海水の蒸発による潜熱輸送

それぞれの熱輸送を表すバルク公式は柳(1994)\*を参照しました。また、海面での熱フラックスの算定に用いるパラメータは、飯田(1990)\*を参考に表-6.9.20に示すとおり設定しました。

c) 境界条件

(ア) 海表面

海表面における境界条件は次式で定義されます。

$$\rho K_M \left( \frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial v}{\partial z} \right) = (\tau_{sx}, \tau_{sy})$$

$$\rho K_H \left( \frac{\partial T}{\partial z}, \frac{\partial S}{\partial z} \right) = (Q_{suf} / C_v, 0)$$

$$w = \frac{\partial \eta}{\partial t} + u \frac{\partial \eta}{\partial x} + v \frac{\partial \eta}{\partial y}$$

ここに、

$\tau_{sx}, \tau_{sy}$  : x, y 方向の風応力

$Q_{suf}$  : 海表面を通じての熱フラックス

$C_v$  : 比熱

$w$  : 鉛直流速

$\eta$  : 水位

海面摩擦は、海面における風と海水との摩擦によって風の持つ運動量が海水に移動する効果を表し、以下に示すとおり風速の2乗に比例する形で表現されます。

$$\bar{\tau}_s = (\tau_{sx}, \tau_{sy}) = \rho_a C_a \bar{\mathbf{W}} |\bar{\mathbf{W}}|$$

$$\bar{\mathbf{W}} = (W_x, W_y), |\bar{\mathbf{W}}| = \sqrt{W_x^2 + W_y^2}$$

ここに、

$C_a$  : 海面摩擦係数

$\rho_a$  : 大気密度

$W_x, W_y$  : x, y 方向の風速

\*柳 哲雄(1994) : 7. 密度流, 7.2 熱収支と塩分収支, 53-56, 沿岸海洋学 - 海の中でものはどう動くか - 改訂版, 恒星社厚生閣.

\*飯田 隼人(1990) : 第3章 日本周辺海域の海上気象について, VII 日本近海における海面の熱収支, 89-100, 続・日本全国沿岸海洋誌, 日本海洋学会 沿岸海洋研究部会 編, 東海大学出版会

(イ) 海底面

海底面における境界条件は次式で定義されます。

$$\rho K_M \left( \frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial v}{\partial z} \right) = (\tau_{bx}, \tau_{by})$$

$$\rho K_H \left( \frac{\partial T}{\partial z}, \frac{\partial S}{\partial z} \right) = (0, 0)$$

$$w_b = -u_b \frac{\partial h}{\partial x} - v_b \frac{\partial h}{\partial y}$$

$$\vec{\tau}_b = (\tau_{bx}, \tau_{by}) = \rho C_D |\vec{V}_b| \vec{V}_b$$

$$\vec{V}_b = (u_b, v_b), |\vec{V}_b| = \sqrt{u_b^2 + v_b^2}$$

ここに、

$\vec{\tau}_b$  : 底面せん断応力

$\vec{V}_b$  : 海底での水平流速ベクトル

$u_b, v_b$  :  $x, y$  方向の底面流速

$h$  : 水深

海浜流を考慮するまでの助走期間の海底摩擦(底面せん断応力)は、海底近傍での流速分布をカルマン定数と粗度高さを用いた対数分布則を仮定して算出しました(添え字bは底面に接する格子の値であることを意味しています)。ここで、カルマン定数は流体の性質によって決まる定数であり、粗度高さは底面の土質や起伏形状等に依存する定数です。

なお、底面の摩擦係数 ( $C_D$ ) は、以下の式から求めました。

$$C_D = \left[ \frac{1}{\kappa} \ln \frac{h + z_b}{z_0} \right]^{-2}$$

ここに、

$z_b$  : 底面に接する格子点(流速定義点)の鉛直座標値  
(海面を0とし、鉛直下向きに負の値)

$z_0$  : 粗度高さ (=1.0cm)

$\kappa$  : カルマン定数 (=0.4)

(d) 計算条件

a) 計算範囲及び計算格子

計算範囲と水深分布を図-6.9.36に示しました。計算範囲は対象事業実施区域の規模及び流れの特徴を勘案して、約219km×約227kmと十分に広い範囲としました。

計算格子は、対象事業実施区域の地形条件を考慮しつつ、計算負荷や所要時間を加味して設定し、実現可能な最小計算格子として対象事業実施区域周辺海域を50m格子に分割し、その外側周辺海域を150m格子に分割しました。また、計算を安定に実施するため、150m格子の外側に図-6.9.37に示すような450m格子、1350m格子、4050m格子の緩衝領域を設定しました。なお、水深分布は下記の資料を基に作成しています。

- ・ 海底地形デジタルデータ (M7008 薩南、M7019 奄美海域)
- ・ 深浅測量結果 (令和2年2月)

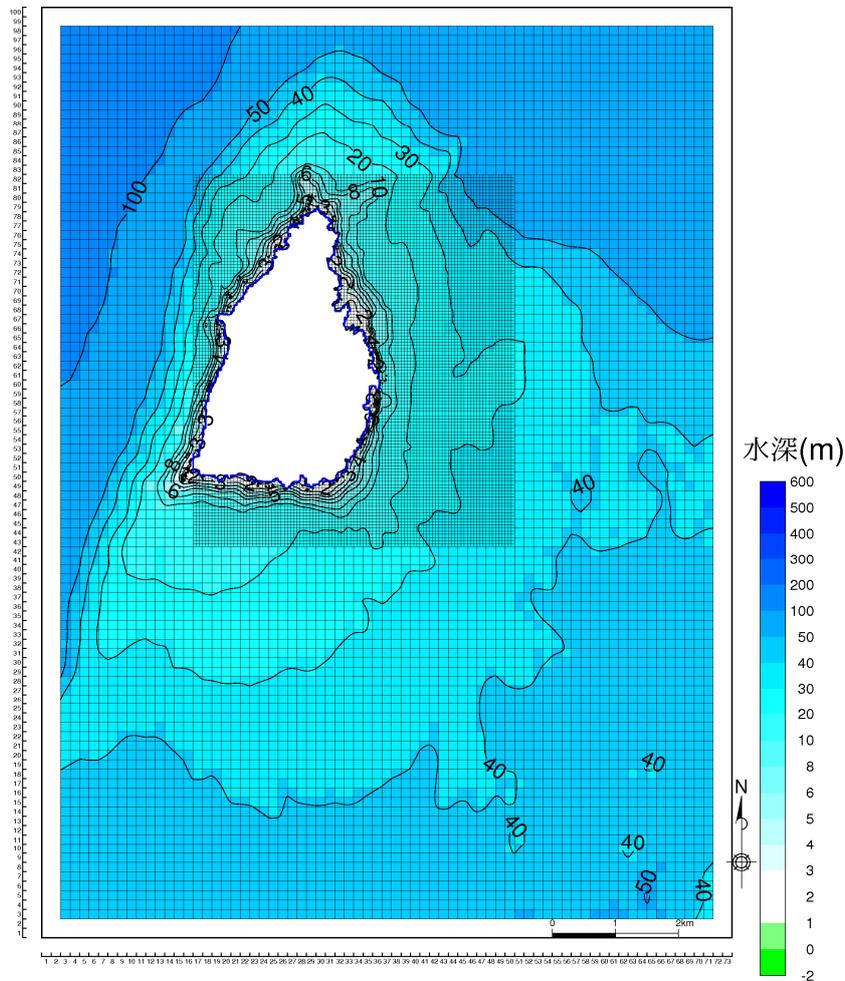


図-6.9.36(1) 計算範囲 (150m 及び 50m 格子) の水深分布

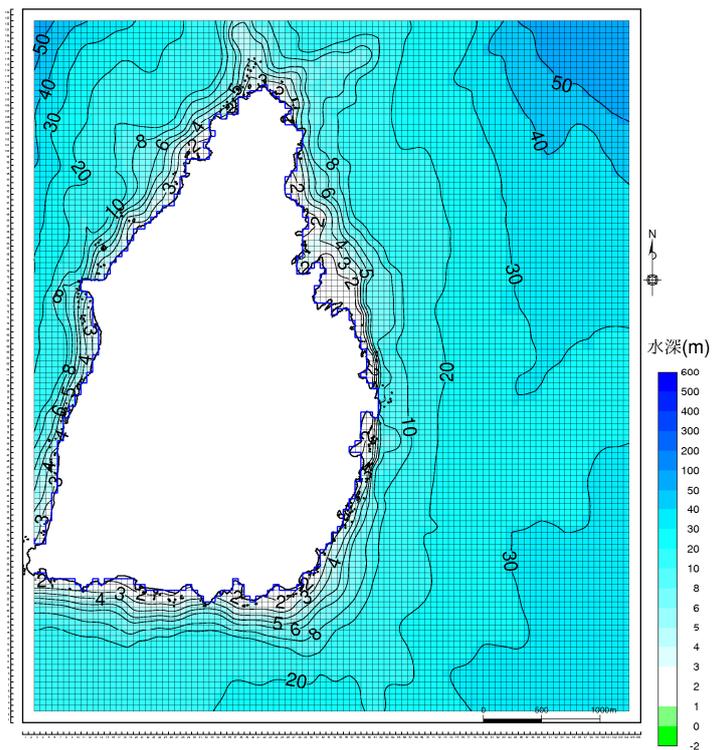


図-6.9.36(2) 計算範囲 (50m 格子) の水深分布(単位 : m)

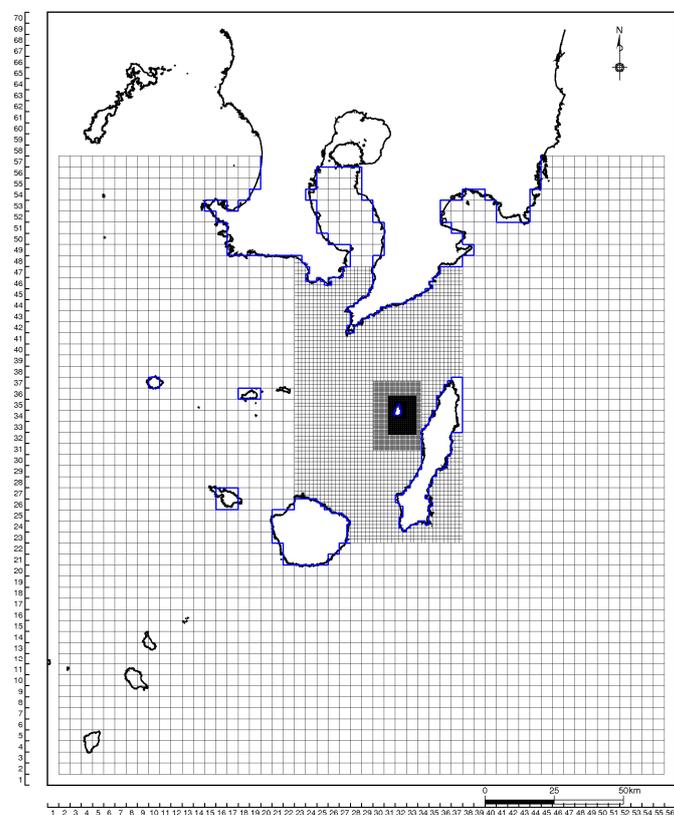


図-6.9.37 緩衝領域の範囲(4050m 格子及び 1350m 格子、450m 格子)

## b) 層数

対象事業実施区域が浅海域にかかるため、複雑な地形の影響を受けると考えられます。そのため、鉛直方向に細分化する必要があります。さらに、水深が深くなれば鉛直方向の流れの変化は小さくなると推測されます。

以上から、複数層で表現できるように水深 10m 以浅までは 4 層、10m 以深を 6 層の全 10 層に分割しました。各層の水深分割を以下に示しました。

第 1 層 : 0.0~2.0m	第 2 層 : 2.0~4.0m
第 3 層 : 4.0~7.0m	第 4 層 : 7.0~10.0m
第 5 層 : 10.0~15.0m	第 6 層 : 15.0~20.0m
第 7 層 : 20.0~30.0m	第 8 層 : 30.0~50.0m
第 9 層 : 50.0~100.0m	第 10 層 : 100.0m 以深

## c) 地形条件

現況及び存在時の地形条件を図-6.9.38に示しました。ここで、存在時は現況に対して、港湾施設本体が存在している条件としました。

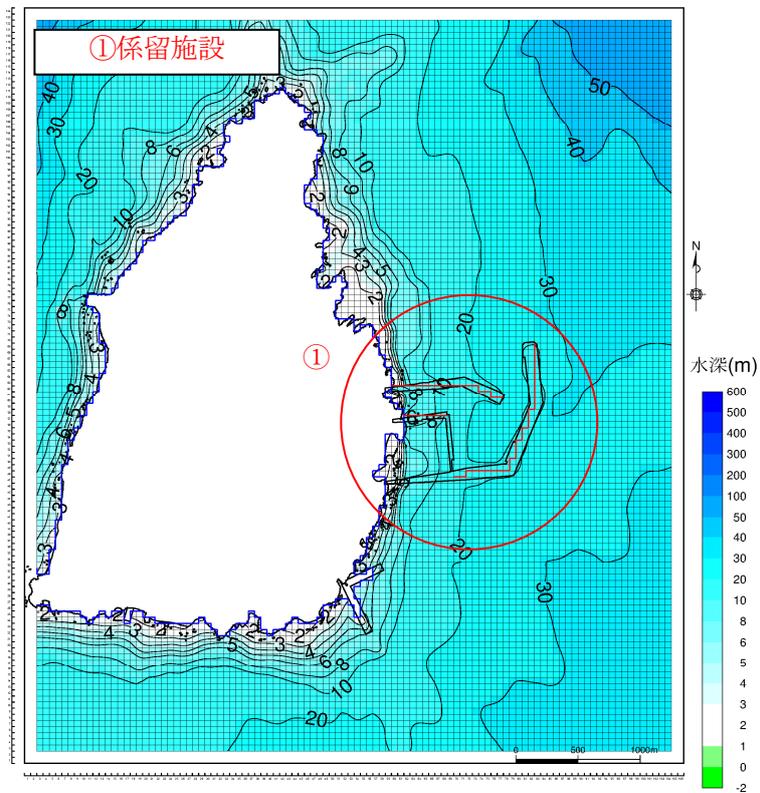
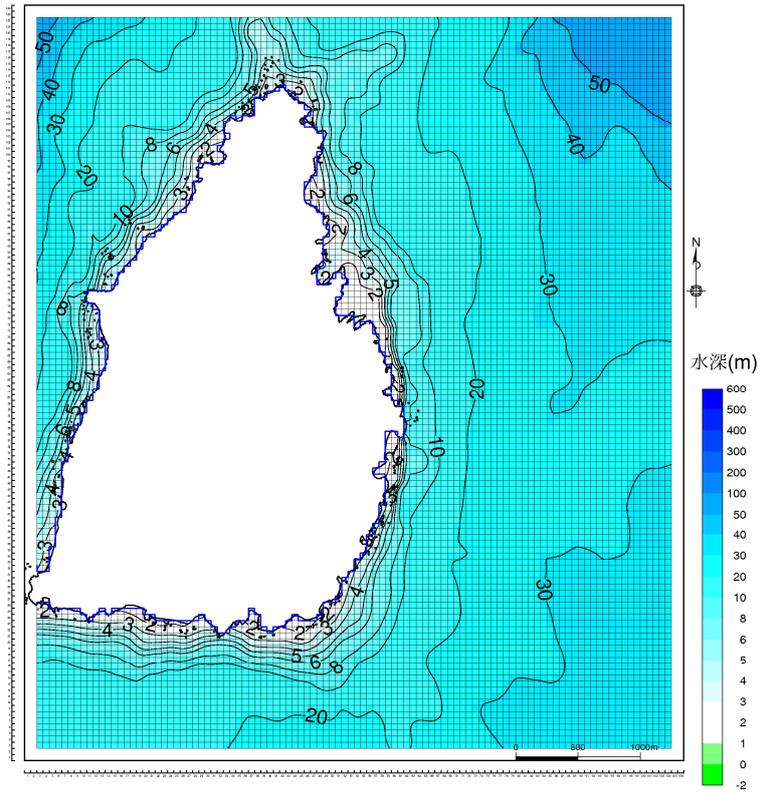


図-6.9.38 現況(上段)と存在時(下段)の地形条件の比較

d) 境界条件

(ア) 潮位

図-6.9.39に示す緩衝領域の開境界において当海域の卓越分潮である $M_2$ 分潮(半日周期)の水位変動を与えました。

境界に設定する潮汐は、表-6.9.12 境界条件の設定に用いる潮位振幅に示す西之表(種子島に存在する日本沿岸潮汐調和定数表の観測地点)が最も近傍の観測地点ですが、緩衝領域を広範囲に設定するため、振幅および遅角の条件は日本周辺海洋潮汐モデル\*や現地観測結果を参考にし、潮汐流の再現性を十分に検討した結果、表-6.9.13に示す値を採用しました。

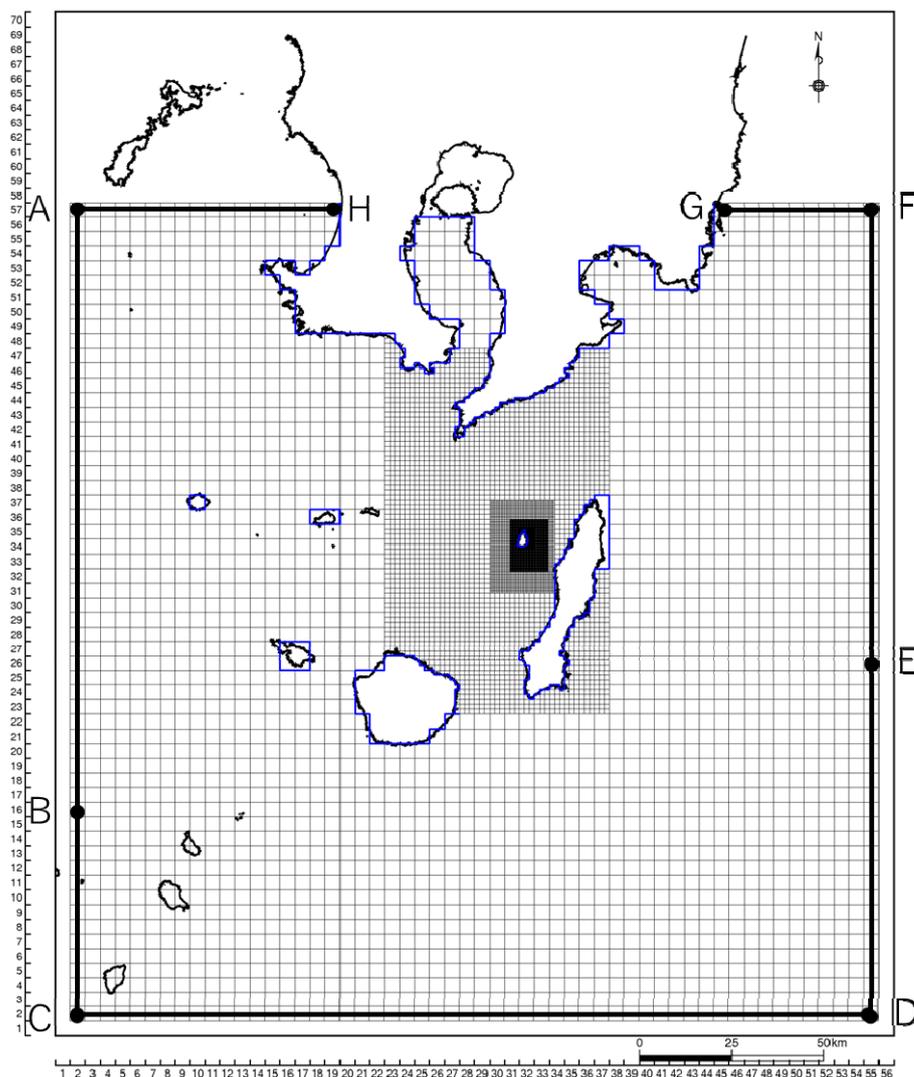


図-6.9.39 開境界の設定位置

\*Matsumoto, K., T. Takanezawa, and M. Ooe: Ocean Tide Models Developed by Assimilating TOPEX/POSEIDON Altimeter Data into Hydrodynamical Model: A Global Model and a Regional Model Around Japan, Journal of Oceanography, 56, 567-581, 2000.

表-6.9.12 境界条件の設定に用いる潮位振幅

対象潮汐	振幅	参照地点
M <sub>2</sub> 分潮	56.4 (cm)	西之表

資料)海上保安庁：日本沿岸潮汐調和定数表

表-6.9.13 境界条件

地 点	振 幅(cm)	遅 角(° )
A	71.7	319.3
B	60.6	302.4
C	58.4	298.0
D	52.9	279.2
E	53.3	276.2
F	52.2	272.0
G	52.8	272.5
H	75.4	315.8

注)観測値にみられた沖側の東向きの恒流(平均流)を再現するため、  
B-C ライン及びF-E ラインの平均水位を 65cm 増加させています。

(イ) 淡水流入量

ア) 現況

対象事業実施区域周辺海域への流出解析を行い、図-6.9.40に示す24地点の海域への流入点を設定しました。淡水流入条件は、令和3年度に実施された水温の現地調査結果と流況観測期間内の降水量を用いて表-6.9.14と表-6.9.15に示すとおり設定しました。

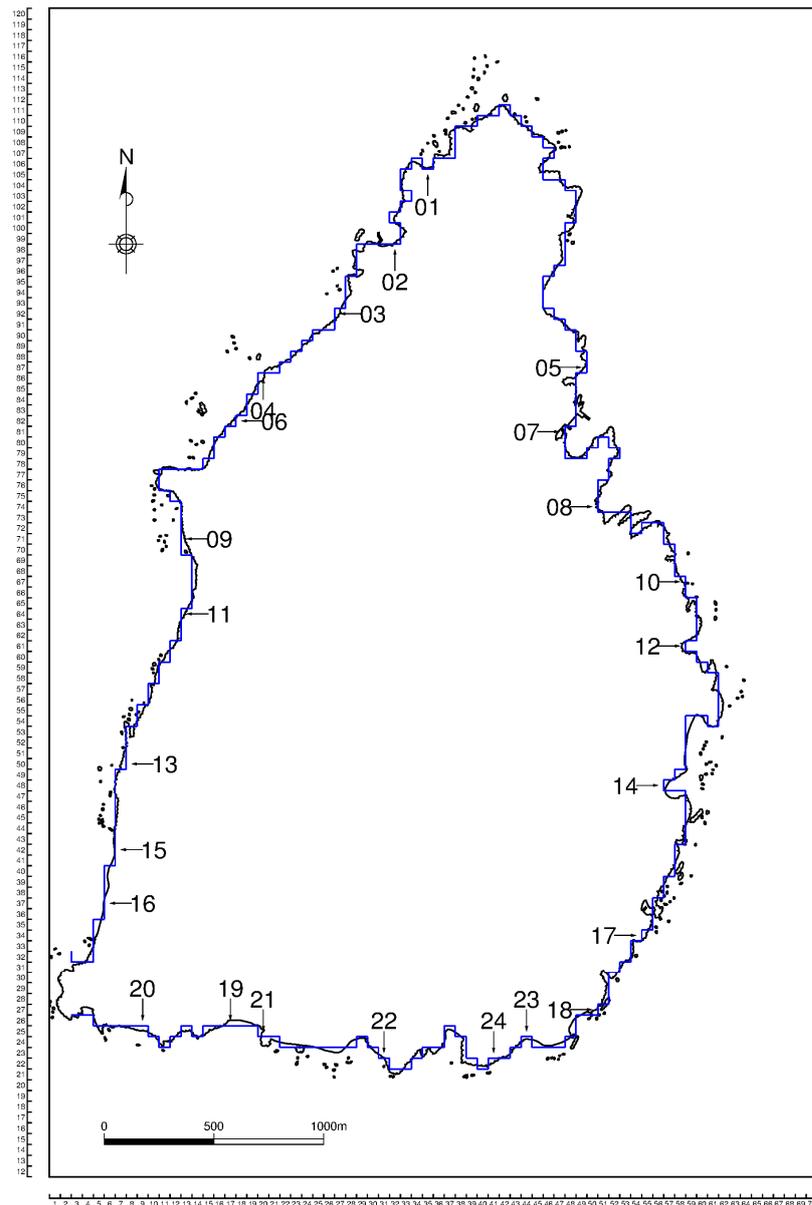


図-6.9.40 海域への流入地点の位置 (現況)

表-6.9.14 流入水温(令和3年度調査)

河川名 \ 項目	夏季 (8/26 調査) 天候：晴	冬季 (12/16 調査) 天候：晴
	水温(°C)	水温(°C)
R3	26.9	13.9
R4	27.5	16.4
R6	26.8	17.0
R10	29.9	16.4

表-6.9.15 淡水流入量と流域面積(現況)

河川名	夏季流量 (m <sup>3</sup> /s)	冬季流量 (m <sup>3</sup> /s)	流域面積 (m <sup>2</sup> )	備考
01	0.0013	0.0008	117,500	
02	0.0030	0.0019	265,000	
03	0.0028	0.0018	252,500	
04	0.0020	0.0013	180,000	
05	0.0031	0.0020	272,500	
06	0.0017	0.0011	152,500	
07	0.0031	0.0020	277,500	
08	0.0149	0.0096	1,325,000	R3、R4
09	0.0026	0.0017	230,000	
10	0.0009	0.0006	82,500	
11	0.0031	0.0020	277,500	
12	0.0029	0.0019	257,500	
13	0.0014	0.0009	122,500	
14	0.0019	0.0012	165,000	
15	0.0024	0.0016	215,000	
16	0.0010	0.0007	90,000	
17	0.0077	0.0050	687,500	R6
18	0.0039	0.0025	345,000	
19	0.0093	0.0060	825,000	
20	0.0020	0.0013	177,500	
21	0.0010	0.0006	87,500	R10
22	0.0026	0.0017	232,500	
23	0.0013	0.0008	115,000	
24	0.0015	0.0010	137,500	

※淡水流入量は、流域面積に流況調査期間の日平均降水量を乗じた値としました。

※流入水温は、既存河川の観測値を基に設定しました。

イ) 存在・供用時

存在・供用時の流れの予測においては、調整池からの流入と施設からの汚水処理水の排水を考慮しました。排水位置を図-6.9.41に示しました。

調整池の流量については、表-6.9.15に示しました24地点の淡水流入量の流量の合計値に島全体の面積に対する施設の面積率(0.41)を乗じた値を全調整池からの流入量とし、各調整池の面積に応じて表-6.9.16のとおり配分しました。また、24地点の流量については現況で設定した流量に島全体の面積に対する施設以外の面積率(0.59)を乗じた値としました。

施設の污水排水計画については、「(a)予測の前提」に示しましたように、施設からの生活排水等を污水处理場に集め、膜分離活性汚泥法による污水处理後、前面海域に排水する計画となっています。計画排水量及び排水水温を表-6.9.17に示しました。安全側の予測をする観点から、予測計算における計画汚水量については計画1日最大汚水量を与えることとしました。

なお、排水水温は令和3年の現地調査で得られた既存河川の実測水温の平均値を用いました。

表-6.9.16 淡水流入量 (存在・供用時)

調整池	夏季流量 (m <sup>3</sup> /s)	冬季流量 (m <sup>3</sup> /s)	面積 (ha)
調整池 1	0.00400	0.00258	44.17
調整池 2	0.00021	0.00013	2.30
調整池 3	0.00077	0.00050	8.50
調整池 4	0.00237	0.00153	26.16
調整池 5	0.00753	0.00486	83.24
調整池 6	0.00502	0.00324	55.48
調整池 7	0.00141	0.00091	15.60
調整池 8	0.00105	0.00068	11.60
調整池 10	0.00044	0.00029	4.90

表-6.9.17 存在時の施設からの排水量及び排水水温

項 目		設定値
計画汚水量(計画1日汚水量) (m <sup>3</sup> /日)		272.6
計画汚水量(計画1日最大汚水量) (m <sup>3</sup> /日)		581.9
排水水温(°C)	夏季	27.5 <sup>注)</sup>
	冬季	16.4 <sup>注)</sup>

注)排水水温は表-6.9.14に示した既存河川R4の実測水温としました。

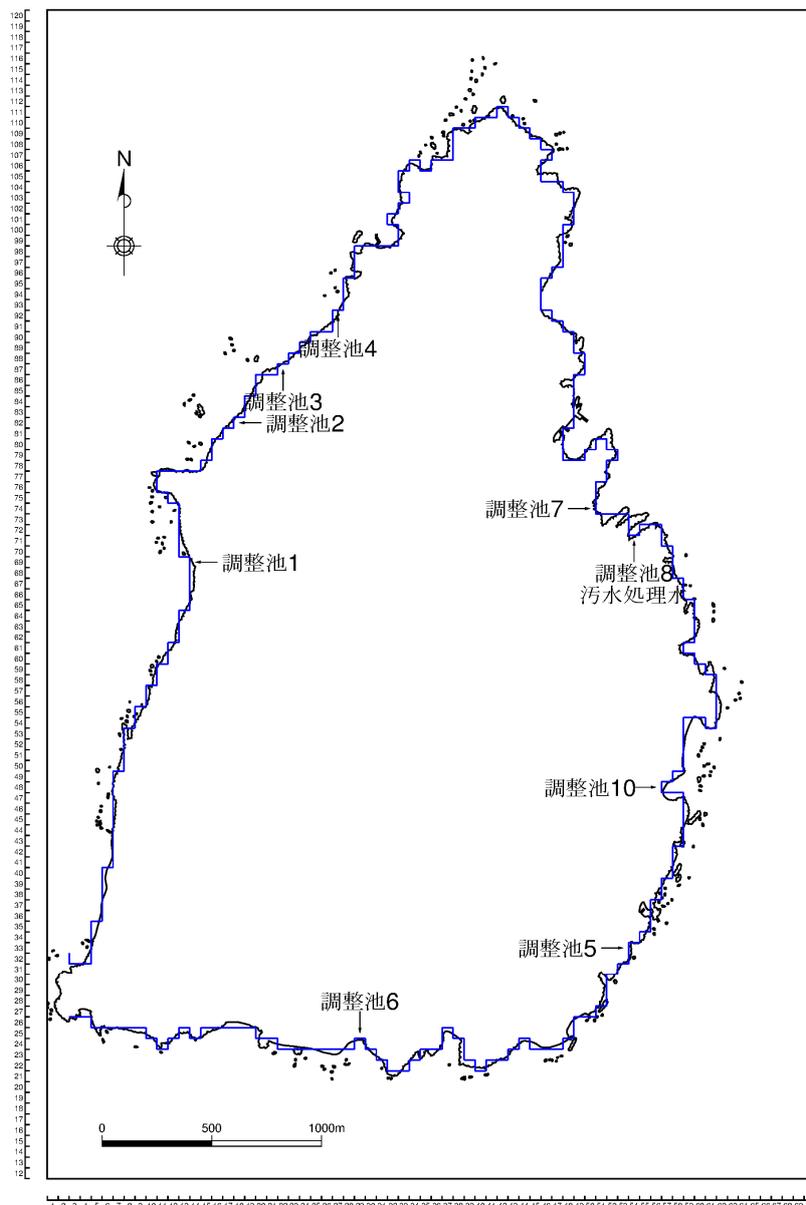


図-6. 9. 41 調整池の流入位置及び污水处理水の排水位置 (存在時)

(ウ) 水温・塩分の初期値・境界値

水温・塩分の初期値・境界値を表-6.9.18に示しました。境界値は現地調査結果を基に設定し、初期値については計算範囲の全域に境界値と同じ値を設定しました。

表-6.9.18 水温・塩分の初期値・境界値

季節	層	水温 (°C)	塩分	層	水温 (°C)	塩分
夏季	第1層	27.75	33.32	第2層	27.67	33.36
	第3層	27.56	33.41	第4層	27.44	33.48
	第5層	27.27	33.56	第6層	26.88	33.67
	第7層	26.00	33.83	第8層	25.09	34.15
	第9層	22.28	34.55	第10層	20.47	34.63
冬季	第1層	21.72	34.39	第2層	21.71	34.39
	第3層	21.70	34.39	第4層	21.68	34.39
	第5層	21.66	34.39	第6層	21.60	34.39
	第7層	21.43	34.40	第8層	21.76	34.50
	第9層	21.65	34.58	第10層	21.11	34.61

(エ) 気象条件

気象条件を表-6.9.19に示しました。各気象要素は期間平均値とし、対象事業実施区域における気象観測結果(令和3年8月~令和3年12月)及びメソ数値予報モデルGPV (MSM) に基づいて設定しました。

表-6.9.19 気象要素の期間平均値<sup>注1</sup>

	夏季	冬季	備考
ベクトル平均風向(°)	48.2(NE)	193.9(SSW)	風応力の算定に使用
ベクトル平均風速(m/s)	2.76	4.02	
スカラー平均風速(m/s)	4.1	6.3	熱フラックスの算定に使用
気温(°C)	28.1	14.4	
相対湿度(%)	83.7	69.5	
全天日射量(MJ/m <sup>2</sup> )	1.28	0.76	
雲量(0~1)	0.28	0.29	

注1.平均期間：夏季(2021年8/21~9/5)、冬季(2021年12/4~12/19)

2.雲量及び全天日射量については、メソ数値予報モデルGPV (MSM) の対象事業実施区域近傍の格子点のデータを用いました。その他の気象要素については、種子島特別地域気象観測所の観測値を用いました。

e) 計算パラメータ

流れの計算に使用したパラメータ等を表-6.9.20に示しました。

表-6.9.20 流れの計算に使用したパラメータ等

タイムステップ	緩衝領域 4050m : 30 秒、緩衝領域 1350m : 10 秒、緩衝領域 450m : 4 秒、大領域 150m : 2 秒、小領域 50m : 1 秒
海面摩擦係数	0.0013
海底摩擦係数	前述の海底面の境界条件で示したとおりです。
水平渦動粘性係数 水平渦動拡散係数	Smagorinsky(1963) <sup>*1</sup> による経験式を用いました。 $A_{M,H} = C_{M,H} (\Delta x \times \Delta y) \left[ \frac{1}{2} \left( \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right]^{1/2}$ この経験式の中で用いられる比例係数 $C_M, C_H$ は、感度解析の結果、夏季 : 0.2、冬季 : 0.5 としました。また、水平渦動粘性係数の最小値は $10^4(\text{cm}^2/\text{s})$ としました。
鉛直渦動粘性係数 鉛直渦動拡散係数	Pacanowski and Philander(1981) <sup>*2</sup> による成層化関数を用いました。鉛直渦動粘性係数の最小値は $1.0(\text{cm}^2/\text{s})$ 、最大値は $100.0(\text{cm}^2/\text{s})$ としました。 $K_M = \frac{K_{M0}}{(1 + \alpha R_i)^n} + K_{MB}, K_H = \frac{K_M}{1 + \alpha R_i} + K_{HB}, R_i = \frac{-\frac{g}{\rho} \left( \frac{\partial \rho}{\partial z} \right)}{\left( \frac{\partial U}{\partial z} \right)^2}$ $K_{MB}$ : バックグラウンドの鉛直渦動粘性係数 $K_{HB}$ : バックグラウンドの鉛直渦動拡散係数 $K_{M0}$ : パラメータ (=100.0 $\text{cm}^2/\text{s}$ ) $\alpha$ : パラメータ ( $\alpha=5$ ) , $n$ : パラメータ ( $n=2$ ) $z$ : 基準面からの鉛直座標値, $U$ : 水平流速( $\text{cm}/\text{s}$ )
海面での熱フラックスに係るパラメータ	海面のアルベード(反射率)=0.11 黒体放射と太陽放射の比=0.97 ステファンボルツマンの定数= $0.8218 \times 10^{-10} \text{ cal}/\text{cm}^2/\text{min} \cdot \text{C}^4$ 顕熱フラックス係数= $1.7 \times 10^{-3}$ (夏季)、 $1.1 \times 10^{-3}$ (冬季) 潜熱フラックス係数= $1.7 \times 10^{-3}$ (夏季)、 $1.1 \times 10^{-3}$ (冬季) 海面のアルベード(反射率)=0.09 黒体放射と太陽放射の比=0.95 ステファンボルツマンの定数= $0.8218 \times 10^{-10} \text{ cal}/\text{cm}^2/\text{min} \cdot \text{C}^4$ 顕熱フラックス係数= $1.4 \times 10^{-3}$ (夏季)、 $1.1 \times 10^{-3}$ (冬季) 潜熱フラックス係数= $1.4 \times 10^{-3}$ (夏季)、 $1.1 \times 10^{-3}$ (冬季)

\*1) J. Smagorinsky(1963) : General Circulation Experiments with the Primitive Equations I. The Basic Experiment, Monthly Weather Review, 91, 99-164.

\*2) R. C. Pacanowski and S. G. H. Philander(1981): Parameterization of Vertical Mixing in Numerical Models of Tropical Oceans. J. Phys. Oceanogr., 11, 1443-1451.

f) 設定した計算パラメータの妥当性について

(ア) 海面摩擦係数

一般的に海面摩擦係数は室内実験等によって得られた経験式により求められます。経験式の多くは風速が弱い時には海面摩擦係数は 0.0013 前後の値をとり、風速の増加とともに海面摩擦係数は減少します。計算で設定した風速条件は 2~3m/s であったことから、0.0013 が妥当と考えました。

(イ) 海底摩擦係数

流れの数値シミュレーションで得られる海底摩擦係数は波高や水深等によって変化しますが、一般的には 0.0026 前後の値とされています。代表点における海底摩擦係数の計算値を精査した結果、前述した一般的な値と大きく隔離していないことを確認しています。

(ウ) 水平渦動粘性係数、水平渦動拡散係数

一般的に水平渦動粘性係数の値は  $10^4 \sim 10^7 \text{cm}^2/\text{s}$ 、内湾域では  $10^4 \sim 10^6 \text{cm}^2/\text{s}$  と考えられています。また、対象事業実施区域周辺海域における流れの観測結果からテイラーの拡散理論に従って算定した水平渦動拡散係数は  $1.7 \times 10^4 \sim 1.9 \times 10^7 \text{cm}^2/\text{s}$  でした。

流れの数値シミュレーションで得られる水平渦動粘性係数は  $1.0 \times 10^4 \sim 2.0 \times 10^5 \text{cm}^2/\text{s}$  となっており、計算値は観測値を逸脱しておらず妥当な値と考えています。

(エ) 鉛直渦動粘性係数、鉛直渦動拡散係数

一般的に鉛直渦動粘性係数の値は  $10^{-2} \sim 10^2 \text{cm}^2/\text{s}$  と考えられていますが、流れの数値シミュレーションで得られる鉛直渦動粘性係数は  $1 \sim 100 \text{cm}^2/\text{s}$  となっています。当該海域では碎波等によって鉛直混合を生じやすく、水温や塩分の成層が未発達であることを考慮し、計算における鉛直渦動粘性係数の最小値を  $1.0 \text{cm}^2/\text{s}$ 、最大値を  $100 \text{cm}^2/\text{s}$  としています。なお、川西・森 (2003) <sup>※1</sup> や郡山ら (2007) <sup>※2</sup> によると、観測結果に基づいた内湾域における鉛直渦動粘性係数の値として  $0.02 \sim 60 \text{cm}^2/\text{s}$  が得られており、上述した成層化関数による理論値とオーダーが一致することが報告されています。

---

※1 川西澄・森泰二(2003):高解像度ドップラー流速分布計を用いた内湾表層における鉛直混合パラメータの測定,海岸工学論文集,第 50 巻,pp.356-359

※2 郡山益美 他(2007):有明海奥部西部海域における貧酸素水塊発生時の鉛直拡散係数及び酸素消費速度について,水工学論文集,第 51 巻,pp.1463-1468

(オ) 熱フラックスに係る各種パラメータ

大気と海面の熱収支を計算する際に必要な各種パラメータのうち、一般的にアルベド(反射率)は日本の緯度帯では12月に最大で10%前後、6月に最小で6%前後とされています。また、潜熱・顕熱フラックス係数は $1.0 \times 10^{-3} \sim 2.0 \times 10^{-3}$ の範囲とされており、計算で設定した値は妥当と考えています。

g) 計算積分時間と解析対象時間

予測の前提で示したように夏季と冬季の平均的な流動場を求めるためには、12時間周期の潮位変動と風等の気象条件の期間平均値を与えて計算領域内の流動場が安定するまで計算を行う必要があります。

また、通常、流動計算では独特の初期の擾乱が消え、流動場が完全に安定するまでの助走期間を設定します。本計算では十分に流動場が安定する9日間(216時間)を助走期間とし、引き続きの1日間(24時間)で風を与えました。

以上から、積分時間は240時間となり、最終の12時間の計算結果を解析に用いました。

計算及び解析期間の概略を図-6.9.42に示しました。

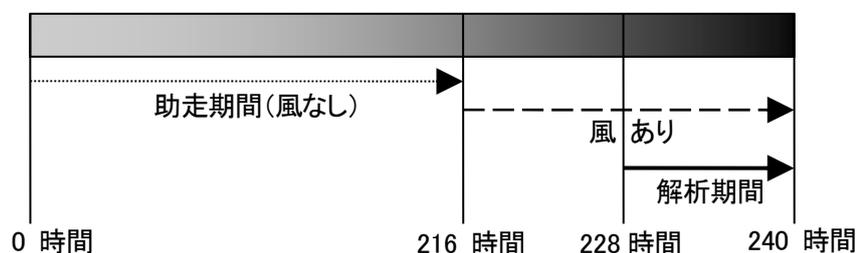


図-6.9.42 計算及び解析期間の概略

## (e) モデルの妥当性の検討

### a) 妥当性検証の考え方

再現性の検討では潮汐流、吹送流等の様々な要因を考慮し、観測値を再現することを目標に、前述のとおり計算条件の検討を行ってきました。

再現性の検証は、以下の 3 つの要素に着目し、現地調査にみられた流れの地形的・季節的な特徴(「6.9.1 調査」参照)の再現性を総合的に判断しました。特に、海域における水の汚れや工事中の土砂による水の濁り等、物質の拡散状況を予測・評価する上で、恒流(平均流)の空間分布パターンの再現性が重要と考えました。また、サンゴ類や海藻草類等の生息・生育環境を予測・評価する上では、下げ潮や上げ潮による流れの状況、すなわち潮汐流 ( $M_2$ 分潮) の状況についても再現することが重要と考えました。

潮汐流 : 潮汐によって引き起こされる周期的な流れ

恒流(平均流) : 濁り等の物質輸送に大きな役割を果たす流れ

水温・塩分 : 淡水流入や海面熱収支の結果生じる海域の密度分布

### b) 現況再現の検証データについて

現況再現の検証には、夏季(令和3年8~9月)及び冬季(令和3年12月)に実施した流動調査結果を用いました。解析期間を表-6.9.21に、流動調査地点の位置を図-6.9.43に示しました。

#### ●潮汐流

##### a) 夏季

解析期間(令和3年8月21日~9月5日)の潮流調和定数( $M_2$ 分潮)を潮汐流の再現目標としました。また、潮流調和定数より下げ潮時、上げ潮時の流向・流速を算出し、潮汐流の再現目標としました。

##### b) 冬季

夏季と同様に解析期間(令和3年12月4日~12月19日)の潮流調和定数( $M_2$ 分潮)及び下げ潮時、上げ潮時の流向・流速を潮汐流の再現目標としました。

●恒流(平均流)

a)夏季

海浜流、海流、吹送流を含めた恒流(平均流)の比較では、表-6.9.21に示した15昼夜の解析期間における恒流(平均流)の空間分布を再現目標としました。

b)冬季

夏季と同様に、上記に示した解析期間における恒流(平均流)の空間分布を再現目標としました。

●水温・塩分

水温・塩分は、各地点・各水深帯における表-6.9.21に示した期間平均値を再現目標としました。

表-6.9.21 流動解析期間

季節	解析期間
夏季	令和3年8月21日~9月5日(15昼夜連続観測)
冬季	令和3年12月4日~12月19日(15昼夜連続観測)

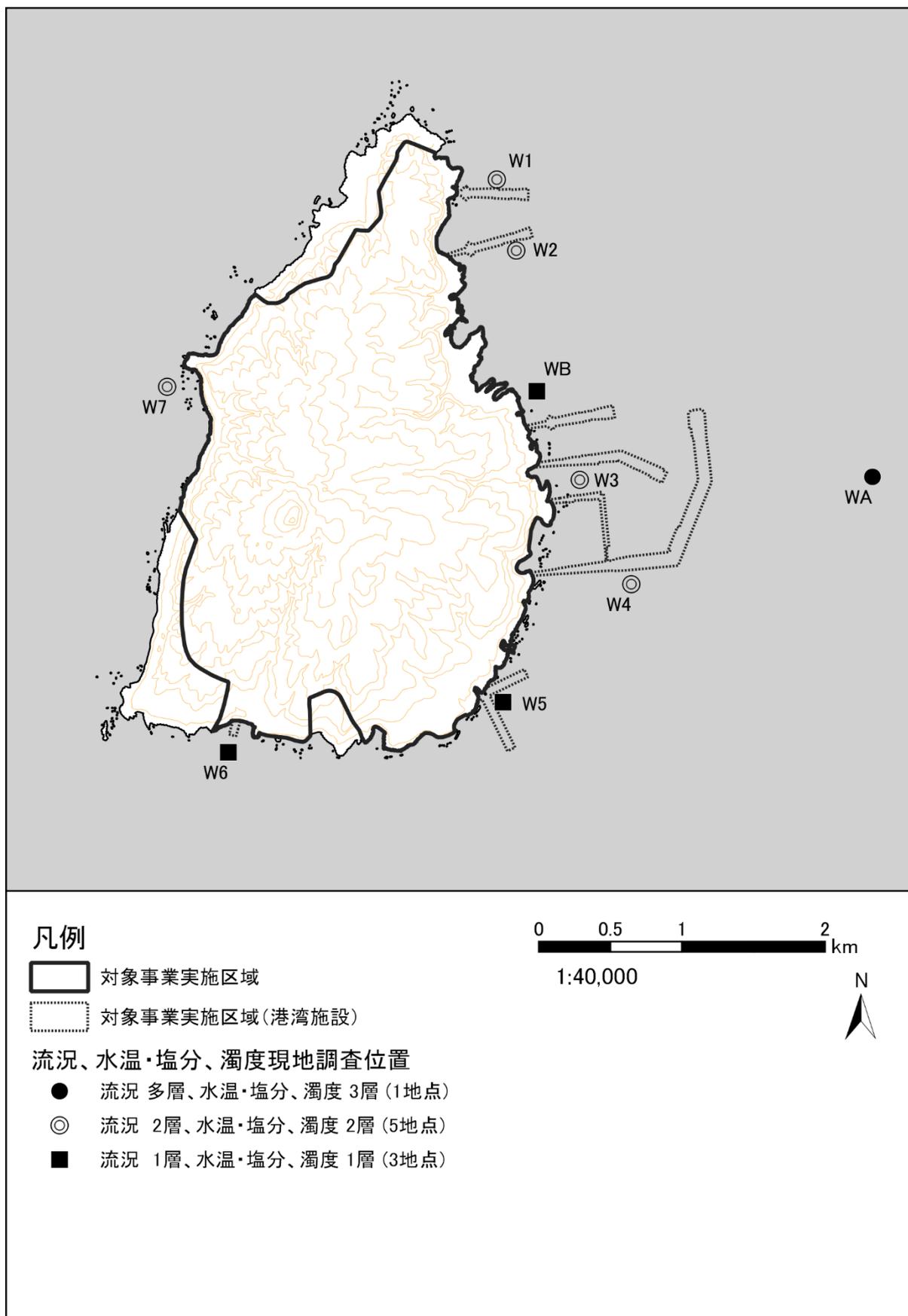


図-6.9.43 流況調査の位置

### c) 潮汐流の再現性

$M_2$ 分潮を対象とした現況再現結果の潮汐流の再現性については、計算値と観測値の  $M_2$  分潮の潮流楕円の比較を行いました。計算値と観測値について、 $M_2$  分潮の潮流楕円の比較を夏季および冬季について、図-6.9.44および図-6.9.45に示しました。

潮流楕円の再現性は、楕円の大きさや長軸の方向について、観測値と計算値の比較を行っています。

#### (ア) 夏季

観測値でみられた潮流楕円の特徴としては、沖合の観測点である地点 WA を除き、潮流楕円の長軸の方向は、各地点における等深線に沿った方向と平行となっています。これは、主流向が等深線および海岸線に沿った方向の往復流が存在していることを示しているものです。また、地点 W4 および地点 WA の水深の大きい地点で、潮流楕円が大きく、地点 WB、地点 W5、地点 W6 等の水深の浅い地点で、潮流楕円が小さい傾向でした。

これらの観測値の傾向が計算値で再現されているかについて検証した結果、計算値の潮流楕円の長軸の方向は全ての地点で観測値と概ね一致しており、沖合の観測点である地点 WA 以外で見られる等深線および海岸線に沿った方向の往復流を表現しています。一方、潮流楕円の大きさについては、地点 W4 の上層では、計算値の方が大きく、差異がみられますが、その他の地点では、潮流楕円の大きさの傾向を概ね表現している傾向でした。

#### (イ) 冬季

観測値でみられた潮流楕円の特徴としては、沖合の観測点である地点 WA を除き、潮流楕円の長軸の方向は、各地点における等深線に沿った方向と平行となっています。これは、主流向が等深線および海岸線に沿った方向の往復流が存在していることを示しているものです。また、地点 W4 および地点 WA の水深の大きい地点で、潮流楕円が大きく、地点 WB、地点 W5、地点 W6 等の水深の浅い地点で、潮流楕円が小さい傾向でした。

これらの観測値の傾向が計算値で再現されているかについて検証した結果、計算値の潮流楕円の長軸の方向は全ての地点で観測値と概ね一致しており、沖合の観測点である地点 WA 以外で見られる等深線および海岸線に沿った方向の往復流を表現しています。一方、潮流楕円の大きさについては、地点 W4 の上層では、計算値の方が大きく、差異がみられますが、その他の地点では、潮流楕円の大きさの傾向を概ね表現している傾向でした。

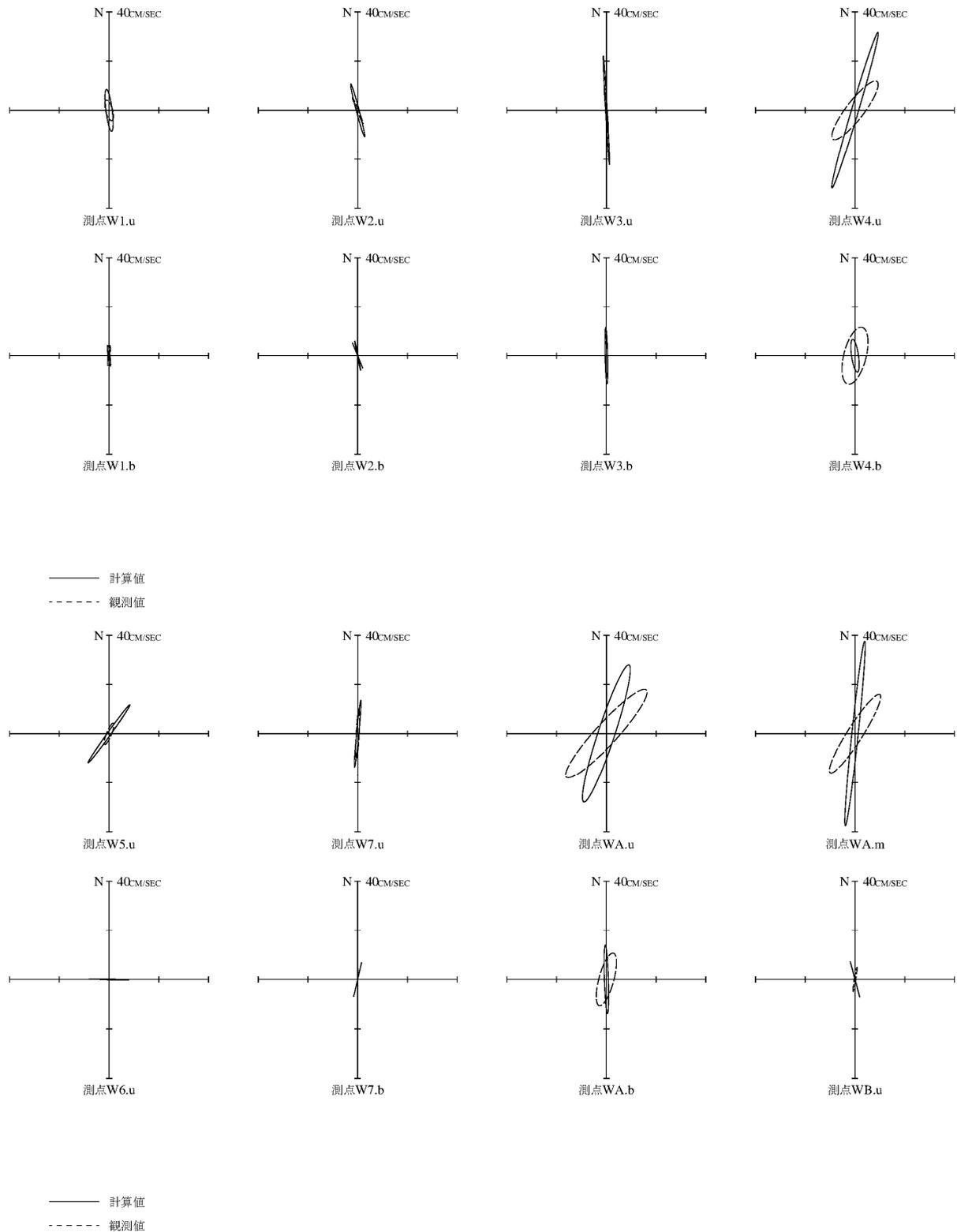
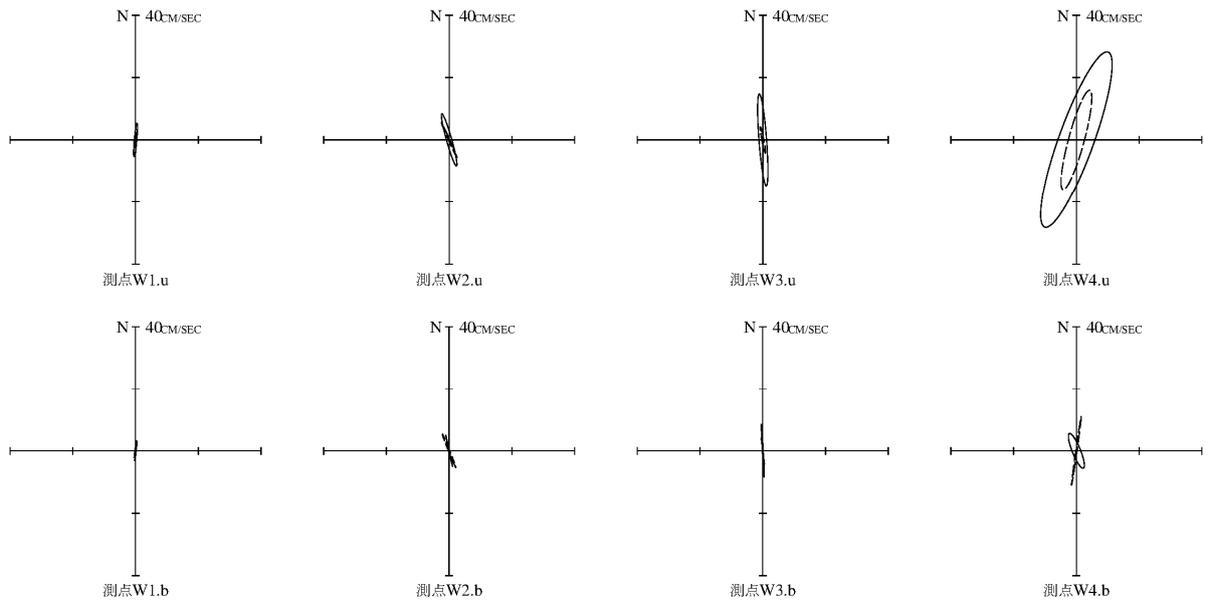
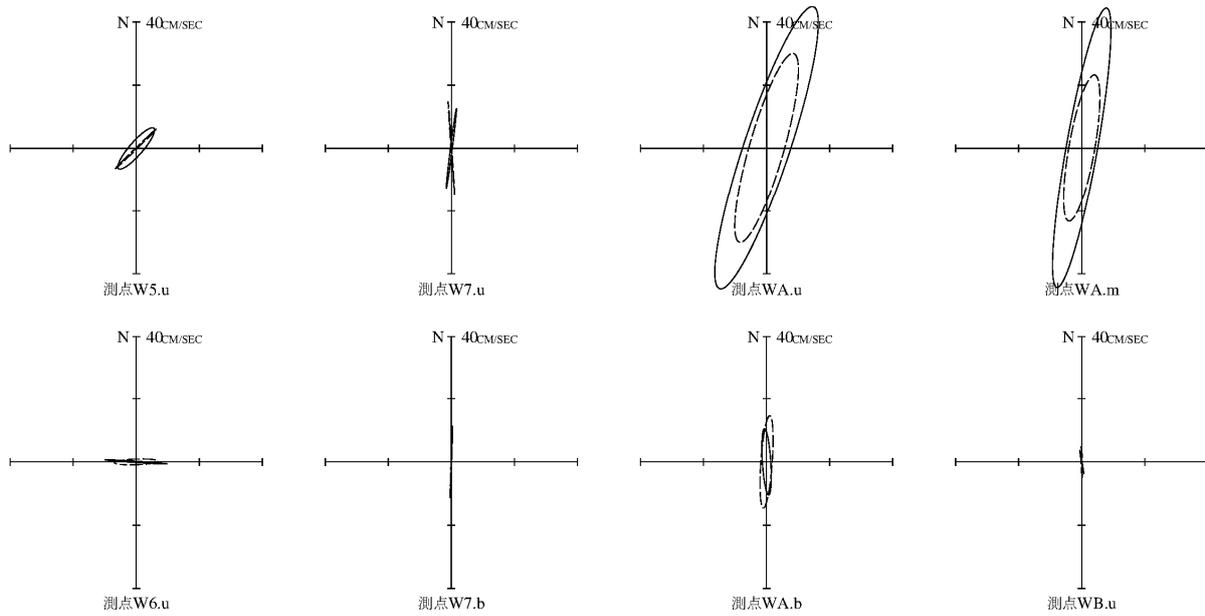


図-6.9.44 潮流楕円の比較 (調査結果及び計算結果、夏季)



—— 計算値  
 - - - 観測値



—— 計算値  
 - - - 観測値

注) u: 上層、m: 中層、b: 下層

図-6.9.45 潮流楕円の比較 (調査結果及び計算結果、冬季)

#### d) 恒流(平均流)の再現性

恒流(平均流)の再現性については、計算値と観測値の恒流(平均流)ベクトルの比較を行いました。計算値と観測値について、恒流(平均流)ベクトルの比較図を、夏季および冬季について、図-6.9.46および図-6.9.47に示しました。

観測値の恒流(平均流)は調和解析により得られた値で、この観測期間には風の影響(吹送流)や海流の影響(海浜流)、河川水の影響(密度流)が含まれます。一方、計算値の恒流(平均流)はそれぞれの条件を夏季と冬季で与えて計算し、一潮汐間の平均を求めたものです。

恒流(平均流)については、観測値で得られた流れのパターンについて、観測値と計算値の比較を行っています。

#### (ア) 夏季

観測値の恒流(平均流)をみると、島の西側の地点 W7 では北向きの流れが、東側の地点 W1 においても北向きの流れが見られ、同様に東岸においても、地点 W2、地点 W3、地点 W5、地点 WA および地点 WB では南向きの流れが形成されています。一方、地点 W4 では、北向きの流れが形成されていました。また、観測値の恒流(平均流)では、地点 W3 で最も大きい傾向でした。

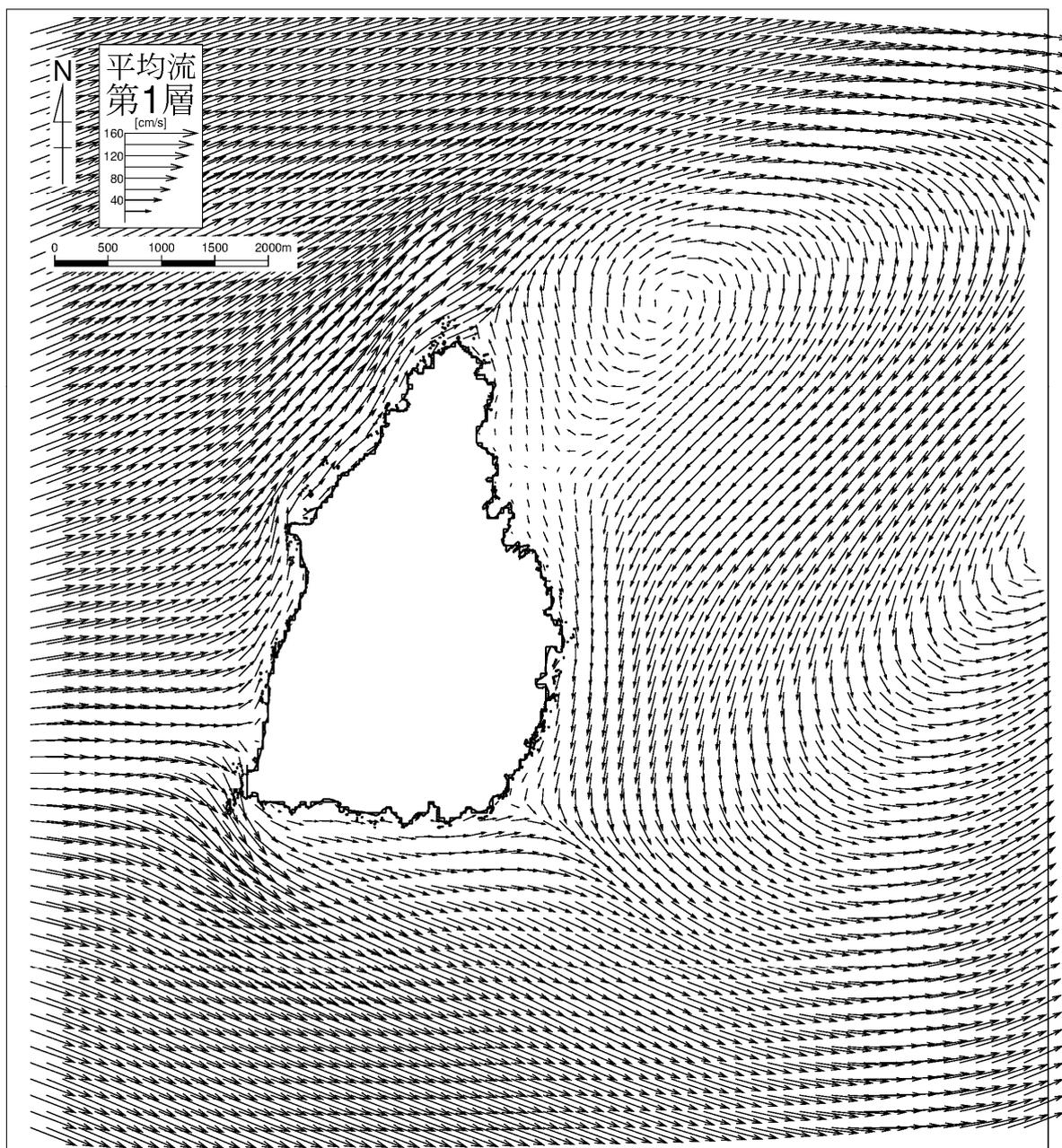
これらの観測値の傾向が計算値で再現されているかについて検証した結果、第2層の計算値で見ると、西側からの海流の影響により、島の西部で南北に分岐する流れが生じ、それらが島に沿って北東向きおよび東部に流れる特徴がみられ、地点 W7 および W6 の観測値の特徴が計算されていました。さらに島の北東部では、時計回りの渦が形成されており、地点 W1 では、その渦に伴う北向きの流れが、地点 W3、地点 W5、地点 WA および地点 WB では、南向きの流れが計算されていました。地点 W4 では流れの向きに差異がみられましたが、上記の観測値の傾向を概ね表現されていました。

#### (イ) 冬季

観測値の恒流(平均流)をみると、島の西側の地点 W7 では北向きの流れが、東側の地点 W1 においても北向きの流れが見られ、同様に東岸においても、地点 W2、地点 W3、地点 W5、地点 WA および地点 WB では南向きの流れが形成されています。一方、地点 W4 では、北向きの流れが形成されていました。また、観測値の恒流(平均流)では、地点 W3 で最も大きい傾向でした。

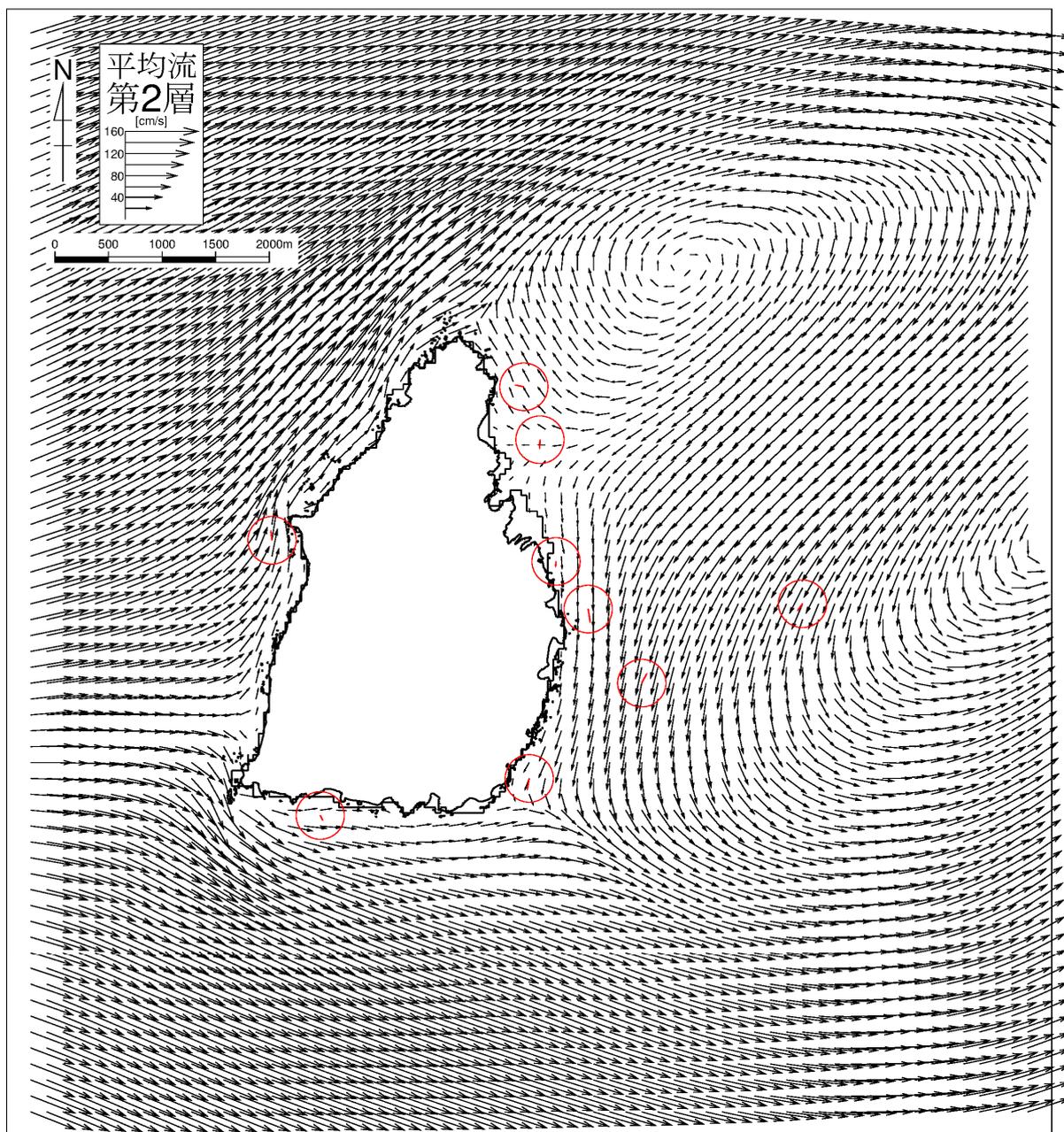
これらの観測値の傾向が計算値で再現されているかについて検証した結果、第2層の計算値で見ると、西側からの海流の影響により、島の西部で南北に分岐する流れが生じ、それらが島に沿って北東向きおよび東部に流れる特徴がみられ、地点 W7 および W6 の観測値の特徴が計算されていました。さらに島の北東部では、時計回

りの渦が形成されており、地点 W1 では、その渦に伴う北向きの流れが、地点 W3、地点 W5、地点 WA および地点 WB では、南向きの流れが計算されていました。地点 W4 では流れの向きに差異がみられましたが、上記の観測値の傾向を概ね表現されていました。



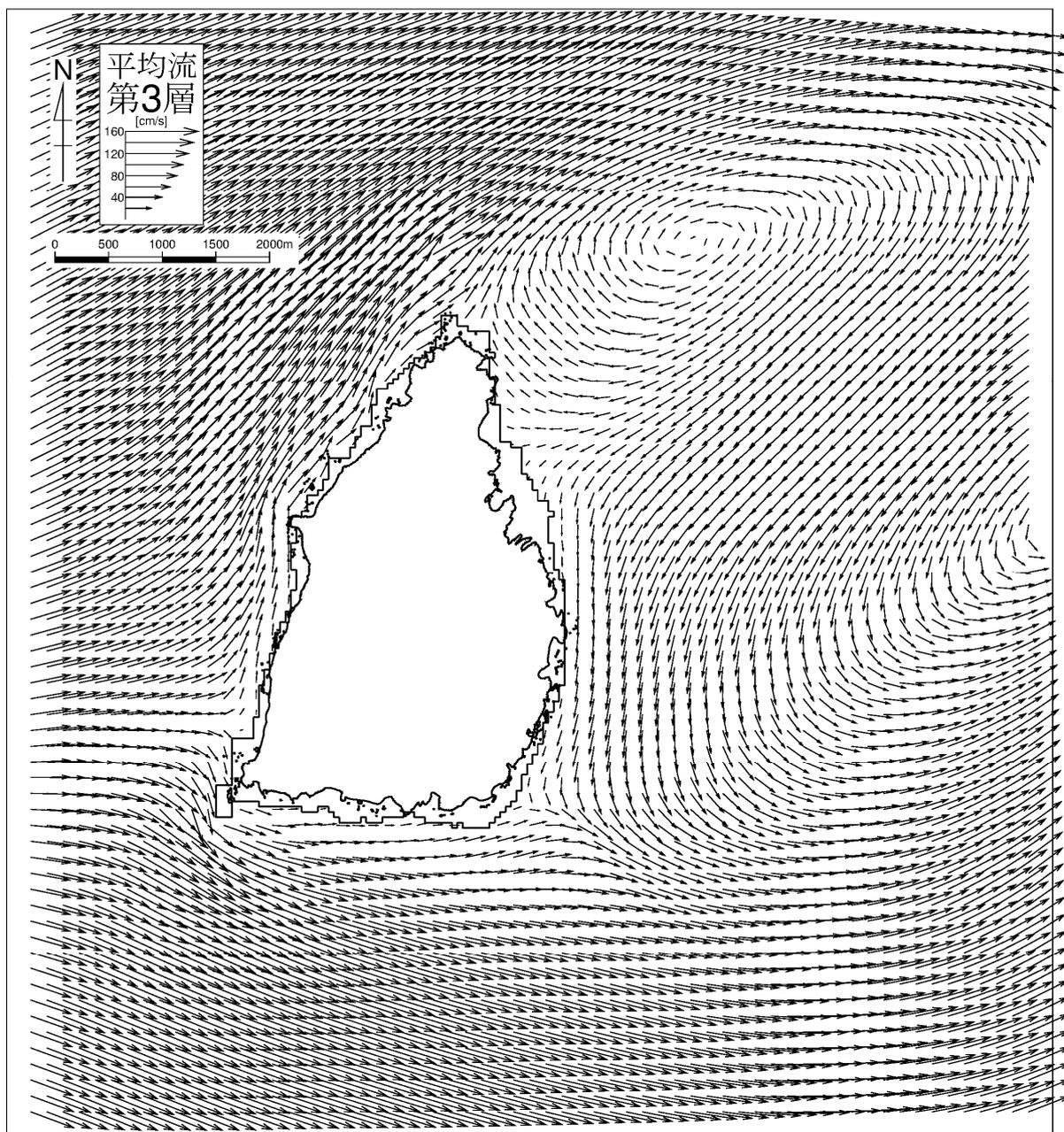
注) 50m 格子のベクトルは 150m 間隔に間引いて描画しています。

図-6.9.46 (1) 恒流 (平均流) の比較 (調査結果及び計算結果、夏季) 第1層 (0 ~2.0m)



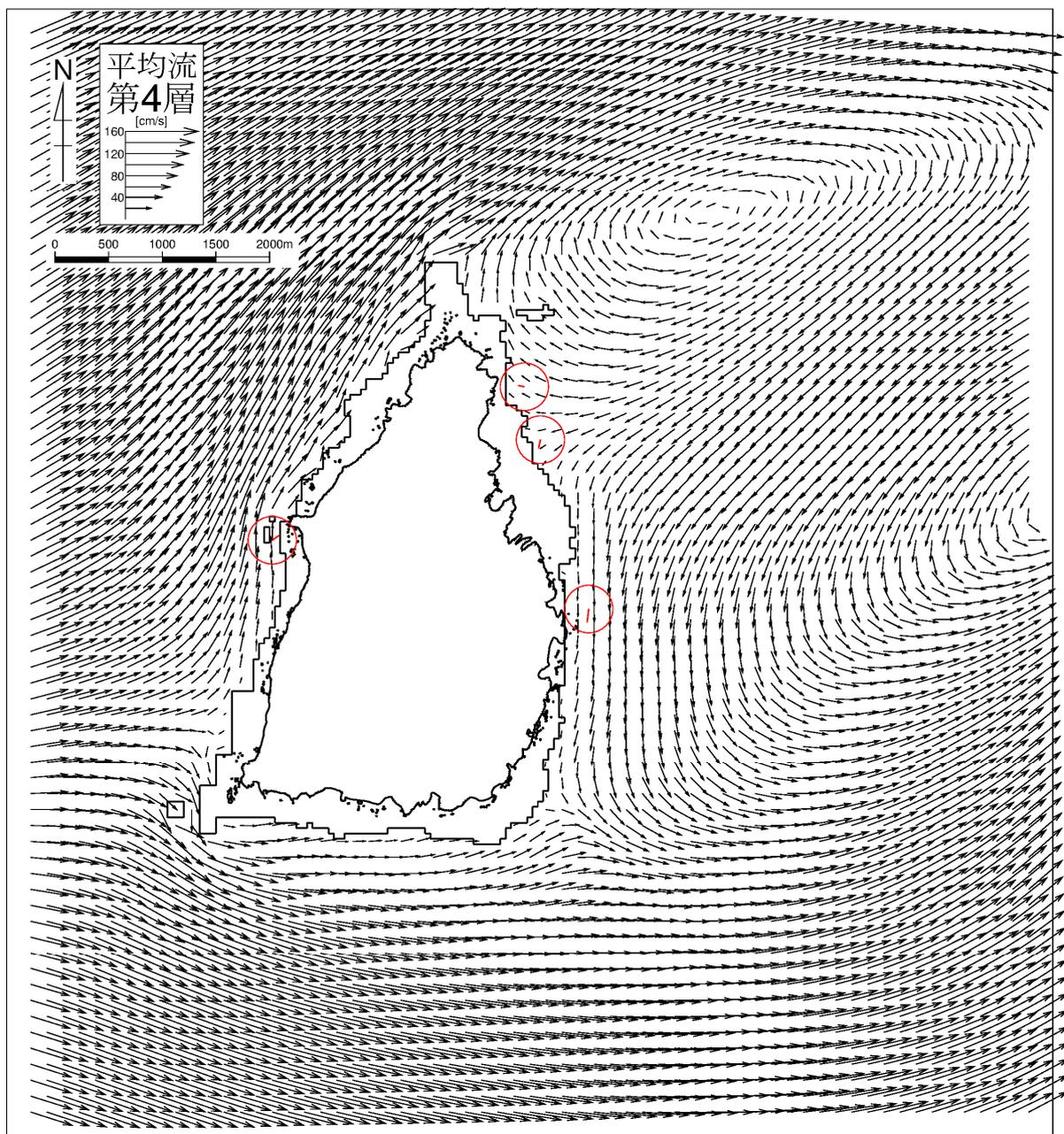
注) 50m 格子のベクトルは 150m 間隔に間引いて描画しています。赤矢印は、調査結果を描画しています。

図-6.9.46 (2) 恒流 (平均流) の比較 (調査結果及び計算結果、夏季) 第 2 層 (2.0 ~4.0m)



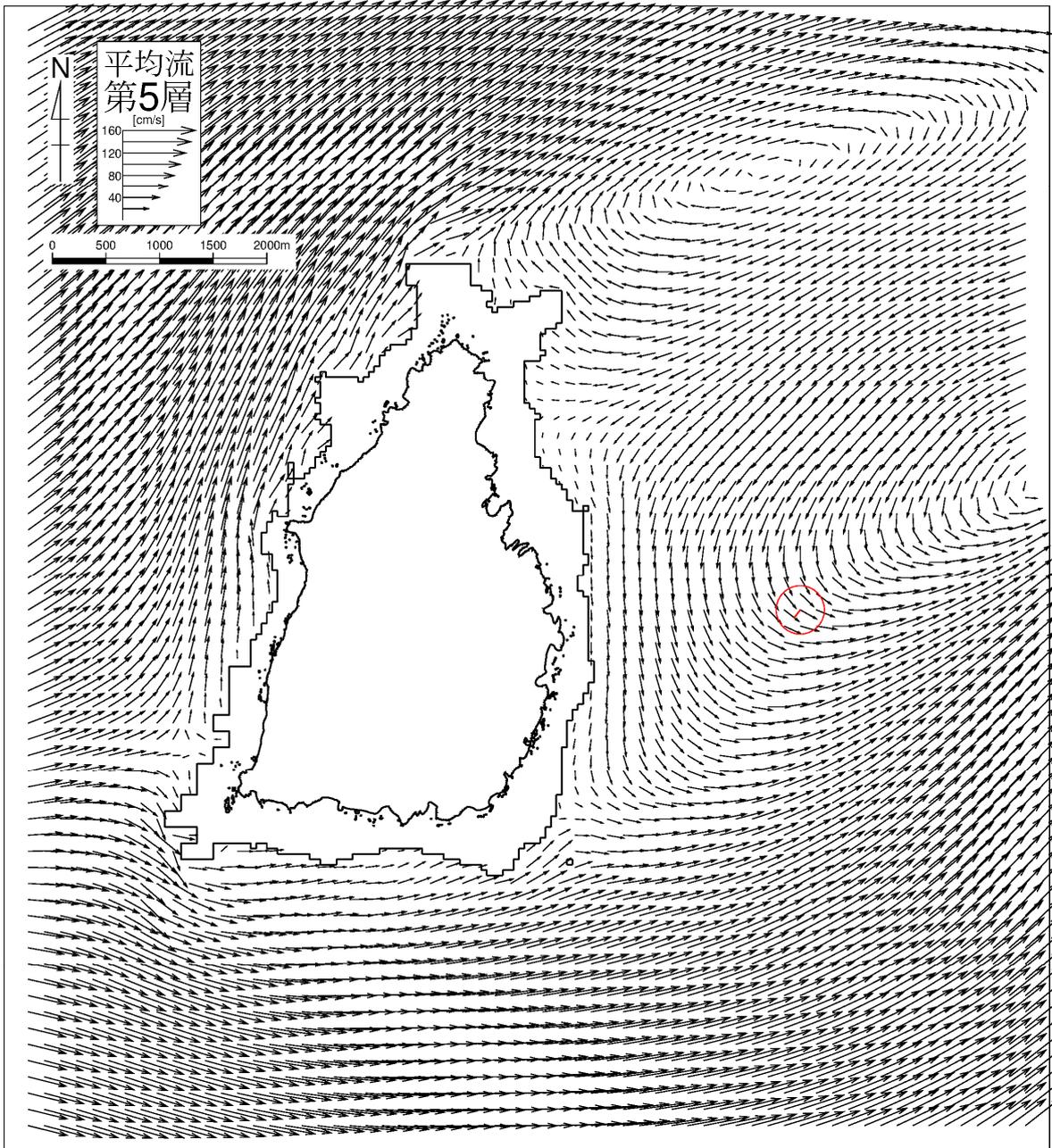
注) 50m 格子のベクトルは 150m 間隔に間引いて描画しています。

図-6.9.46 (3) 恒流 (平均流) の比較 (調査結果及び計算結果、夏季) 第3層 (4.0 ~7.0m)



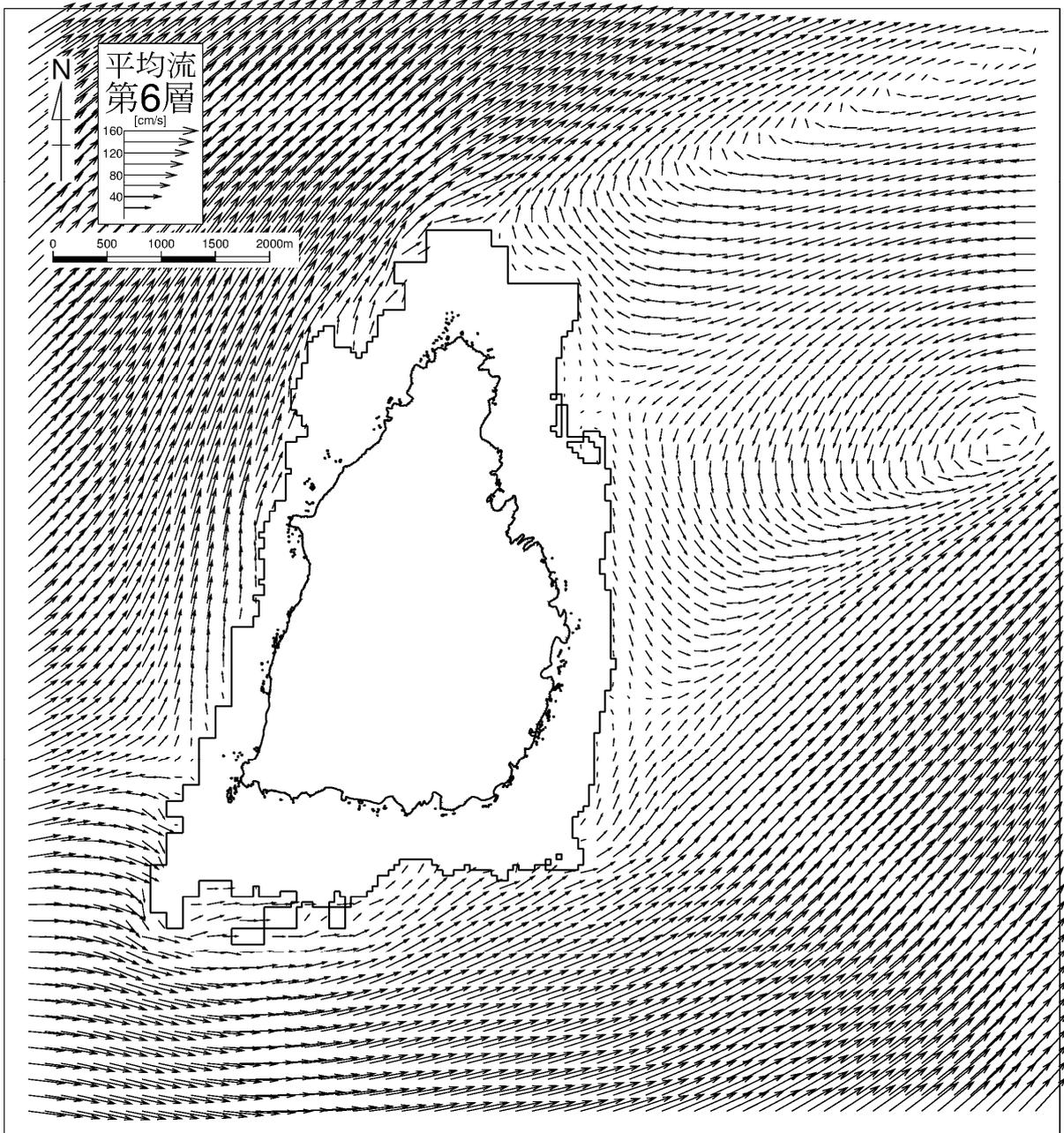
注) 50m 格子のベクトルは 150m 間隔に間引いて描画しています。赤矢印は、調査結果を描画しています。

図-6.9.46 (4) 恒流 (平均流) の比較 (調査結果及び計算結果、夏季) 第4層 (7.0 ~10.0m)



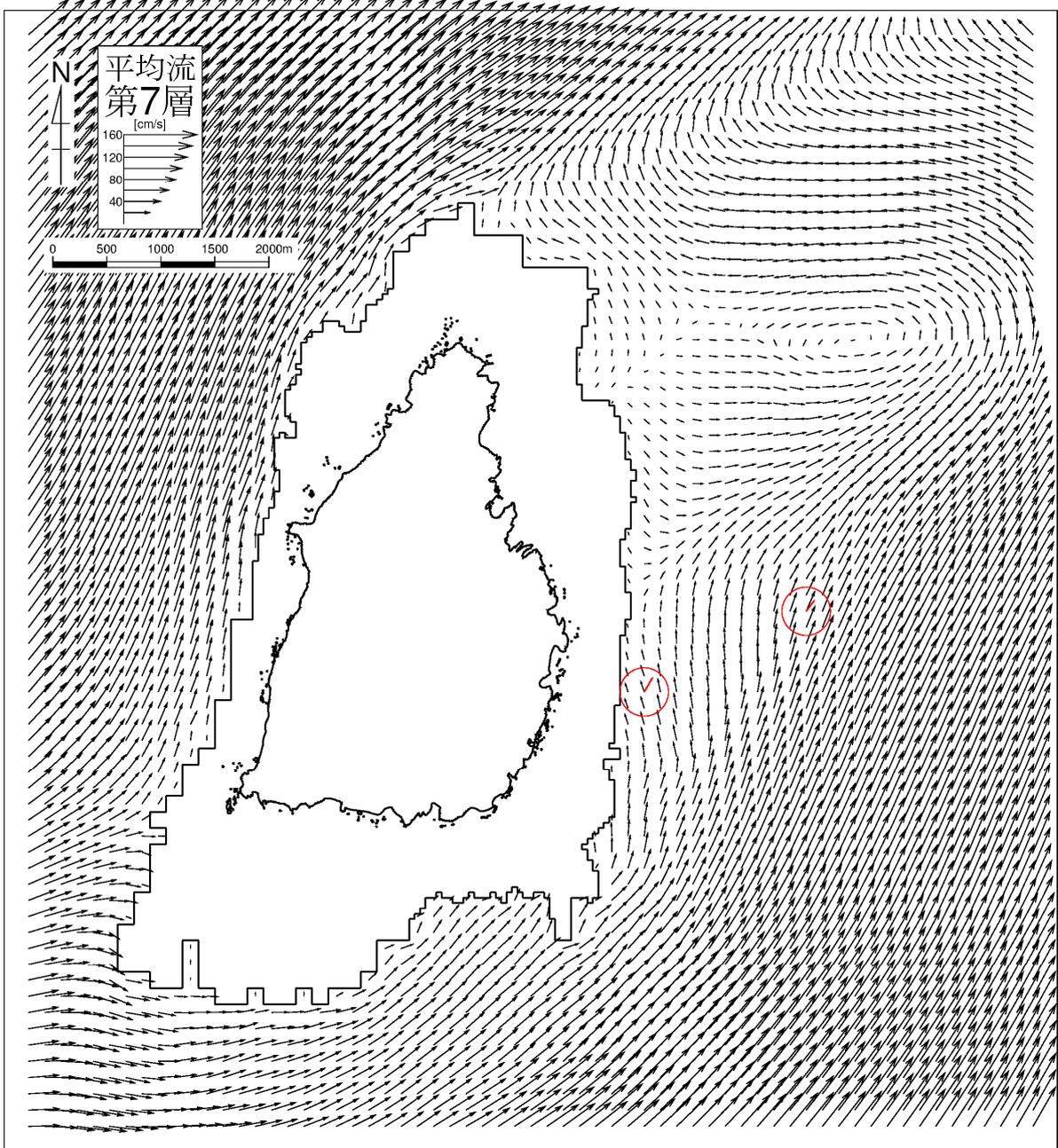
注) 50m 格子のベクトルは 150m 間隔に間引いて描画しています。赤矢印は、調査結果を描画しています。

図-6.9.46 (5) 恒流 (平均流) の比較 (調査結果及び計算結果、夏季) 第5層 (10.0 ~15.0m)



注) 50m 格子のベクトルは 150m 間隔に間引いて描画しています。

図-6.9.46 (6) 恒流 (平均流) の比較 (調査結果及び計算結果、夏季) 第6層 (15.0 ~20.0m)



注) 50m 格子のベクトルは 150m 間隔に間引いて描画しています。赤矢印は、調査結果を描画しています。

図-6.9.46 (7) 恒流 (平均流) の比較 (調査結果及び計算結果、夏季) 第7層 (20.0 ~30.0m)