

6. 数値モデルの作成

6.1 検討内容

スター埠頭整備事業の F/S で不足している環境社会配慮事項として、ポートビラ湾内の流れの現況把握および事業実施に伴う影響について定量的な評価があると考えられる。また、サンゴ礁生態系に対する影響を評価する環境要素として、シルト流入・拡散・堆積に係る定量的な予測・評価がある。さらに、海水交換の特性から長期的な変化も指摘されている。

そこで、流向流速実測調査結果を用いて流動モデルの再現性を検討した上で、港湾整備の地形条件を加味して海流への影響を予測した。また、工事時のシルト移流・拡散・堆積モデルにより、工事による濁りの拡散範囲と堆積範囲を予測した。

6.1.1 検討フロー

数値モデルによる検討は図 6.1.1-1 に示すフローで実施した。数値モデルによる検討に際しては、国内準備作業で現地調査結果が得られた段階で速やかに検証を行えるよう仮モデルを作成した。

数値モデルは、ポートビラ湾の海水循環を表現するとともに、スター埠頭整備による流れの変化を評価する「流動モデル」と、その流れの場におけるシルトの拡散・堆積及びサンゴ分布域への影響を評価する「シルト流入・拡散・堆積モデル」で構成する。

このモデルを構築することにより、スター埠頭整備事業による影響を定量的に予測することが可能となり、面的な海水交換の状況の把握や予測条件を変更することによる緩和策の定量的な評価などに活用できる。

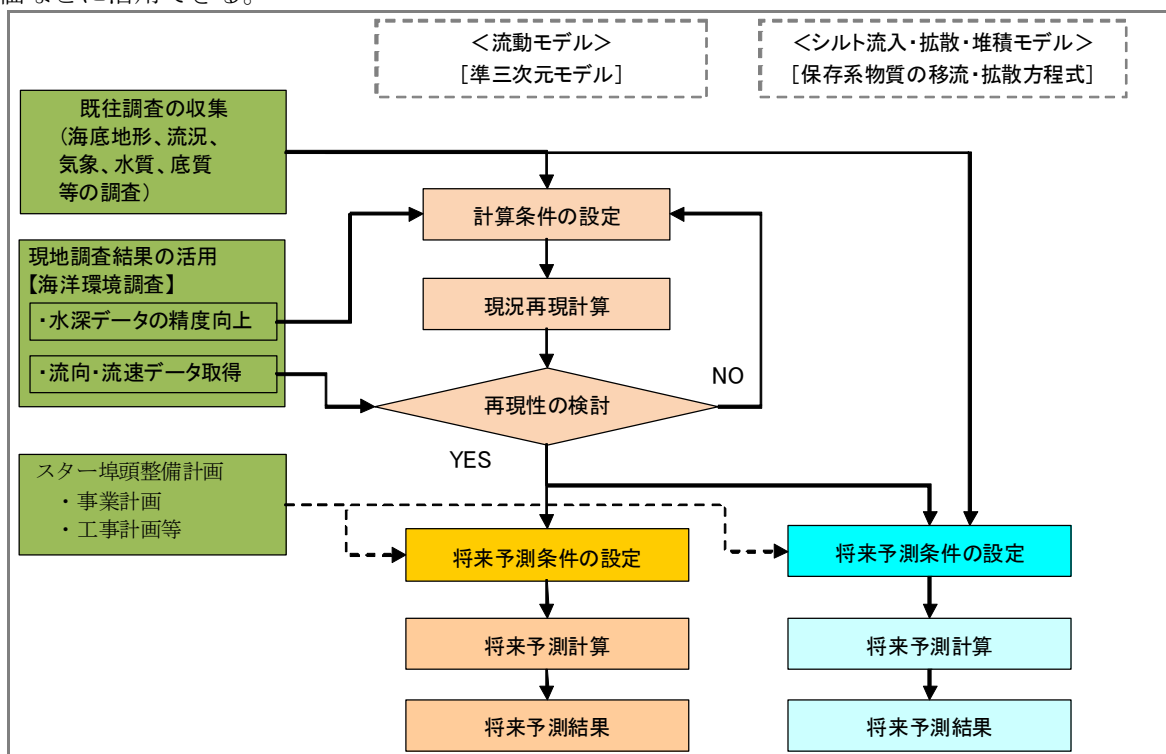


図 6.1.1-1 数値モデルの検討フロー

6.1.2 モデルの選定

(1) 流動モデル

流動モデルの基礎方程式は運動方程式、連続の式、水温・塩分の保存式、状態方程式等で記述されたモデルを選定した。本検討に必要な仕様を以下に示す。

- 3次元モデル（多層レベルモデル）

ポートビラ湾は複雑な地形であり、表層と底層の流れが異なる可能性が想定されるため、平面2次元モデルではなく、3次元モデル（多層レベルモデル）を適用した。

- ネスティング手法（段階的な格子間隔の高解像度化）

ポートビラ湾全体（南北 4km 弱、東西 2km 強）の海水循環を再現しながら、スター埠頭の埋立て（沖出し距離 10m 内外）の影響を評価するため、図 6.1.2-1 に示すように湾全体を粗い格子で表現し、スター埠頭周辺を 10m 程度の詳細格子で表現するネスティング手法を採用した。

(2) シルト流入・拡散・堆積モデル

保存系の移流・拡散方程式を基礎方程式とするモデルを選定し、流れによる移流・拡散過程に加えて、シルト粒子の重力沈降過程を考慮した。シルト粒子の沈降速度は、当該海域における底質の情報を基に、Stokes 式により設定した。

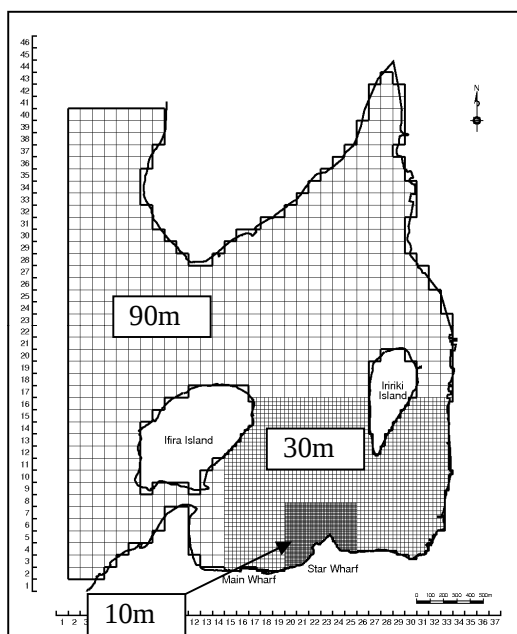


図 6.1.2-1 ポートビラ湾の計算格子の分割

6.1.3 モデルの作成

(1) 流動モデル

国内準備作業で作成した水深データについて、現地調査結果で把握した水深の情報を加え、ポートビラ湾の水深データを更新した。更新された水深データを入力条件として再現計算を実施し

た。

流動モデルについては、現地調査で把握した湾内の流れの特徴が再現されているかについて検証を行った。再現性の検証では、潮流（潮流楕円の比較）および平均流について行った。

(2) シルト流入・拡散・堆積モデル

現地での底質調査結果を基に、港湾整備に伴う工事によるシルトの負荷量の算定精度を向上し、再現性が確認された流動モデルの結果を用いて、シルト流入・拡散・堆積モデルを作成した。

(3) 計算結果の整理

数値モデルの計算結果の整理内容を以下に示す。

(a) 流向・流速変化範囲

事業実施による流向・流速への影響は、流速の変化域（増加域・減少域）の分布、流向の変化域（現況と将来の流速ベクトルの重ね描き）の分布について整理した。

(b) 湾内の海水交換の変化

ポートビラ湾は、ポートビラ湾、バツマル小湾、パレー小湾、ポンツーン小湾の4つのサブ領域に比較的明確に区分されており、事業実施によってそれぞれの湾の海水交換の変化について整理した。

(c) シルトの拡散濃度範囲

シルト粒子の流入に伴う濁りの拡散範囲について、最大の拡散範囲（包絡線）を整理した。

(d) 海底堆積厚

海底へのシルト粒子の沈降フラックスから海底への堆積量を把握し、堆積厚の分布を予測した。

6.2 流動モデル

6.2.1 モデルの概要

流動モデルは流体力学の基礎方程式（運動方程式、連続の式および水温・塩分の拡散方程式）を差分化することにより解く数値モデルとした。鉛直方向に多層とし、多層レベルモデルとした。多層レベルモデルの概念図および各変数（流速・水位）の定義点位置を図 6.2.1-1 に示す。気象条件（風、日射など）、外海潮汐などを外力条件として考慮することが可能であり、沿岸海域で通常みられる吹送流、密度流、潮汐流の各流れ成分を表現できるモデルである。

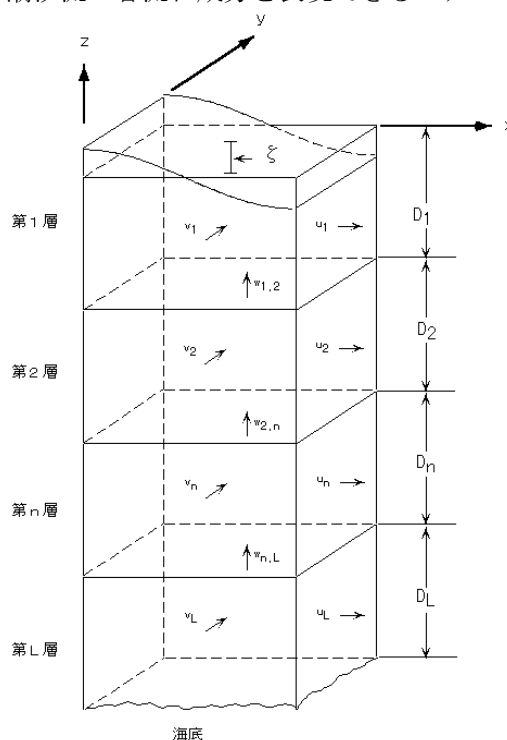


図 6.2.1-1 多層レベルモデルの概念および各変数の定義点位置

流動モデルの基本方程式は、以下に示す連続の式、運動方程式、水温・塩分の拡散方程式から構成される。

<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>

$$\begin{aligned}\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} - fv &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_M \frac{\partial u}{\partial z} \right) + F_x \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} + fu &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_M \frac{\partial v}{\partial z} \right) + F_y \\ \rho g &= -\frac{\partial p}{\partial z}\end{aligned}$$

<水温・塩分の拡散方程式>

$$\begin{aligned}\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} &= \frac{\partial}{\partial z} \left(K_H \frac{\partial T}{\partial z} \right) + F_T \\ \frac{\partial S}{\partial t} + u \frac{\partial S}{\partial x} + v \frac{\partial S}{\partial y} + w \frac{\partial S}{\partial z} &= \frac{\partial}{\partial z} \left(K_H \frac{\partial S}{\partial z} \right) + F_S\end{aligned}$$

運動方程式の右辺の 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、以下の式で表される。

$$\begin{aligned}F_x &= \frac{\partial}{\partial x} \left[A_M \frac{\partial u}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[A_M \frac{\partial u}{\partial y} \right] & F_y &= \frac{\partial}{\partial y} \left[A_M \frac{\partial v}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[A_M \frac{\partial v}{\partial x} \right] \\ F_{T,S} &= \frac{\partial}{\partial x} \left[A_H \frac{\partial(T,S)}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[A_H \frac{\partial(T,S)}{\partial y} \right]\end{aligned}$$

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
ρ	: 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

海表面における境界条件は次式で定義される。

$$\begin{aligned}\rho K_M \left(\frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial v}{\partial z} \right) &= (\tau_{sx}, \tau_{sy}) & \rho K_H \left(\frac{\partial T}{\partial z}, \frac{\partial S}{\partial z} \right) &= (Q_{suf} / C_v, 0) \\ w &= \frac{\partial \eta}{\partial t} + u \frac{\partial \eta}{\partial x} + v \frac{\partial \eta}{\partial y}\end{aligned}$$

Q_{suf}	: 海表面を通じての熱量
C_v	: 比熱
w	: 鉛直流速
η	: 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る。

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

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

C_a : 海面摩擦係数

ρ_a : 大気密度

W_x, W_y : X, Y 方向の風速

τ_{sx}, τ_{sy} : X, Y 方向の風応力

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、海面と大気との熱フラックスとして表現した。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る。

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

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

海底面における境界条件は次式で定義される。

$$\rho K_M \left(\frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial v}{\partial z} \right) = (\tau_{bx}, \tau_{by}) \quad \rho K_H \left(\frac{\partial T}{\partial z}, \frac{\partial S}{\partial z} \right) = (0, 0)$$

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

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

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

$\vec{V}_b$: 海底での水平流速ベクトル

$\vec{\tau}_b$: 底面応力

C_D : 海底摩擦係数

6.2.1 計算条件

(1) 計算範囲と格子分割

ポートビラ湾全体（南北 4km 弱、東西 2km 強）の海水循環を再現しながら、スター埠頭の埋立て（沖出し距離 10m 内外）の影響を評価するため、図 6.2.1-1 に示すように湾全体を粗い格子で表現し、スター埠頭周辺を 10m 程度の詳細格子で表現するネスティング手法を採用した。

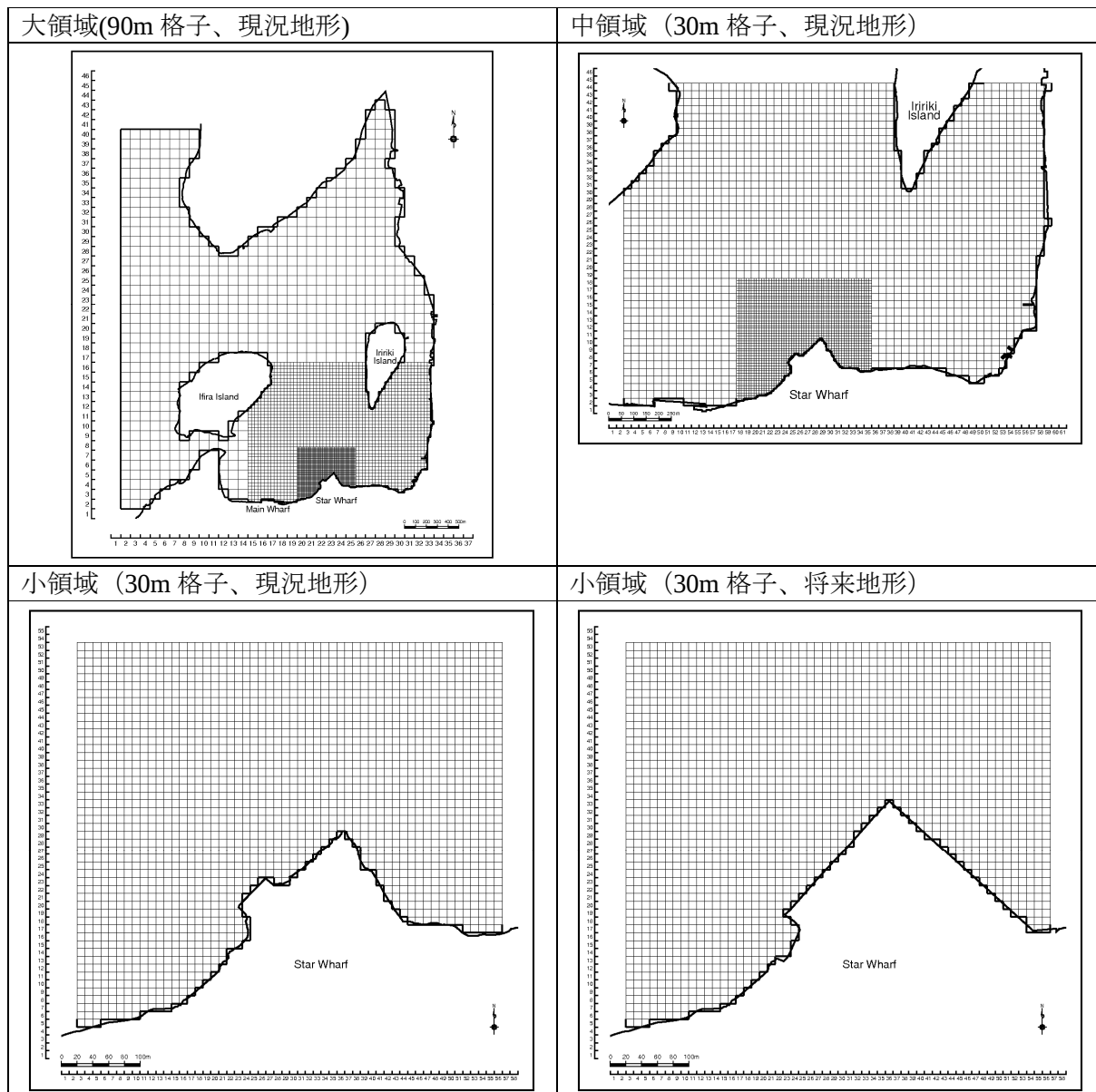


図 6.2.1-1 計算範囲と計算格子

(2) 海底地形

海底地形データは、海図および現地調査で実施した測深調査結果を基に、各計算範囲の水深データを作成し、その結果を図 6.2.1-2 に示す。

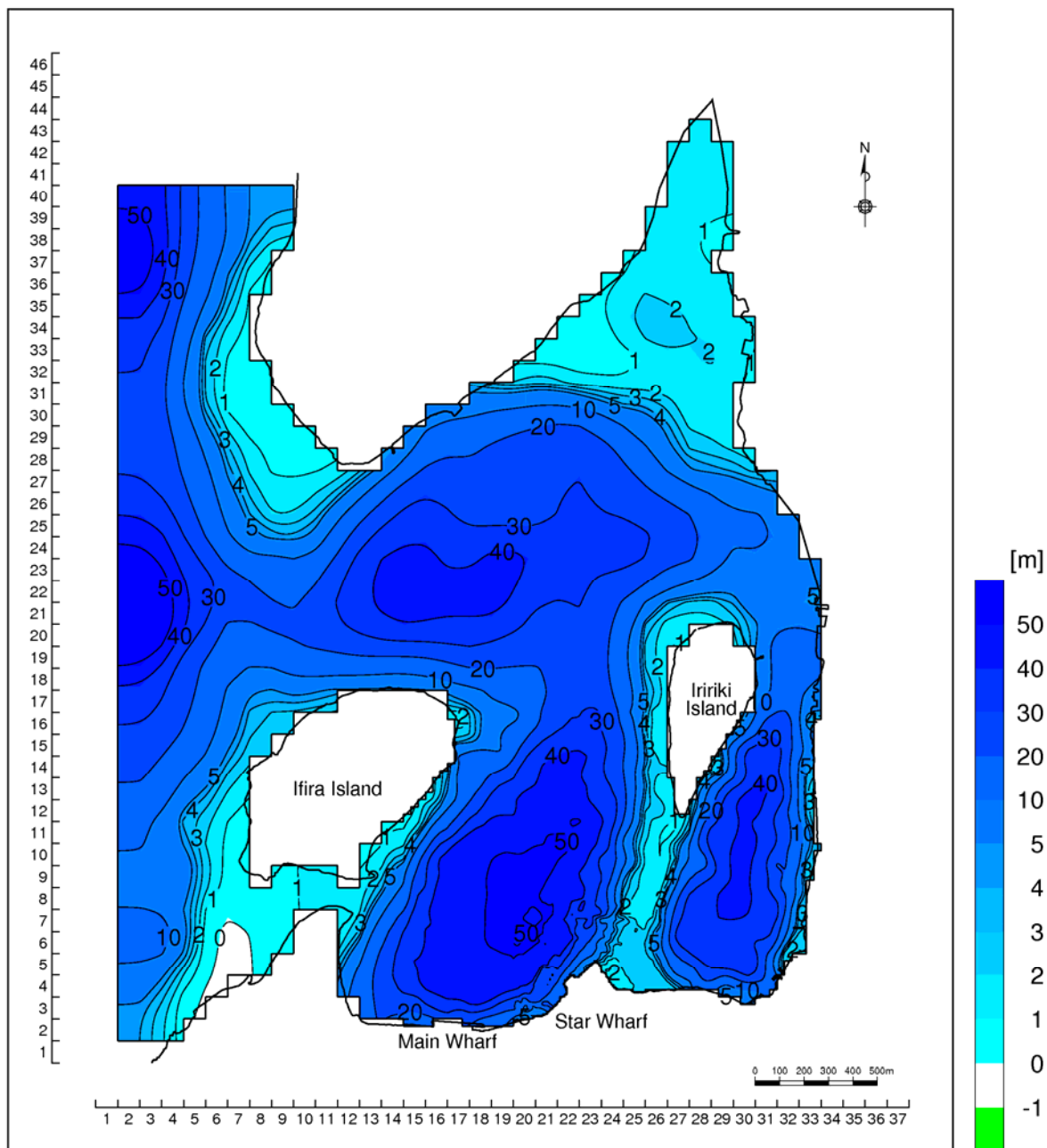


図 6.2.1-2(1) 計算範囲の水深（90m 格子、現況、基準面：平均水面）

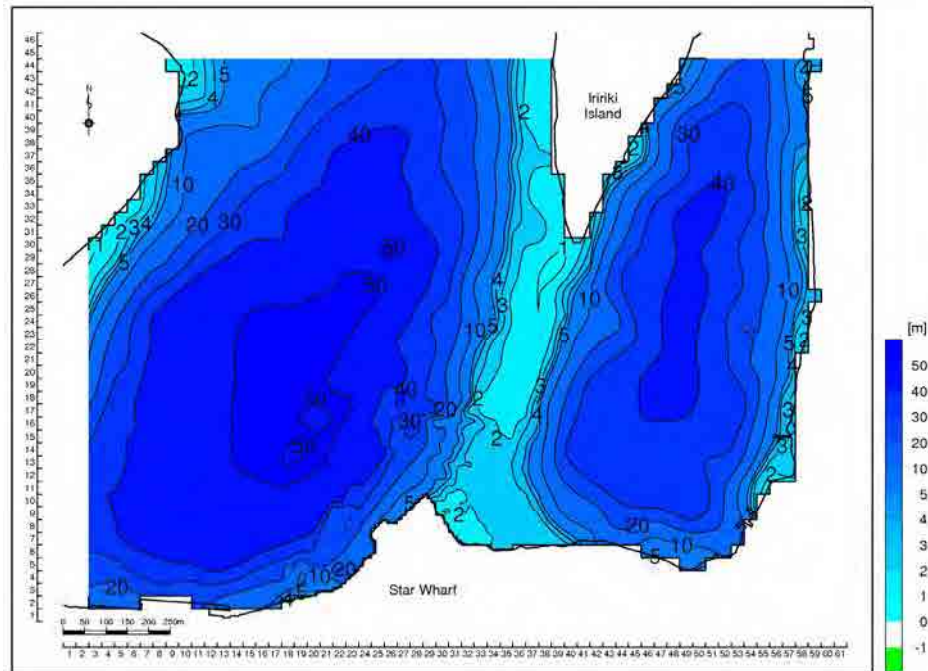


図 6.2.1-2(2) 計算範囲の水深（30m 格子、現況、基準面：平均水面）

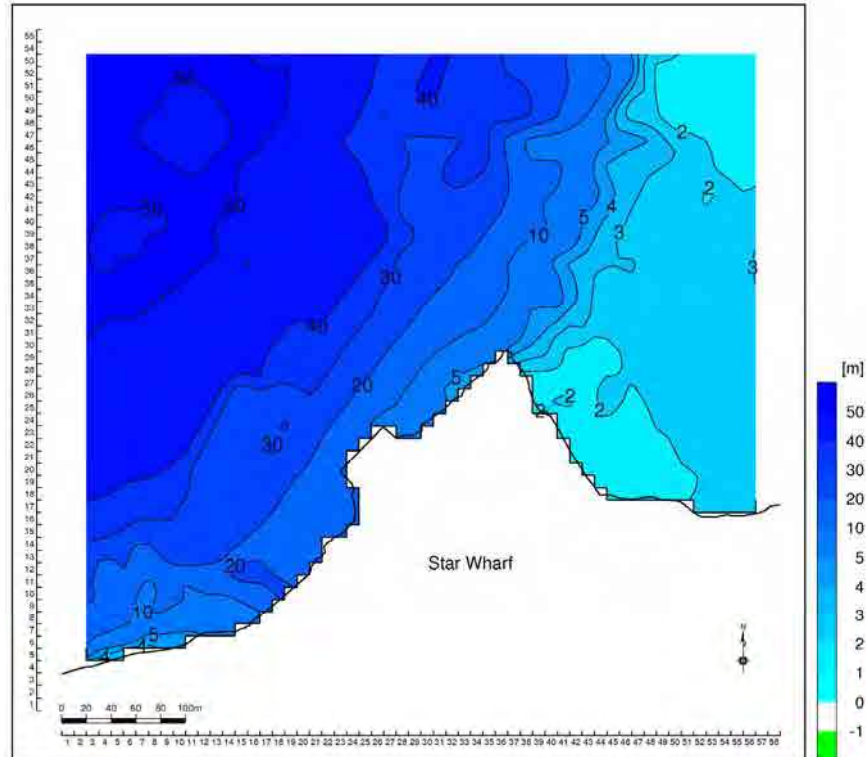


図 6.2.1-2(3) 計算範囲の水深（10m 格子、現況、基準面：平均水面）

(3) 鉛直層分割

鉛直方向には4層に分割した。リーフが存在する5m以浅の層厚を小さく設定し、鉛直第1層は海表面から水深2m、第2層は水深2～5mとした。第3層は水深5～10m、第4層は10m以深とした。各層の水深区分を表6.2.1-1に示す。

表 6.2.1-1 鉛直層分割

計算層	水深区分
第1層	0～2m
第2層	2～5m
第3層	5～10m
第4層	10m以深

(4) 境界条件

(a) 潮位

ポートビラ湾の潮汐観測は、オーストラリアの気象局が実施している。気象局より提供されたデータより主要4分潮の潮汐調和定数を表6.2.1-2に示す。この結果より、ポートビラ湾の潮汐による流れは、半日周期のM₂分潮が卓越していることがわかる。

そこで、計算に用いる境界条件は、図6.2.1-3に示す開境界において、卓越しているM₂分潮の潮汐による水位変動を周期12時間に近似して設定した。その設定値を表6.2.1-3に示す。

表 6.2.1-2 ポートビラ湾の主要4分潮の潮汐調和定数

分潮	振幅(cm)	遅角(°)
K ₁	16.29	205.5
O ₁	8.36	171.7
M ₂	36.51	164.1
S ₂	10.84	183.1

表 6.2.1-3 開境界に設定した潮汐による水位変動のパラメータ

地点	振幅(cm)	遅角(°)
A	36.51	0.5
B	36.51	0.0
C	36.51	0.0

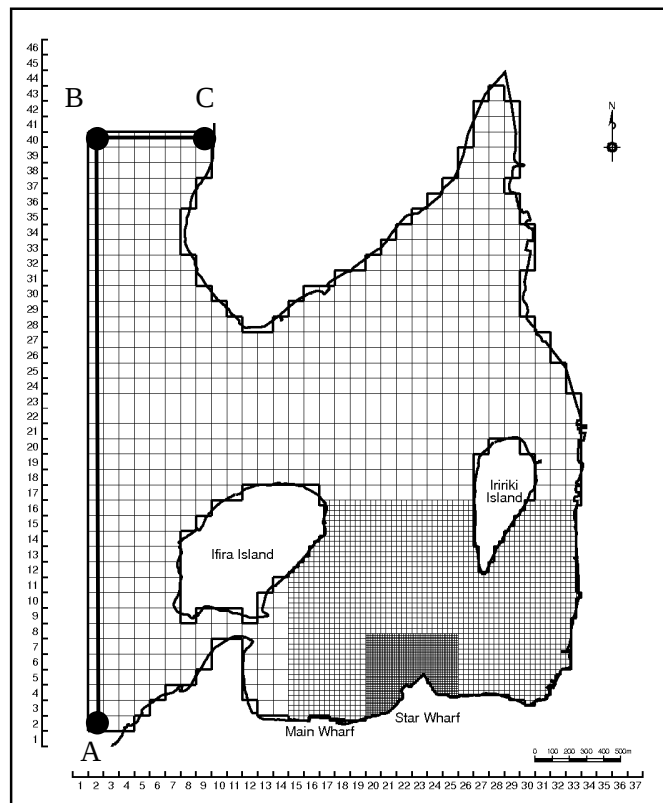


図 6.2.1-3 開境界の設定位置

(b) 水温・塩分

開境界の各層の水温・塩分は、現地調査で実施した流況調査の際に、湾口の St.C1 において測定した水温と塩分の鉛直測定結果を基に表 6.2.1-4 に示す値を設定した。

表 6.2.1-4 水温・塩分の境界値

層区分	水温()	塩分(PSU)
第1層(0～2m)	26.8	34.7
第2層(2～5m)	26.7	34.8
第3層(5～10m)	26.7	34.8
第4層(10m 以深)	26.6	34.9

※第1回～第3回の流況調査時の水温・塩分の鉛直測定結果の平均値より設定した。

(5) 初期条件

初期水位は満潮時とし、全層・全域にわたり流速 0cm/s とした。また、水温・塩分は表 6.2.1-4 の値を設定した。

(6) 積分期間

積分期間は 6 日(144 時間)とし、解析には最後の 12 時間を用いた。

(7) 気象条件

ポートビラ湾における気象については、バヌアツ国気象局およびオーストラリア国気象局による観測が行われている。これらの気象データを収集し、吹送流や大気と海面の間の熱収支を解く際に必要な項目（風、気温、相対湿度、雲量、全天日射量）を設定した。

風については、オーストラリア国気象局より 2008～2010 年の毎時のデータを収集した。2008～2010 年の風配図を図 6.2.1-4 に示す。この結果をみると、ポートビラの風は年間を通じて北東風の出現が卓越していることがわかる。したがって、計算に考慮する風は、卓越している北東風とし、風速は 2008～2010 年の 10 月における平均値とした。

バヌアツ国気象局より収集したデータは、表 6.2.1-6 に示すように 2008～2010 年の気温、雲量、相対湿度であり、計算条件は 2008～2010 年の 10 月における平均値とした。なお、計算に必要な全天日射量は、次式により求めた。

雲がない時の全天日射量 H_{MX} (MJ/m²/日)は、ポートビラ港の緯度=-17.75°、対象日を 10 月 15 日とすると、次式により $H_{MX}=30.8$ (MJ/m²/日)と求められる。

$$H_{MX} = 30.0 E_0 [\omega T_{SR} \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \sin (\omega T_{SR})]$$

$$E_0 = \left(\frac{r_0}{r} \right)^2 = 1 + 0.033 \cos [2\pi d_n / 365]$$

$$\delta = \sin^{-1} \left\{ 0.4 \sin \left[\frac{2\pi}{365} (d_n - 82) \right] \right\}$$

E_0 : 地球軌道の離心率修正係数

ϕ : 対象点の緯度

r_0 : 地球-太陽間平均距離

r : 現在季節の地球-太陽間距離

d_n : 1-365 の値をとるジュリアンデイ

ω : 地球自転の角速度 (15 deg/ hour)

T_{SR} : ローカル時刻で表した日の出時刻、春分の日 $T_{SR}=6$ 時である

δ : 太陽偏角

次に雲があつて、地表に到達する日射量が抑制される場合の推定式として次式を用いた。

$$S_d = H_{MX} \times y$$

$$y = 1.70 \log_{10} (1.22 - 1.02x) + 0.521x + 0.846$$

$$x = n - \alpha \exp(-3n_L)$$

ここで、 n は 0～1 の雲量であり、 $\alpha=0.4$ 程度であり、 n_L は下層雲の平均雲量である。気象統計により、雲量は $n=0.5$ 、 n_L については不明であるため、 n と同様に 0.5 であると仮定すると、 $y=0.9$ 程度となり、 $H_{MX}=27.7$ (MJ/m²/日)と求められる。

以上の結果、計算に用いた気象条件を表 6.2.1-5 にまとめた。

表 6.2.1-5 気象条件

項 目		設定値
風	風向	北東（45°）
	風速	2.6(m/s)
気温		25.1()
相対湿度		82.3(%)
雲量		5.7
全天日射量		27.7(MJ/m ² /日)

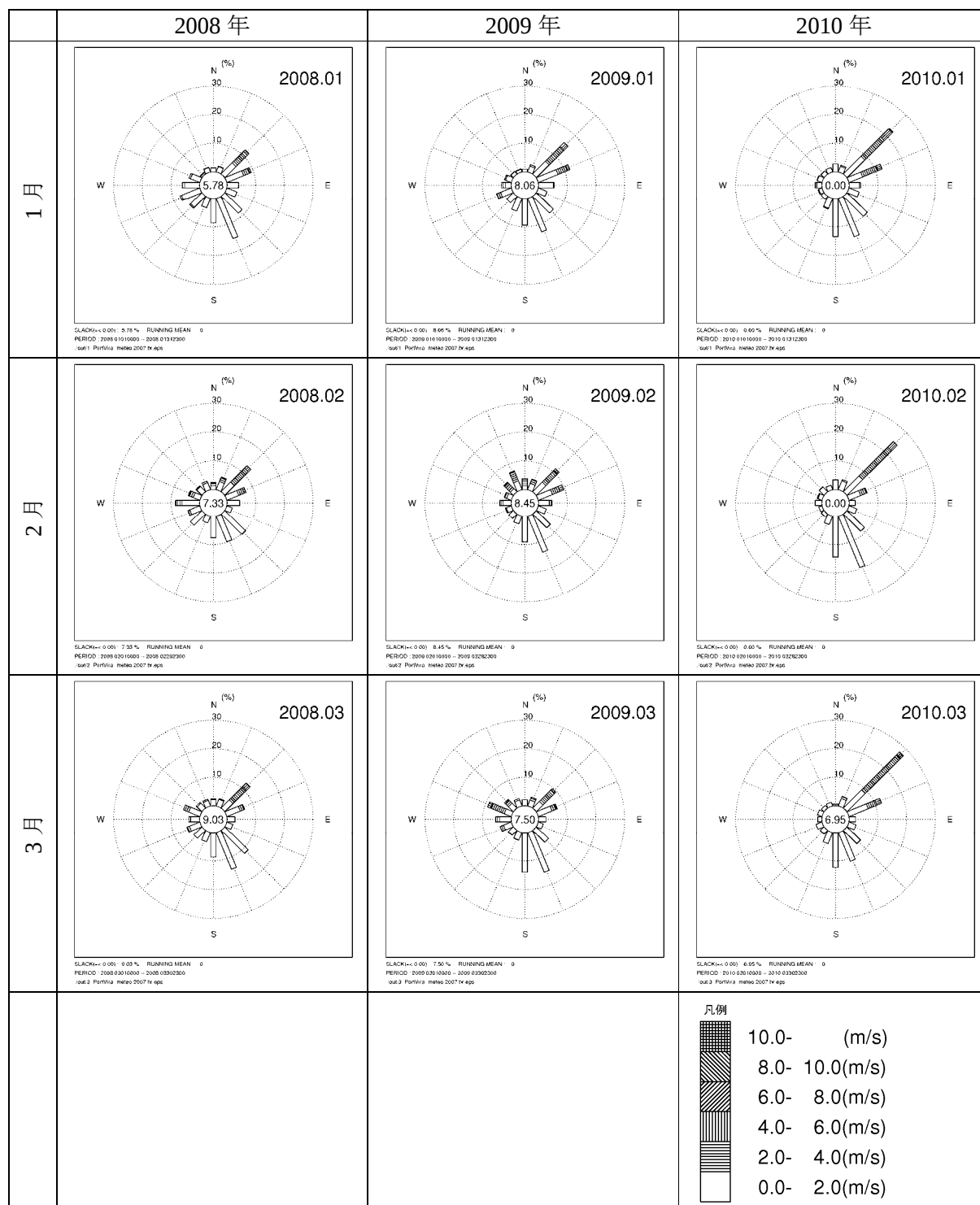


図 6.2.1-4(1) 風配図 (ポートビラ、1 月～3 月)

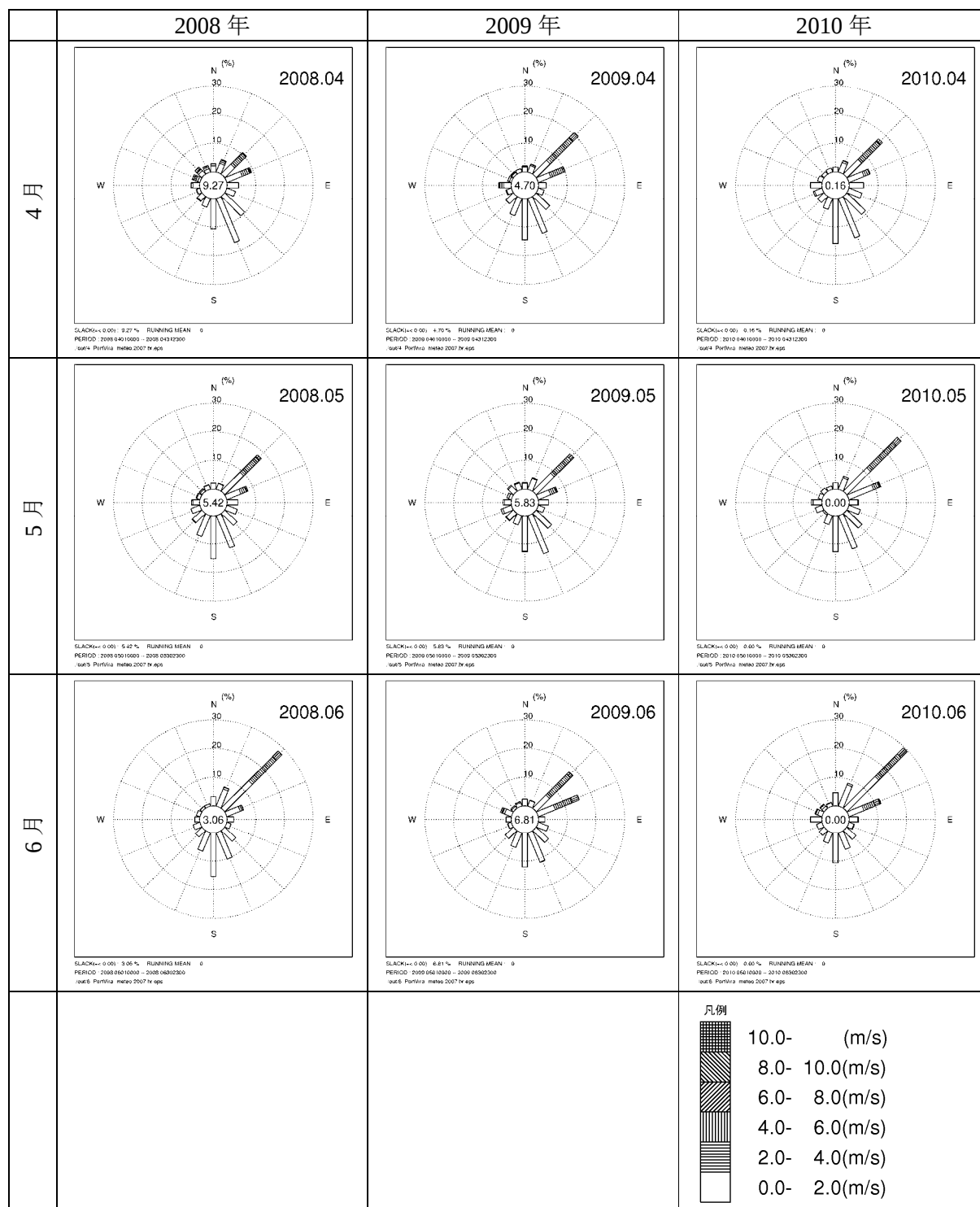


図 6.2.1-4(2) 風配図 (ポートビラ、4 月～6 月)

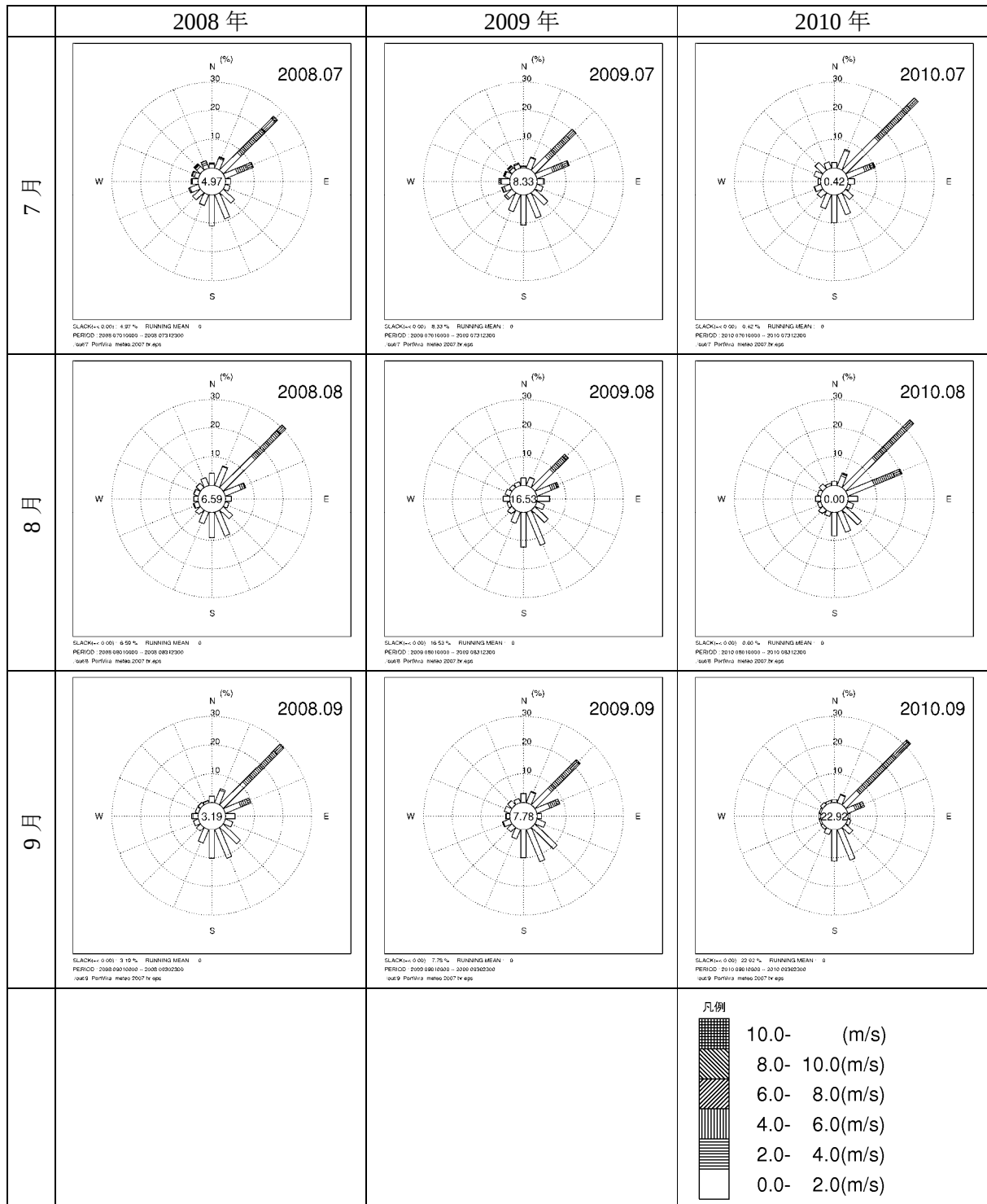


図 6.2.1-4(3) 風配図 (ポートビラ、7月～9月)

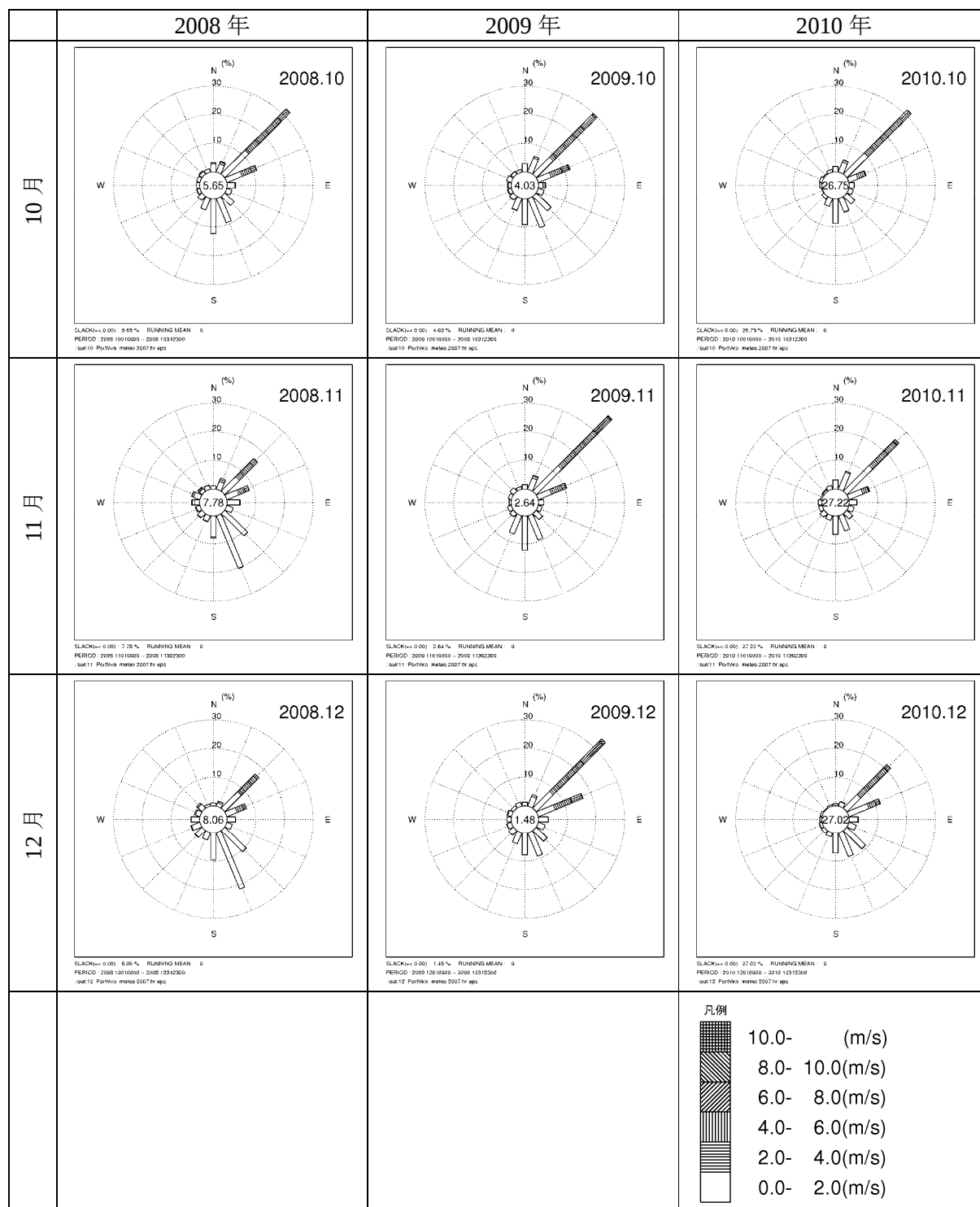


図 6.2.1-4(4) 風配図 (ポートビラ、10 月～12 月)

表 6.2.1-6(1) 気象データ（気温）

年	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
2008	26.6	26.2	25.5	24.2	23.9	23.3	22.6	23.3	25.9	26.2	27.0	26.6
2009	26.9	27.2	27.0	25.9	23.5	23.4	23.0	21.7	22.9	23.9	25.0	23.5
2010	26.9	26.8	26.6	24.7	25.1	25.2	22.9	23.8	24.8	25.1	23.6	26.3

表 6.2.1-6(2) 気象データ（雲量）

年	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
2008	5	5	6	6	5	6	6	6	5	6	4	5
2009	4	6	6	5	5	5	5	5	4	5	6	6
2010	6	5	6	5	6	7	5	5	4	6	5	5

表 6.2.1-6(3) 気象データ（相対湿度）

年	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
2008	86	86	87	88	84	—	83	86	83	85	85	84
2009	86	86	87	87	83	86	83	84	82	79	81	81
2010	83	83	87	87	89	88	82	87	82	83	84	86

(8) 計算パラメータ

その他、流れの計算に使用したパラメータ等を表 6.2.1-7 に示す。

表 6.2.1-7(1) 流動計算に使用したパラメータ

項 目	設定値
タイムステップ	$\Delta t < \frac{\Delta s}{\sqrt{2 \cdot g \cdot h_{\max}}}$ Δs : 格子間隔(m) g : 重力加速度(m/s ²) $h_{\max}$: 計算領域内の最大水深(m) 計算安定条件は上式で得られ、計算の安定性を考慮して、90m 格子では 0.9 秒、30m 格子では 0.3 秒、10m 格子では 0.1 秒とした。
海面摩擦係数	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、風速の 2 乗に比例する次式で表される。 $\tau_a = C_a \cdot \rho_a \cdot W^2$ τ_a : 海面摩擦項(g/cm/s ²) ρ_a : 大気密度(g/cm ³) C_a : 海面摩擦係数(=0.0013) W : 風速ベクトル(m/s)
海底摩擦係数	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海底摩擦係数(C_D)を算出した $C_D = \left[\frac{1}{\kappa} \ln \frac{h + z_b}{z_0} \right]^{-2}$ h : 水深 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) κ : カルマン定数 (=0.4)

表 6.2.1-7(2) 流動計算に使用したパラメータ

項 目	設定値
水平渦動粘性係数(A_M) 水平渦拡散係数(A_H)	Smagorinsky(1963) ¹ による経験式を用いた。 この経験式の中で用いられる比例係数 $C_{M,H}$ は 0.1、バックグラウンド値 $A_{MB,HB}$ は $10^4 \text{ cm}^2/\text{s}$ とした。 $A_{M,H} = C_{M,H} (\Delta x \times \Delta y) \left[\frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right]^{1/2} + A_{MB,HB}$
鉛直渦動粘性係数(K_M) 鉛直渦拡散係数(K_H)	Pacanowski and Philander(1981) ² による成層化関数を用いた。設定値の最小値は $1.0(\text{cm}^2/\text{s})$ 、最大値は $50.0(\text{cm}^2/\text{s})$ とした。 $K_M = \frac{K_{M0}}{(1 + \alpha R_i)^n} + K_{MB}$ $K_H = \frac{K_M}{(1 + \alpha R_i)^n} + K_{HB}$ $R_i = \frac{-\frac{g}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial z} \right)}{\left(\frac{\partial U}{\partial z} \right)^2}$ K_{MB} : バックグラウンドの鉛直渦動粘性係数(=1.0 cm^2/s) K_{HB} : バックグラウンドの鉛直渦拡散係数(=1.0 cm^2/s) K_{M0} : パラメータ (=50.0 cm^2/s) α : 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(cm/s)
コリオリパラメータ	コリオリパラメータ $f(1/\text{s})$ は地球自転の影響によって運動する物体に働く見かけの力を表し、 $f=2\omega \sin \varphi$ で表される。 ω : 地球自転の角速度 φ : 緯度 (= -17.76°)

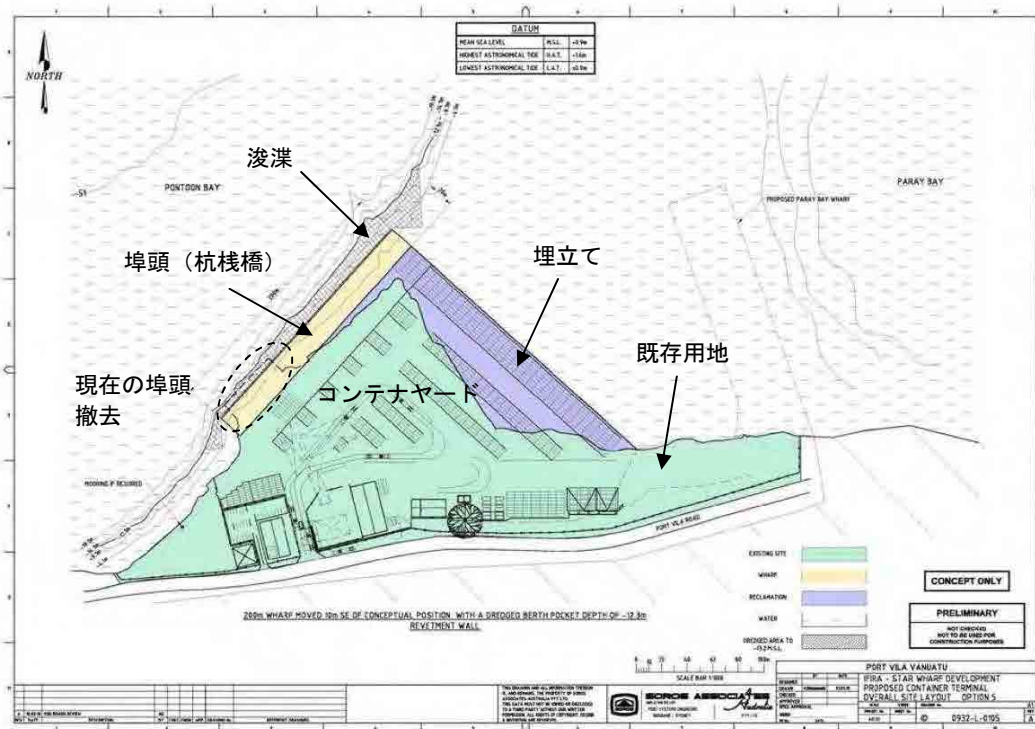
¹ J.Smagorinsky(1963) : General Circulation Experiments with the Primitive Equations . The Basic Experiment, Monthly Weather Review, 91, 99-164.

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.

(9) 予測条件

スター埠頭整備後における流れへの変化を予測するため、スター埠頭整備後の地形条件を考慮し、予測を行った。

予測条件は、図 6.2.1-5 の事業計画図に示すように埋立地の存在(0.33ha)およびスター埠頭前面の浚渫(0.94ha、水深 12.3m)を考慮した。図 6.2.1-6 に現況および将来地形における格子図と水深分布を示した。



出典：Star Terminal Construction Project, Bankable Feasibility Study, Final Report (2010)

図 6.2.1-5 事業計画図（スター埠頭）

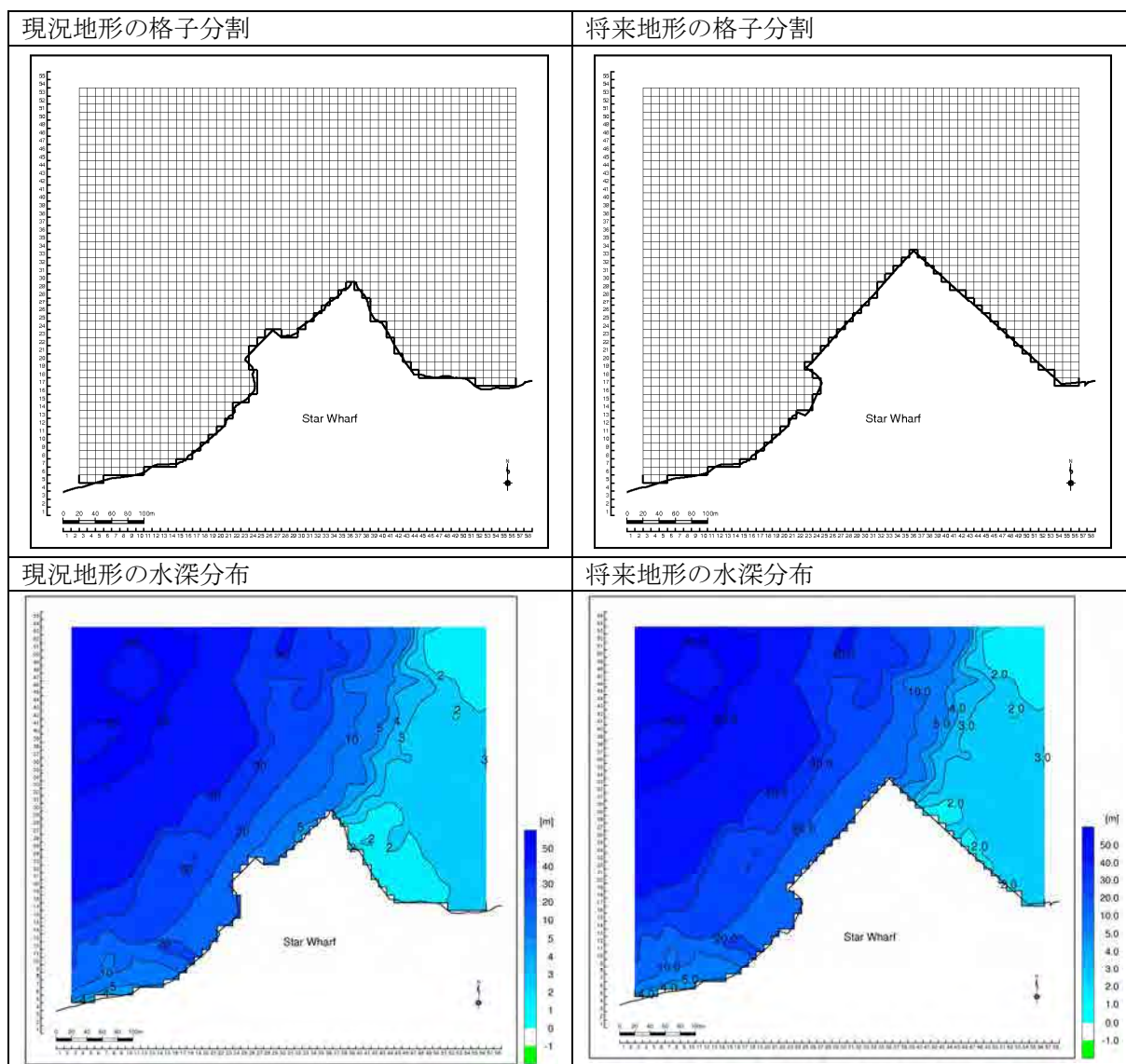


図 6.2.1-6 現況と将来の地形、水深の比較

6.2.2 再現性の検証

本調査で実施した流況調査結果と計算結果を比較することにより、モデルの再現性の検証を行った。

流況の調査地点は図 6.2.2-1 に示す 2 地点である。流況調査は、湾口部の St.C1 で水面下 3.1m と海底上 1.8m の 2 層、St.C2 で海底上 0.3m の 1 層において、1 昼夜の観測を大潮、中潮、小潮の 3 回実施した。

この観測資料について、潮流調和解析を行い、半日周期の潮流楕円を作成し、計算値と比較した。また、観測値と計算値の平均流について比較を行った。

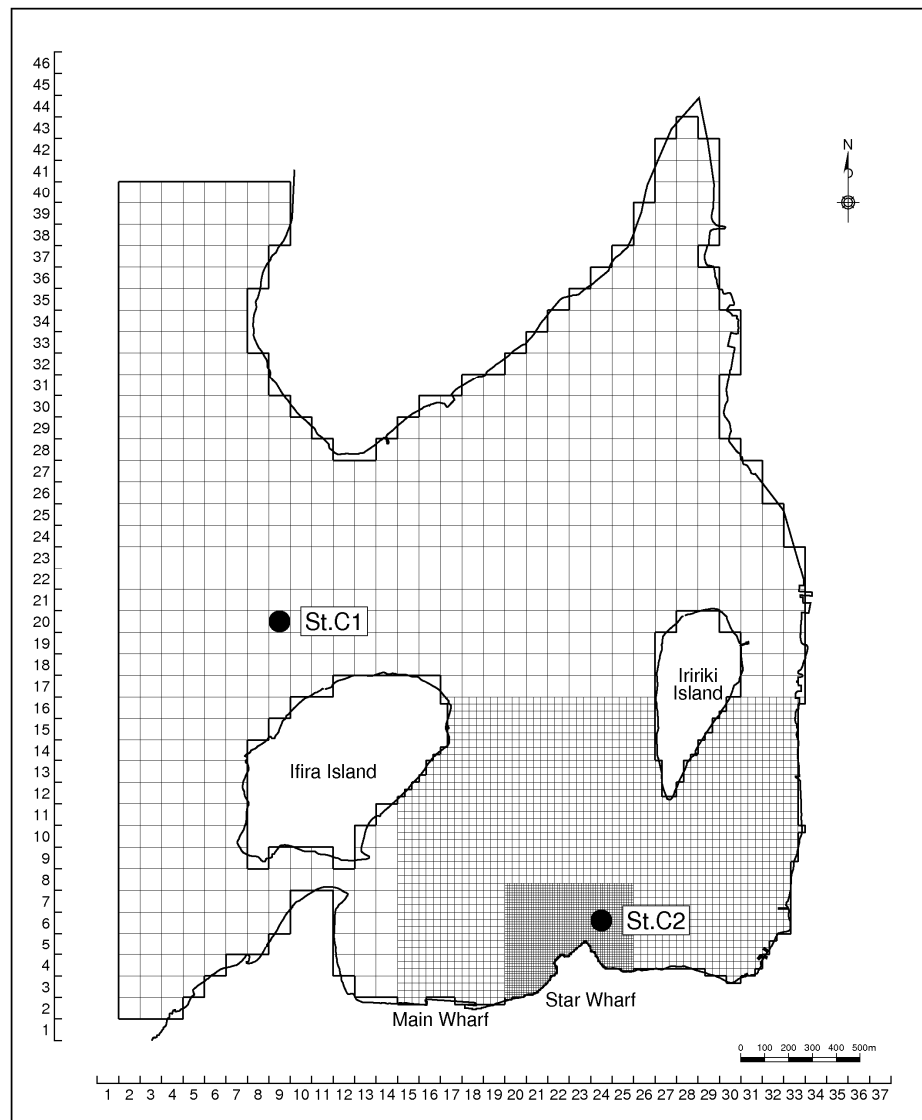


図 6.2.2-1 流況調査地点

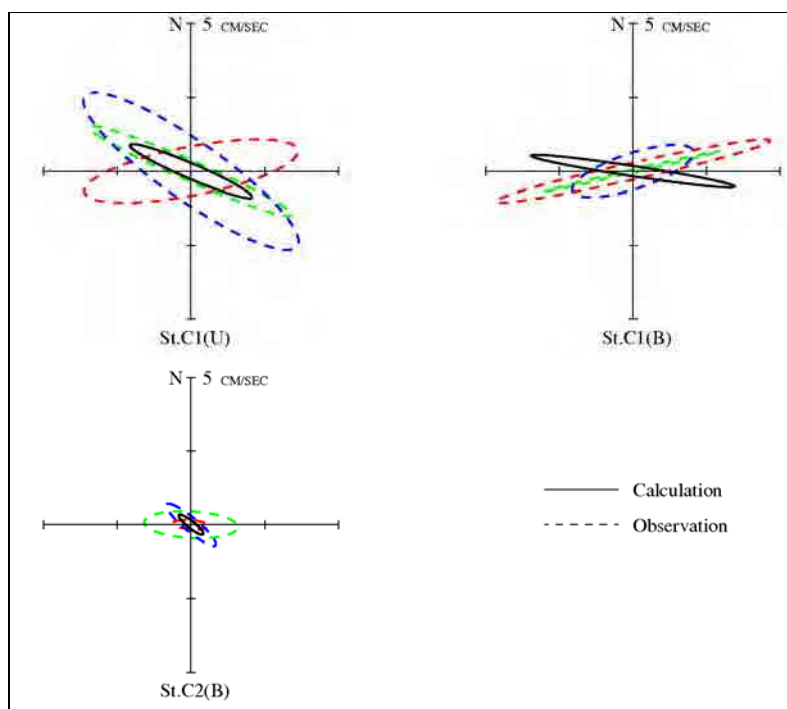
(1) 潮流楕円の比較

潮流楕円の計算値と観測値の比較を図 6.2.2-2 に示す。

3 回の 1 昼夜観測で得られた半日周期の潮流楕円をみると、調査回でばらつきはあるものの、St.C1 では概ね東西方向の往復流となっている。潮流楕円の大きさは、5cm/s 以下となっている。一方で、St.C2 においても東西方向の往復流の傾向はみられるものの、潮流楕円の大きさは St.C1 とくらべて小さい。

計算では湾口の境界条件で M2 分潮の潮位振幅を設定していることから、観測値の比較対象は中潮期の楕円である。観測値と計算値の潮流楕円を比較すると、St.C1 の計算値の潮流楕円は、上層の計算値がやや小さい傾向となっているものの、上下層ともに観測値と同様に東西方向の往復流となっている。また、St.C2 をみると、St.C1 とくらべて潮流楕円は小さい傾向が表現されている。

以上のことから、計算における潮流の再現性は、観測値の傾向が表現されていると評価した。



赤：2011 年 10 月 27 日 0 時～10 月 28 日 0 時(大潮) (U)：上層
青：2011 年 11 月 01 日 0 時～11 月 02 日 0 時(小潮) (B)：下層
緑：2011 年 11 月 06 日 6 時～11 月 07 日 6 時(中潮)

図 6.2.2-2 潮流楕円の計算値と観測値の比較

(2) 平均流の比較

平均流ベクトルの計算値と観測値の比較を図 6.2.2-3 に示す。

流況調査の各 1 昼夜で得られた平均流をみると、2011 年 11 月 5 日～7 日に実施した中潮の結果を除いて、湾口の St.C1 では上層で流出、下層で流入する流れが形成されている様子がわかる。一方で、湾奥部の St.C2 の観測値をみると、St.C1 と同様に 2011 年 11 月 5 日～7 日のデータを除くと、流速は小さい。また、流向は概ね東方向に流れている。2011 年 11 月 5 日～7 日にかけては、気象擾乱によってその他の 2 回の調査結果とは傾向が異なっている。

以上の結果、観測値で得られた 1 日の平均流の傾向については、図 6.2.2-3 に示した計算値でも表現されていると評価した。

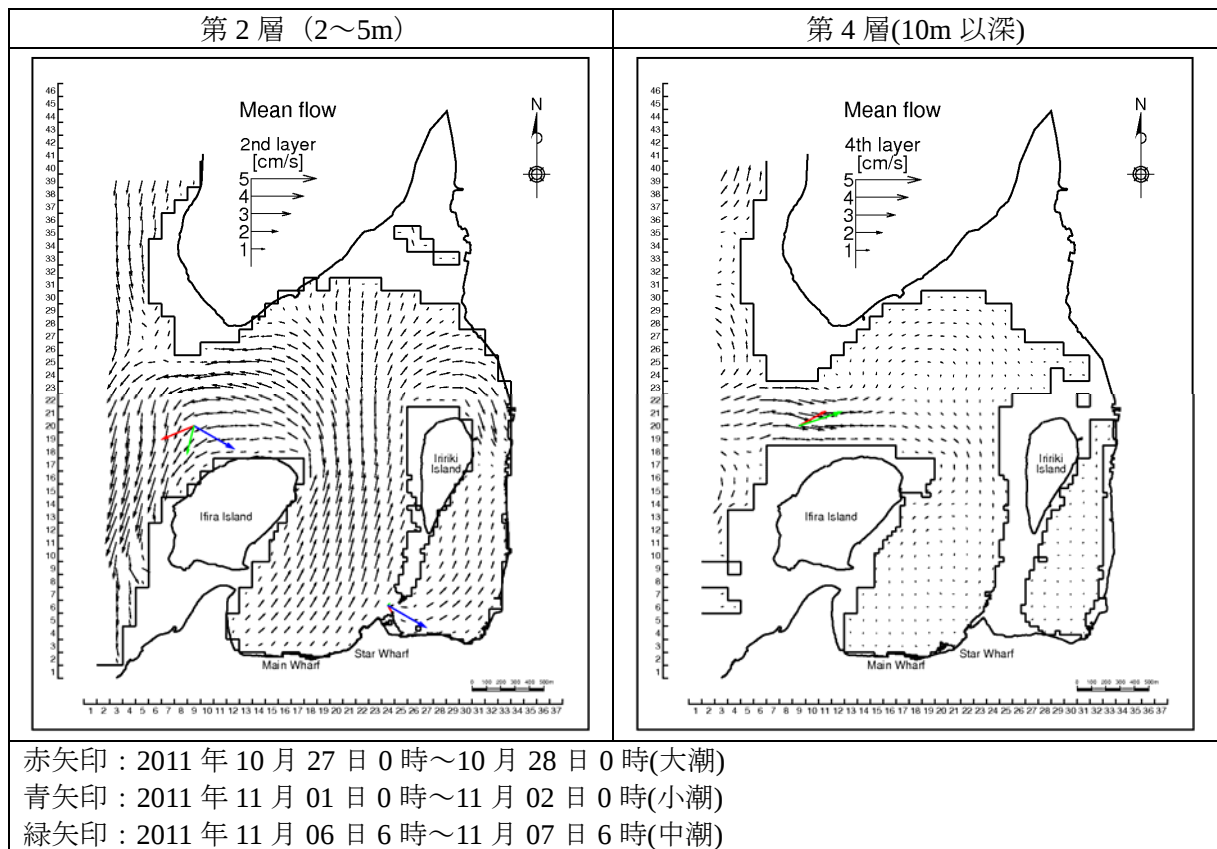


図 6.2.2-3 平均流の計算値と観測値の比較

(3) 検証結果のまとめ

現地調査で得られた潮流楕円および平均流を用いて、流動モデルの妥当性を検証した結果、本モデルはポートビラ湾の流況の特徴を表現しており、スター埠頭整備による流れへの影響の予測および流れによって広がるシルト粒子の拡散予測に適用することは妥当と評価した。

ポートビラ湾の下げ潮時、干潮時、上げ潮時、満潮時、平均流の流速ベクトル分布を図 6.2.2-4 に示す。

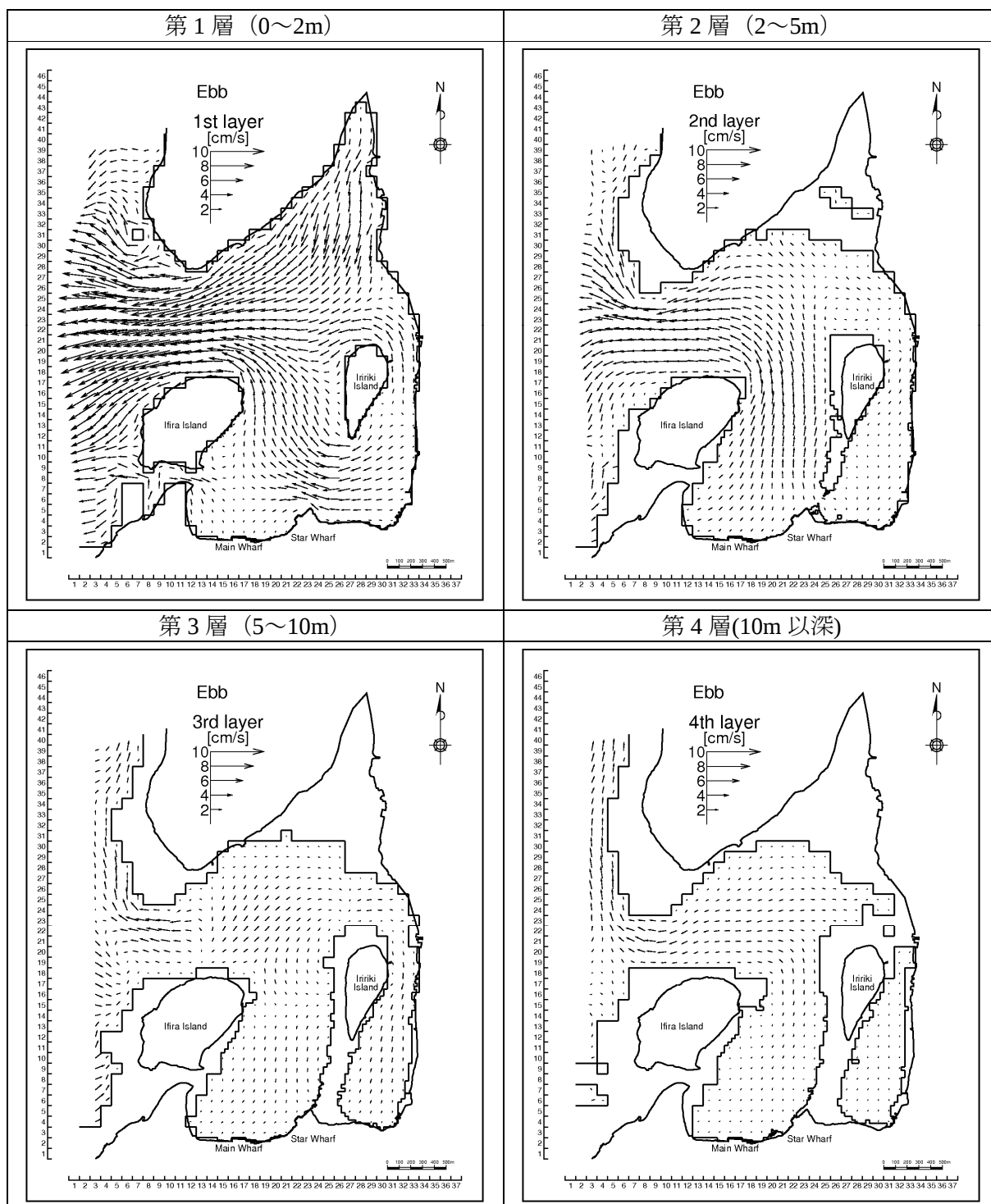


図 6.2.2-4(1) 流速ベクトル分布（現況、下げ潮時）

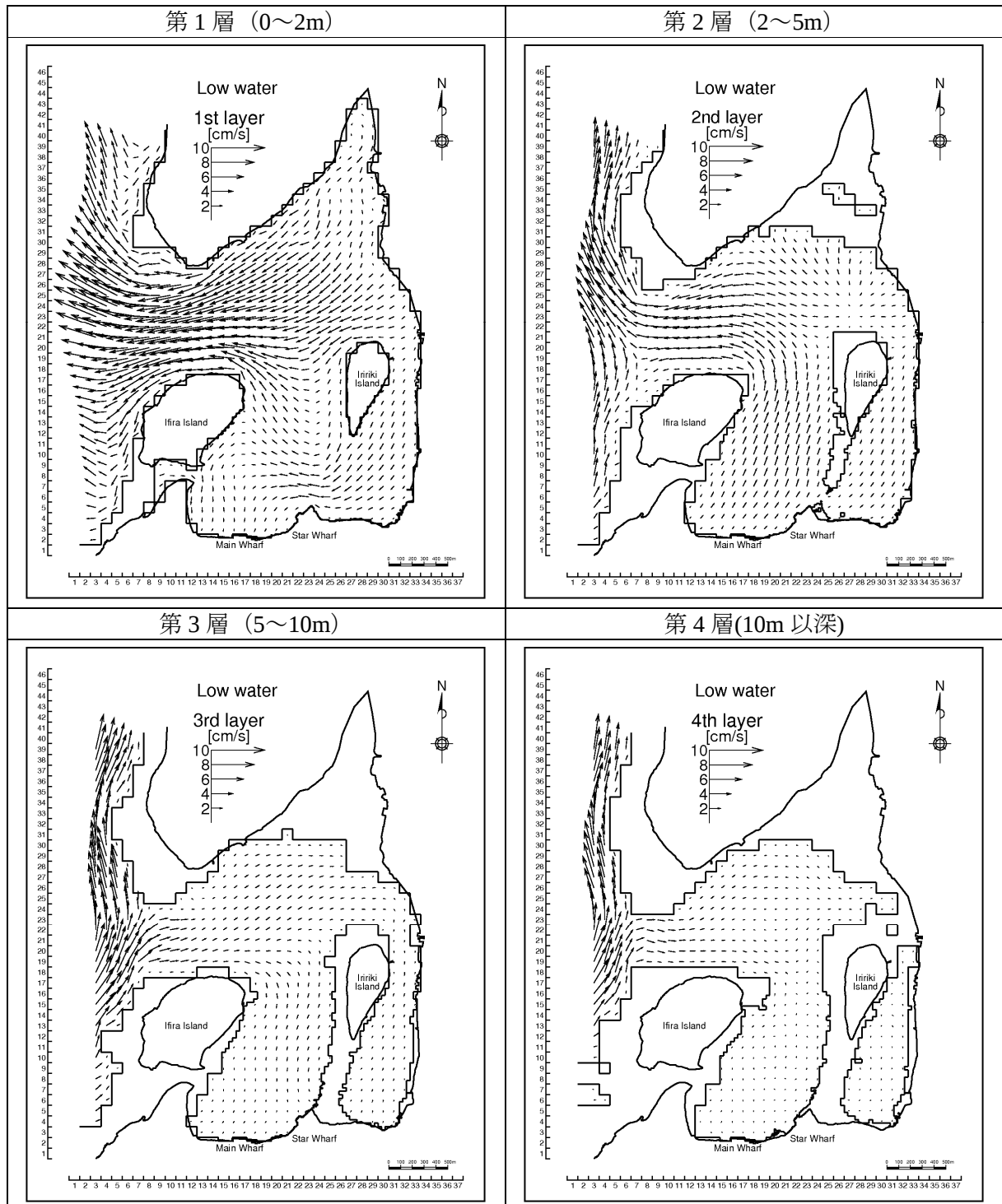


図 6.2.2-4(2) 流速ベクトル分布（現況、干潮時）

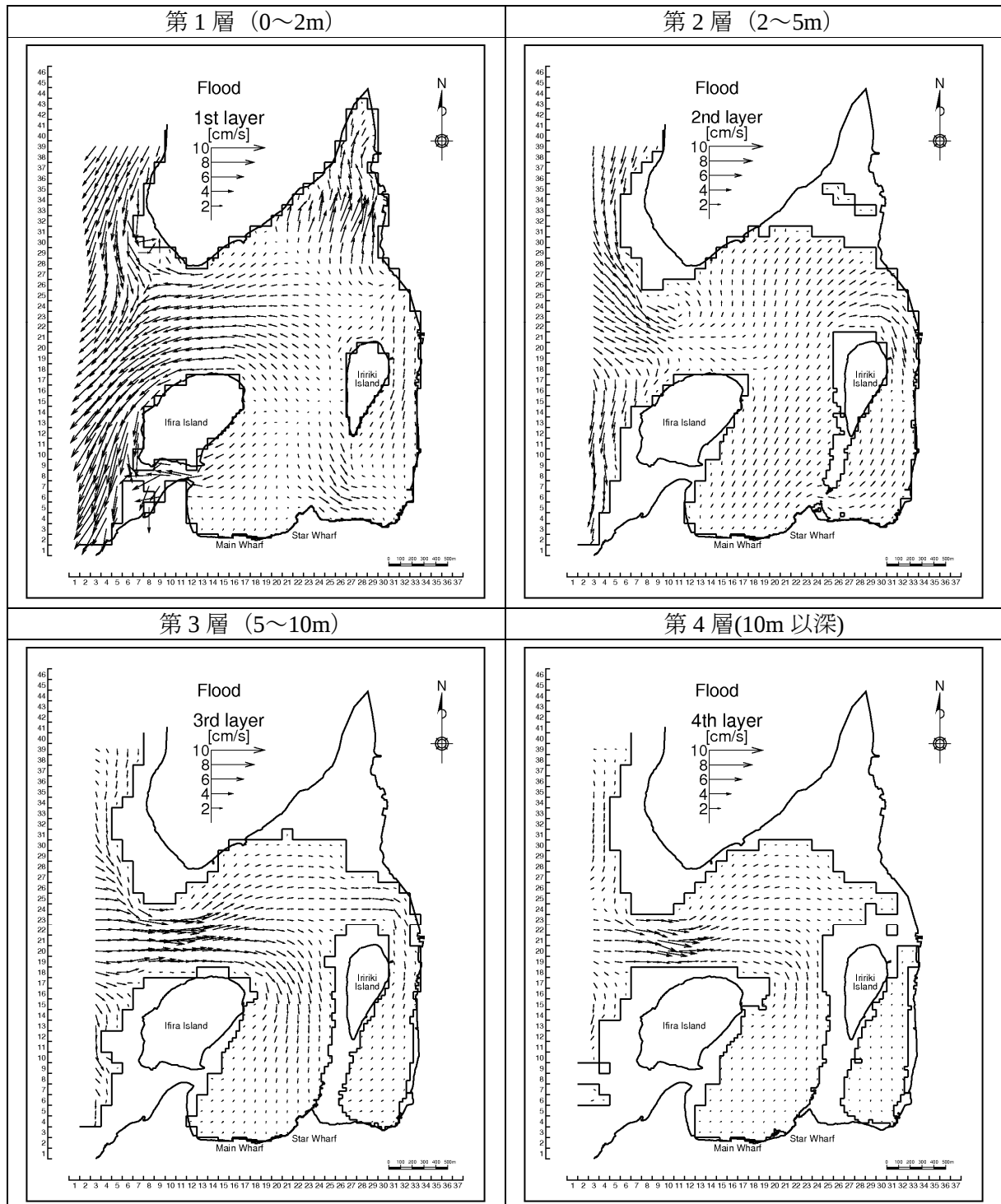


図 6.2.2-4(3) 流速ベクトル分布（現況、上げ潮時）

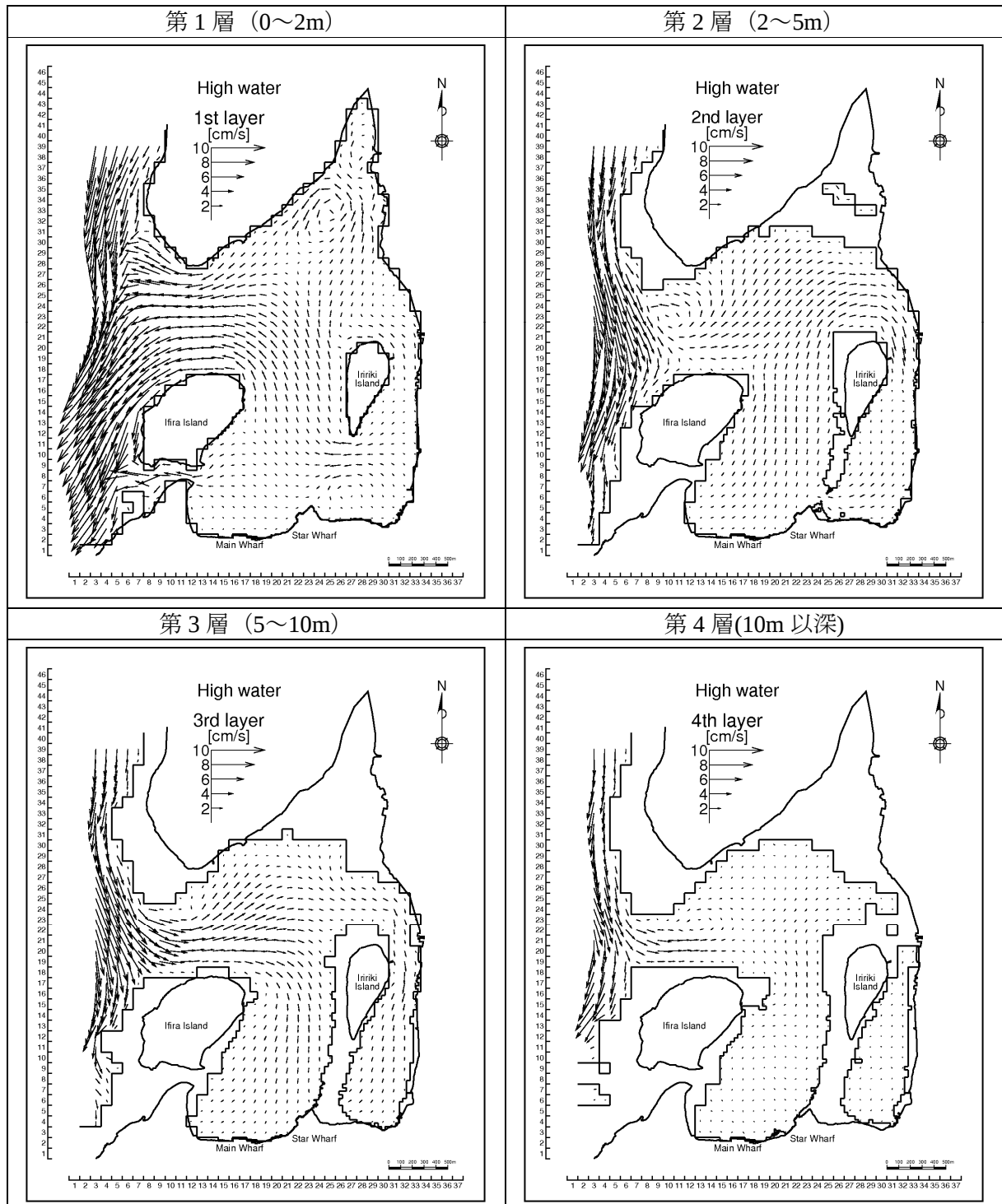


図 6.2.2-4(4) 流速ベクトル分布（現況、満潮時）

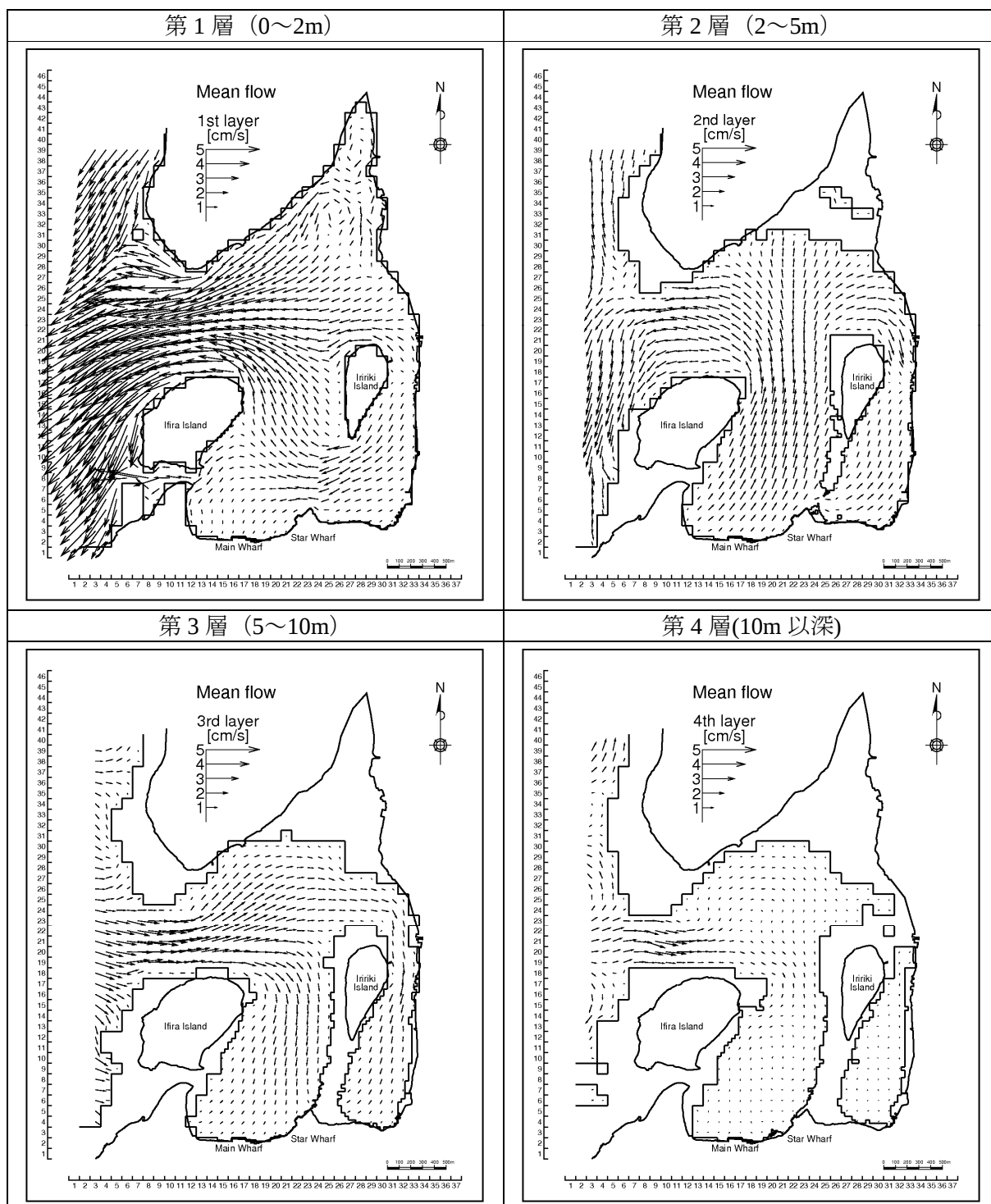


図 6.2.2-4(5) 流速ベクトル分布（現況、平均流）

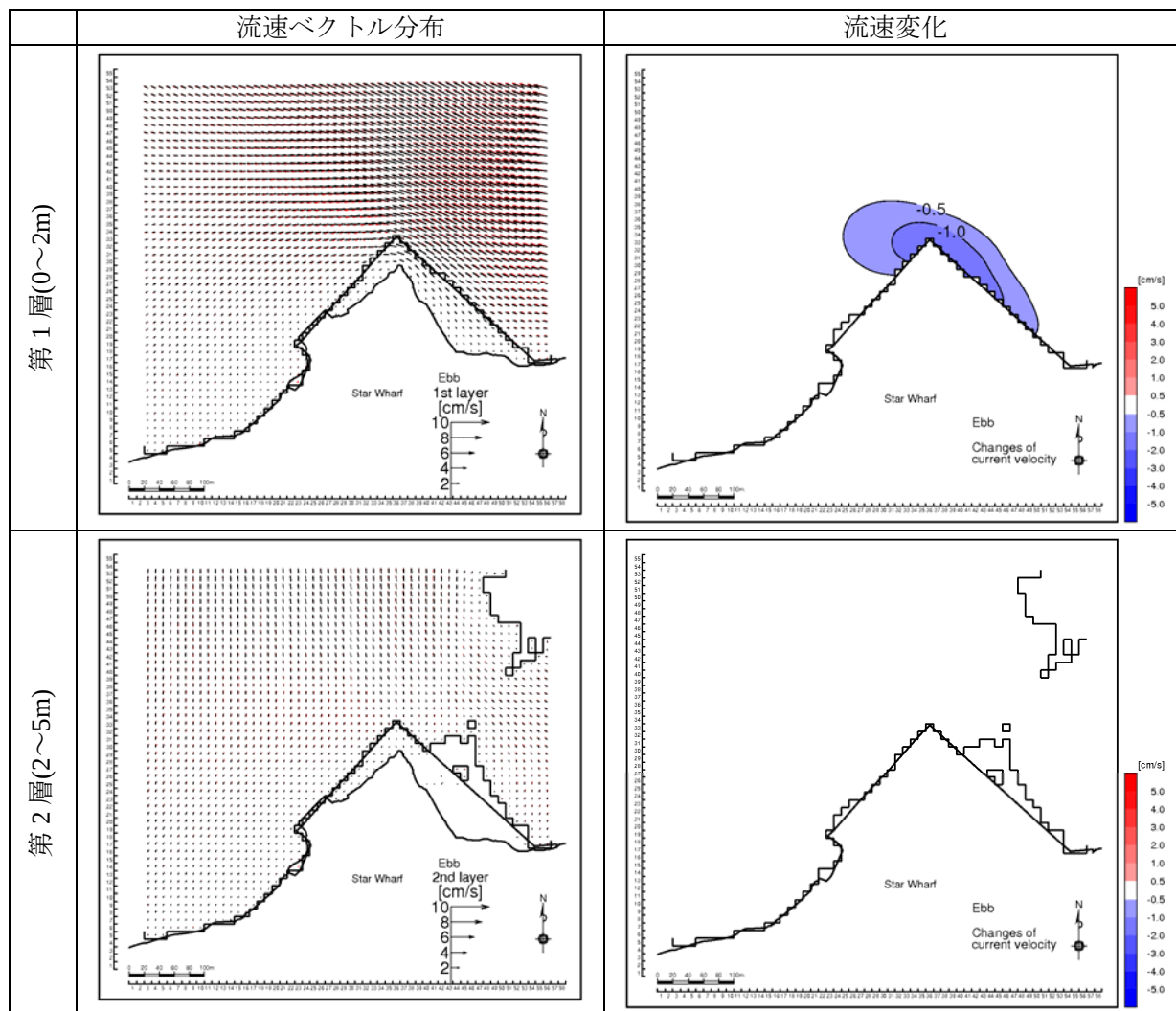
6.2.3 予測結果

(1) 流速変化

スター埠頭整備計画の事業実施による流れへの影響を把握するため、流向の変化については現況再現結果と将来予測結果の流速ベクトルを重ねて描いた。流速の変化については、将来予測結果から現況再現結果を差し引いて流速の変化を求めた。それらの結果を図 6.2.3-1 に示す。なお、流速の変化は、小領域の第1層および第2層の結果を示した。

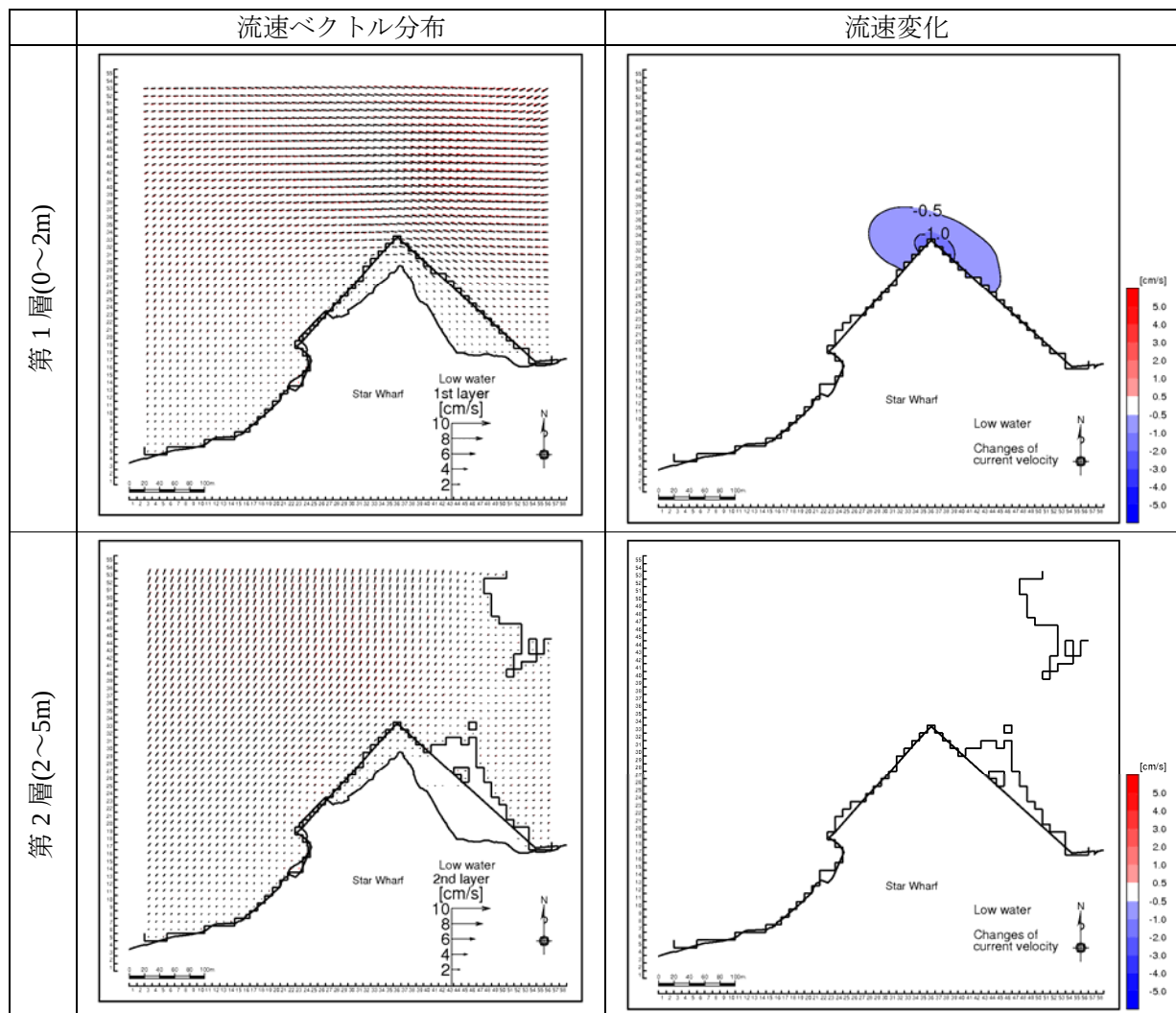
流速の変化は、スター埠頭の埋立地近傍の第1層に限られおり、その変化は1cm/sの減少域となっている。流速の変化域は、下げ潮時や干潮時に広がる傾向で、上げ潮時の流速変化域は狭く、満潮時には±0.5cm/s以上の変化はみられていない。平均流の流速変化は、埋立地近傍で0.5cm/sの流速の減少域が局所的にみられている。

流向の変化は、埋立地の存在により若干の変化はみられるものの、現況における流れの向きを大きく変える状況はみられていない。



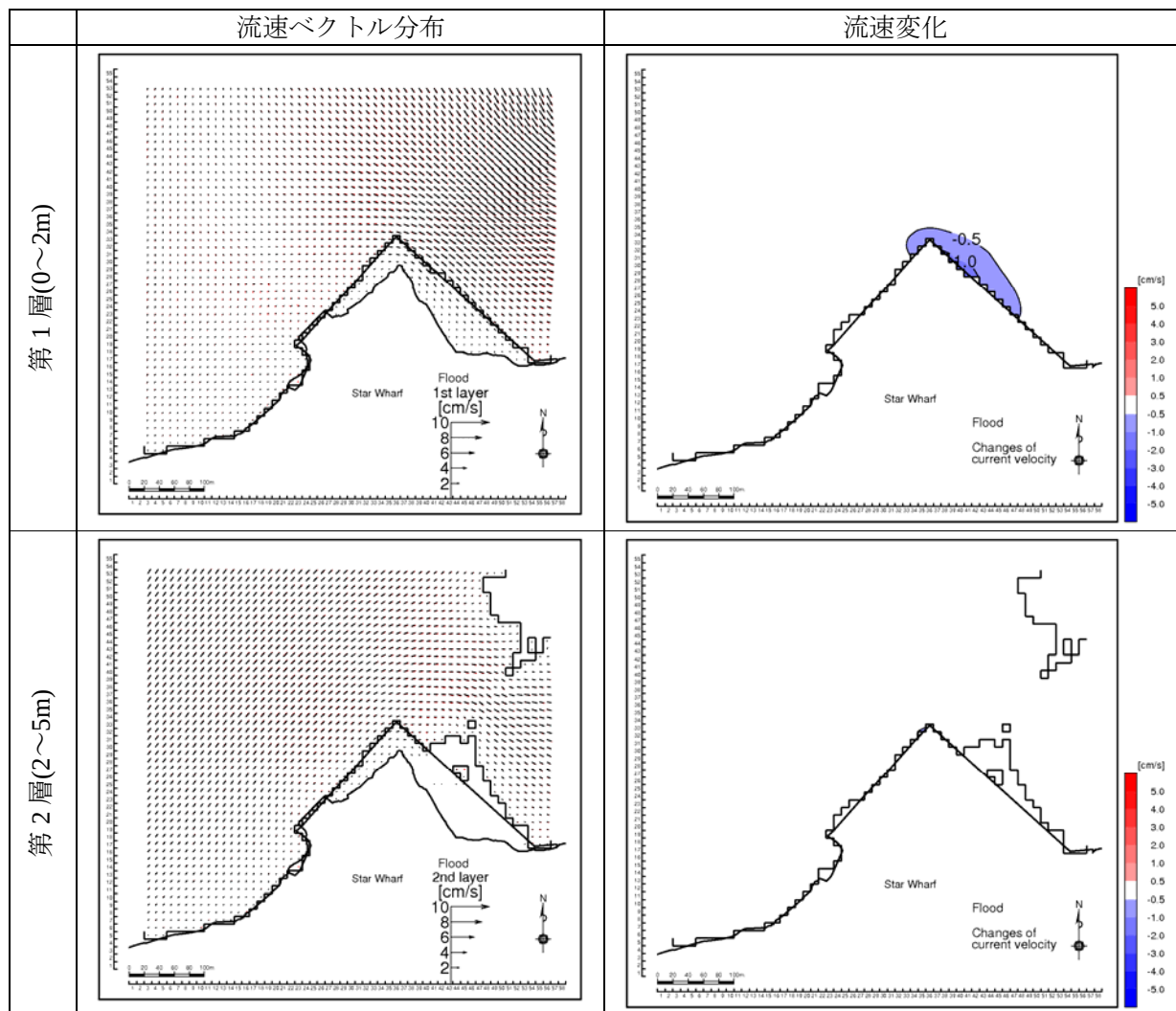
(黒矢印：現況再現結果、赤矢印：将来予測結果)

図 6.2.3-1(1) 流況の変化（下げ潮時、小領域、第1層および第2層）



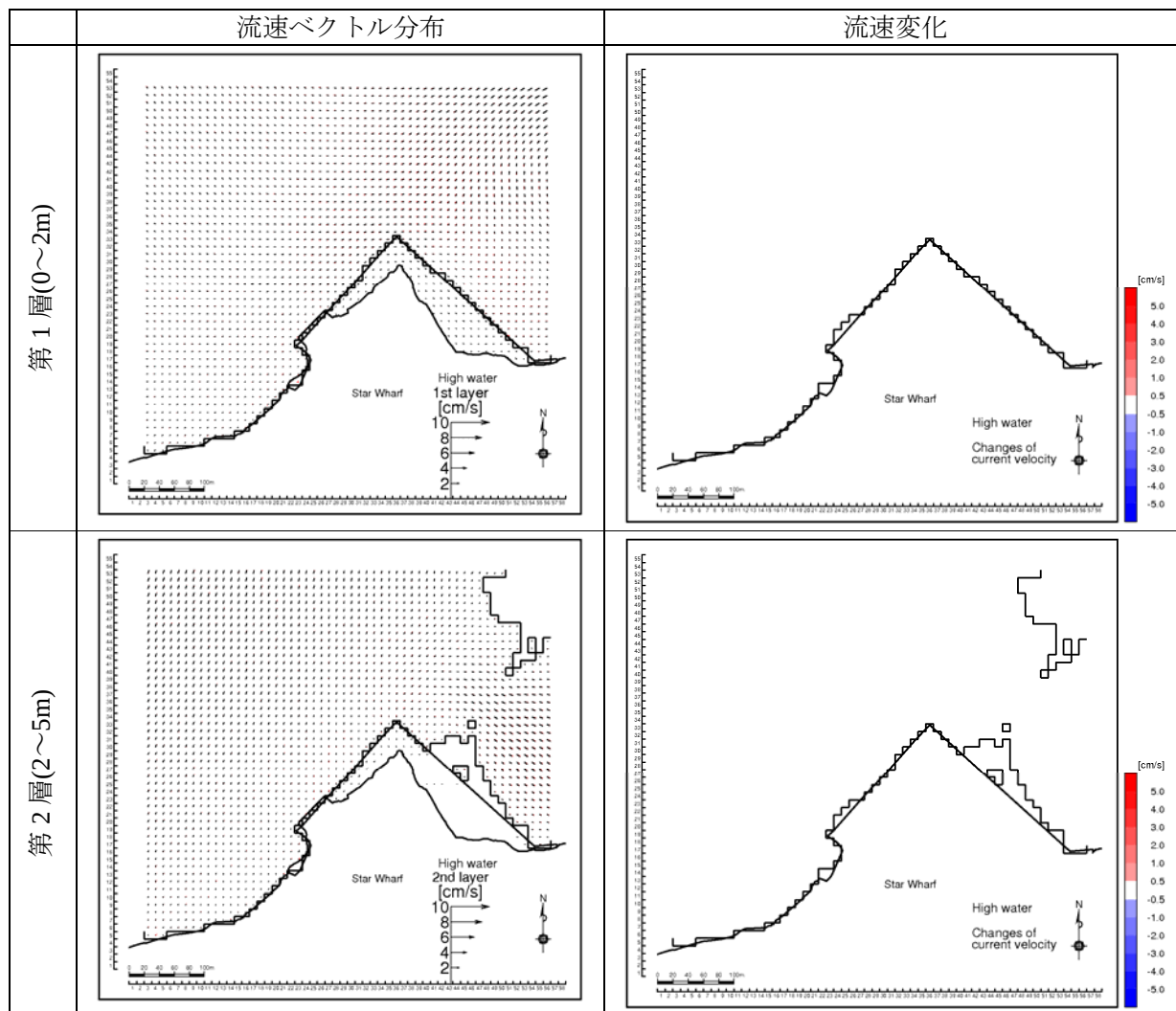
(黒矢印：現況再現結果、赤矢印：将来予測結果)

図 6.2.3-1(2) 流況の変化（干潮時、小領域、第1層および第2層）



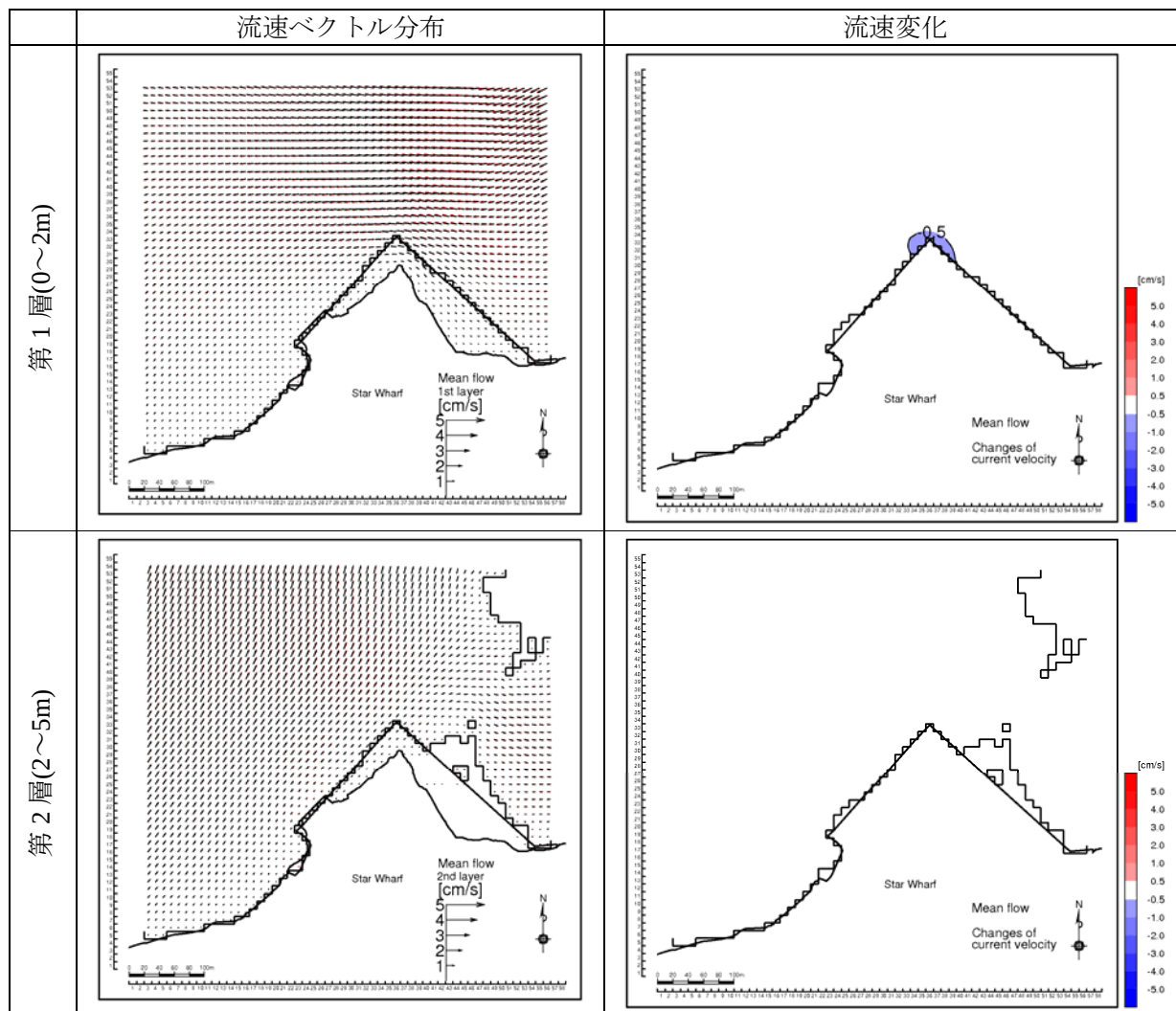
(黒矢印：現況再現結果、赤矢印：将来予測結果)

図 6.2.3-1(3) 流況の変化（上げ潮時、小領域、第1層および第2層）



(黒矢印：現況再現結果、赤矢印：将来予測結果)

図 6.2.3-1(4) 流況の変化（満潮時、小領域、第1層および第2層）



(黒矢印：現況再現結果、赤矢印：将来予測結果)

図 6.2.3-1(5) 流況の変化（平均流、小領域、第1層および第2層）

(2) 海水交換の変化

スター埠頭整備計画の事業実施によるポートビラ湾全体の流れへの影響を把握するため、図 6.2.3-2 に示した断面を通過する一潮汐間の流量の変化に着目した。

各断面で一潮汐間に通過する流量の算定結果を図 6.2.3-3 に示した。この結果をみると、ポートビラ湾全体の流れは上層で流出、下層で流入する流れが形成されており、断面を通過する流量に若干の変化は生じているものの、その差は小さい結果となっている。

以上のことから、事業実施に伴うポートビラ湾全体の海水交換は、現況とほとんど変わらない状態と考えられる。

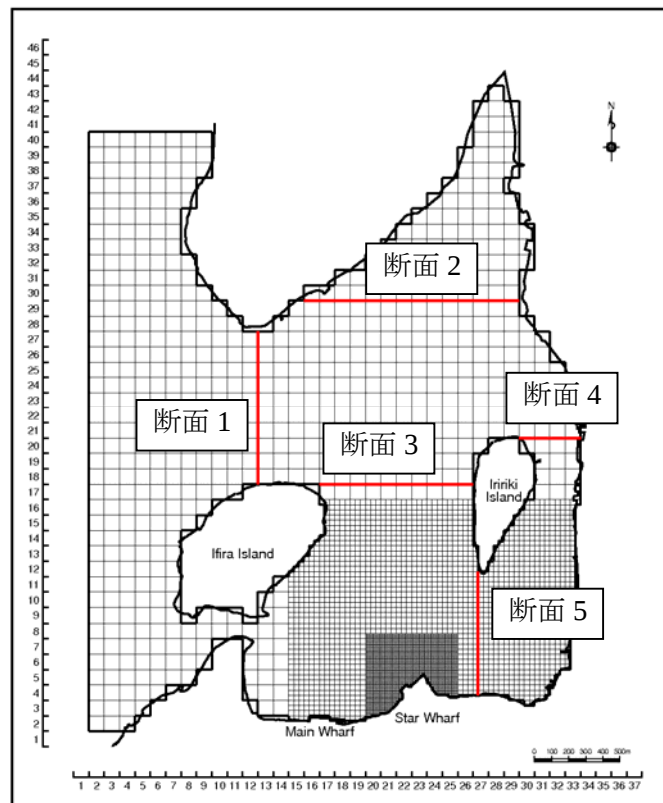
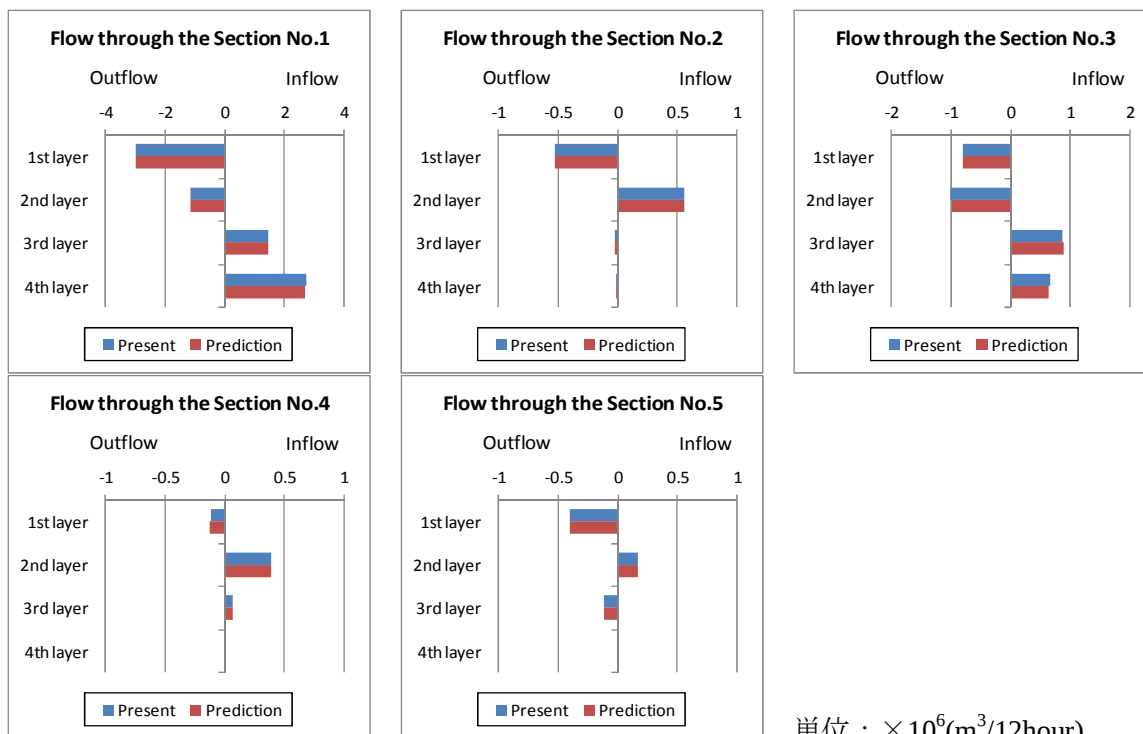


図 6.2.3-2 断面設定



※湾奥に向かう流れを流入とし、正の値で表示。湾口に向かう流れを流出とし、負の値で表示した。

図 6.2.3-3 断面の通過流量

6.3 シルト流入・拡散・堆積モデル

6.3.1 モデルの概要

シルトの流入・拡散・堆積を予測するモデルは、濁り(SS)に寄与する微細な土砂の沈降過程を考慮した移流・拡散方程式を基本式とするモデルを採用した。基本式は次式のとおりである。

$$\frac{\partial S}{\partial t} + u \frac{\partial S}{\partial x} + v \frac{\partial S}{\partial y} + (w - W_s) \frac{\partial S}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial S}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial S}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial S}{\partial z} \right) + q$$

S	: SS 濃度(mg/L)
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(cm/s)
t	: 時間(s)
K_x, K_y	: 水平渦拡散係数(cm^2/s)
K_z	: 鉛直渦拡散係数(cm^2/s)
q	: 負荷量(g/s)
W_s	: 沈降速度(cm/s)

土砂の堆積については、次式により堆積量から堆積厚へ換算した。

$$\text{堆積量}(\text{g}/\text{cm}^2) = \sum_{i=1}^m \int_0^T W_s \cdot S_i \cdot dt$$

$$\text{堆積厚}(\text{cm}) = \text{堆積量}(\text{g}/\text{cm}^2) \times \left(\frac{1}{\rho_s} + \frac{1}{\rho_w} \frac{R_w}{1 - R_w} \right)$$

W_s	: 沈降速度(cm/s)
S_i	: 計算対象粒径の i 番目の粒径による SS 濃度(mg/L)
T	: 積分時間($T=24$ 時間)
ρ_s	: 土粒子の密度(g/cm^3)
ρ_w	: 海水の密度(g/cm^3)
R_w	: 含水率(%)

6.3.2 計算条件

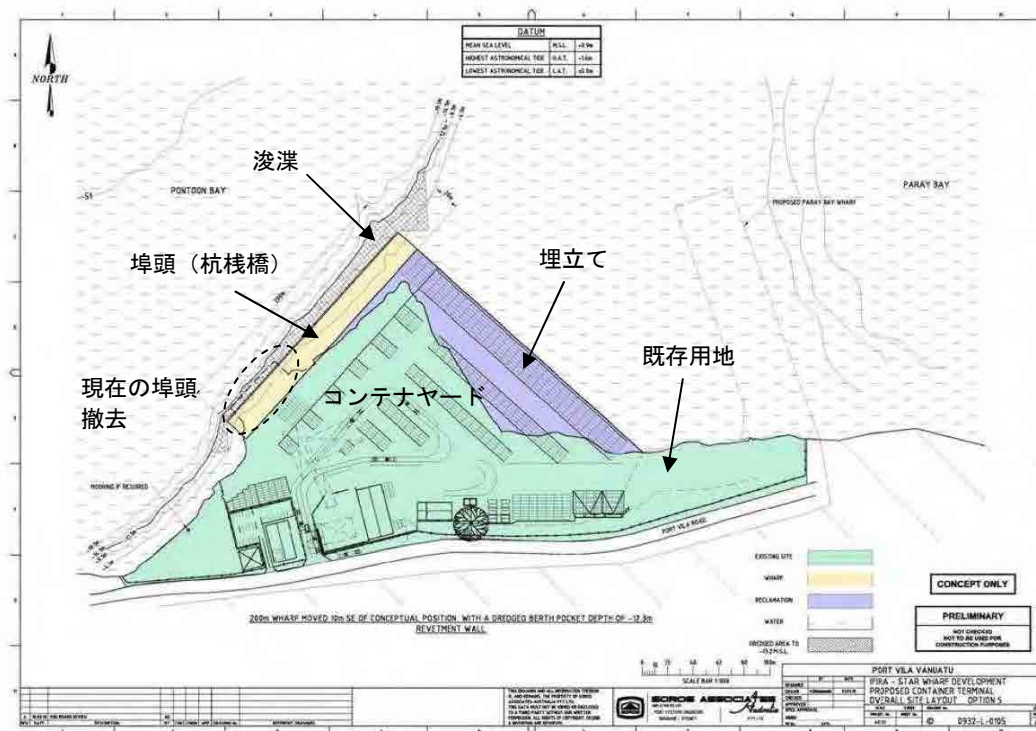
シルト流入・拡散・堆積モデルでは、工事による周辺サンゴ礁への影響を検討するため、工事中の濁り（懸濁物質：SS）の拡散および堆積を予測した。

(1) 濁り発生量の算定

(a) 対象工事

スター埠頭整備の工事計画によれば、工事中に海域に濁りの発生が考えられる工事は、図 6.3.2-1 に示すように既存埠頭の撤去工事、浚渫工事、埋立工事が考えられる。これらの工事のうち、埋立工事に用いる土砂は、浚渫によって発生する土砂を用いる計画であり、埋立地の周囲の護岸を造成したのちに浚渫土砂を投入するため、海域への直接の土砂の投入にくらべて濁りの発生は低減される。また、既存埠頭の撤去工事とくらべて、浚渫工事は海底の土砂を直接掘削するため、最も濁りの発生が懸念される工事と考えられる。

以上のことから、浚渫工事を対象として、濁りの予測を行うこととした。



出典：Star Terminal Construction Project, Bankable Feasibility Study, Final Report (2010)

図 6.3.2-1 事業計画図（スター埠頭）

(b) 浚渫工事の概要

スター埠頭整備の工事計画によれば、図 6.3.2-1 に示すように、スター埠頭の前面水域を浚渫する計画となっている。浚渫工事の概要を表 6.3.2-1 に示す。

表 6.3.2-1 浚渫工事の概要

工事期間	30 日間
浚渫範囲の面積	0.33 ha
浚渫量	62,000 m ³
浚渫水深	12.3 m
工法	ポンプ浚渫あるいはグラブ浚渫

(c) 環境条件の把握

(i) 現地流速（汚濁限界流速の設定）

浚渫予定区域における現地流速については、現地調査の St.C2 における 3 回の調査結果より設定した。

流況調査では、3 回の 1 昼夜観測を実施したが、その観測の中で出現した流速の平均値、最大値を表 6.3.2-2 に示した。

表 6.3.2-2 現地流速の状況

	平均値(cm/s)	最大値(cm/s)
大潮期調査	2.6	7.5
小潮期調査	2.8	10.3
中潮期調査	3.6	8.8

(ii) 汚濁限界粒子径の設定

汚濁限界粒子径は、図 6.3.2-2 に示した粒子径と汚濁限界流速との関係より求めた。汚濁限界流速を現地で測定した流速の最大値 10.3cm/s として、汚濁限界粒子径は Camp 式より 0.183mm が求められる。

$$\text{Ingersol 式: } V_c = \frac{1}{1.2} V \sqrt{\frac{8}{f}}$$

$$\text{Camp 式: } V_c = 1.86 \sqrt{\frac{(\rho_s - \rho)}{\rho}} g d$$

V_c : 汚濁限界流速(cm/s)

f : 摩擦抵抗係数(=0.025)

g : 重力加速度(980cm/s²)

ρ_s : 土粒子の比重(=2.78)

ρ : 水の単位体積重量(=1.024)

μ : 粘性係数

d : 土粒子直径(cm)

V : 沈降速度(cm/s)

なお、沈降速度は次式の Stokes 式より設定する。

$$\text{Stokes 式 } V = \frac{1}{18} \frac{g(\rho_s - \rho)}{\mu} d^2$$

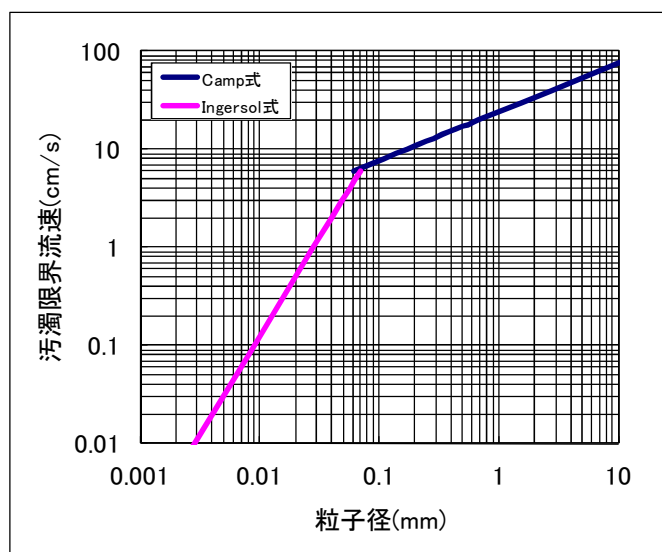


図 6.3.2-2 粒子径と汚濁限界流速の関係

(iii) 濁り対象土砂の性状

工事によって発生する濁りの負荷量を算定するため、本調査で浚渫予定区域の海底土の底質調査を実施した。

表 6.3.2-3 に示した粒度分析結果より作成した粒径加積曲線を図 6.3.2-3 に示す。

汚濁限界粒子径は 0.183mm と設定し、汚濁限界粒子径の粒径加積百分率 R は、3 地点の粒度分析結果の平均値より $R=13.5\%$ と設定した。

汚濁限界粒子径 0.183mm 以下の粒径を予測の対象とする。 $R=13.5\%$ に含まれる土砂は、シルトおよび粘土が 3%、砂が 10.5% であることから、濁りに寄与する土砂に対して、シルトおよび粘土は 22%、砂は 78% となる。

表 6.3.2-3 粒度分析結果

粒径区分 (mm)	粘土 ～0.005	シルト 0.005 ～0.075	砂			礫	
			細砂 0.075 ～0.250	中砂 0.250 ～0.850	粗砂 0.850 ～2.0	細礫 2.0 ～4.75	中礫 4.75 ～19
St.S1	3.0		9.4	33.8	19.0	21.4	13.4
St.S2	4.1		28.4	47.0	13.9	5.0	1.6
St.S3	1.8		9.9	55.2	23.7	8.1	1.3
平均	3.0		15.9	45.3	18.9	11.5	5.4

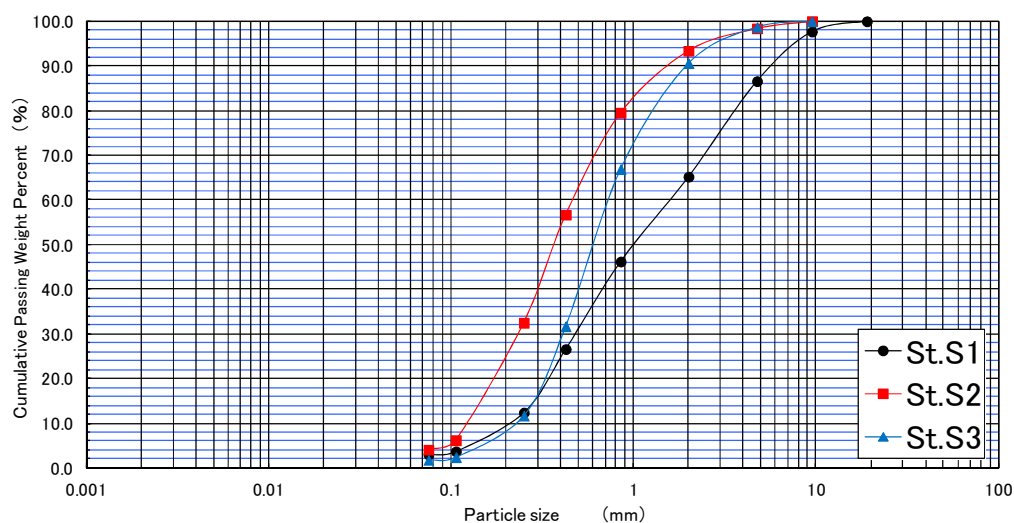


図 6.3.2-3 粒径加積曲線

(d) 濁り(SS)発生量の算定

「港湾工事における濁り影響予測の手引き（平成 16 年 4 月、国土交通省港湾局）」に基づいて、基準化された濁りの発生原単位の現地流速に応じた換算式および濁り発生量算定式を用いて、計画されている浚渫作業量から濁り(SS)発生量を求めた。濁り(SS)発生量の算定結果を表 6.3.2-4 に示す。

ここで算定した負荷を図 6.3.2-4 に示す位置で投入する。予測計算では、24 時間周期で負荷を与えるが、この時施工時間を 8 時間と想定して、計算開始から 8 時間まで連続して負荷を投入し、残りの 16 時間は負荷を投入しない計算とした。

$$w = \frac{R}{R_{75}} w_0$$

$$W = w \times Q_s$$

w : 当該区域における濁り発生原単位(kg/m³)

w_0 : 既往の濁り発生原単位(kg/m³)

R : 現地流速を汚濁限界流速とする汚濁限界粒子径の粒径加積百分率(%)

R_{75} : 既往の濁り発生原単位 w_0 を推定したときの土粒子(0.075mm 以下)の粒径加積百分率(%)

W : 濁り発生量(kg/日)

Q_s : 施工量(m³/日)

表 6.3.2-4 濁り(SS)発生量の算定結果

既往の濁り発生原単位等			R(%)	w (kg/m ³)	日施工量 Q _s (m ³ /日)	濁り発生量 W (t/日)
浚渫の工法	R ₇₅ (%)	w ₀ (kg/m ³)				
ポンプ船	21.6	1.63	13.5	1.02	2,067	2.1
グラブ船	18.4	7.68	13.5	5.62	2,067	11.6

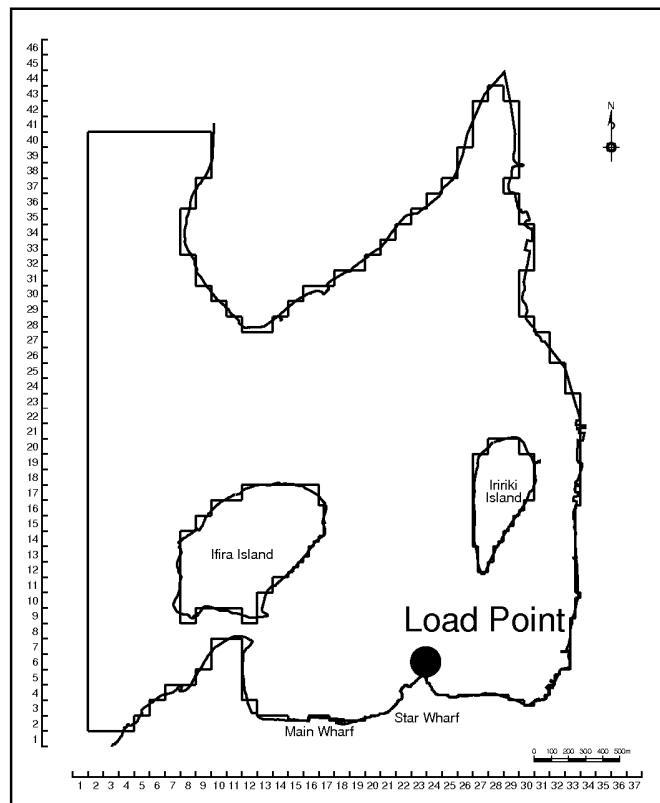
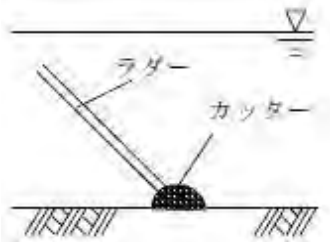
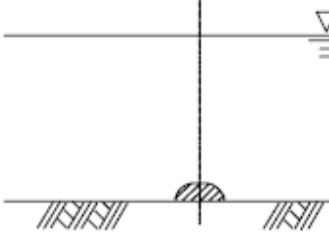
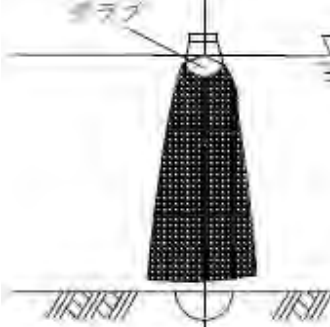
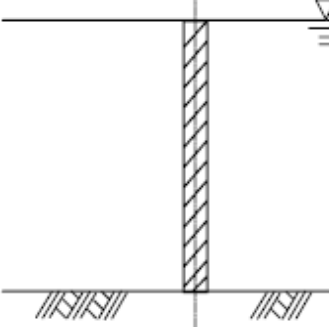


図 6.3.2-4 SS 負荷の投入位置

(e) 発生源モデル

工法の違いによって水中での濁り発生メカニズムが異なることから、予測対象となる工法について、「港湾工事における濁り影響予測の手引き（平成16年4月、国土交通省港湾局）」を参考に濁りの発生源モデルを設定した。予測を行うポンプ浚渫船およびグラブ浚渫船の発生源モデルを表 6.3.2-5 に示す。

表 6.3.2-5 濁りの状態と発生源モデル

工法	濁りの状態	発生源モデル	発生源の状態
ポンプ 浚渫船			スイング時に海底の浚渫箇所から濁りが発生する。 濁り発生箇所は海底となる。
グラブ 浚渫船			海底からの地切り時の土砂の巻き上げ、水中引き上げ時の付着土の拡散、水面にあげる際の土砂の漏れ出しにより濁りが発生する。 濁り発生箇所は、海底から海面までとなる。

(f) 沈降速度の設定

土砂の沈降速度は、各粒径の代表粒径（各粒径区分の対数平均値）を設定し、代表粒径から求められる粒子レイノルズ数に応じて、Stokes 式、Allen 式より求め、その結果を表 6.3.2-6 に示す。

$$\text{Stokes 式} : V = \frac{1}{18} \cdot \frac{g(\rho_s - \rho)}{\mu} \cdot d^2$$

$$\text{Allen 式} : V = 0.223 \{ g^2 (\rho_s - \rho)^2 \rho \mu \}^{1/3} \cdot d$$

V : 沈降速度(cm/s)

d : 土粒子直径(cm)

ρ_s : 土砂の比重(=2.78)

ρ : 海水の比重(=1.024)

g : 重力加速度(=980cm/s²)

μ : 粘性係数(=0.0089poise : 25℃における値)

表 6.3.2-6 粒径別の沈降速度

土粒子の分類	粒径(mm)	代表粒径(mm)	沈降速度(m/day)	備考
砂	0.075~0.183	0.117	200.0	Allen 式
シルト・粘土	(0.001)~0.075	0.009	7.5	Stokes 式

(g) 汚濁防止膜の考え方

スター埠頭整備計画では、浚渫や埋立工事等を実施する際には、汚濁防止膜を設置することが計画されている。

予測計算では、汚濁防止膜の設置の有無による濁りの拡散状況が異なることを確認するため、汚濁防止膜を設置した場合、設置しない場合の予測を行った。この場合の予測条件は、「港湾工事における濁り影響予測の手引き（平成16年4月、国土交通省港湾局）」で汚濁防止膜による濁りの除去率が40～80%であるという事例を参考に、濁りの除去率が小さい場合を予測条件として、除去率40%を表6.3.2-4で示した発生負荷量に乗じて、汚濁防止膜を設置した際の発生負荷量とした。

なお、浚渫箇所における汚濁防止膜の計画は表層の濁りの拡散を防止する観点から水面から3mの垂下式が計画されている。一方、ポンプ浚渫による濁りの発生場所は表6.3.2-5に示したように海底付近となることから、汚濁防止膜を水面から海底まで設置した場合を予測条件とした。

(2) 初期値、境界値

工事による周辺サンゴ礁への影響の検討を目的とするため、初期値および境界値はいずれも0とした。

(3) 拡散係数

拡散計算に使用するパラメータには、水平渦拡散係数、鉛直渦拡散係数がある。これらは、流動モデルの計算で求まる値を使用した。

(4) タイムステップ

計算のタイムステップは、計算の安定性を考慮して、全ての領域で1秒とした。

(5) 積分時間

積分時間は240時間(10日間)とし、計算領域のSS濃度変化が定常に達するまで行った。解析には最後の24時間を用い、各計算格子の日平均値および日最大値を算定した。

(6) 堆積厚への換算に関するパラメータ

堆積厚への換算に必要なパラメータについては、現地調査で実施した底質調査結果を用いた。底質調査結果は表6.3.2-7のとおりであり、含水率および土粒子の密度は、それぞれ平均値21.4(%)、2.78(g/cm³)を用いた。また、海水の密度は、1.024(g/cm³)とした。

表 6.3.2-7 底質調査結果

項目	St.S1	St.S2	St.S3	平均
含水率 (%)	22.4	20.1	21.8	21.4
土粒子の密度 (g/cm ³)	2.738	2.792	2.810	2.780

6.3.3 予測結果

工事中のSS拡散予測については、表 6.3.3-1 に示す計算ケースを実施した。ケース 1 およびケース 2 ではポンプ浚渫船によるSS負荷量を設定し、汚濁防止膜のなしとありの場合について予測した。また、ケース 3 およびケース 4 ではグラブ浚渫船によるSS負荷量を設定し、汚濁防止膜のなしとありの場合について予測した。

なお、汚濁防止膜ありの場合については、浚渫箇所における汚濁防止膜の計画は表層の濁りの拡散を防止する観点から水面から3mの垂下式が計画されている。一方、ポンプ浚渫による濁りの発生場所は海底付近となることから、汚濁防止膜を水面から海底まで設置した場合を予測条件とし、濁り発生量の除去率により負荷量を設定した。

表 6.3.3-1 SS 拡散予測のケース

計算ケース名	工法	汚濁防止膜
ケース 1	ポンプ浚渫船	なし
ケース 2	ポンプ浚渫船	あり
ケース 3	グラブ浚渫船	なし
ケース 4	グラブ浚渫船	あり

(1) SS 濃度分布

(a) ケース 1 およびケース 2（ポンプ浚渫）

ポンプ浚渫によるSS濃度の拡散分布を作成し、ケース 1(汚濁防止膜なし)の結果を図 6.3.3-1、ケース 2(汚濁防止膜あり)の結果を図 6.3.3-2 に示す。計算結果は、1日の平均値と最大値の分布を示した。

ケース 1 の予測結果をみると、SS濃度分布がみられるのは、浚渫箇所の海底面付近の層である第3層(5～10m)でみられている。SSの広がり、日最大値の2mg/Lの範囲が負荷の発生場所から半径約100mの範囲内に広がっている。

汚濁防止膜ありのケース 2 の予測結果をみると、SSの広がり、日最大値の2mg/Lの範囲は、負荷の発生場所から半径約60mの範囲内となっている。

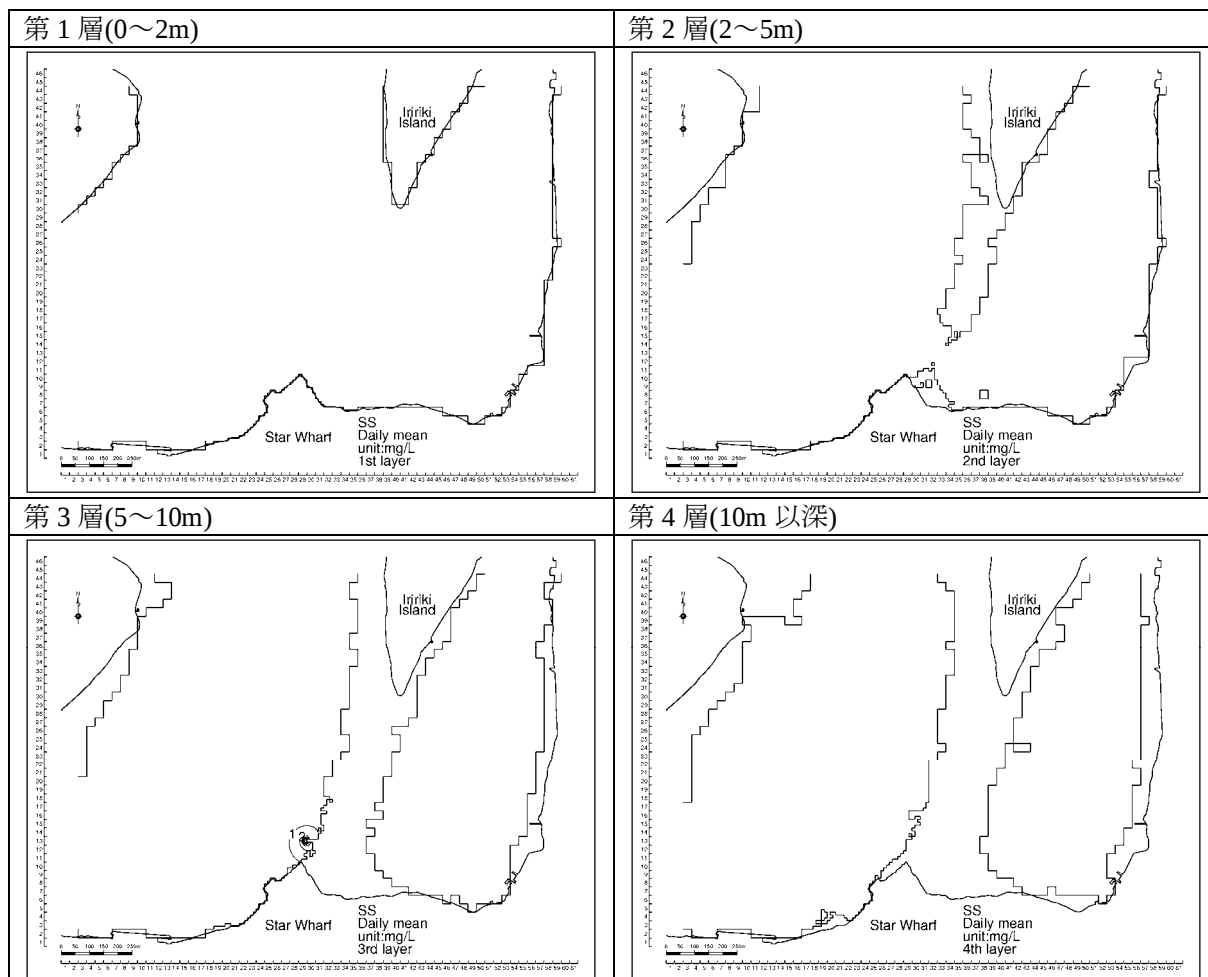


図 6.3.3-1(1) SS 濃度分布（ケース1：ポンプ浚渫[汚濁防止膜なし],中領域,日平均値）

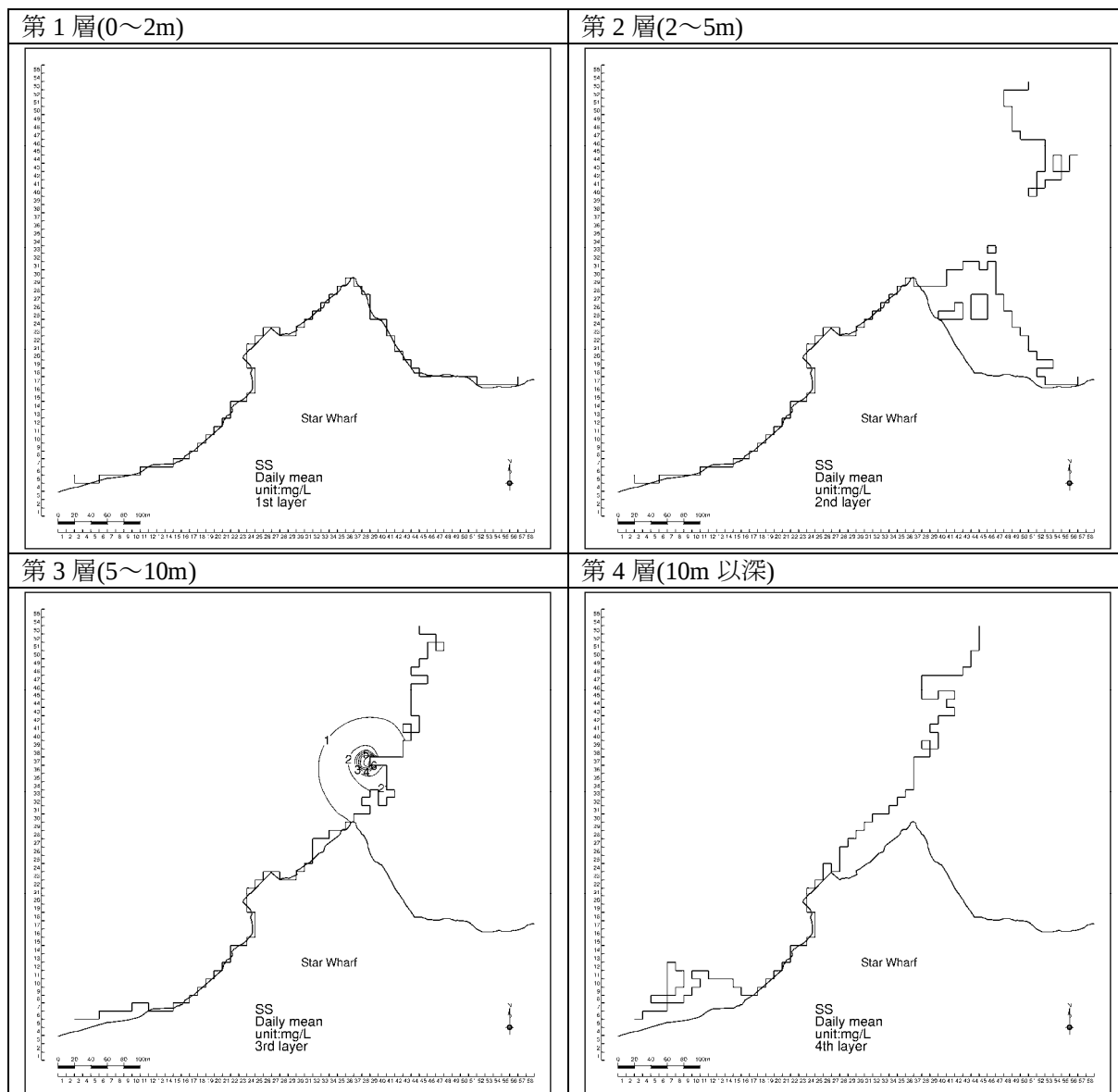


図 6.3.3-1(2) SS 濃度分布（ケース 1：ポンプ浚渫[汚濁防止膜なし],小領域,日平均値）

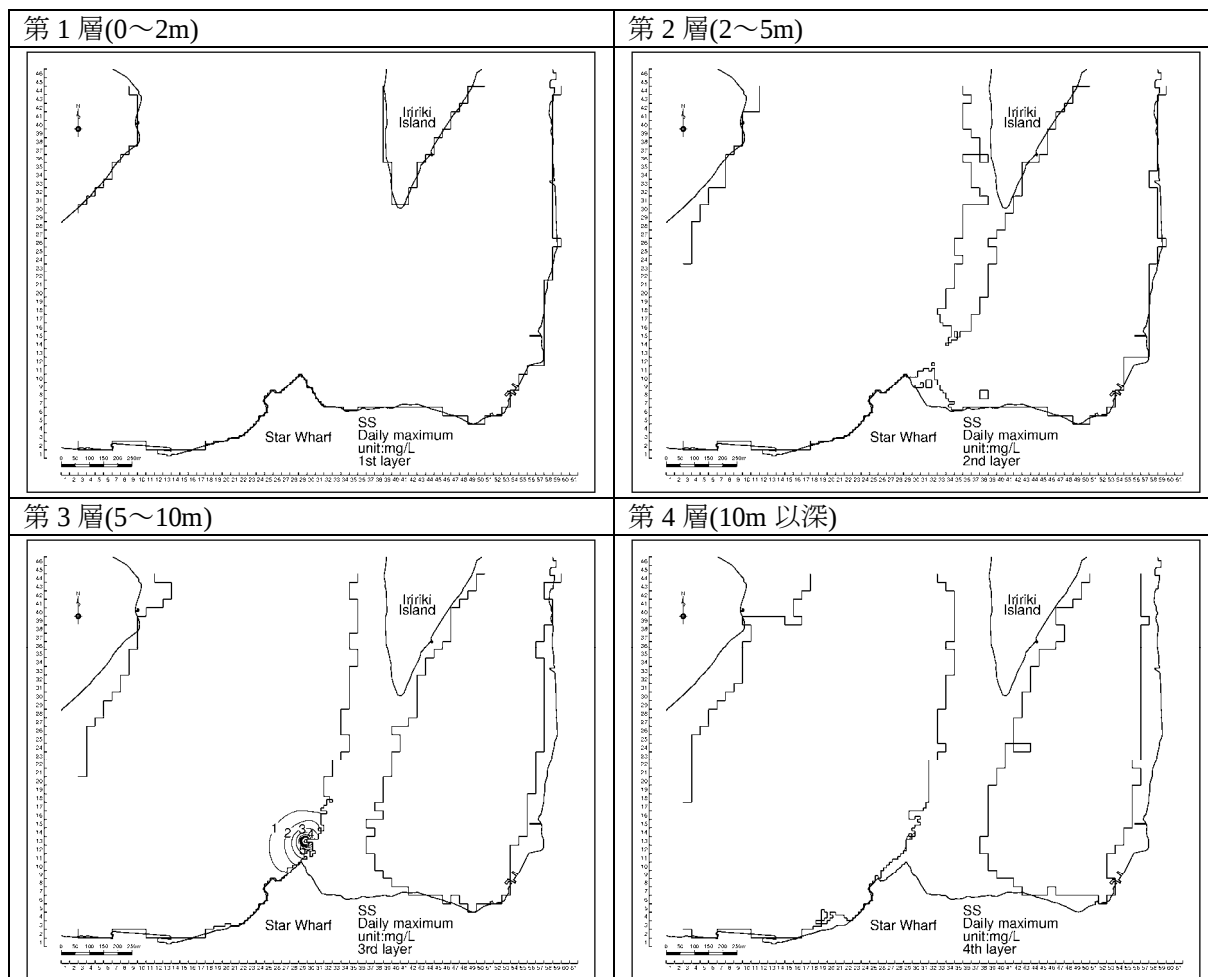


図 6.3.3-1(3) SS 濃度分布（ケース1：ポンプ浚渫[汚濁防止膜なし],中領域,日最大値）

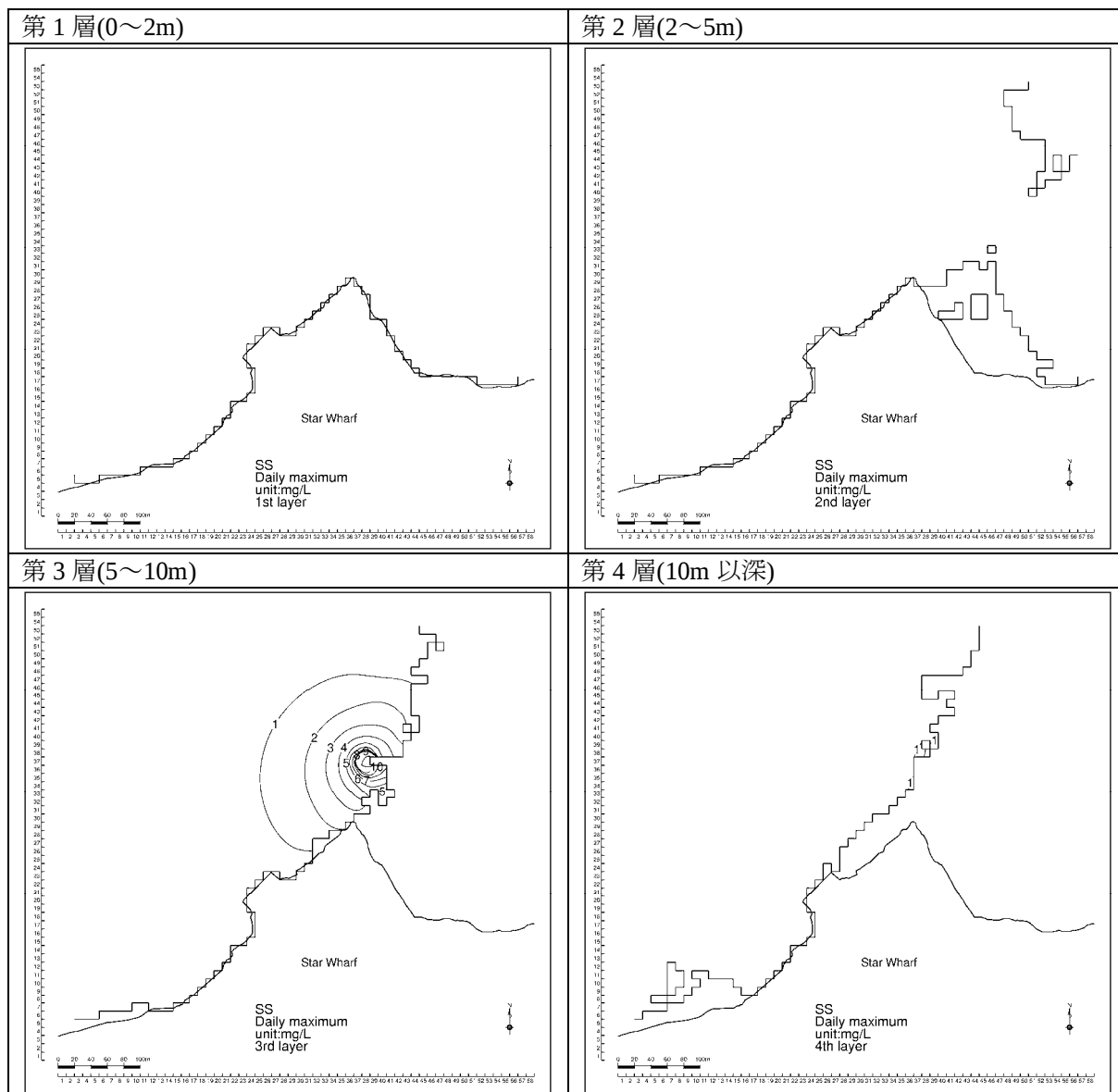


図 6.3.3-1(4) SS 濃度分布（ケース1：ポンプ浚渫[汚濁防止膜なし],小領域,日最大値）

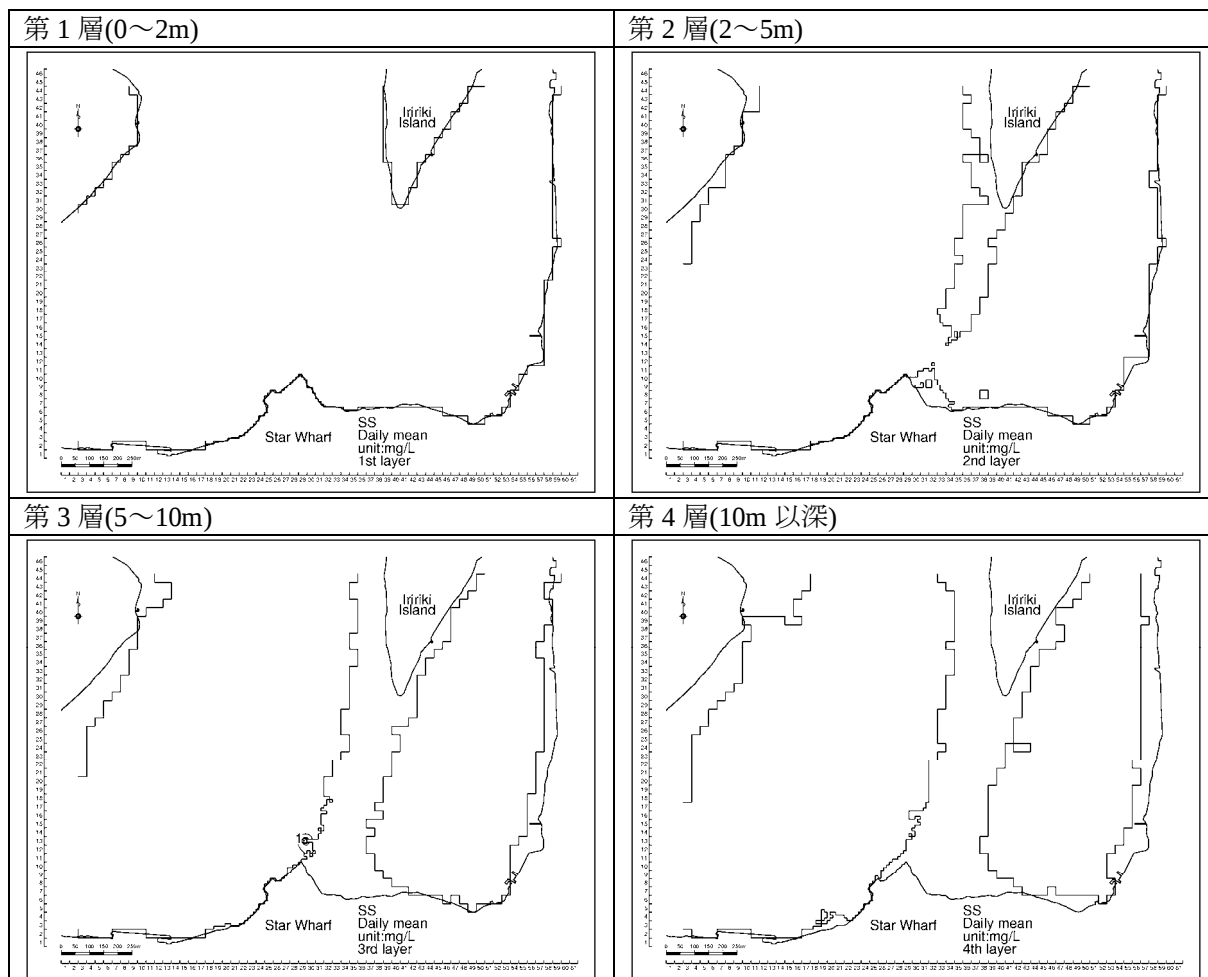


図 6.3.3-2(1) SS 濃度分布（ケース2：ポンプ浚渫[汚濁防止膜あり],中領域,日平均値）

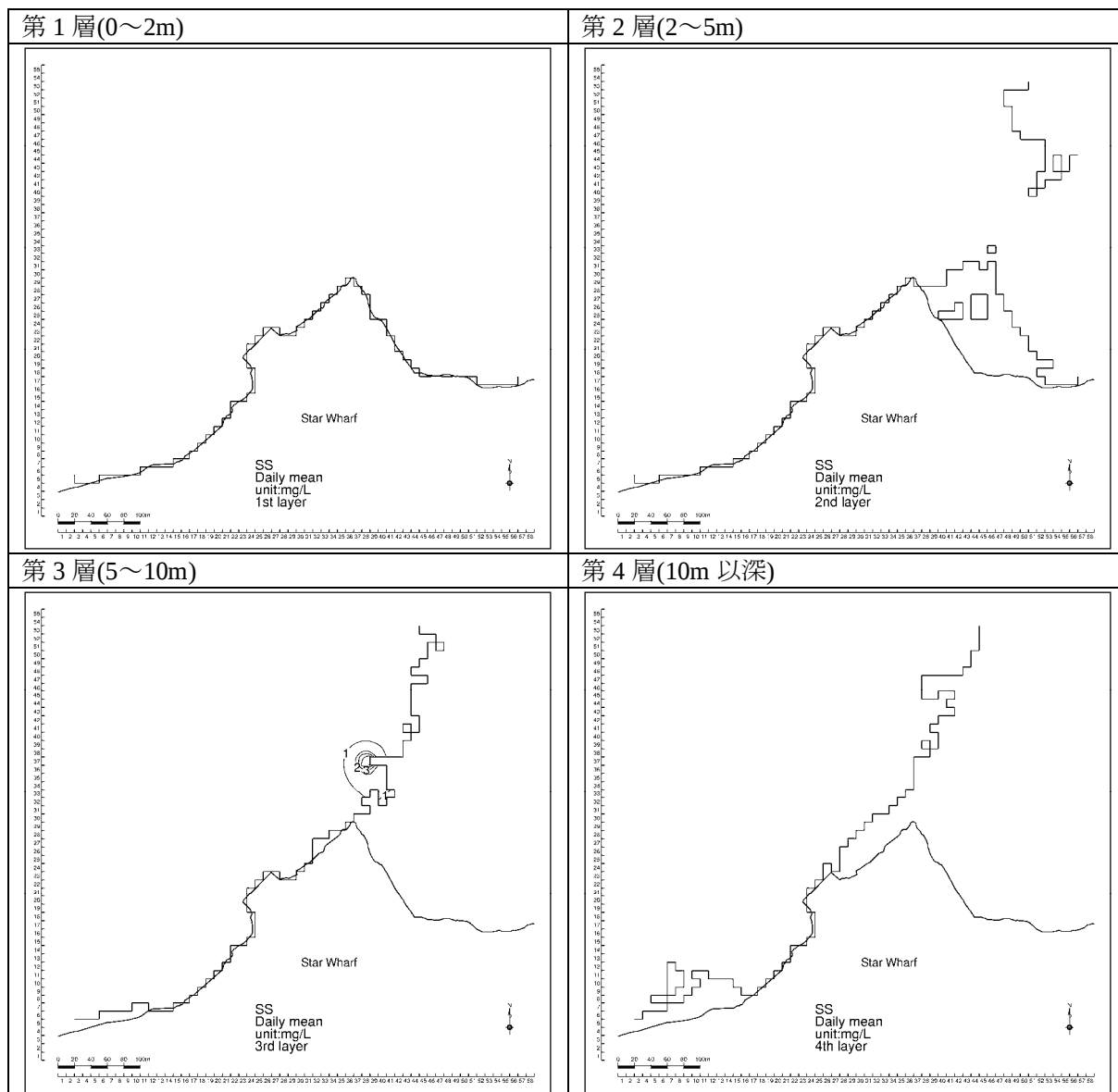


図 6.3.3-2(2) SS 濃度分布（ケース 2：ポンプ浚渫[汚濁防止膜あり],小領域,日平均値）

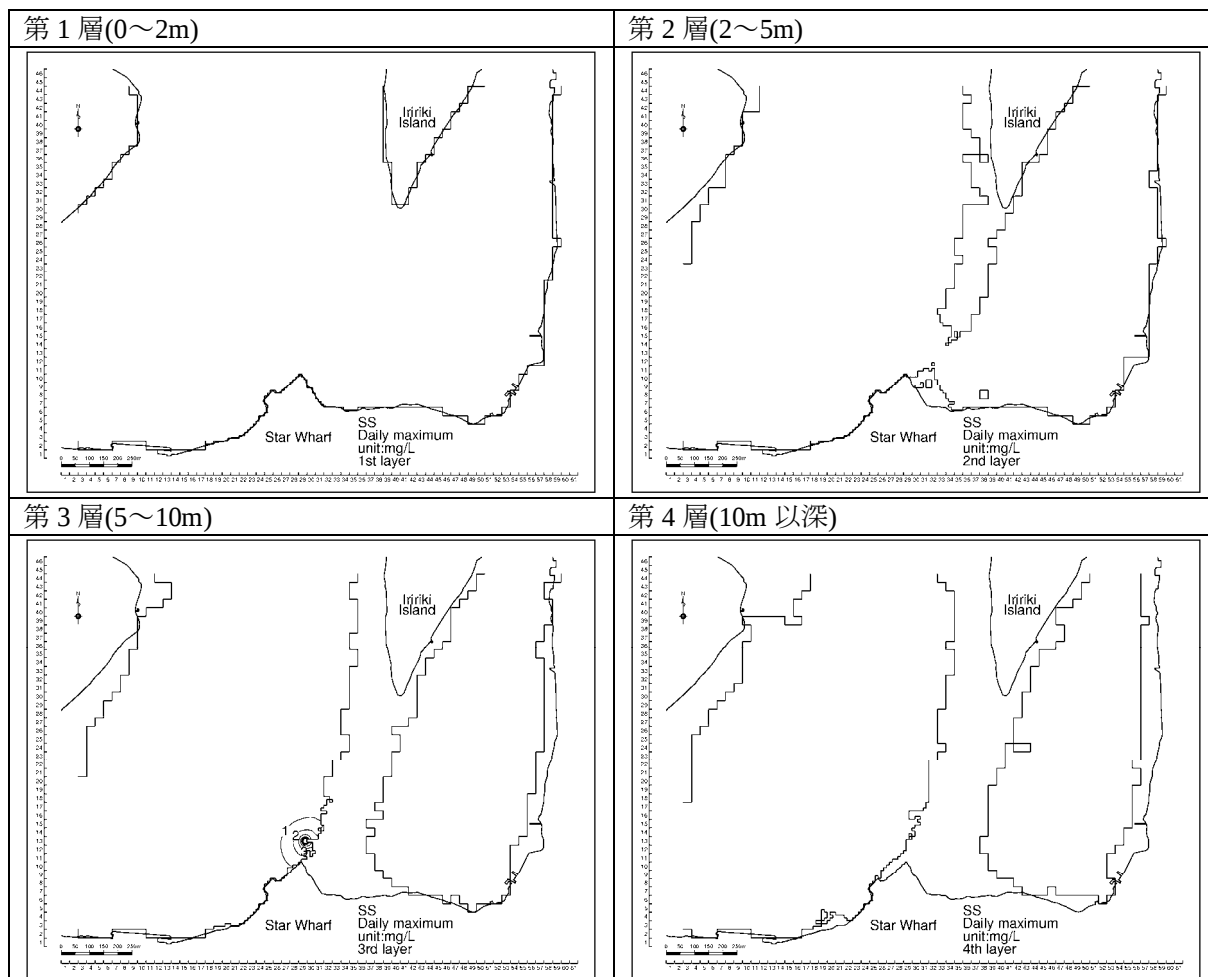


図 6.3.3-2(3) SS 濃度分布（ケース2：ポンプ浚渫[汚濁防止膜あり],中領域,日最大値）

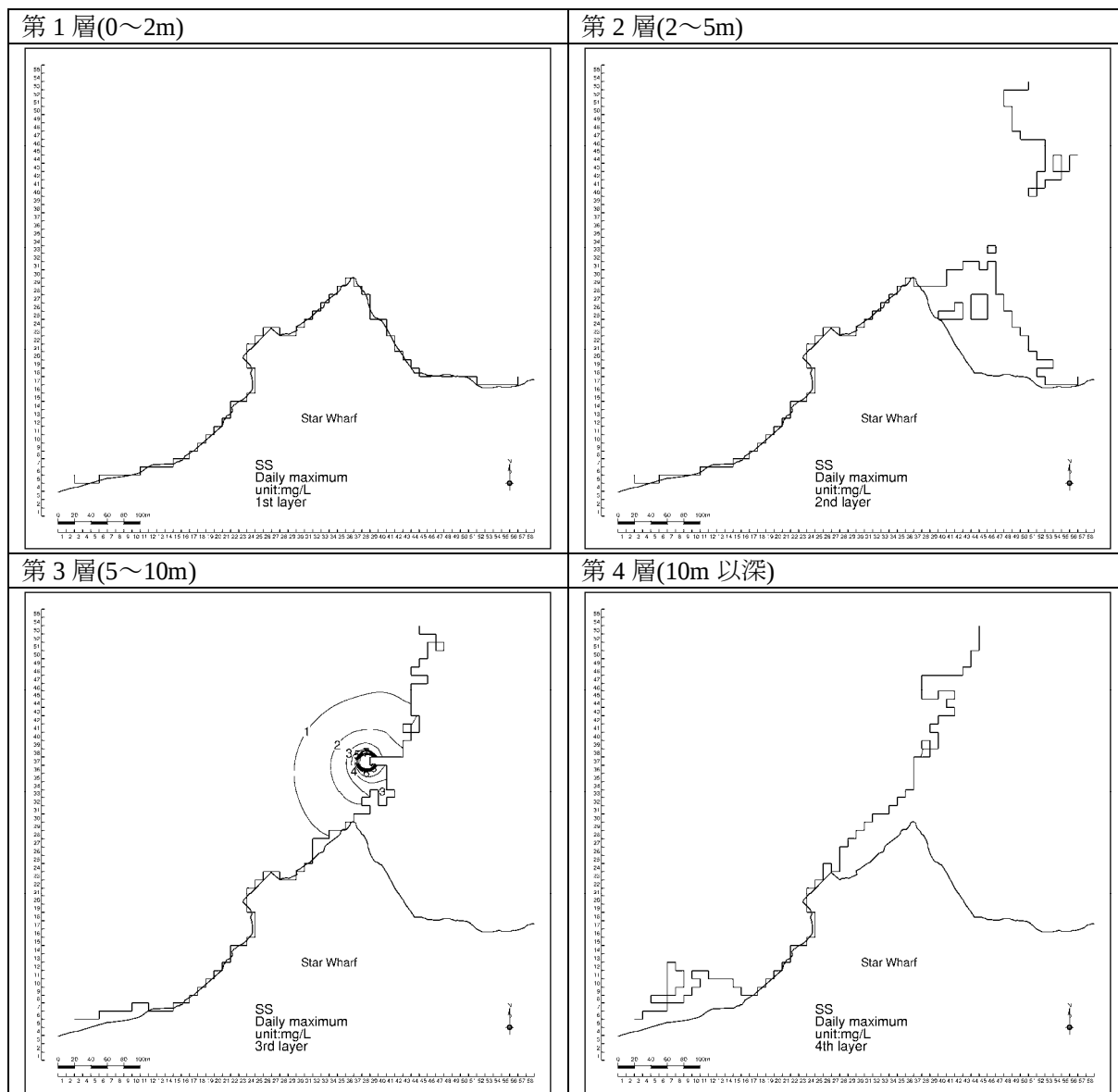


図 6.3.3-2(4) SS 濃度分布（ケース 2：ポンプ浚渫[汚濁防止膜あり],小領域,日最大値）

(b) ケース 3 および ケース 4（グラブ浚渫）

グラブ浚渫による SS 濃度の拡散分布を作成し、ケース 3(汚濁防止膜なし)の結果を図 6.3.3-3、ケース 4(汚濁防止膜あり)の結果を図 6.3.3-4 に示す。計算結果は、1 日の平均値と最大値の分布を示した。

ケース 3 の予測結果をみると、全ての層において SS 濃度分布がみられており、第 2 層(2～5m)で最も広い範囲に拡散している。SS の広がり、日最大値の 2mg/L の範囲が負荷の発生場所から第 1 層(0～2m)で半径約 200m の範囲内に、第 2 層(2～5m)で半径約 250m の範囲内に広がっている。また、第 3 層(5～10m)および第 4 層(10m 以深)でも半径約 150m の範囲内に SS が拡散している。

汚濁防止膜ありのケース 4 の予測結果をみると、SS の広がり、日最大値の 2mg/L の範囲は、負荷の発生場所から半径約 100m～200m の範囲内となっている。

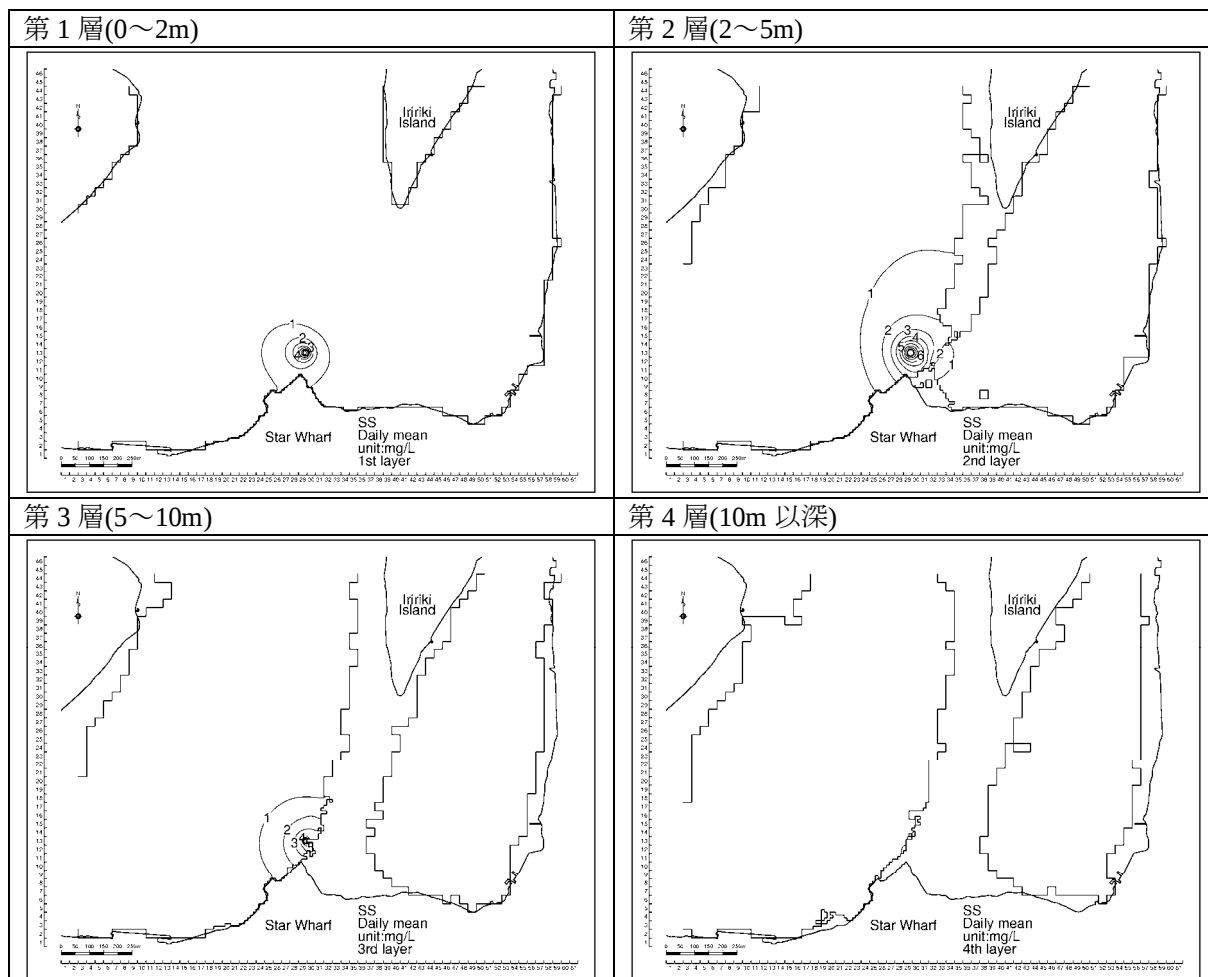


図 6.3.3-3(1) SS 濃度分布（ケース3：グラブ浚渫[汚濁防止膜なし],中領域,日平均値）

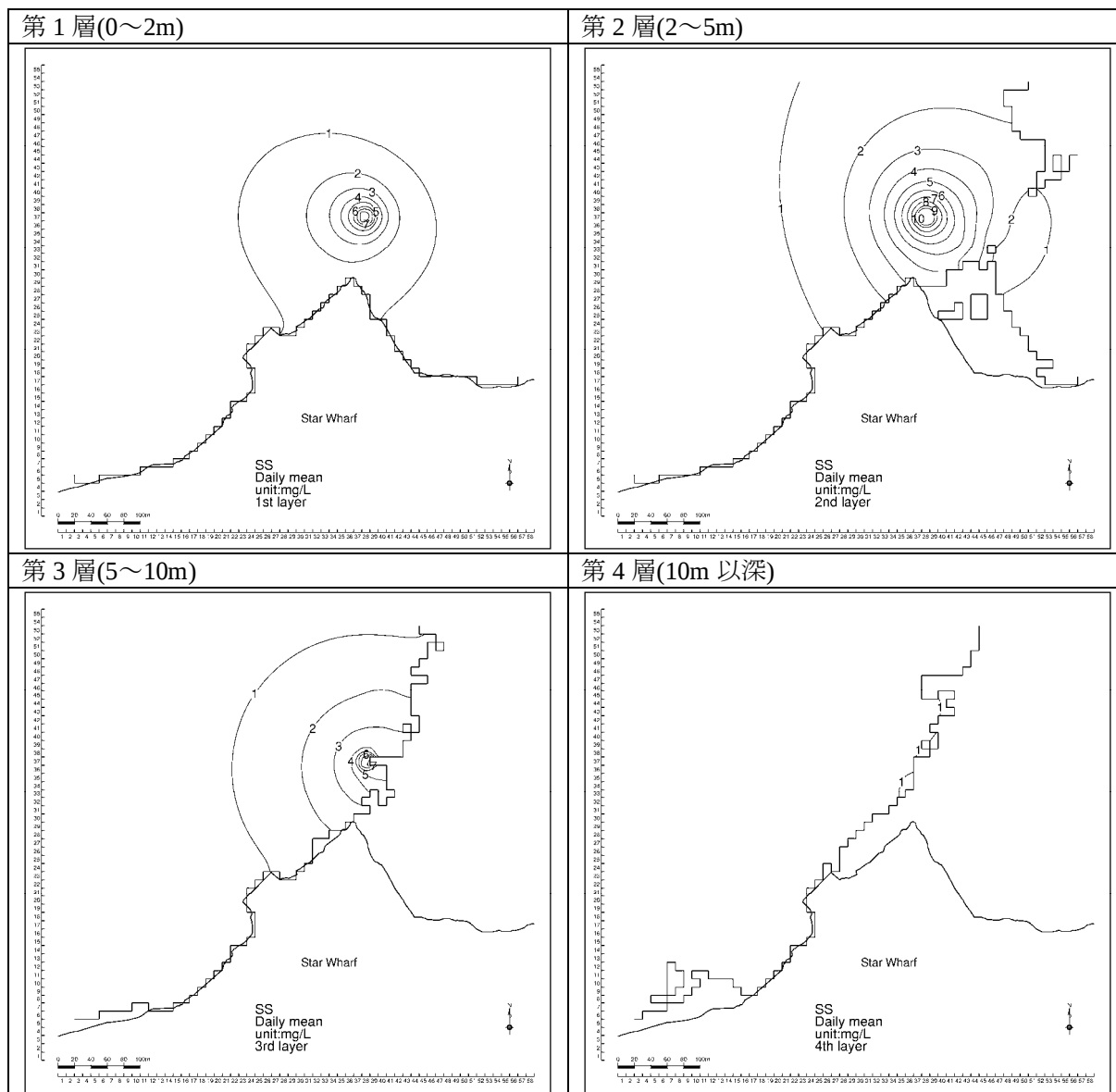


図 6.3.3-3(2) SS 濃度分布（ケース 3：グラブ浚渫[汚濁防止膜なし],小領域,日平均値）

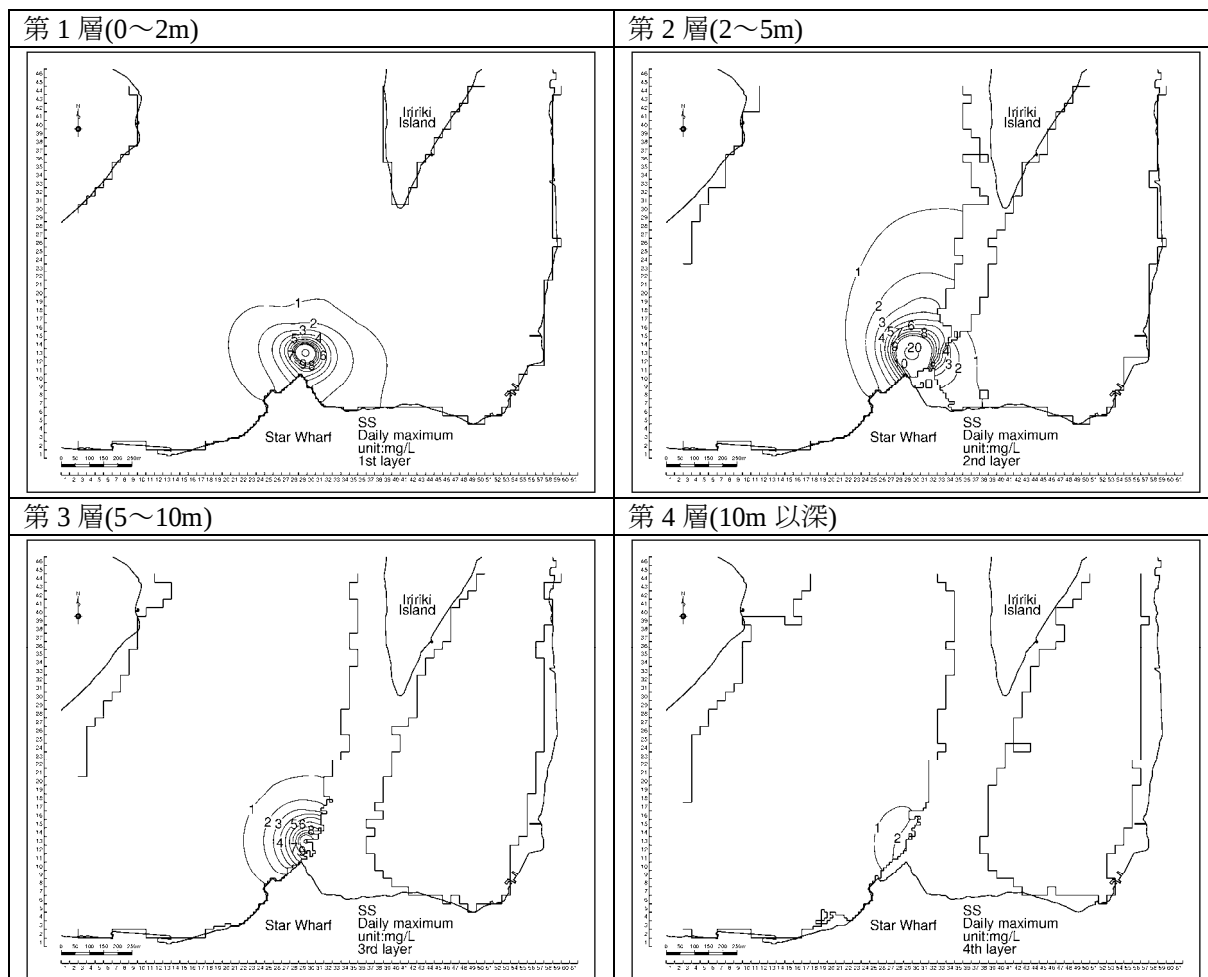


図 6.3.3-3(3) SS 濃度分布（ケース3：グラブ浚渫[汚濁防止膜なし],中領域,日最大値）

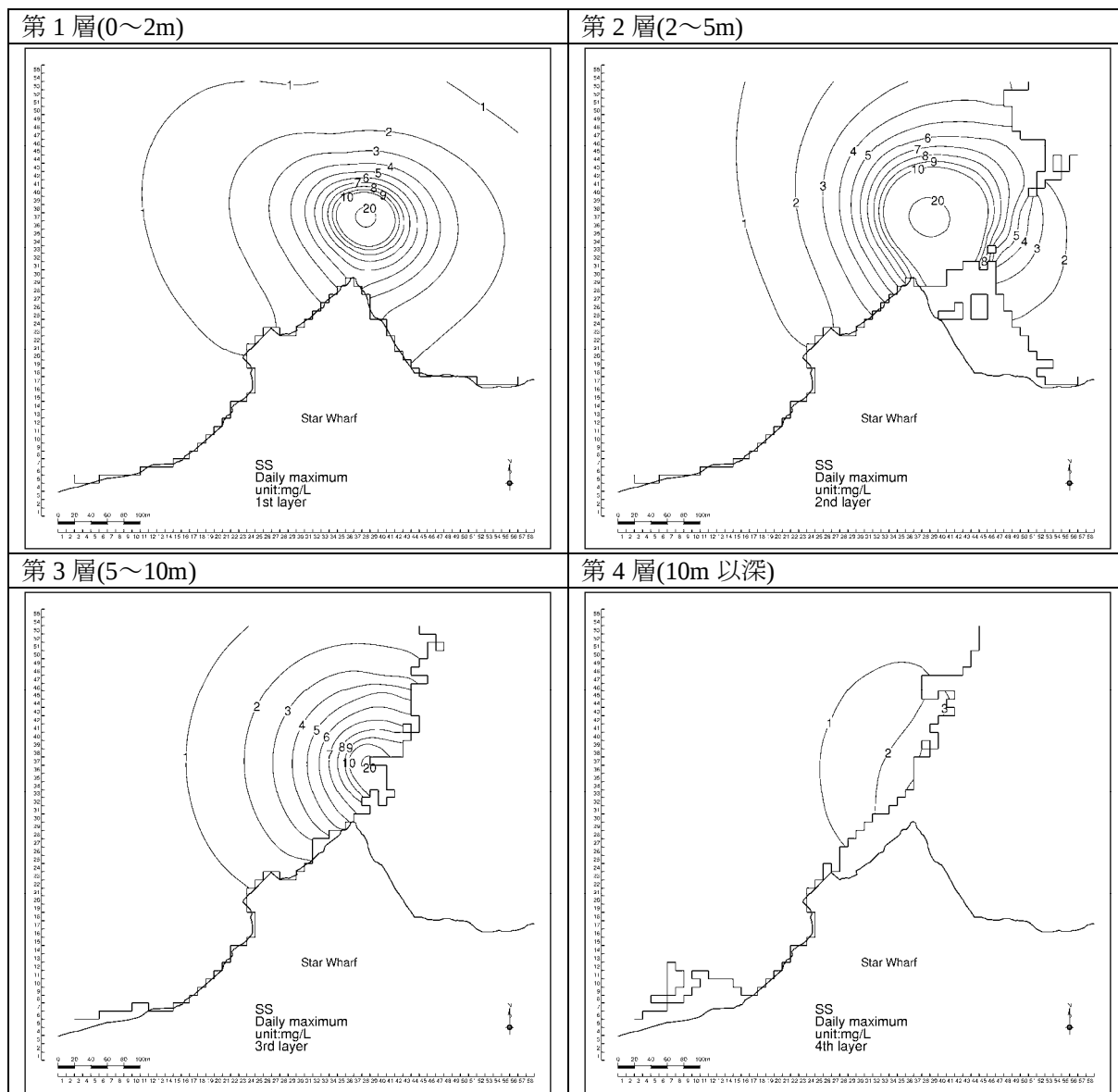


図 6.3.3-3(4) SS 濃度分布（ケース 3：グラブ浚渫[汚濁防止膜なし],小領域,日最大値）

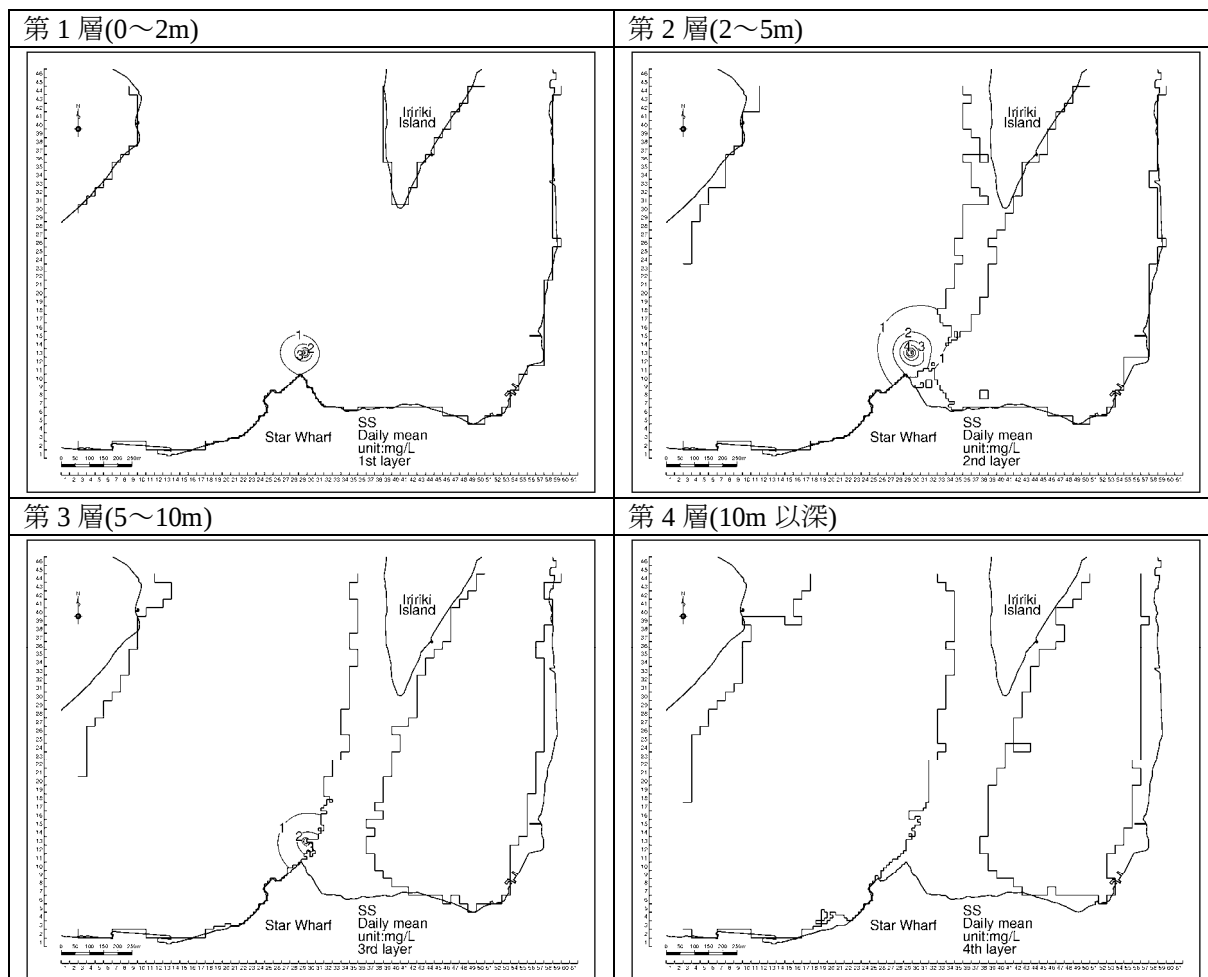


図 6.3.3-4(1) SS 濃度分布（ケース4：グラブ浚渫[汚濁防止膜あり],中領域,日平均値）

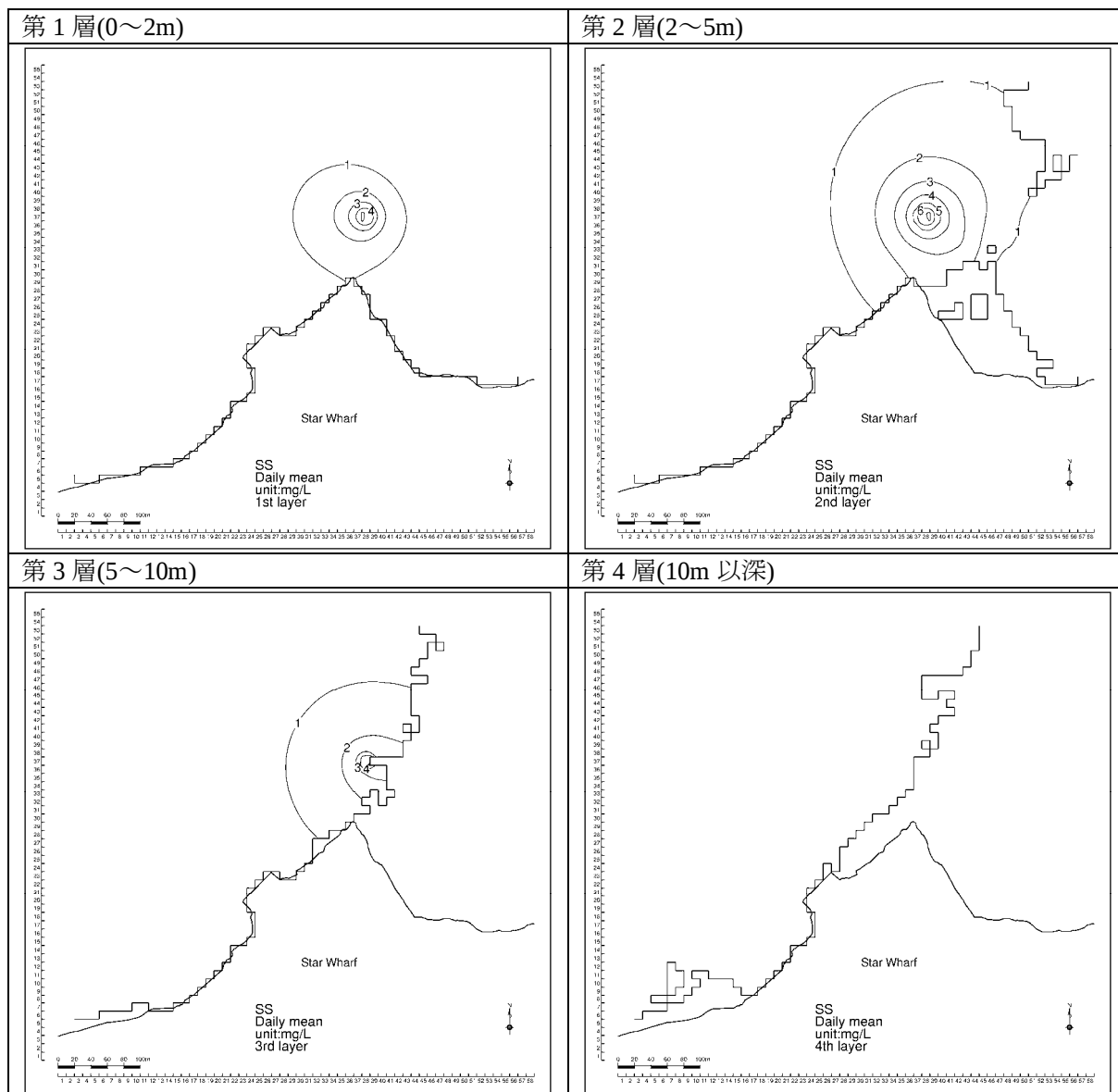


図 6.3.3-4(2) SS 濃度分布（ケース 4：グラブ浚渫[汚濁防止膜あり],小領域,日平均値）

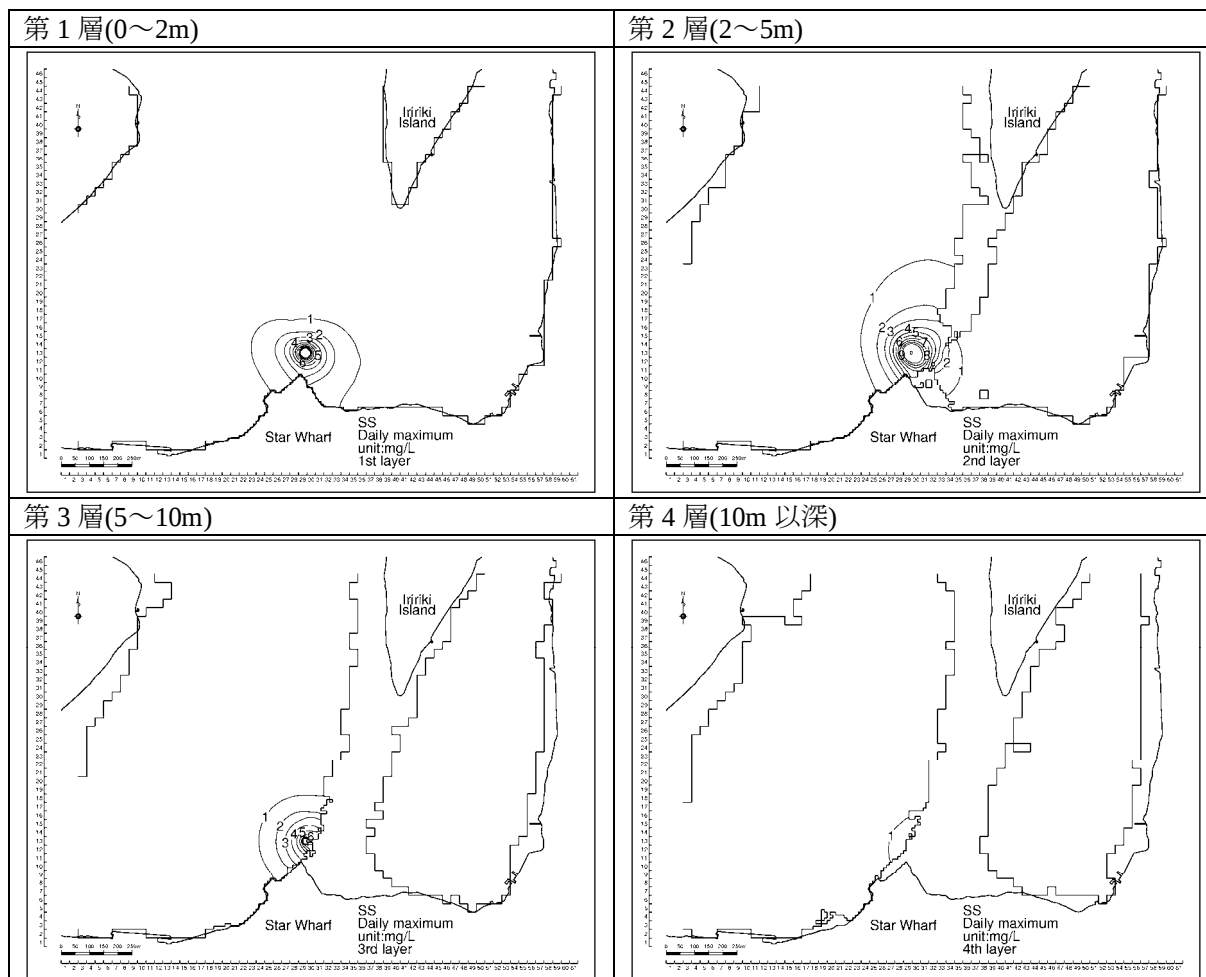


図 6.3.3-4(3) SS 濃度分布（ケース4：グラブ浚渫[汚濁防止膜あり],中領域,日最大値）

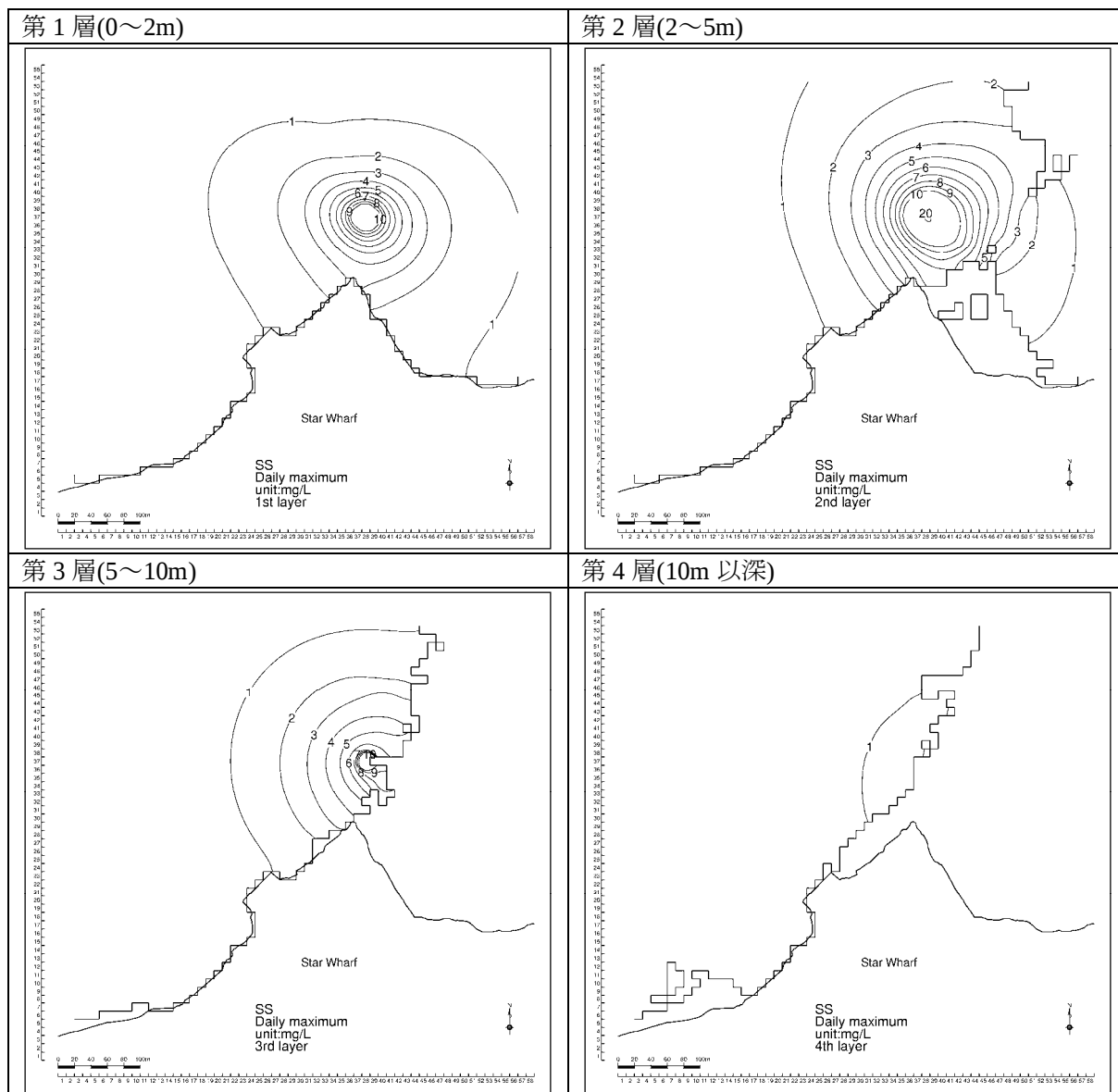


図 6.3.3-4(4) SS 濃度分布（ケース 4：グラブ浚渫[汚濁防止膜あり],小領域,日最大値）

(2) シルトの堆積

工事中の SS 拡散に伴う海底への SS の堆積の予測は、表 6.3.3-2 に示す計算ケースの SS 拡散予測結果で得られた SS の堆積量から堆積厚に換算した。SS 拡散予測結果から得られる堆積量は 1 日の工事における堆積量であることから、工事期間 30 日間の堆積厚となるように 30 倍して、堆積厚分布を求めた。

この結果で得られる堆積厚分布は、工事期間 30 日の間、同じ場所で施工していた場合を想定したもので、実際には工事期間中に施工場所を移動する。そのため、実際に生じる SS の堆積は、予測結果よりも小さくなると考えられる。

表 6.3.3-2 堆積厚の予測に用いた計算ケース

計算ケース名	工法	汚濁防止膜
ケース 1	ポンプ浚渫船	なし
ケース 3	グラブ浚渫船	なし

(a) ケース 1（ポンプ浚渫）

海底への SS の堆積厚の予測結果を図 6.3.3-5 に示す。堆積厚が 1mm 以上の範囲は、施工場所を中心として半径約 60m の範囲内になると予測し、施工場所よりも西側へ広がりやすい結果となった。堆積厚の最大値は、10mm 以上となっているが、工事期間中の施工場所の移動を考慮すると、この値よりも小さくなると考えられる。

(b) ケース 2（グラブ浚渫）

海底への SS の堆積厚の予測結果を図 6.3.3-6 に示す。堆積厚が 1mm 以上の範囲は、施工場所を中心として半径約 150m の範囲内になると予測し、施工場所よりも西側へ広がりやすい結果となった。堆積厚の最大値は、10mm 以上となっているが、工事期間中の施工場所の移動を考慮すると、この値よりも小さくなると考えられる。

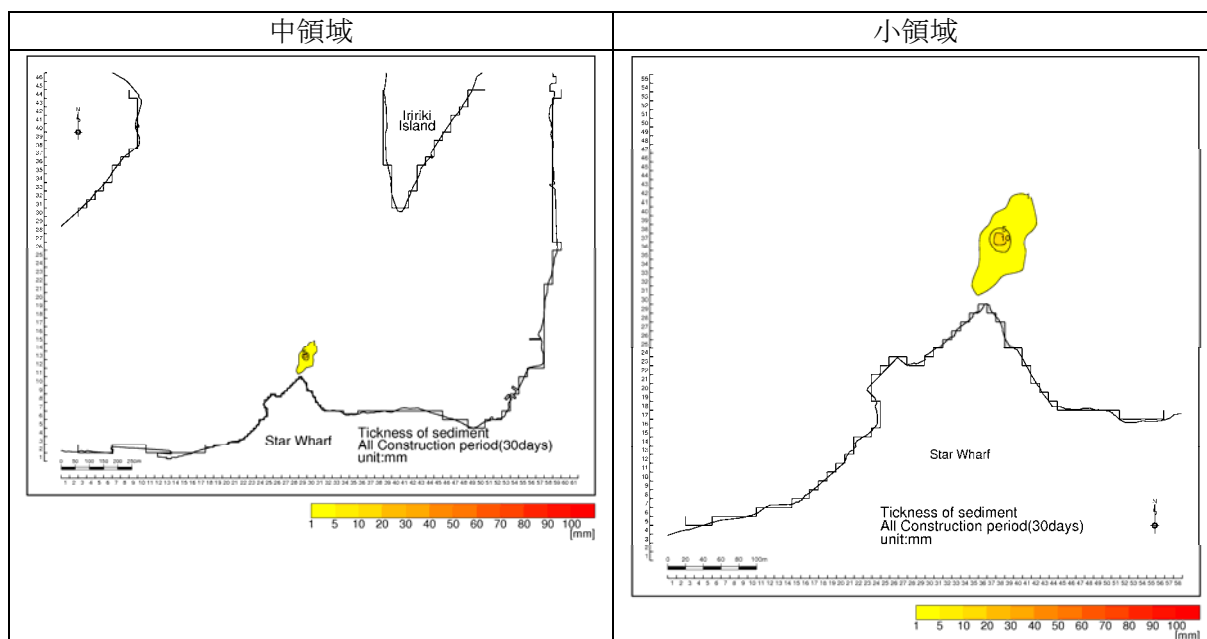


図 6.3.3-5 SS の堆積分布（ケース 1：ポンプ浚渫）

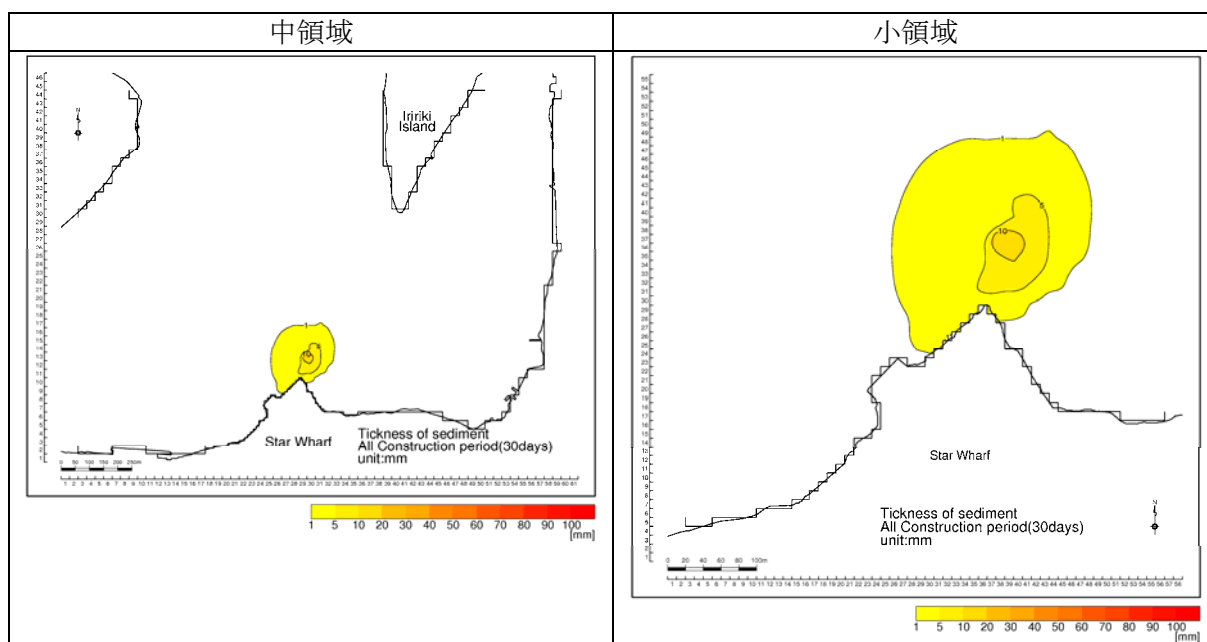


図 6.3.3-6 SS の堆積分布（ケース 3：グラブ浚渫）

7. 事業実施によるサンゴと流況への影響と緩和策

7.1 事業実施による影響の評価

7.1.1 埋立による消滅の影響

サンゴ礁の分布と工事実施区域の重ね合わせは図 7.1.1-1 に示すとおりである。

工事区域及びその近傍では、ハナヤサイサンゴ科、ミドリイシ科、キクメイシ科等に属する計 25 種のサンゴ類が確認された。これらのうち、ハマサンゴ属、ユビエダハマサンゴ、ヤッコアミメサンゴ等では直径 50cm 以上の大型の群体が確認された。

これらのことから、埋立箇所において、大型個体を有するサンゴ高被度域の一部が失われることになる。



図 7.1.1-1 サンゴ礁の分布と工事実施区域の重ね合わせ

7.1.2 流動変化、シルト堆積に伴う影響

(1) 流動変化に伴う影響

(a) 流動変化の予測

スター埠頭整備に伴う流動変化は、図 7.1.2-1 に示すように、スター埠頭の埋立地近傍の表層でみられており、1cm/s の流速の減少となっている。流速の変化域は、下げ潮時や干潮時に広がる傾向で、上げ潮時の流速変化域は狭く、満潮時には±0.5cm/s 以上の変化はみられていない。平均流の流速変化は、埋立地近傍で 0.5cm/s の流速の減少域が局所的にみられている。

流向の変化は、埋立地の存在により若干の変化はみられるものの、現況における流れの向きを大きく変える状況はみられなかった。

予測結果からポートビラ湾の海水交換の変化を検討した結果、ポートビラ湾の水平循環に大きな変化はみられなかった。

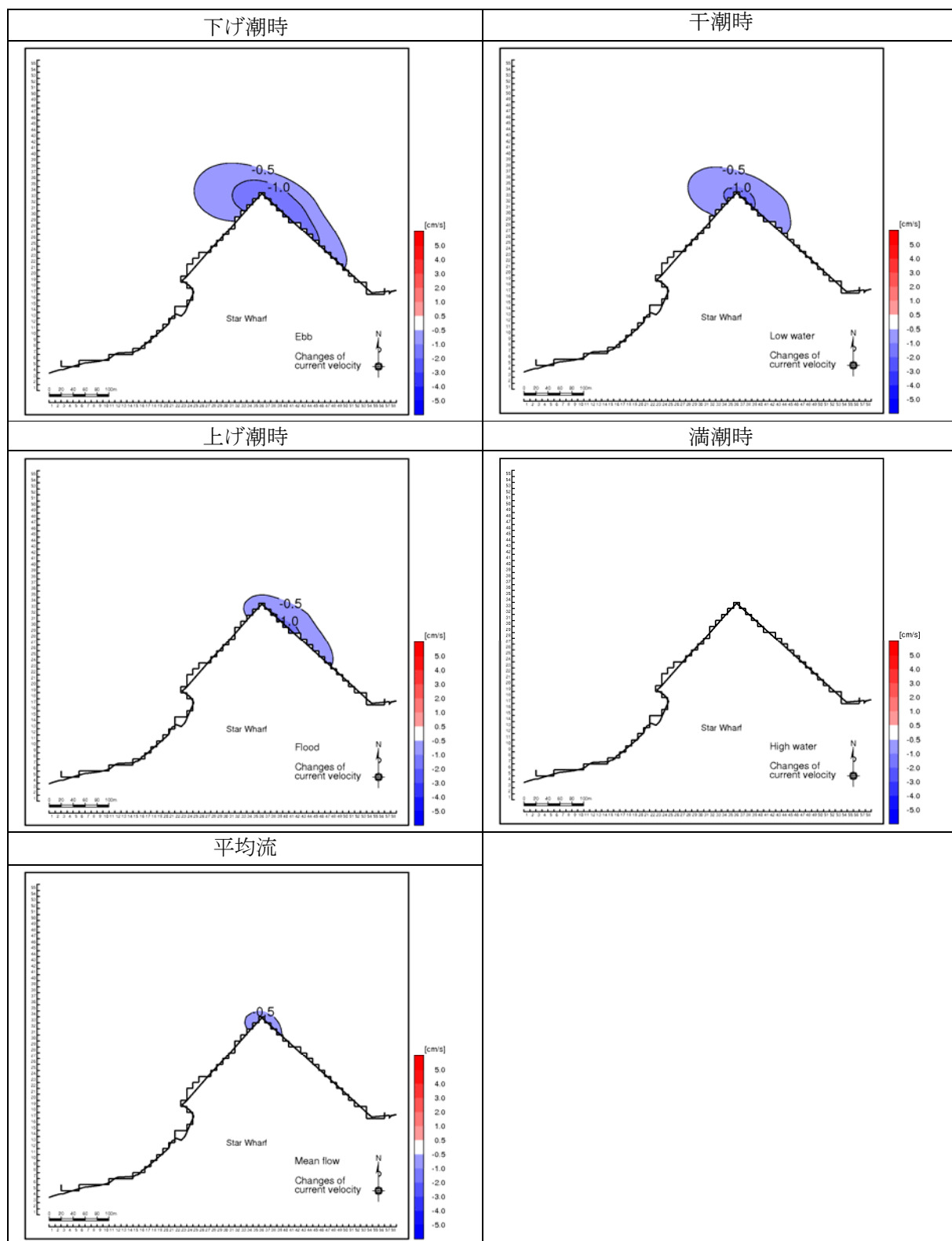


図 7.1.2-1 流速の変化（小領域、第1層）

(b) 流動変化に伴うサンゴへの影響

サンゴ類は、種類やサイズによって潮流速等の適応範囲が異なる。一般に流れや波当たりのある場所が適しており、流れが弱くなると成長が阻害される可能性が考えられる。

流速変化域は図 7.1.2-2～図 7.1.2-4 に示すとおり埠頭近傍でみられており、流速が現況より遅くなることが想定されるが、流速の変化は 1 cm/s 程度であり、流速変化によるサンゴ類への影響の程度は小さいと予測される。

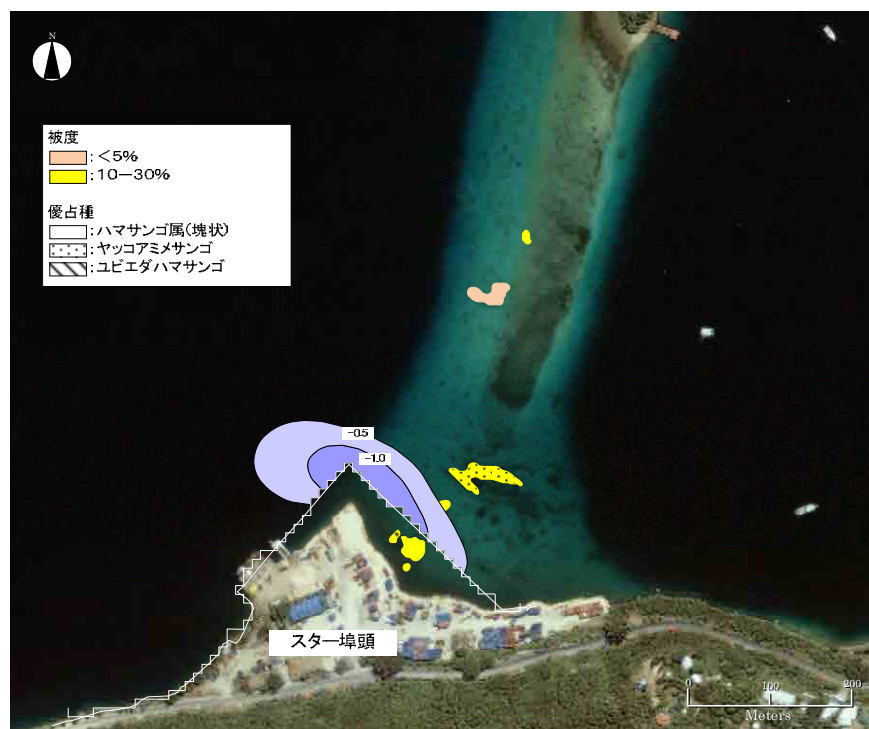


図 7.1.2-2 サンゴ礁の分布と流速変化値図の重ね合わせ（下げ潮時）



図 7.1.2-3 サンゴ礁の分布と流速変化値図の重ね合わせ（上げ潮時）



図 7.1.2-4 サンゴ礁の分布と流速変化値図の重ね合わせ（平均流）

(2) シルトの拡散、堆積に伴う影響

(a) シルト拡散の予測

スター埠頭整備に伴う工事中のシルトの拡散は、図 7.1.2-5～図 7.1.2-6 に示すように、浚渫工事の施工場所近傍で SS の拡散がみられている。ポンプ浚渫による工事の場合、表層への濁りの拡散はみられない。SS は海底付近で発生し、水平方向に広がる結果となっている。一方で、グラブ浚渫による工事の場合、いずれの層でも濁りの拡散がみられている。SS の拡散範囲は、グラブ浚渫よりもポンプ浚渫の方が狭い範囲に留まると予測され、汚濁防止膜の設置によりさらに拡散範囲を低減することが可能と予測した。

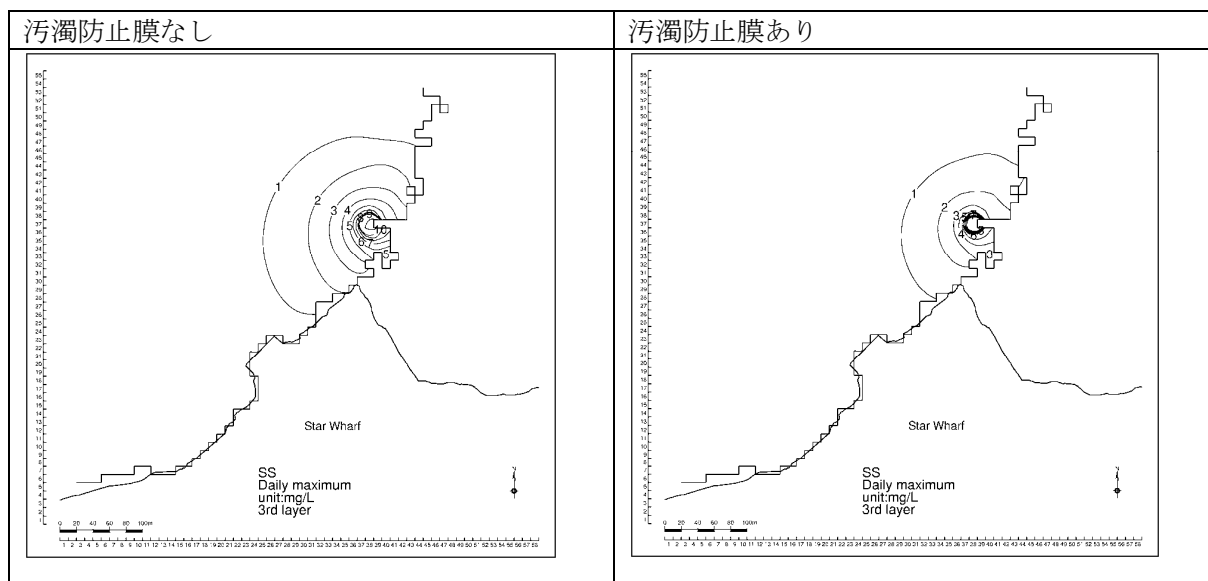


図 7.1.2-5 SS の日最大濃度の分布（小領域、ポンプ浚渫、第3層[5～10m]）

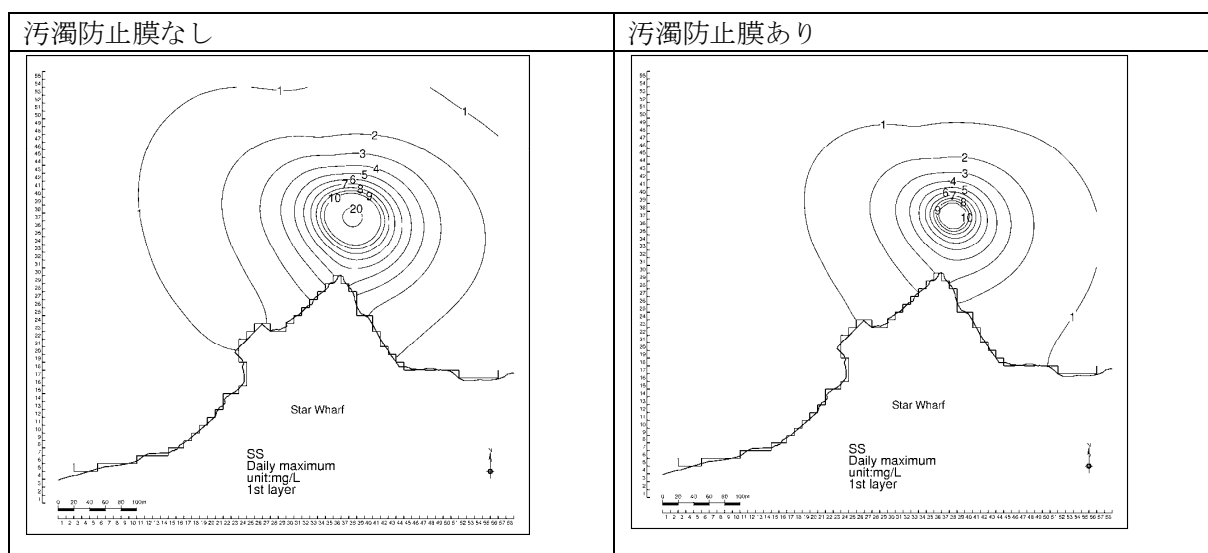


図 7.1.2-6 SS の日最大濃度の分布（小領域、グラブ浚渫、第1層[0～2m]）

(b) シルト堆積の予測

堆積厚が1mm以上の範囲は、ポンプ浚渫の場合には施工場所を中心として半径約60mの範囲内になると予測し、グラブ浚渫の場合には施工場所を中心として半径約150mの範囲内になると予測した。いずれも施工場所から西側へ堆積範囲が広がる傾向となっていた。

なお、この予測では工事期間中に同じ場所で施工した場合を前提としており、実際の工事における施工場所の移動を考慮すると、堆積厚は全体的には薄くなり、堆積範囲は広がると推定される。

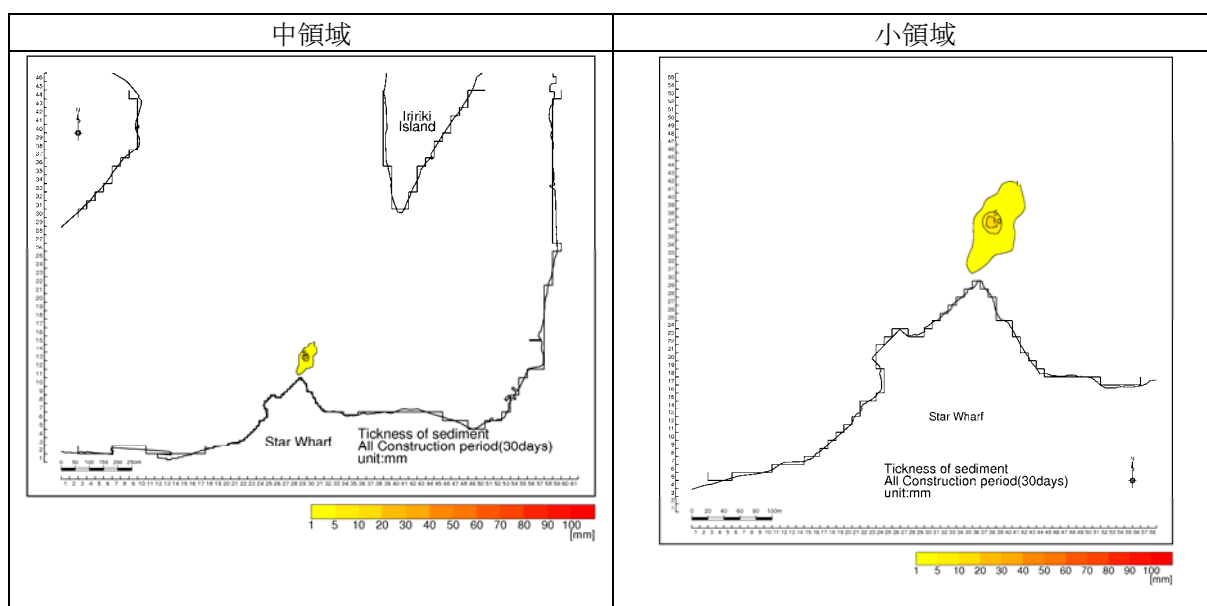


図 7.1.2-7 SS の堆積分布（ポンプ浚渫）

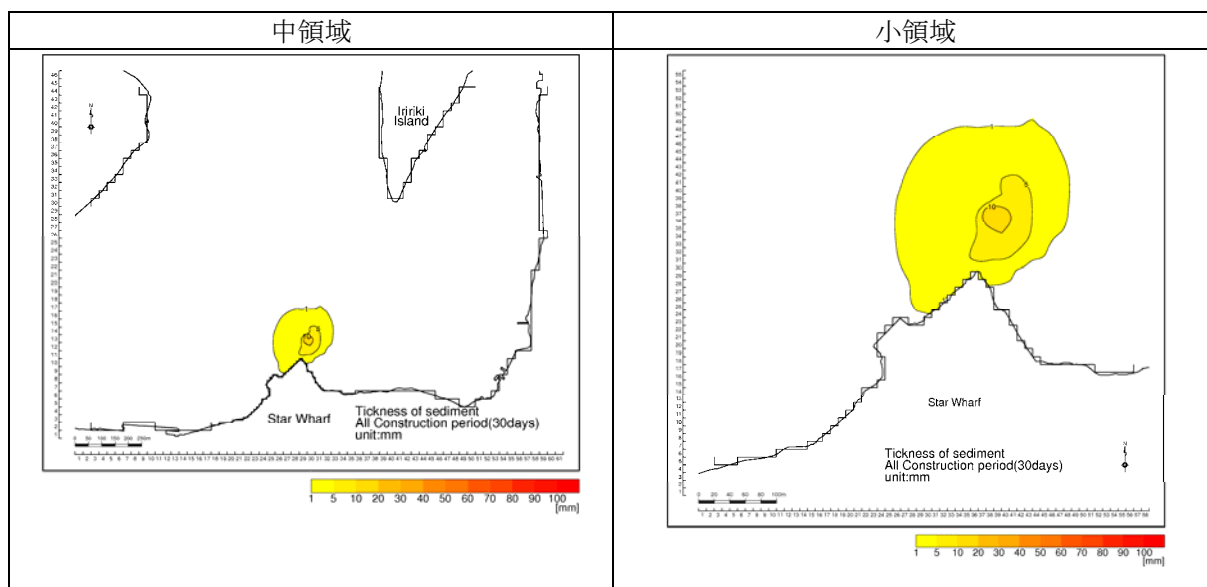


図 7.1.2-8 SS の堆積分布（グラブ浚渫）

(c) シルト拡散、堆積に伴う影響

SS の日最大濃度の分布については、ポンプ浚渫はサンゴ生息域に到達しないが、グラブ浚渫は到達する。SS の堆積分布については、ポンプ浚渫、グラブ浚渫ともに、サンゴ生息域に到達することはない。

そのため、グラブ浚渫の場合、シルト拡散によりサンゴに影響を与える可能性があり、ポンプ浚渫を選択することが適切である。

しかし、ポンプ浚渫であっても、濁りの発生及び堆積がサンゴ生息域の近傍であるため、流況によってはサンゴに影響を及ぼす可能性も考えられる。

仮に、流出した土砂や浮泥が体表への堆積した場合には、サンゴ類と共生する褐虫藻の光合成活性が低下し、その成長に影響を及ぼすとともに、サンゴ類は体表に付着した浮泥を取り除こうと大量の粘液を分泌し、衰弱すると考えられる。さらに、白化の起こりやすい高水温期等の脆弱期には、サンゴ類に影響を及ぼす可能性が大きくなると予測される。

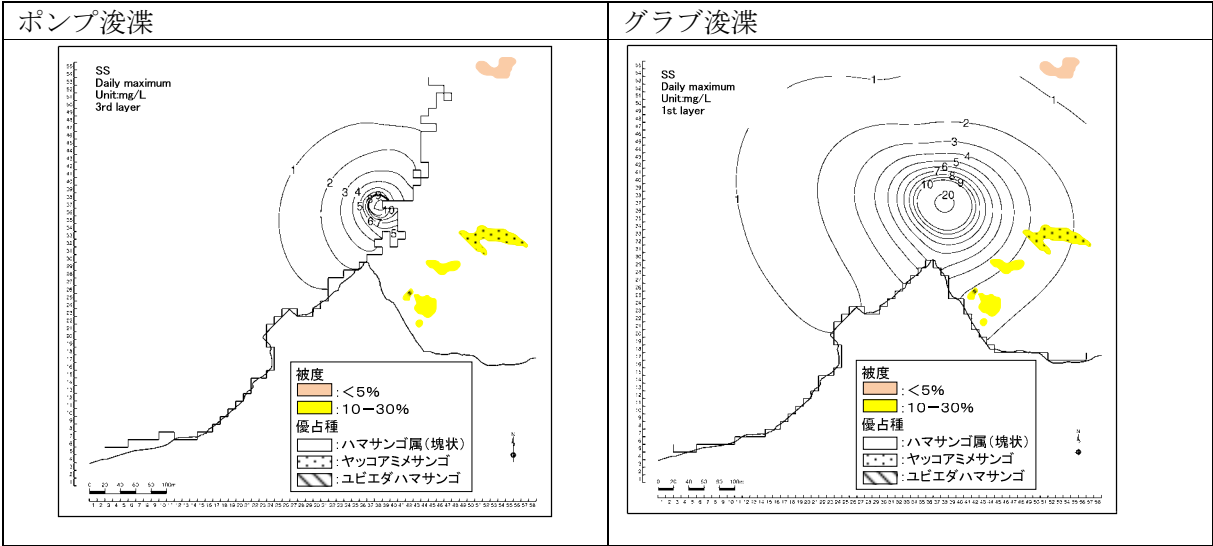


図 7.1.2-9 サンゴ礁の分布と SS の日最大濃度の分布の重ね合わせ

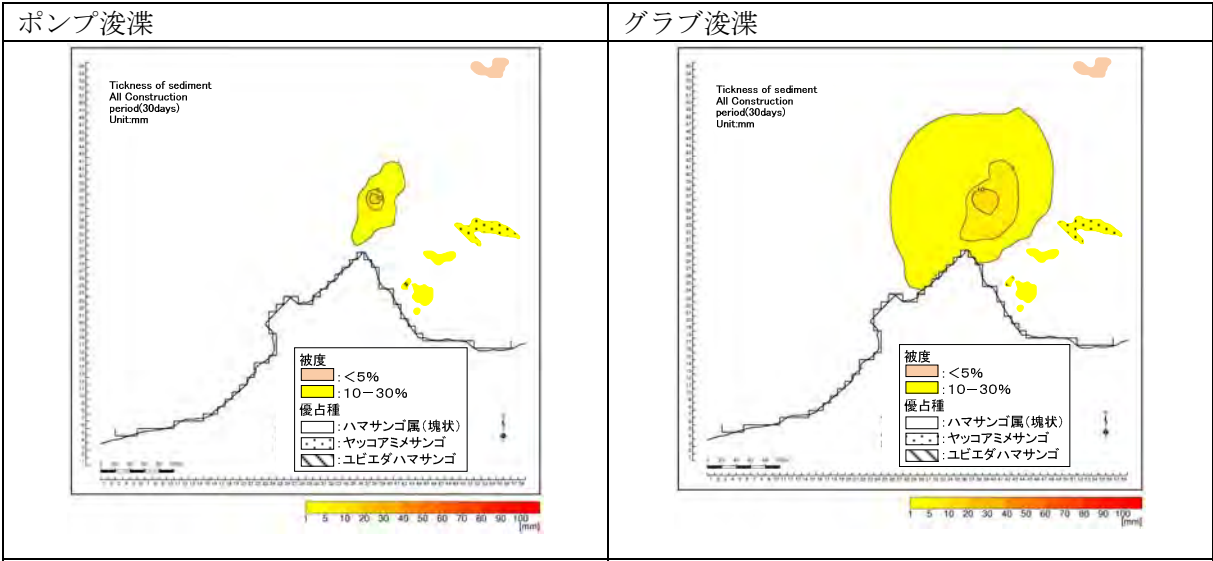


図 7.1.2-10 サンゴ礁の分布と SS の堆積分布の重ね合わせ

7.1.3 その他工事による影響

Ecostrategic consultants へのヒアリング結果（2011 年 10 月 25 日）によると、ジュゴンはメレ湾付近に 3 頭生息しており、しばしばポートビラ湾に入ってくるが、アマモ場（餌場）のある Marapoa reef 付近に行くのみで、ポンツーン小湾、パレー小湾には入ってこない。また、ウミガメは、バナアツ全般に生息するが、ポートビラ湾には産卵する浜もなく、ほとんど入ってこない。入ってくるとしても偶発的である。そのため、これらに対する影響はほとんどないと考えられる。

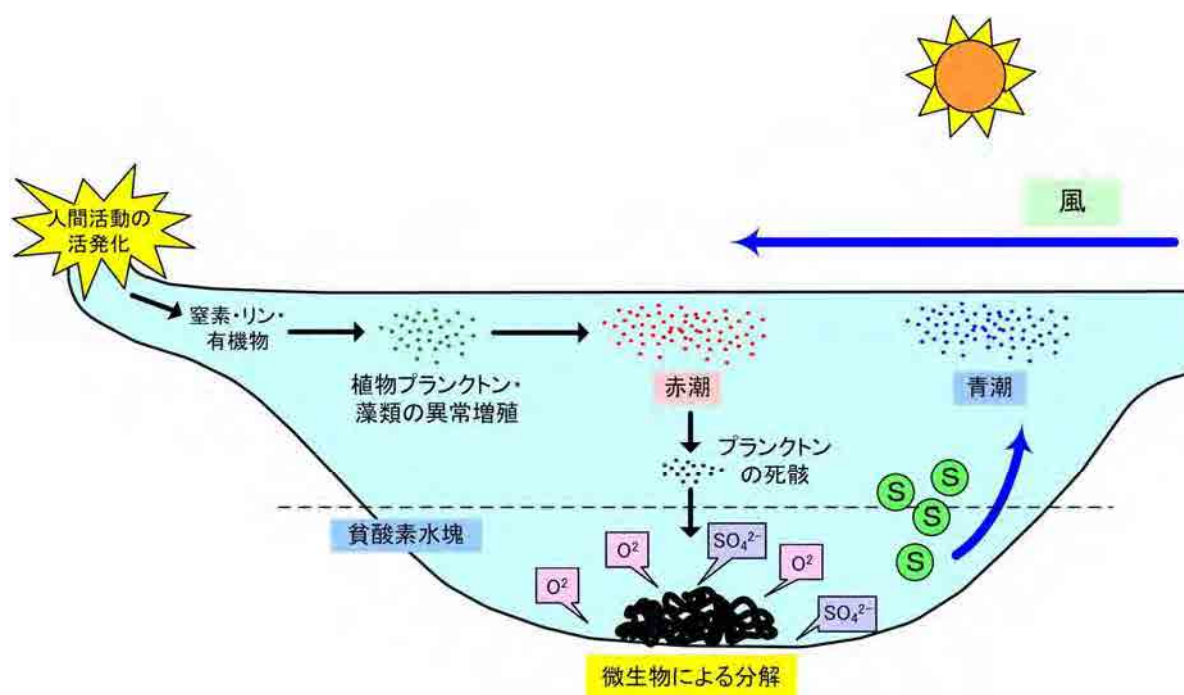
7.1.4 海水温がサンゴの白化現象に与える影響

本調査で収集した事業対象エリアでの海水温データについては 5.2.3 に記載したとおりであり、現地調査では白化現象は確認されなかった（5.1.1 に記載）。通常、サンゴの白化現象は水温 30℃と言われているが、調査期間中の表層水温は 27～28℃であり、白化現象は発生していないと考えられる。

7.1.5 人間活動の活発化による影響

事業そのものがポートビラ湾の水質等に与える影響はほとんど無く、直接水質悪化にはつながらない。また、ポートビラ市やエファテ島への人口の集中は現在すでに起こっている事象であり、港湾の整備とは直接関係はない。

また、港湾の整備は同国の経済成長を背景に国際コンテナ貨物の量が増加しつつあることを受けて計画されたものであり、今後貨物量の増加を期待するものであることとともに、ポートビラ市の経済発展に寄与することをきたいするものであり、その結果生じる影響についての配慮は必要であると考えられる。



出典）東京大学 大学院新領域創成科学研究科 HP を基に作成

図 7.1.5-1 人間活動の活発化による影響例

7.1.6 事業全体のスコ어링結果

4.2 に記載したスコ어링案に対し、本調査結果に基づいて本章に記した環境への影響を反映した結果、評価を C-（影響度合いが不明なため追加的な検証が必要）としていた項目について、評価結果を以下のとおり確定する。

項目	工事中	供用後	評価根拠
自然環境			
水文	D	B-	埋め立て等により周辺の流況が変化する可能性があったが、本調査の結果、変化はわずかであると予測された。
汚染対策			
底質土	B-	D	浚渫工事にあたってシルトの流出の可能性が想定され、本調査で予測を行った。その結果、シルト流出の可能性は認められた。

また、評価に変更はないが、評価根拠に詳細な調査が必要である旨、記載していた以下の項目については評価を確定する。

項目	工事中	供用後	評価根拠
自然環境			
動植物相・生態系	B-	B-	陸上では、対象地における樹木約 60 本を移設するが、これらは固有種ではなく植林されたものであり、影響は大きくはない。また、果実等は港湾労働者が食用や医薬用などとして利用しているが、樹木の本数は 1 種類につき数本程度であり、供給量は限られていることから、樹木が移設されることによるこれらの人々の生活への影響は大きくない。 また、埋め立て地である事業地（スター埠頭）にもともと棲む動物は存在せず、現在も野鳥及びコウモリだけであることから、影響はほとんど想定されない。なお、これらの野鳥やコウモリも特に事業地に限定して生息しているものではないため影響は小さいと考えられる。 また、エファテ島には IUCN のレッドリストで VU (Vulnerable) とされる 2 種のコウモリ (<i>Pteropus anetianus</i> (Vanuatu flying fox), <i>Notopteris macdonaldi</i> (Fijian blossom bat)) が生息するが、森林や果樹園で採食するため本事業の影響はほとんどないと考えられる。鳥類では VU の <i>Charmosyna palmarum</i> (Palm Lorikeet)、<i>Erythrura regia</i> (Royal Parrotfinch)、<i>Megapodius layardi</i> (Vanuatu Megapode)、NT (Near threatened) の <i>Esacus giganteus</i> (Beach Thick-knee) がエファテ島に生息するが（うち、<i>M. layardi</i> と <i>E. giganteus</i> は固有種）、山地もしくはマングローブや河口を主な生息場とするため、本事業による影響はほとんどないと考えられる。 一方、海洋では、埋立により 1.6ha の範囲でサンゴを中心とした海底生物が影響を受ける可能性がある。

7.2. 緩和策の検討

7.2.1. 埋立による消滅に対する緩和策

埋立が予定されている区域に、塊状ハマサンゴ属やユビエダハマサンゴが、比較的まとまった規模で生息している。特にユビエダハマサンゴの高被度群生は、浅所が限られているポートビラ湾域では稀少な存在で生育条件が限られるため、塊状ハマサンゴにあわせて適切な海域へ移設されることが望まれる。適切な移設によりサンゴ生産量、再生産量、すみかの量が維持され、ポートビラ湾のサンゴ礁保全に貢献することになる。

(1) 埋立予定地における主なサンゴの分布状況

埋立予定地におけるサンゴ分布状況は 5.1.4 に記述したとおり、優占して分布するサンゴは塊状ハマサンゴ属とユビエダハマサンゴである。両種類とも静穏海域に分布するサンゴで、塊状ハマサンゴについてはバツマル小湾口にも広く分布がみられるが、ユビエダハマサンゴについてはイフィラ島北部に生息する程度である。ポートビラ湾内においては、埋立予定地におけるユビエダハマサンゴは小規模であるが、比較的被度が高い群生という点で貴重な存在といえる。ポンツー小湾、パレー小湾ともに急深な地形で、スター埠頭付近の浅瀬が両種類の分布を許している。したがって、湾奥におけるこれらのサンゴはできる限り類似環境に移設して、生残させることが望まれる。

埋立予定地に分布するそれらのサンゴは塊状ハマサンゴ属が合計 127 群体、枝状のユビエダハマサンゴが約 20 m²である。これらは水深 1.5～2.1mの浅所に分布するため、大型の船舶の使用が困難であることから、塊状ハマサンゴ属については、小型船舶により運搬可能な大きさのものに限定せざるを得ない。現地で備船可能な船舶の規模から考えると、塊状ハマサンゴ属については群体の長径 2m 以下程度のものを移設対象とするのが適当と考えられる。移設対象とするサンゴは表 7.2.1-1 に示す通り、塊状ハマサンゴ属で 121 群体、ユビエダハマサンゴで約 20 m²となる。

表 7.2.1-1 移設対象サンゴ（黄色枠）

分布域		A		B		C
優占種		ハマサンゴ属（塊状）		ハマサンゴ属（塊状）		ユビエダハマサンゴ
項目		群体数	面積 (m ²)	群体数	面積 (m ²)	群集規模 (m ²)
群体長径	<1m	97	19			約 20
	1～2m	19	34	5	9	
	2～3m	5	25			
	>3m	1	10			
合計		122	88	5	9	約 20
うち移設対象計		116	53	5	9	約 20

(2) 移設手法の検討

既存サンゴの移植、移設については世界の各地で様々な手法が試みられており、それらは2010年世界銀行資金で Reef Rehabilitation manual¹として刊行されている。それらを手法別にみると、次のように整理できる（表 7.2.1-2）。

表 7.2.1-2 移植・移設事例の手法別分類

No	移植・移設内容	国	地域
	ダイナマイト漁で破壊されたサンゴ礁回復促進のための基盤の安定化	インドネシア	コモド国立公園
	サンゴ群集創造のための群体移植	ツバル	フナフチ環礁
	リゾートでの金属基盤にサンゴ断片や群体の移植	モルディブ	
	サンゴや魚類の加入促進のため人工基盤の設置	タイ	プーケット
	衰退したサンゴ礁への養殖サンゴの移植	イスラエル	エイラート
	座礁により破損したサンゴの再固定	プエルトリコ	モナ島
	石西礁湖における着床具サンゴ移植	日本	石西礁湖
	白化した禁漁区へのサンゴ移植	フィジー	モツリキ島
	ハリケーンで破壊された礁における人工礁への断片移植	メキシコ	コズメル
	ダイナマイト漁で破壊されたサンゴ礁におけるネットによる瓦礫の安定化	フィリピン	ネグロス島

これらのうち、既存サンゴ群集移植に関係するのはツバル、モルディブ、イスラエル、プエルトリコ、フィジー、メキシコの事例であるが、いずれも移植断片を接着剤で固定するものである。本件の場合、ユビエダハマサンゴでは、海底に固着されているのではなく、いわゆる「浮サンゴ」の状態が存在しており、類似海域においても基本的には同様の状態で移設することが考えられる。ただし、移設後、群生が安定するまで、群生周辺をプラスチック・ネットで囲い、補強することが必要である。塊状ハマサンゴ属では群体が大きいため、接着剤で固定することは不可能であることから、鉄杭で安定化させる手法が適当である。これは環境省の移植手法報

¹ Edwards AJ (ed) (2010) Reef Rehabilitation Manual, Coral Reef Targeted Research & Capacity Building for Management Program

告に紹介されている事例で²、塊状ハマサンゴ属の周りに海底が岩盤の場合、ボルトを打込み固定させ、砂底の場合、鉄杭で固定させる。

(3) 具体的な移設方法

ポートビラ湾に停泊する船舶では、船自体が小さく作業スペースが少ないものや、エンジンの馬力が大きくないものなど、大がかりな機材を用いて行う直径 2m 以上の大型サンゴの移設には向かない。そのため、ポートビラ湾にある船舶を使用し、尚且つサンゴ移設を人力で大規模に行うことを考えた場合、次のような移設方法が提案される。

今回対象とした埋立予定区域において、優占したサンゴ類は、塊状ハマサンゴ属とユビエダハマサンゴであった。塊状ハマサンゴ属は、一般的に水温上昇や濁り等の環境変化に対して比較的耐性のある種であるとされており、水温や塩分濃度の変化が激しいリーフ内の浅瀬でも生息している。また、このような場所は、大潮の干潮時に干出することもよくみられる。したがって、塊状ハマサンゴ属は船上に引き上げ、海水を張ったバットなどにつけ、干出部は布をかぶせながら散水し運搬することで、サンゴ自体が弱ることなく十分移設が可能と考えられる。ユビエダハマサンゴについては、できるだけ群体を海水から出さずに移設するため、船上に 1 m² 程度の水槽を 4 つ並べて運搬すると効率的に移設できると考える。

なお、塊状ハマサンゴ属は、一日当たり 25 群体程度の移設が可能であると考えられ、合計 5 日間の移設で、121 群体 62 m² の移設が可能であり、ユビエダハマサンゴは、一日あたり 8 m² で 3 日間で 20 m² の移設が可能と考える。この移設方法については、サンゴ移設の専門家である東京海洋大学岡本峰雄教授から、適切であるとのコメントを得た。

(4) 移設後モニタリング

移設後、移設サンゴのモニタリングを行い、海藻繁茂や食害動物の影響等があった場合は適切な管理を行う必要がある。モニタリング頻度及び範囲は、移設後 1 ヶ月、6 か月、1 年、以後 1 年～2 年の間隔で、通常 5 年程度行い、モニタリング範囲は移設群集の 10% である。本件では、ユビエダハマサンゴで 2 m²、塊状ハマサンゴ属で約 6 m² となり、0.5m×0.5m コドラートを使用して行う。モニタリング項目は、環境省事業の例では、死滅割合、成長量、白化状況、食害状況、堆積状況、藻類繁茂状況、棲みこみ動物状況等である³。

(5) 移設及びモニタリングの体制

(a) 実施機関

移設については、事業実施者が行うが、海洋生物の専門機関である水産局がその指導を行うことが必要であり、それについては、水産局との間で協議し、同意を得ている。移設作業中、研究官 1 人程度の現場指導が行われることが予想される。潜水器材以外の器材は特に必要ない。移設の作業は移設経験の豊富な海洋コンサルタントに委託することが適当である。

モニタリングについては、水産局が行うことが適当であり、1 年後以降のモニタリングについては、ポートビラ湾長期モニタリングの中で実施することで、水産局との間で協議し、同意を

² 環境省自然環境局（2003）サンゴ礁修復に関する技術手法—現状と展望—

³ 環境省九州地方環境事務所（2010）サンゴ幼生着床具を用いたサンゴ群集修復マニュアルⅣ

得ている。モニタリングについては、水中カメラの購入が必要である。

(b)予算

移設についての実施予算は、表 7.2.1-3 に示すとおりである。モニタリングについては、人件費のみであるので、特に予算は必要ない。

表 7.2.1-3 移設実施予算（円）

項目	積算額	うち人件費	うち機材費、諸経費等	備考
計画作成、協議、報告	1,319,604	461,400（主任技師 6 人 技師 B 6 人）	858,204	1 式
事前調査	213,031	82,600（技師 1 人 潜水土 2 人）	130,431	1 式
移設作業	7,368,714	1,454,400（技師 1 人、 技師補 1 人、助手 1 人、 潜水土 4 人（1 日当たり））	5,913,314	8 日間作業
モニタリング	277,380	111,000（技師 1 人、潜 水土 3 人）	166,380	1 回当たり
とりまとめ	1,375,946	481,100（主任技師 3 人、 技師 A4 人、技師 B6 人）	894,846	1 式
報告書作成	515,431	384,650（主任技師 1.5 人、技師 2.5 人、技師補 3 人、助手 10 人）	130,781	1 式
計	11,070,105	2,975,150	8,094,955	

7.2.2. シルト堆積影響に対する緩和策

(1) 浚渫及び埋立て(海上工事)時の濁り拡散対策の強化

(a) 汚濁防止膜の設置

SS の日最大濃度の分布については、ポンプ浚渫は汚濁防止膜の有無に関わらずサンゴ生息域に到達しないが、グラブ浚渫は到達する可能性が示された。そのため、グラブ浚渫の場合、シルト拡散によりサンゴに影響を与える可能性があり、ポンプ浚渫を選択することが適切である。

濁りが発生することが考えられるその他の工事は、既存埠頭の撤去および埋立工事が考えられる。これらの工事においても汚濁防止膜を設置する計画となっており、浚渫時の予測結果における汚濁防止膜の効果から、汚濁防止対策として有効であると考えられ、シルトの拡散、堆積に対する緩和策として必要な措置と考えられる。

また、浚渫工事の際には、汚濁防止膜を設置する計画であるが、浚渫工法の違いは、図 7.2.2-1 に示すように発生する濁りの状態が異なっている。ポンプ浚渫の場合の濁りの発生は海底付近となり、グラブ浚渫の場合の濁りの発生は海底から海面までとなる。この濁りの状態の違いを考慮した汚濁防止対策の強化として以下の緩和策を提案する。

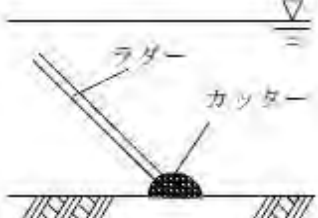
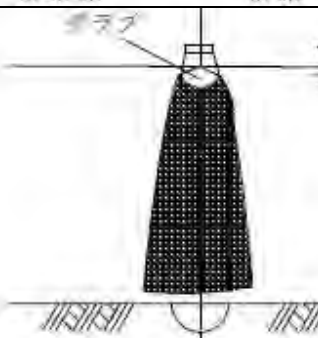
なお、「港湾工事における濁り影響予測の手引き（平成 16 年 4 月、国土交通省港湾局）」によると、汚濁防止膜を設置した工事の事例から、汚濁防止膜による濁りの除去率が 40～80%であると整理されており、海上工事における汚濁防止対策として一般的に用いられている対策となっている。

● ポンプ浚渫の場合

濁りの発生及び堆積がサンゴ生息域の近傍であるため、流況によってはサンゴに影響を及ぼす可能性が考えられる。そのため、施工区域の東側には、サンゴ生息域側への濁りの拡散防止を目的として、図 7.2.2-2 に示す汚濁防止膜の二重展張（施工区域の内側に自立型、外側に垂下型）を行う。

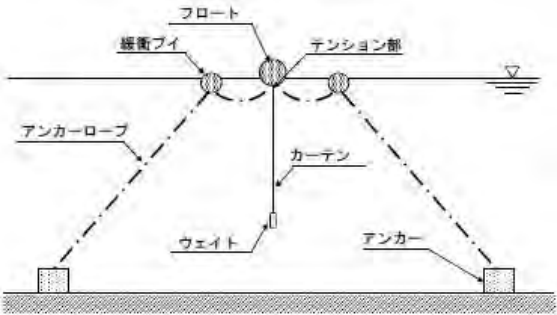
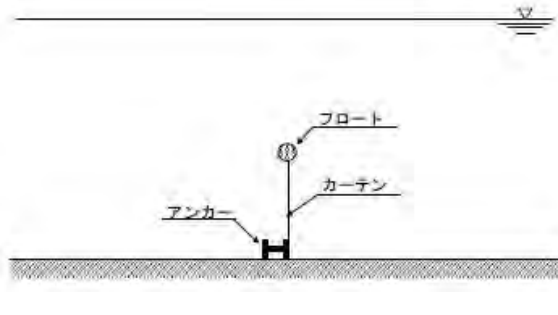
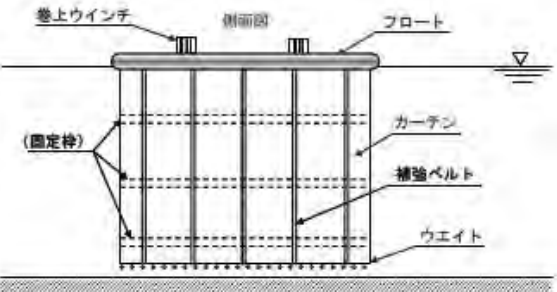
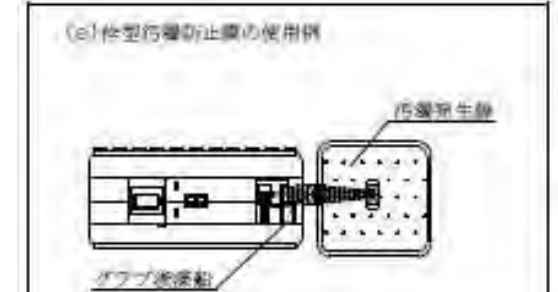
● グラブ浚渫の場合

濁りの発生及び堆積により一部のサンゴに影響を及ぼすおそれがある。サンゴ生息域への濁りの到達を防ぐために、施工区域の周囲に図 7.2.2-2 に示す垂下型汚濁防止膜を設置し、施工区域の東側には汚濁防止膜の二重展張（施工区域の内側に自立型、外側に垂下型）、浚渫の施工場所では汚濁防止柵を使用する。

工法	濁りの状態	発生源の状態
ポンプ 浚渫船		スイング時に海底の浚渫箇所から濁りが発生する。 濁り発生箇所は海底となる。
グラブ 浚渫船		海底からの地切り時の土砂の巻き上げ、水中引き上げ時の付着土の拡散、水面にあげる際の土砂の漏れ出しにより濁りが発生する。 濁り発生箇所は、海底から海面までとなる。

出典：港湾工事における濁り影響予測の手引き（平成16年4月、国土交通省港湾局）

図 7.2.2-1 浚渫工法の違いによる濁りの状態

固定式垂下型汚濁防止膜	固定式自立型汚濁防止膜
	
汚濁防止柵の構造	汚濁防止柵の使用例
	

出典：汚濁防止膜技術資料(案)、平成20年4月、(財)港湾空港建設技術サービスセンター

図 7.2.2-2 汚濁防止膜、汚濁防止柵の設置例

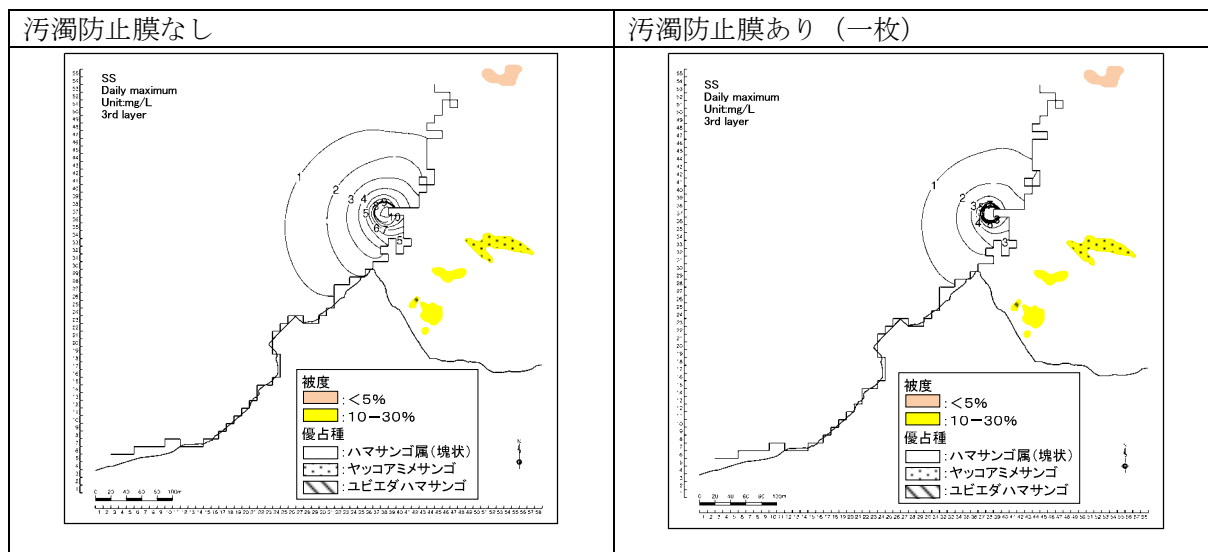


図 7.2.2-3 サンゴ礁の分布と SS の日最大濃度の分布の重ね合わせ（ポンプ浚渫）

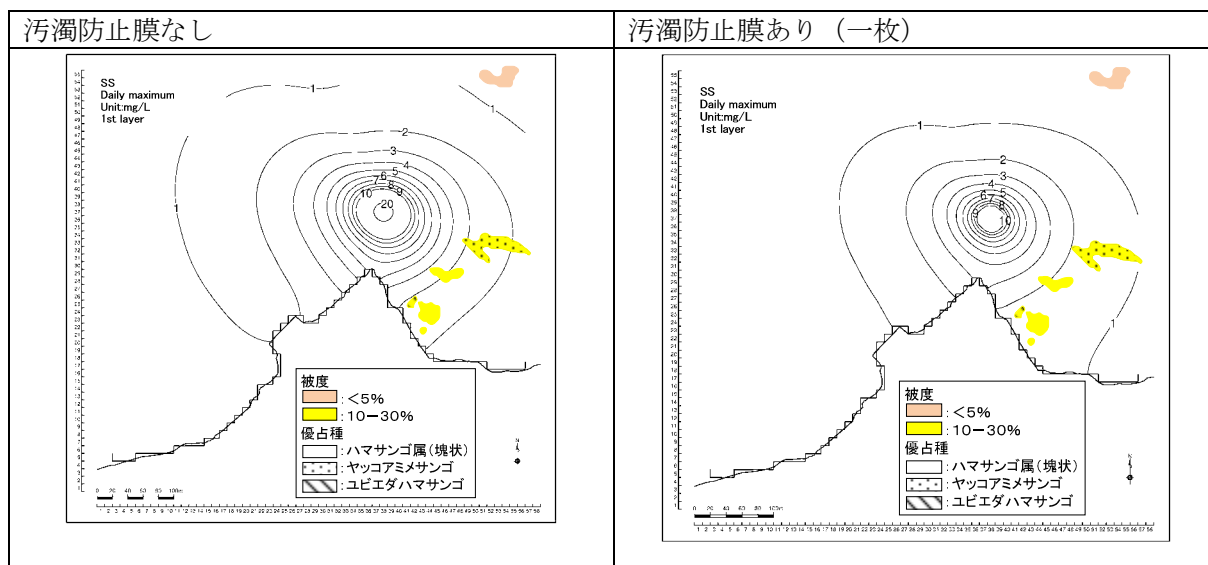


図 7.2.2-4 サンゴ礁の分布と SS の日最大濃度の分布の重ね合わせ（グラブ浚渫）

(b) 汚濁防止膜の適切な選択及び保守管理
汚濁防止膜の保守管理を実施する。

表 7.2.2-1 保守管理事例

管理 NO. (スパン NO.)

点検記録者 _____

点検部位	点検項目	船上調査	潜水調査	点検結果（変状の有無等記載） （変状がある場合はその状況を記載する）
フロート部	ライン・レイアウトのチェック	実施		
	フロートの乾舷	実施		
	貝類等付着物の状況	実施		
	フロート本体の外傷の有無	実施	実施	
カーテン部	カーテン脱落の有無	実施	実施	
	カーテン破損の有無		実施	
	貝類等付着物の状況		実施	
	ウエイトチェーンの取付状況		実施	
接続部	カーテン同士の接続の外れ		実施	
	ジョイント金具の緩み、脱落		実施	
	シャックルの外れ、緩み		実施	
係留部	アンカーの移動の有無		実施	
	アンカーロープの変状の有無	実施	実施	
	シャックルの外れ、緩み		実施	
	アンカー取り金具の破損、緩み		実施	

(2) 余水吐の濁度管理

埋立区域から発生する余水については、余水吐等を通じて海域に放流されるため、濁りの拡散対策として、ポータブル濁度計による濁度管理を実施する必要がある。



図 7.2.2-5 ポータブル濁度計の例

出典）東亜ディーケーケー株式会社ホームページ

(3) 工事監視基準及び管理基準の設定

(a) 海域の工事監視基準

工事監視基準を以下のとおり設定する。

項目	基準値	設定根拠
濁度	BG+2NTU	・日本国水産用水基準に準拠
pH	7.8 以上 8.3 以下	・日本国環境基準（環境基本法）

(b) 余水吐の管理基準

管理基準を以下のとおり設定する。

項目	基準値	設定根拠
濁度	200 NTU	・日本国排水基準（水質汚濁防止法）に準拠
pH	5.8 以上 8.6 以下	〃

(4) 工事監視基準及び管理基準の設定根拠の詳細

(a) 海域の工事監視基準

・濁度

日本国水産用水基準を踏まえ設定した。

濁度とSSの値はほぼ同じであると仮定した場合、以下2点を踏まえると、基準値は「BG+2 NTU」となる。濁度とSSは厳密には異なることから、工事実施前に濁度とSSの関係を求め、再設定することが望ましい。

・海域において、人為的に加えられる懸濁物質（SS）は2mg/L以下であること（水産用水基準）。

水産用水基準とは社団法人日本水産資源保護協会が設定した「水生生物保護のための環境の水質基準」である。この基準は、現段階における水域調査や生物試験の結果から得られた諸情報を基礎として策定されたものである。

・pH

日本国環境基準（環境基本法）を踏まえ設定した。

人の健康の保護及び生活環境の保全のうえで維持されることが望ましい基準として、最も厳しい基準が適用される海域では、「7.8以上8.3以下」が定められている。

(b) 余水吐の管理基準

・濁度

日本国排水基準（水質汚濁防止法）を踏まえ設定した。

工場及び事業場から公共用水域に排出される水の排出及び地下に浸透する水の浸透を規制する基準として、「懸濁物質（SS）200 mg/L」が設定されている。これに準じ、濁度200 NTUとする。

・pH

日本国排水基準（水質汚濁防止法）を踏まえ設定した。

工場及び事業場から公共用水域に排出される水の排出及び地下に浸透する水の浸透を規制する基準として、「pH 5.8以上8.6以下」が設定されている。これを適用する。

7.2.3. 流動変化に伴う影響に対する緩和策

流速の変化は事業実施区域近傍に限られ、その変化も小さいことから、流動変化に対する緩和策は実施しないこととする。

7.2.4. 経済の発展による湾内の水質汚染に対する緩和策

水質汚染の原因は主に陸域からの汚染物質の流入であることから、将来的にポートビラ市内における下水処理システムの整備などの対策が求められる。現在、ADB が「ポートビラ市都市開発プロジェクト」（第3章 既存資料調査,3.4.3 水質の改善に向けた計画 参照）を今年度から2016年まで実施する計画であり、同プロジェクトによりポートビラ湾への汚水の流入が緩和されることが期待される。

8. 環境管理モニタリング計画

8.1 工事中

8.1.1 全体実施体制

工事中の環境管理モニタリングにおける責任と報告のフローを図 8.1.1-1 に示す。環境管理モニタリングは、事業の全体責任を担うインフラ公共事業省と財務経済省の責任のもとで行われ、ほとんどの項目については、工事業者への委託内容に含めて発注することで実施する。また、イフィラ港湾開発サービス社（IPDS）を中心とする事業管理グループが実務面をサポートする。また、サンゴの移植やモニタリングについては、海洋生物についての技術や経験を要するため、水産局の協力のもとで行う。水産局については、3 章(3.1.2)で述べたとおり、人員や予算が確保されており、また、JICA による技術協力も実施されていることから、その能力を十分備えていると考えられる。

環境管理モニタリングにおける関連機関の役割を以下に整理する。

- **土地自然資源省 環境保護保全局（Department of Environmental Protection and Conservation (DEPC)）**：バ国の環境保全法に基づき、環境管理モニタリングの実施を検査する。
- **土地自然資源省 地質鉱物水資源局（Department of Geology, Mines and Water Resources (DGMWR)）**：バ国の沿岸域の水質保全における責任機関として、水質に関する環境管理モニタリングを監視、監督する。
- **農業森林水産畜産省 水産局（Department of Fisheries）**：海洋生物資源保全の観点から、環境管理モニタリングを監視、監督する。インフラ公共事業省または IPDS 事業管理グループからの要請に応じ、サンゴの移植等、生物資源に関する管理モニタリングの実施に協力する。
- **インフラ公共事業省（Ministry of Infrastructure and Public Utilities (MIPU)）・財務経済管理省（Ministry of Finance and Economic Management (MFEM)）**：環境管理モニタリングの実施を含め、事業の全体責任を負う。モニタリング結果について JICA への報告を行う。
- **事業管理ユニット（Project Management Unit(PMU)）**：インフラ公共事業省、財務経済省の下に首相府、水産局、自治省、その他関係省庁も参加して組織され、環境管理モニタリングの実施責任をもつ。
- **イフィラ港湾開発サービス社（IPDS）事業管理グループ（IPDS Project Management Group）**：PMU にも参加し、環境管理モニタリングの実務面を担当する。
- **工事業者（Contractor）**：委託内容に基づき、環境管理モニタリングを実施する。
- **環境監督者（Environmental Supervisor）**：工事業者によって指名され、工事作業員が環境管理モニタリングや関連法規を適切に実施、順守するよう指導、訓練を行う。

本事業の実施を担当する事業管理ユニット（Project Management Unit (PMU)）は、事業実施機関であるインフラ公共事業省や財務経済管理省のみならず、政府全体の方針や戦略を策定する首相府、ポートビラ市など地方自治体を管轄する自治省をはじめ、上述の農業森林水産畜産省など関係省庁が加わった常設の機関として 2011 年 9 月に設置され、本事業のみならず、ADB の支援に

より実施される見込みの国内埠頭の整備や都市開発プロジェクト（排水・下水道整備等）など、ポートビラ湾の利用に大きな影響を与える大規模プロジェクトをすべて担当する。従って、PMUを通じて港湾の持続的利用に関する省庁間の連携がなされることになる。

一方、環境行政をつかさどる土地自然資源省環境保護保全局は、環境保全上の監督を行う立場からPMUには参加しないが、中期計画「国家優先課題・行動計画：2006-2015年」において、バ国の環境保全上の責任を担い、さらにこれらプロジェクトの実施機関との間で連携を図ることが求められており、本事業の実施にあたっても積極的に関与する役割を担っている。

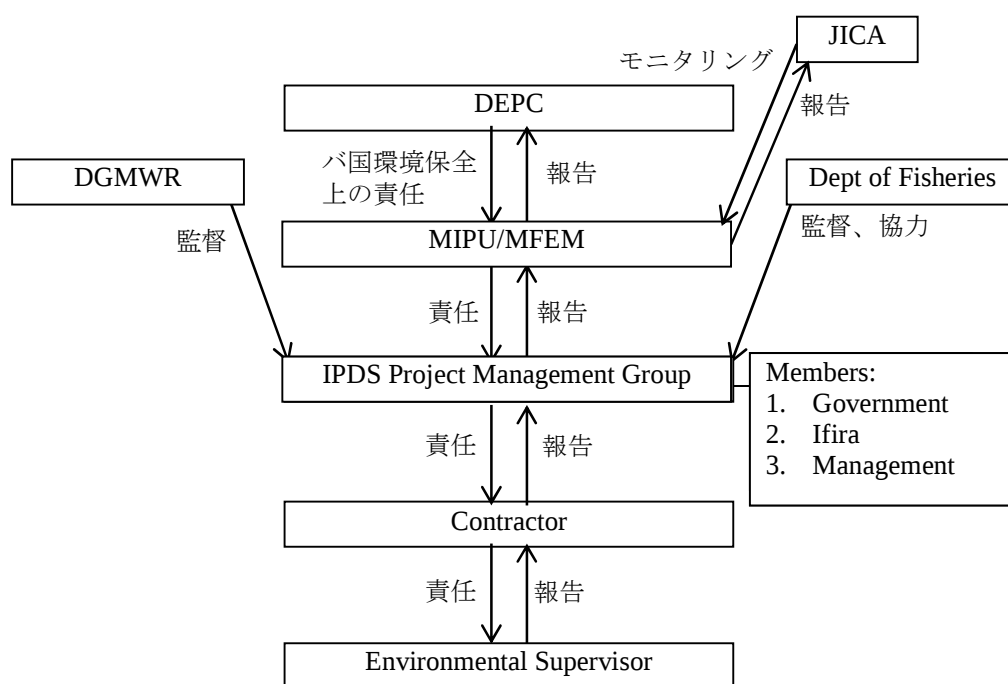


図 8.1.1-1 工事中の環境管理モニタリングにおける責任と報告のフロー

8.1.2 水 質（濁度）

工事中の濁りに対する環境管理・モニタリング計画を以下に記述する。

(1) 調査項目

濁度、pH、水温、塩分

(2) 調査方法

多項目水質計を用いて濁度、pH、水温、塩分を測定する。

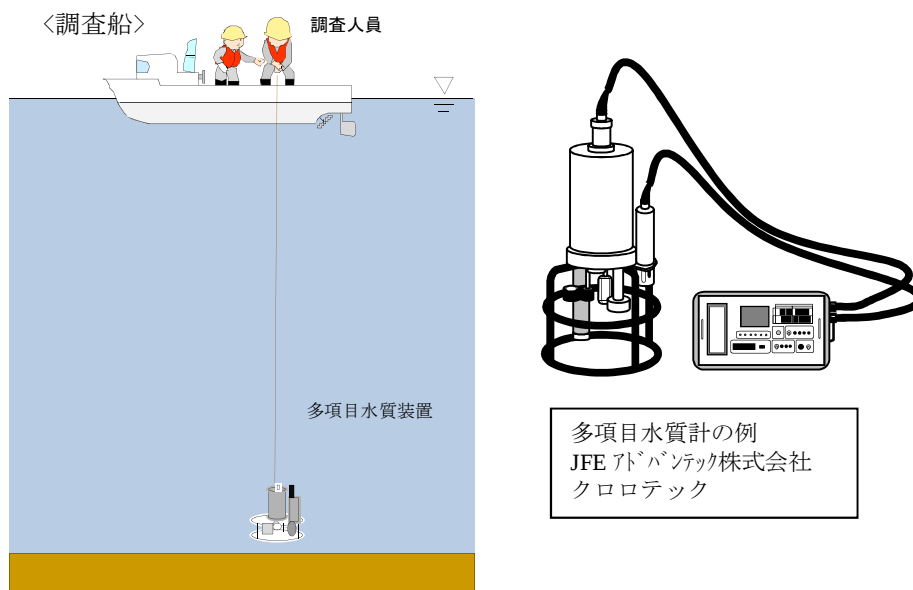


図 8.1.2-1 調査方法（水質）

(3) 調査時期

浚渫工事直前	1 日 1 回×3 セット
浚渫工事期間中	1 日 1 回×工事期間中

※浚渫直前の最新の水質データを取得することで、浚渫工事期間中の水質の変化について、より正確な考察が可能となる。

(4) 調査地点

調査地点は以下のとおり設定する。

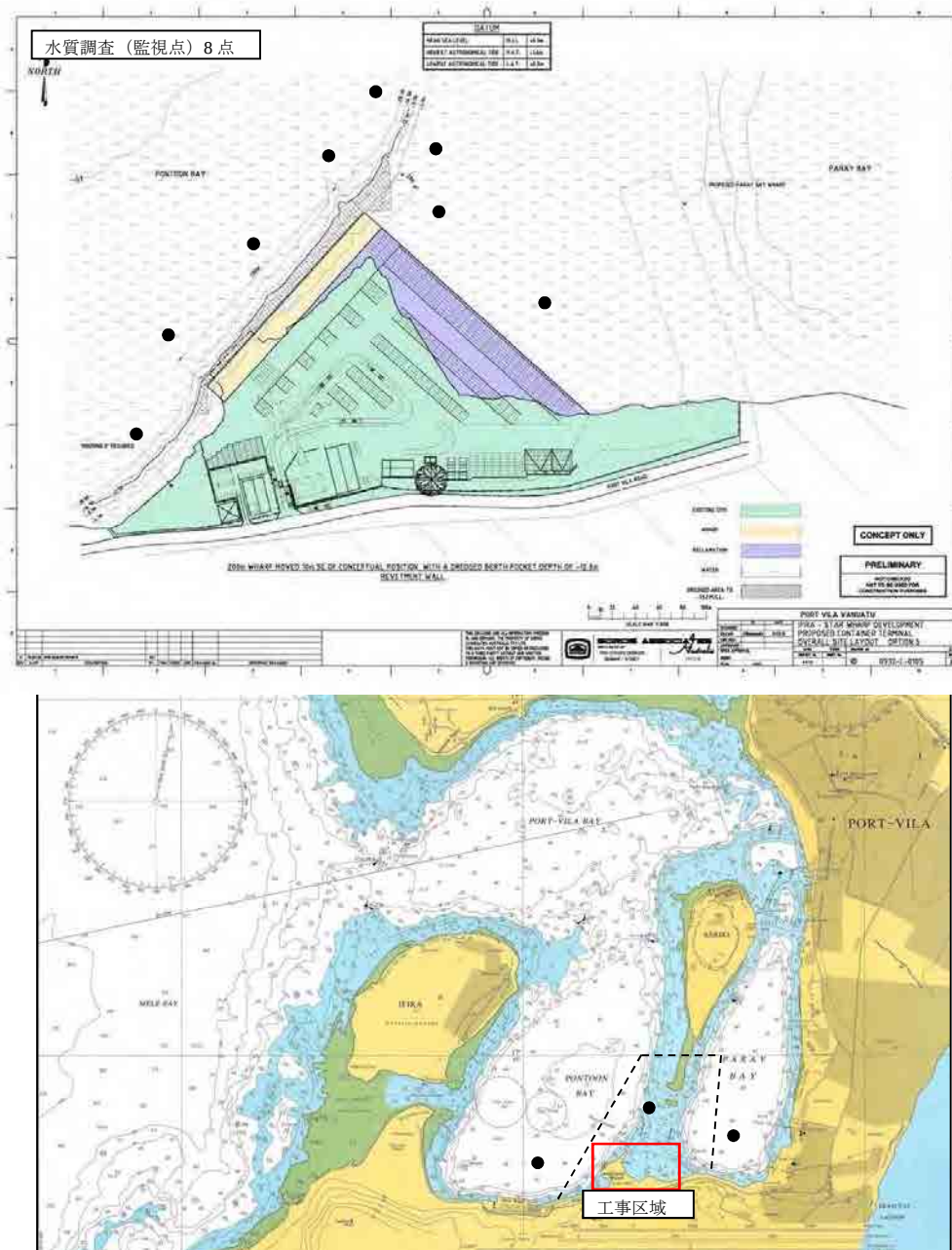


図 8.1.2-2 調査地点（水質）

(5) 工事監視の方法

工事監視基準値との比較を行い、工事により基準値超過をした場合には、基準を満たすまで浚渫工事を一時休止する。この際、バックグラウンド（BG）については、基本的には3点平均とするが、何らかの影響により、異常と考えられるデータがある場合には、そのデータを除いて平均する。

なお、濁りについては、現地では降雨時において、ストームウォーターによる陸域からの濁水が流入することを踏まえ、海域での濁りがストームウォーターによるものかを塩分、目視観察等により判断する。

表 8.1.2-1 工事監視基準

項目	基準値	設定根拠
濁度	BG+2 NTU	・ポートビラ湾水質調査結果 ・日本国水産用水基準
pH	7.8 以上 8.3 以下	・日本国環境基準（環境基本法）

(6) 工事管理の方法

埋立区域から発生する余水については、余水吐等を通じて海域に放流されるため、濁りの拡散対策として、余水吐の濁度を管理する必要がある。また、濁り対策として凝集剤を使用する場合には、pH もあわせて管理する。

表 8.1.2-2 余水吐の管理基準

項目	基準値	設定根拠
濁度	200 NTU	・日本国排水基準（水質汚濁防止法）に準拠
pH	5.8 以上 8.6 以下	〃

8.1.3 サンゴ及び海洋生物

(1) 調査項目

- ・スポット調査：事業実施区域近傍の塊状ハマサンゴの調査
- ・移植サンゴ調査：移設したサンゴの追跡調査

表 8.1.3-1 調査項目

調査項目	調査内容	目的
スポット調査	塊状サンゴ類の生残状況、死亡状況、消失状況 白化状況、粘液分泌状況	濁りによるサンゴへの影響の監視
移設サンゴ調査	塊状サンゴ類の生残状況、死亡状況、消失状況 白化状況、粘液分泌状況	移設したサンゴの生息状況のモニタリング
ジュゴン、ウミガメ調査	湾内に回遊するジュゴン、ウミガメの生残状況、死亡状況	海上交通の増加等による湾内に回遊するジュゴン、ウミガメへの影響の監視

(2) 調査方法

- ・スポット調査

工事区域近傍に分布するサンゴ群集の生息状況（生残状況）を潜水目視観察する。

- ・移植サンゴ調査

移設したサンゴ群集について、生息状況を観察する。

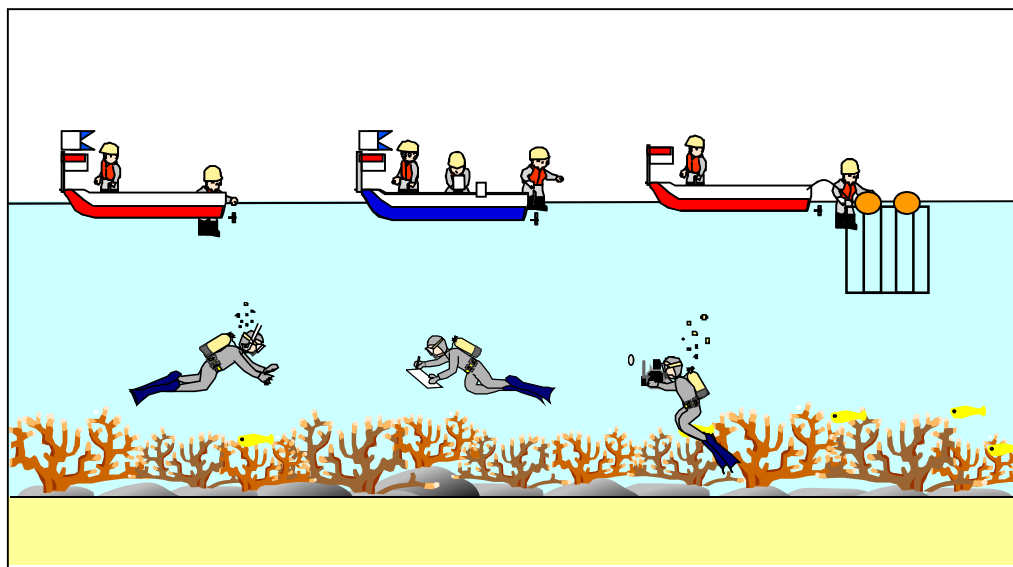


図 8.1.3-1 調査方法（サンゴ）

- ・ジュゴン、ウミガメ調査

湾内で操業する漁師等から目撃情報を収集する。

(3) 調査時期

- ・スポット調査
浚渫直前：1回、浚渫工事期間中：1回
- ・移設サンゴ調査
移設後：移設直後、1、3、6か月後
- ・ジュゴン、ウミガメ調査
随時

(4) 調査位置



図 8.1.3-2 調査地点（サンゴ：スポット調査）

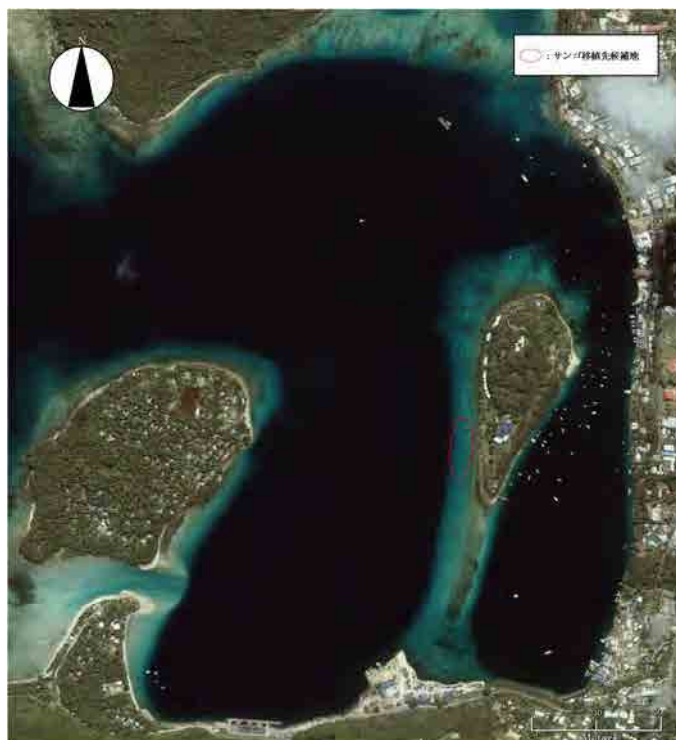


図 8.1.3-3 調査地点（サンゴ：移植サンゴ調査）

(5) 工事監視の方法

工事監視の手法は、スポット調査により得られたサンゴの生息状況を踏まえ、工事監視基準との比較を行い、工事により基準を満たさない場合には、移植等の新たな対策を講じる。

表 8.1.3-2 工事監視基準

項目	基準
スポット調査	塊状サンゴ類の生残状況等が工事前と同程度であること。その際、バックグラウンドのサンゴについて、工事以外の白化等の要因により影響を受けてないか確認する。

8.1.4 EIA レポートの環境管理・モニタリング計画の更新

F/S のなかで作成され、バ国環境局に承認されている EIA レポートでは、上記の水質やサンゴ等生態系のほかにも、以下の区分に従って環境管理・モニタリング項目が提案されている。

- 1) 工事中（陸上工事）
- 2) 工事中（海上工事）
- 3) 供用時（陸上の供用）
- 4) 供用時（水域の供用）

本調査では、このうちサンゴ等生態系と海流への影響要因になりうる 2)、4)について、バ国の関係機関と実施に向けた協議を行い、実施の確認と必要に応じた計画の更新を行った。2)工事中（海上工事）については以下の項に、4)供用時（水域の供用）については 8.2 章に更新した計画を示す。

(1) EIA レポートにおける計画概要と本調査の検討内容

EIA レポートの工事中（海上工事）の環境管理・モニタリング計画の各項目に対し、本調査で検討した内容を表 8.1.4-1 に整理した。検討結果は本項(2)または表中に示す章に記述する。

表 8.1.4-1 EIA レポートの環境管理・モニタリング計画と本調査の検討内容

EIA レポートにおける環境管理モニタリング計画（EIA レポートからの引用）			本調査での確認、検討の内容
活動/ 課題	環境管理モニタリング手法	責任	
C-M 1. 既存埠頭の撤去	C-M1.1. 廃材の陸上処分: マリンペストの拡散を防ぐため、撤去した埠頭廃材は海洋投棄せず、陸上処分する。	工事業者	工事業者への TOR に含めることを確認した。(本項(2)参照)
	C-M 1.2. 汚濁防止膜: 既存埠頭撤去、埋め立て等の海上工事に際しては、周囲に汚濁防止膜を展張する。(防止膜は深い場所では海底まで降ろす必要はない。表層 3m に設置し、表層の汚濁拡散を防止する。)	“	汚濁防止膜の効果と必要性について、本調査で検討した。(6 章、7.2.2 章参照) 汚濁防止膜の設置について、工事業者への TOR に含めることを確認した。(本項(2)参照)
	C-M 1.3. 海洋生物の移動: 海上工事の実施前に、水産局に依頼して移動可能な海洋生物を、影響範囲から湾内の他の適切な場所へ移動する。(埋め立て区域も同様 C-M 2)。	ターミナル所有者/オペレーター	事業区域周辺の調査を行い、移植が必要なサンゴ群集を特定した。
	C-M 1.4. 有用種の採取: 海上工事の実施前に、影響範囲における食用価値のある海洋生物を作業員が採取する。(埋め立て区域も同様 C-M 2)	“	事業区域周辺の調査を行った結果、採取対象となる生物の生息は確認されなかった。
	C-M 1.5. 観賞用生物の採取: 海上工事の実施前に、地元の観賞生物コレクターに影響範囲の観賞生物を採取させる。(埋め立て区域も同様 C-M 2)	“	事業区域周辺の調査を行った結果、採取対象となる生物の生息は確認されなかった。なお、魚類については逃避可能なため、採取対象としないことと

			じた。
C-M 2. 埋め立て	C-M 2.1: C-M 1.2 —1.5 と同様。(埋め立て区域の汚濁防止膜は海底まで展張する)	“	汚濁防止膜の効果と必要性について、本調査で検討した。(6章、7.2.2章参照) 汚濁防止膜の設置について、工事業者へのTORに含めることを確認した。(本項(2)参照)
	C-M 2.2: 環境オフセット：サンゴの一部消滅の代償として、バツマル小湾を漁業保護区 (tabu) とする可能性を検討する。	イフィラ族、政府	水産局と、漁業保護区化の可能性を協議した。(本項(2)参照)
C-M 3. 浚渫	C-M 3.1. 詳細な海底地形調査: 浚渫工事前に、浚渫範囲と土量を精査するため、マルチビームサイドスキャンソナーを用いた海底地形測量を行う。	工事業者 ターミナル所有者/オペレーター	工事業者へのTORに含めることを確認した。(本項(2)参照)
	C-M 3.2. 汚濁防止膜:海上工事に際しては、周囲に汚濁防止膜を展張する。(防止膜は深い場所では海底まで降ろす必要はない。表層3mに設置し、表層の汚濁拡散を防止する。)	工事業者	汚濁防止膜の効果と必要性について、本調査で検討した。(6章、7.2.2章参照) 汚濁防止膜の設置について、工事業者へのTORに含めることを確認した。(本項(2)参照)
	C-M 3.3: 浚渫土砂の利用: 全ての浚渫土は埋め立てに利用する。(汚濁防止膜は海底まで展張する。)	“	工事業者へのTORに含めることを確認した。(本項(2)参照)
	C-M 3.4: 目視による濁りの監視: 環境監督者は毎日、スター埠頭背後の丘から濁りの拡散を観察する。濁りがサンゴ分布域に移動する場合には、対処を行う。観察は潮位変化を踏まえて行う。	環境監督者 浚渫工事業者	濁りのモニタリング計画を8.1.2章に示す。
	C-M 3.5: 濁りモニタリング: 地質鉱物水資源省 (Department of Geology, Mines and Water Resources (DGMWR)) は、浚渫工事期間を通じて毎日、隣接するサンゴ分布域で濁りをモニタリングする。濁りがあらかじめ設定した値を超える場合は対処を行う。観測は潮位変化を踏まえて行う。	地質鉱物水資源省 浚渫工事業者	具体的なモニタリング計画を提案した。(8.1.2章参照) 実施は工事業者が行い、地質鉱物水資源はこれを監督する。
C-M 4. 新たなマリンペストの侵入	C-M 4.1: マリンペストの侵入防止:工事前に、工事船を介した新たなマリンペストの侵入のリスク管理のため、以下を含む適切な方策の策定と実施を行う。 - 工事船は出航地出発前に付着生物を除去する。(出航地で検査をうける) - ポートビラ到着後、水産局により船底の検査を受ける。	ターミナル所有者/オペレーター 工事業者 水産局	工事業者へのTORに含めることを確認した。(本項(2)参照) 水産局に実施の可否

	ポートビラへの入港後に付着生物が確認された場合には、メレ湾の外に出て除去を行う。	工事業者	を確認した。(本項(2)参照) 工事業者への TOR に含めることを確認した。(本項(2)参照)
C-M 5. 油濁	C-M 5.1: 油濁防止と対応策: 工事開始前に、工事作業による油濁に対し適切な方策の策定と実施を行う。	ターミナル所有者/オペレーター 工事業者	工事業者への TOR に含めることを確認した。(本項(2)参照)
C-M 6.他の水域利用への影響	C-M 6.1: 制限区域の設定: 安全確保のため、工事区域周辺を制限区域とする。	港長	ターミナル所有者／オペレーター（IPDS 社）に対し、環境管理の実施に向けた手順を確認した。(本項(2)参照)

(2) 本調査での検討結果

本調査で確認した環境管理計画を以下に示す。

(a) 工事業者への TOR に含める環境管理

以下の環境管理は、インフラ公共事業省と財務経済省の責任の下、IPDS 事業管理グループが工事業者への TOR に含めて実施する。

(a)-1. マリンペスト対策

(i) マリンペスト（外来種）拡散防止（廃材の陸上処分）（C-M1. 1）

EIA の一環として、スター埠頭の付着生物のマリンペスト（外来種）調査が行われている。同調査では、オーストラリアで行われた検討結果を参考に、マリンペストとして注意が必要な生物種リストを作成し、スター埠頭における有無を調査している。その結果、リスト化された 30 種のうち、フジツボ 1 種、コケムシ 4 種の計 5 種の生息が確認された。現状で実質的な生態系影響をもたらしている様子はないが、これらの種が付着した廃材を海洋投棄すれば、ペストの拡散につながる可能性がある。そのため、撤去した既存の海中構造物は海中投棄せず、陸上の処分場で処分することを徹底する。

(ii) マリンペスト（外来種）の侵入防止（船底付着生物の除去）（C-M4. 1）

他地域から来港する工事船の船底に付着生物が付着している場合、新たなマリンペストが侵入する可能性がある。そのため、工事船は、出航地を出発する前に船底の付着生物の除去を行い、検査を受けることとする。また、ポートビラへの入港後に付着生物が確認された場合には、メレ湾の外に出て除去を行う。

ただし、出発港の水温がポートビラと大きく異なり、ポートビラに侵入しても生存することはないと考えられる場合には、リスクアセスメントを行ったうえで必ずしも上記の対策をとる必要はないこととする。

オーストラリアなどでは上記マリンペスト対策がガイドライン化されており、実施されている。

(a)-2. 浚渫の適切化

(iii) 詳細な海底地形測量（C-M3. 1）

浚渫工事を実施する前には、マルチビームサイドスキャンソナーを用いた海底地形測量を行い、浚渫範囲と土量を精査する。

(iv) 浚渫土砂の利用（C-M3. 3）

Mines and Minerals Act に基づく本事業の浚渫許可証（Quarry Permit No.VAQP211002）では、浚渫土砂はスター埠頭の埋め立てに用いることが付帯条件となっているため、これを確実に実施する。海上投棄は行わない。

(a)-3. 濁り・油濁対策

(v) 汚濁防止膜の設置（C-M1. 2、C-M2. 1、C-M3. 2）

既存埠頭の撤去時、浚渫時、埋立て時のいずれにおいても、濁りの拡散を防ぐため工事区域の周囲に汚濁防止膜を設置する。

汚濁防止膜の効果については 6.3 章に示した。

(vi) 濁りモニタリング（C-M3. 5）

濁りモニタリング計画については 8.1.2 章に詳述したとおりである。

(vii) 油濁防止（C-M5. 1）

工事中には万一の事故等により工事船から油濁が発生する可能性がある。工事発注の際には、工事業者に油濁防止策の品質保証を条件として求める。

(b) 水産局の協力を得て行う環境管理モニタリング

海洋生物に関する以下の内容については、インフラ公共事業省と財務経済省の責任の下、必要に応じて水産局の協力を得て実施する。

(i) 工事区域のサンゴの移植（C-M1. 3）

移植方法等を 7.2.1 章に示した。

(ii) サンゴ及び海洋生物のモニタリング

工事中のサンゴ及びジュゴン、ウミガメのモニタリング計画について、8.1.3 章に示した。

(iii) マリンペスト（外来種）の検査（C-M4. 1）

マリンペストの侵入対策（船底の付着生物の除去）を行った工事船に対し、入港後、ダイバーにより水中の付着生物の有無を確認、記録する。記録項目の例を以下に示す。

- a. 調査日・潜水場所
- b. 船舶の確認箇所
- c. 付着生物の観察結果（例：付着の程度、優占種（二枚貝、フジツボ、管棲ゴカイ、藻類、スライム等））
- d. マリンペストと考えられる種の有無と、あった場合に行った処置
- e. 検査実施者の名前とサイン

（参考資料: National Bio-fouling Management Guideline, An Australian Government Initiative, 2009）

水産局は EIA の一環でスター埠頭周辺のマリンペスト調査を行った実績があることから、上記検査に協力、実施することが可能である。

(c) その他

(i) バツマル小湾の漁業保護区化（C-M2. 2）

EIA レポートでは、環境オフセット（サンゴへの影響の代償）として、バツマル小湾を漁業制限区域（tabu）に指定することが提案されている。本調査では、その実現性について水産局及び環境局と協議を行ったが、バツマル小湾内では住民等の漁業に利用されていること、沿岸にはすでに開発計画があることから、本事業の代償として tabu や他の法的な保護区を設定することは現実的でないと判断された。一方、本サンゴ調査結果によれば、バツマル小湾の湾口部のサンゴの生息は良好であり、今後も維持されることが望まれる。そこで、供用時のサンゴのモニタリングにはバツマル小湾口のサンゴも含めることとし、監視を行うことにより現在の状態の保全を図ることとする。また、EIA レポートでは工事中についてはサンゴのモニタリングは提案されていないが、水質変化等の影響が懸念されるため、サンゴのモニタリングを追加提案する（モニタリング計画は 8.1.3、8.2.4 章参照）。

また、本調査では影響を受けるサンゴの移植を提案しており、サンゴの移植と上記のモニタリングの実施をあわせ、環境オフセットとすることを提案する。

(ii) 制限区域の設定に向けた調整（C-M6. 1）

工事船は既存の航路を通して工事区域に入ることができるため、工事船の出入港過程で漁業活動等の既存の水域利用に影響を及ぼす可能性は少ないと考えられる。一方、工事区域であるスター埠頭周辺は、小型漁船やレジャーボートなどが頻繁に航行しているため、インフラ公共事業省と IPDS 管理グループは、港長と調整しながら工事の進捗にあわせて制限区域を提案、設定し、水域利用者への周知を図る。

(3) 工事中の環境管理・モニタリング計画まとめ

上記の検討結果をふまえ、本調査で提案する工事中（海上工事）の環境管理・モニタリング計画を表 8.1.4-2 に整理した。

表 8.1.4-2 工事中（海上工事）の環境管理・モニタリング計画のまとめ

目 的	作業内容	実施体制	費 用（円）	費用備考
マリンペスト対策	マリンペスト（外来種）拡散防止（廃材の陸上処分）	インフラ公共事業省と財務経済省の責任の下、IPDS 事業管理グループが工事業者への TOR に含めて実施。	*	工事の入札額に含む
	マリンペスト（外来種）の侵入防止（船底付着生物の除去）			
	マリンペスト（外来種）の検査		30,000	潜水ボンベ、ボート等 3 回分想定
浚渫の適切化	詳細な海底地形測量 浚渫土砂の利用	インフラ公共事業省と財務経済省の責任の下、IPDS 事業管理グループが工事業者への TOR に含めて実施。	1,200,000	多項目水質計
濁り・油濁防止	汚濁防止膜の設置			
	濁りモニタリング 油濁防止		—	
サンゴ保全	工事区域のサンゴの移植	水産局の協力を得て、インフラ公共事業省と財務経済省の責任で実施。	11,070,000	移植作業一式 (7.2.1 章参照)
	サンゴのモニタリング		30,000	潜水ボンベ、ボート等 3 回分想定
安全対策	制限区域の設定に向けた調整	インフラ公共事業省と IPDS 管理グループが、港長等と調整。	—	
計			12,330,000	

8.2 供用時

8.2.1 全体実施体制

供用時の環境管理モニタリングにおける責任と報告のフローを図 8.2.1-1 に示す。環境管理モニタリングは、工事中と同様に事業の全体責任を担うインフラ公共事業省と財務経済省の責任のもとで実施する。また、サンゴ及び水質のモニタリングについては、水産局及び地質鉱物水資源局による長期モニタリングの結果を活用する。

環境管理モニタリングにおける関係機関の役割を以下に整理する。

- **土地自然資源省 環境保護保全局（Department of Environmental Protection and Conservation (DEPC)）**：バ国の環境保全法に基づき、環境管理モニタリングの実施を検査する。（工事中と同様）
- **土地自然資源省 地質鉱物水資源局（Department of Geology, Mines and Water Resources (DGMWR)）**：水質に関する長期モニタリングを行い、インフラ公共事業省にデータを提供する。
- **農業森林水産畜産省 水産局（Department of Fisheries）**：サンゴに関する長期モニタリングを行い、インフラ公共事業省にデータを提供する。
- **インフラ公共事業省（Ministry of Infrastructure and Public Utilities (MIPU)）・財務経済省（Ministry of Finance and Economic Management (MFEM)）**：環境管理モニタリングの実施を含め、事業の全体責任を負う。モニタリング結果について JICA への報告を行う。
- **イフィラ港湾開発サービス社（IPDS）（IPDS Management）**：インフラ公共事業省、財務経済省の下で、環境管理モニタリングの実施責任をもつ。
- **環境担当者（Environmental Officer）**：IPDS のスタッフで、環境管理モニタリングに関するとりまとめと報告を担当する。

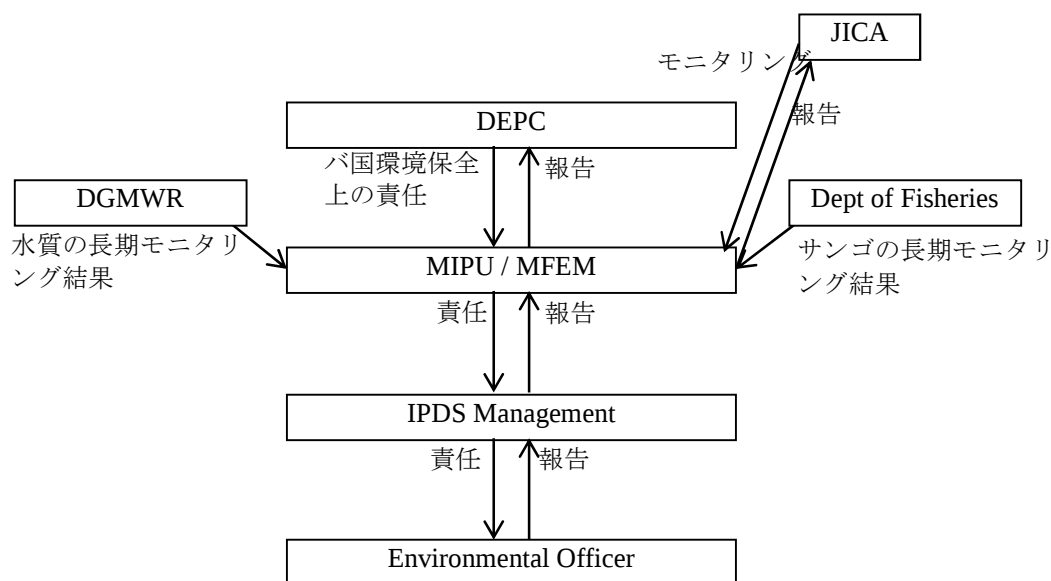


図 8.2.1-1 供用時の環境管理モニタリングにおける責任と報告のフロー

8.2.2 流 況

供用後におけるポートビラ湾の流況の変化の予測結果では、スター埠頭整備事業の実施による影響は、事業実施区域近傍でのわずかな流速変化がみられる程度であり、ポートビラ湾の海水交換に影響を及ぼすものではないと考えられる。したがって、本事業の影響をモニタリングする必要性は低いものと評価した。

しかしながら、本調査では短期間の流況観測であることやポートビラ湾全体におけるその他の事業も計画されていることを勘案し、ポートビラ湾の流れの状況を長期モニタリングすることは、その他の事業の影響評価やポートビラ湾の流れの現況を把握する意味で重要なデータとなると考えられる。

流況に関するモニタリング手法およびモニタリングの体制については、後述する水質で示す観測ブイの活用が考えられる。

8.2.3 水 質

供用後の水質管理は、スター埠頭改修後の経済発展が見込まれる中、ポートビラ湾全体を見据えた管理方針とすることが望ましい。その場合、地形的に最も独立性が高く、都市からの負荷が集中するパレー小湾の水質環境を特にモニタリングすることが適当である。今後、都市の排水管理が改善される予定なので、その効果を監視し、モニタリング結果を排水管理にフィードバックさせることが必要である。

(1) モニタリング手法

水質は気象、海象の影響を受けて、経時的に変動するため、実態を的確に反映させる測定頻度、時期を設定し、意味のあるデータを取得するためには相当の労力を要する。そのため、できるだけ測定を自動化させ、定期的に多数のデータがとれるようにすることが望まれる。自動化はまた、初期投資は大きいですが、設置後は維持点検だけで、データを取得できるので、予算不足で調査が中断することを回避できる。ただし、自動的に測定できるセンサーは限られており、研究室でなければ分析できない項目もあるので、センサーの選択にはパレー小湾環境監視の有効性について検討する必要がある。

パレー小湾は水深が 40m 以上あり、しかもすり鉢状地形を呈しているため、鉛直的な循環が貧弱であると想像され、底部が貧酸素状態であることが知られている。また、陸域からの表土流入の影響で、深部の濁度が高い傾向がみられる。そのため、DO と濁度について表層と底層（30～40m 付近）で連続的に測定を行うことが適当である。また、海洋の基本的データとして水温、塩分を加える。

これらの連続的データ取得には無人観測ブイが有効である。無人観測ブイは琉球列島南部西表国立公園の石西礁湖に 2008 年に設置され、台風の通り道であるが、今日まで無事故でデータを取得し続けている実績がある。測定は毎時観測され、携帯電話回線を通じてリアルタイムで WEB 上で見ることができる。

無人観測ブイについて、環境省石西礁湖再生委員会委員である東京海洋大学岡本峰雄教授からサンゴ礁の水質モニタリングに有効であり、本件においても活用が期待できるとのコメントを得た。

以下に石西礁湖における無人観測ブイの内容について紹介する¹。

設置の目的：大規模なサンゴの白化現象が起こった際、国立公園のサンゴ礁をモニタリングし、攪乱に対する適切な対応を実施するため設置した。

観測ブイの概要：観測ブイは水質、海潮流、波高を定期的に自動観測する機器を搭載し、携帯電話通信によりデータを毎時地上局へ送信するものである。設置地点は礁湖内でも閉鎖的な内湖的環境条件下にあり、水深は基準面下 7.9m である。

観測ブイの仕様は次のとおりである（図 8.2.3-1）。

- ・全長：約 3.9m ・灯高：約 2.4m（無負荷状態）
- ・重量：約 340kg（搭載観測機器除く） ・全浮力：約 720kg ・余裕浮力：380kg
- ・浮体径（外径）：約 1.5φm、内径約 0.8φm ・浮体高：約 0.6m

¹環境省九州地方環境事務所那覇自然環境事務所・いであ株式会社（2010）平成 21 年度石西礁湖サンゴ礁保全総合調査業務報告書（HP 版）



図 8.2.3-1 観測ブイ設置状況

観測機器の仕様を表 8.2.3-1 に示す。

表 8.2.3-1 観測機器の仕様

測定項目	測定機器	測定範囲	備考
水温・塩分	ワイパー付水温塩分センサ ACTW-Di (JFE アレック社製)	水温 (0～45℃)、電気伝 導度 (0～mS/cm)	
クロロフィル・ 濁度	ワイパー付クロロフィル・濁 度センサ ACLW-Di (JFE アレック 社製)	クロロフィル (0～400 μ g/l)、濁度 (0～1000FTU)	
流向・流速	DL3 波高・流向・流速計、海上 ソニック社製	流向方位 (0～360 度)、 流速 (0～±500cm/s)	
波高	DL3 波高・流向・流速計、海上 ソニック社製	0～20m	
通信制御装置	アクアメール、JFE アレック社 製	計測データ：30 秒間のデ ータの平均	データ送信間 隔：1 時間

維持管理：観測センサ及び海上部の清掃、点検などモニタリングブイの維持管理作業を2週間1回行っている。作業はワイパー、防喰亜鉛板の異常有無点検、センサ等への付着物除去である。

(2) モニタリングの体制

(a) 実施機関

実施機関はこれまでポートビラ湾の水質観測を行い、機材、人員が整っている地質・鉱物・水資源局が行うことが適当であり、同局からも要望があった。

(b) 予算

表 8.2.3-2 無人観測ブイ設置、運営費用（千円）

項目	価格	内容	備考
製作費	20,000	ブイ、センサ	
輸送費	1,000	全長 4m、340kg	日本一バヌアツ
工事費	3,150		研修、初期点検を含む
維持費	120	センサ点検	2 回/月×12 ヶ月 備船
計	24,270		

8.2.4 サンゴ及び海洋生物

(1) モニタリング手法

モニタリング手法については、AusAID が EIA の一環として、長期モニタリングを見据えたトランセクト調査を実施しており、スター埠頭付近を含むポートビラ湾内に、16 地点を設定している。Sompert 主任研究官との協議で、3 地点程度であれば可能とのことであったので、湾内をスター埠頭～イリリキ島間、イフィラ島北部、バツマル小湾口の 3 エリアに区分し、各エリアから 1 地点を選定した。選定地点は、今回調査で比較的被度の高かったスター埠頭とイリリキ島間の S3T3、イフィラ島北部の S2T1、バツマル小湾口の S4T2 が適当である。

また、工事中に実施するスポット調査及びジュゴン・ウミガメ調査については、供用後も継続して実施する。

調査頻度は年 1 回程度とし、調査手法は今回調査でも実施した AusAID の手法を踏襲することが適切である。ただし、サンゴについては、種レベルでの観察が望まれるが、Sompert 主任研究官によれば可能であるとのことであった。



図 8.2.4-1 モニタリング地点（白四角）

(2) モニタリングの体制

供用後のサンゴ礁モニタリングは、長期モニタリングを含めて、海洋生物を担当している水産局が実施することが適当である。水産局の実施能力については前述したとおりであるが、実施について、Moses Amos 局長と協議し、必要器材の提供があれば可能との見解を得た。

(a) 実施機関

水産局

(b) 予算

表 8.2.4-1 サンゴモニタリング費用（VT）

項目	価格	内容	備考
ボート燃料費	2,000	船外機混合燃料	1 日
ボンベ代	6,000	2 人	2 本/人日、@1,500
機材購入費	203,000 円	水中ビデオカメラ（キャノン iVISHF）130,000 水中カメラ（オリンパス XZ-1）73,000	

8.2.5 EIA レポートの環境管理・モニタリング計画の更新

(1) EIA レポートにおける計画概要と本調査の検討内容

EIA レポートの供用時（水域の供用）の環境管理・モニタリング計画の各項目に対し、本調査で検討した内容を表 8.2.4-2 に整理した。検討結果は(2)以降の項または表中に示す章に記述する。

表 8.2.4-2 EIA レポートの環境管理・モニタリング計画と本調査の検討内容

EIA レポートにおける環境管理モニタリング計画（EIA レポートからの引用）			本調査での確認、検討の内容
活動/ 課題	環境管理モニタリング手法	責任	
<u>O-M 1. Impacts on marine biodiversity</u>	<u>O-M 1.1 海洋生物モニタリング</u> : ベースライン調査地点を最低年 1 回再調査し、事業影響の長期モニタリングを行う。	ターミナル所有者／オペレーターの費用で水産局が実施する	ポートビラ湾内のサンゴのベースライン調査を実施するとともに（5.1 章参照）、長期的なモニタリング計画を提案した（8.2.4 章参照）。
<u>O-M 2. 水質への影響</u>	<u>O-M 2.1 海洋汚染モニタリング</u> : 地質鉱物水資源省（Department of Geology, Mines and Water Resources (DGMWR)）は湾への排水流入箇所周辺で、水中の懸濁物質、農薬、炭化水素、堆積物、生物相の調査を行う。サンプリングは年 4 回または大雨直後に行う。	ターミナル所有者／オペレーターの費用で地質鉱物水資源省が実施する	DGMWR に水質モニタリングの可能性を確認するとともに、モニタリング計画を提案した（8.2.3 章参照）。
<u>O-M 3. 流況への影響</u>	<u>O-M 3.1 流動モデル</u> : 湾内の開発事業や活動の適切な評価、計画、管理のため、海流データの収集とポートビラにおける 4 D 流動モデルの策定を行う。	ドナーの支援により政府が実施	流況観測をもとに 3D 流動モデルを構築し、事業による流況変化を予測した（6 章参照）。
<u>O-M 4. 油濁防止と対策</u>	<u>O-M 4.1 油濁防止策</u> : ポートビラ及びバ国全体の油濁防止策を策定する。	“	本事業に特化した問題ではなく、より包括的レベルでの議論が必要なため、今後バヌアツ国で取り組むべき課題として提言した（本項(2)参照）。
	<u>O-M 4.2. IMO 条約</u> : バヌアツ国が加盟する IMO の条約のレビューと更新。	“	“
	<u>O-M 4.3. 海事関連法規</u> : IMO の条約に関連するバヌアツ国の国内法規のレビューと更新	”	“

	O-M 4.4: ターミナル周辺の航路標識等: スター埠頭に関連する新航路標識等の導入に向けた港長との調整。	ターミナル設計者 所有者・オペレーター	ターミナル所有者／オペレーター（IPDS社）に対し、環境管理の実施に向けた手順を確認した。（本項(2)参照）
	O-M 4.5: 航路標識の見直し: ポートビラ湾全体の航路標識等の見直しと必要に応じた改善を行う。	ドナーの支援により政府が実施	本事業に特化した問題ではなく、より包括的レベルでの議論が必要のため、今後バヌアツ国で取り組むべき課題として提言した（本項(2)参照）。
	O-M 4.6 ポートステートコントロールの強化: 政府全般の海事規則実行能力強化とともに、港湾局のポートステートコントロールを確立するプログラムを実施する。	“	“
O-M 5. マリンペスト	O-M 5.1: マリンペストのリスク評価: 新航路が明らかになりしだい、マリンペスト侵入のリスク評価を行う。	“	“
	O-M 5.2 マリンペスト調査: ポートビラ湾全体のマリンペスト調査を行う。	“	“
	O-M 5.3: バラスト水条約と法制度: バラスト水条約を批准し、国内法を制定する。	“	“
O-M 6. 船舶の防汚	O-M 6.1: 有害防汚方法規制条約と法制度: 有害防汚方法規制条約を批准し、国内法を制定する。	“	“
O-M 7. 船舶の廃棄物管理	O-M 7.1. 船舶の廃棄物管理: スター埠頭とその他の港湾開発を含め、船舶からの廃棄物の適切な受け入れ体制を確立、実施する。 - 検疫廃棄物を高温処理するための処理場の修理と運転再開、維持 - 廃油処理における石油会社との連携	“	ターミナル所有者／オペレーター（IPDS社）に対し、環境管理の実施に向けた手順を確認した。（本項(2)参照）
O-M 8. 船舶からの排水	O-M 8.1: マルポール条約付属書 IV と法制度: マルポール条約に基づく国内法の整備	“	本事業に特化した問題ではなく、より包括的レベルでの議論が必要のため、今後バヌアツ国で取り組むべき課題として提言した（本項(2)参照）。

O-M 9. 他の水域利用への影響	O-M 9.1: 制限区域の設定: 安全確保のため、新埠頭周辺を制限区域とする。	港長	ターミナル所有者／オペレーター（IPDS社）に対し、環境管理の実施に向けた手順を確認した。（本項(2)参照）
--------------------------	---	----	--

(2) 本調査での検討結果

本調査で確認した環境管理計画を以下に示す。

(a) ターミナル所有者／オペレーターが実施する環境管理

以下の環境管理については、インフラ公共事業省と財務経済省の責任の下、ターミナル所有者／オペレーター（IPDS 社）が、関係機関と調整し、実施する。

(i) 船舶の廃棄物管理（O-M 7.1）

供用後の新埠頭を利用するのは貨物船であり、客船ではないことから、船舶からのゴミはほとんど生じない見込みである。生じた場合には、現状では検疫所が国際船のゴミ処分を請け負っていることから、ゴミが発生する場合には検疫所の方法により処分する。EIA 実施当時は検疫所がゴミを搬入する高熱処理場が稼働していなかったが、現在は稼働が確認されている。

廃油については、現在すでに隣接する石油会社で処理されるようになっており、新埠頭の供用後もこれを継続、徹底する。

(ii) ターミナル周辺の航路標識等の導入に向けた調整（O-M 4.4）

新埠頭が供用された場合、当面は現在メイン埠頭を利用している国際貨物船が新たにスター埠頭を利用ようになる。メイン埠頭はスター埠頭に隣接しているため、メイン埠頭からスター埠頭への移動によって新たな航路標識等の航行支援システムの導入が必要になることはない。しかし、今後寄港する船舶数が増加し、事故のリスクが増加するとみられる場合は、ターミナル所有者／オペレーターは港長と調整しながら航路標識の設置を提案し、安全確保や事故による油濁の防止に努める。

(iii) 制限区域の設定に向けた調整（O-M 9.1）

新埠頭供用後には大型の国際貨物船がスター埠頭に接岸することとなる。スター埠頭周辺では小型漁船やレジャーボートなどが頻繁に航行しているため、必要に応じて港長と調整しながら制限区域を提案、設定し、水域利用者への周知を図る。

(b) 地質鉱物水資源局、水産局との協力により実施する環境管理

以下の環境管理については、インフラ公共事業省と財務経済省の責任の下、地質鉱物水資源局、水産局との協力により実施する。

(i) ポートビラ湾内の水質長期モニタリング（O-M 2.1）

新埠頭では排水施設の改善がなされるため、埠頭から湾内に汚水が排出されることはないが、港湾開発は間接的に都市や産業の発展を促し、ポートビラ湾への汚濁負荷を高める可能性がある。そのため、本調査ではポートビラ湾全体の水質保全に資するため、長期的な水質モニタリング手法を提案した（8.2.3 章参照）。

バヌアツ国の沿岸水質モニタリングを担当する地質鉱物水資源局は、水質分析室をもち、1999 年からポートビラ湾でもモニタリング調査を行ってきた。しかし、2004 年に降火災による機器の損傷で調査は中断され、2010 年に再開したものの、予算不足により定期的な調査はできていない状況にある。また、2010 年の調査では窒素、リンな

どの項目が採水により調査されているが、同局で水質分析を担当する人材は数名であり、頻繁な調査の実施は困難とみられる。そのため、本調査では同局のこうした予算的、人材的なキャパシティを考慮し、できるだけ少ない労力で確実に継続データが得られる方法として、無人観測ブイの導入を提案した。

(ii) ポートビラ湾内のサンゴの長期モニタリング (0-M 1.1)

ポートビラ湾内では、湾口に近い沿岸部を中心に良好な状態のサンゴが残されている。湾内の水質は悪化傾向にあるといわれるものの、浅瀬の透明度は依然高く、スノーケリングやグラスボートによる海中観察も行われている。そのため、生態系保全のみならず、観光資源保全の観点からも、サンゴに代表される海洋生物資源の長期モニタリングは重要である。

EIA 及び本調査で行ったサンゴのトランセクト調査は長期モニタリングを見据えた手法であり、水産局で技術的に実施可能である。また、年1回、3地点程度の調査であればさほどの財政的、人材的負担にはならないことから、水産局による長期モニタリングの実施を提案した（8.2.4 章参照）。

(c) 今後バヌアツ国で取り組むべき環境管理

以下の環境管理については、本事業に特化した内容ではなく、より包括的レベルでの議論が必要なため、今後バヌアツ国全体もしくはポートビラ湾全体を対象として取り組むべき課題とした。

(i) 油濁事故対策と航行安全対策 (0-M 4.1、0-M 4.5)

スター埠頭ではオイルタンカーの利用や船舶への給油は計画されていないため、大規模な油濁事故が発生する可能性は低い。しかし、港内の衝突事故が発生した場合、船舶から燃料が流出する可能性は否定できず、事故のリスクは今後船舶数が増加する場合には高まっていくと想定される。事故発生時の対処方法のトレーニング、安全性向上のための航路標識等の見直しを含め、今後バヌアツ国もしくはポートビラ全体で取り組むべき課題として提言する。

(ii) 油濁防止に向けた制度整備と関係機関の能力強化 (0-M 4.2、0-M 4.3、0-M 4.6)

バヌアツ国は IMO の加盟国であり、油汚染防止を定めたマルポール条約付属書 I を批准している。しかし、EIA レポートによればこれに対応する国内法は整備されていないとのことであり、バヌアツ国港湾局のポートステートコントロールの能力強化とともに今後取り組むべき課題として提言する。

(iii) マリンペスト（外来種）の包括的対策の検討 (0-M 5.1、0-M 5.2)

新埠頭を当面利用するのは現在隣接するメイン埠頭を利用している船舶であることから、新埠頭の供用がマリンペストの新たな侵入に直結するとは考えにくい。しかし、将来的には多様な水域からの船舶が来港する可能性があることから、新たなマリンペストが侵入する可能性がある。マリンペストの侵入はスター埠頭に限った問題ではなく、ポートビラ湾を利用する船舶全体で対策を講じることが重要なため、EIA レポートでも提案されているポートビラ湾内全体でのマリンペストの実態調査を含め、今後包括的な対策の検討を行うことが望まれる。検討内容の例として以下を提案する。

- ポートビラ湾内のマリンペストの実態調査
- 近隣諸国の実態を参考にしたリスク分析
- ポートビラへ寄港する船舶のマリンペスト対策（出港前の船底付着生物の除去、バラスト水対策）の義務化の可能性

(iv) バラスト水管理 (0-M 5.3)

上記と同じ理由により、新埠頭の供用がバラスト水排出の新たな影響に直結するとは考えにくい。しかし、将来的には多様な船籍の船舶が来港する可能性があることから、バラスト水排出による生態系への影響を低減するため、管理規制が必要である。

バヌアツ国は IMO のバラスト水管理条約 (BWM 条約) を批准していない。EIA レポートでは批准を提言しているが、BWM 条約自体が発効していないこと、発効しても処理施設の搭載義務は 2016 年以降になること、処理施設の普及には技術的な課題があることから、本調査ではバラスト水の沖合交換 (200 海里以上、水深 200m 以上) 等実効性のある管理に向けた国内法の制定を提言する。EIA レポートによれば、バヌアツ国では、バヌアツ海域でのバラスト水排出を禁じる条文を含む法案が存在するが、現実的な内容になっていないことが指摘されている。実効性があり、かつ経済的にみても実現性のある法規制の検討が必要である。

(v) 船舶の有害防汚方法規制 (0-M 6.1)

新埠頭を当面利用するのは現在隣接するメイン埠頭を利用している船舶であることから、新埠頭の供用により船底の有害防汚物質の新たな影響が生じるとは考えにくい。しかし、今後寄港船舶数が増加すれば、防汚物質の影響が生じる可能性は否定できず、適切な管理規制が必要である。

EIA レポートでは IMO の有害防汚方法規制条約の批准を提案しているが、TBT 等の有害防汚物質の使用実態把握を含め、今後バヌアツ国で包括的に取り組んでいくことを提言する。

(vi) 船舶の汚水排出管理 (0-M 8.1)

新埠頭の供用後、スター埠頭を新たに使う予定の国際貨物船は当面 7 隻のみであり (シンガポール 1、日本・韓国 2、オーストラリア 2、ニュージーランド 2)、いずれも自国の法制度に基づき汚水を船上処理しているため、新たな汚染は当面生じない見込みである。しかし、今後多様な船籍の船舶が寄港する可能性があることや、湾内の水域を利用しているレジャーボートや小型の貨物船の多くは処理施設をもっていないとみられることから、ポートビラ湾の水質保全のため、湾全体を対象とする汚水排出管理の規制強化が望まれる。

バヌアツ国は船舶からの汚水排出管理を定めるマルポール条約付属書 IV を批准していることから、今後は同条約順守のため、具体的取り組みが望まれる。

(3) 供用時の環境管理・モニタリング計画まとめ

上記の検討結果をふまえ、本調査で提案する供用時 (水域の供用) の環境管理・モニタリング計画を表 8.2.4-3 に整理するとともに、バヌアツ国が今後取り組むべき課題として表 8.2.4-4 を提案する。

表 8.2.4-3 供用時（水域の供用）の環境管理・モニタリング計画のまとめ

作業内容	実施体制	費用（円）	費用備考
航路標識の導入に向けた調整	ターミナル所有者／オペレーター（IPDS 社）が、関係機関と調整し実施。	—	
船舶の廃棄物管理		—	
制限区域の設定に向けた調整		—	
水質長期モニタリング	地質鉱物水資源局が実施し、インフラ公共事業省にデータを提供。	21,240,000 +3,150,000	ブイ製作費、輸送費、工事費、維持費 2 年分（120,000 円/年）
サンゴ長期モニタリング	水産局が実施し、インフラ公共事業省にデータを提供。	219,000	カメラ等機材費、ボート燃料・ボンベ 2 年分（8,000 円/年）
計		24,609,000	

表 8.2.4-4 バヌアツ国の今後の取り組みの提案

項目	提案概要
油濁事故対策	・ 事故発生時の対処方法の確立、トレーニング ・ 航行安全性向上に向けた航路標識等の見直し
油濁防止に向けた制度整備と関係機関の能力強化	・ マルポール条約順守のための国内法の整備 ・ ポートステートコントロールの強化
マリンペスト（外来種）の包括的対策の検討	・ ポートビラ湾内のマリンペストの実態調査 ・ 近隣諸国の実態を参考にしたリスク分析 ・ ポートビラへ寄港する船舶のマリンペスト対策（出港前の船底付着生物の除去、バラスト水対策）の義務化
バラスト水管理	・ バラスト水の沖合交換の義務化を含む国内法の整備
船舶の有害防汚方法規制	・ 有害防汚物質の使用実態把握と規制に係る国内法の整備
船舶の污水排出管理	・ マルポール条約順守のための規制強化

9. 提 言

本調査を通じて得られた知見をもとに、緩和策の実施や環境管理、モニタリング計画など本事業計画に含まれるもの以外に、バヌアツ政府が今後自主的に実施することが望ましいと考えられる事項について、JICA 調査団からの提言として以下のとおり整理した。

9.1 サンゴ礁保全計画の策定

ポートビラ湾のサンゴ礁に影響を及ぼす水質汚濁負荷の大半はポートビラ市街地から流入すると考えられるが、市街地における汚水処理整備事業は現在、計画が進行中であり、近い将来、事業が実現すれば湾内の水質は安定化され、サンゴ礁保全に貢献することになる。あわせて、サンゴ礁の保全計画を策定することにより、サンゴ礁観光地として一定水準のサンゴ群集を長期的に維持させることが望まれる。具体的には、モニタリング地点におけるサンゴ群集の種数、被度等の維持目標を策定し、モニタリングにより現況把握を行いながら、環境管理を行うことが求められる。

サンゴ礁保全対策の一例 埋立護岸法面のサンゴ創生

スター埠頭の埋立予定区域に分布するサンゴは、緩和措置としてイリリキ島西側に移設されることにより保全されるが、代償措置として、埋立護岸法面にサンゴ移植や加入促進を試みることで、サンゴ群集の創生を図ることが検討されてよい。創生により、再生産による幼生の供給、魚類等へのすみかの提供、海中景観の創生機能が維持でき、ポートビラ湾のサンゴ礁保全に貢献が可能である。

宮古島平良港では、埋立地（トゥリバー地区）の護岸法面に堤防整備により消滅するサンゴの移植や防波堤への加入促進が行われている。本事業では、消滅区域のサンゴは類似環境に移設されるため、そのサンゴを移植することはできない。そこで、サンゴ種苗生産による移植や法面加工による加入促進を提案したい。

種苗生産は、サンゴ着床基盤をサンゴ産卵期に海底に設置し、浮遊幼生を着底させた後、一定期間海底で育成させた種苗を植え付けるものである。これまでの移植が既存サンゴの破片を植え付けるため、既存サンゴにダメージを与える恐れがあったのに対し、この方法では全くダメージはなく、また多種大量の種苗を生産することが可能である。また、加入促進は護岸法面に凹凸加工を施したり、自然石により法面を構築する方法などがある。この場合、事前に着床基盤を設置し、加入調査を行い、その可能性を検討する必要がある。

ポートビラ湾においても、これらの実施は可能と考えられるため、試験的に実施し、可能性を評価することが考えられる。

但し、本対策の検討にあたっては、実施に要するコストや人的資源と効果を十分に検証する必要がある。

9.2 全国レベルからの環境保全計画や開発計画の策定

ポートビラ市とその周辺を含めた人口は、2009年時点で58,000人と見積もられているが、2025年には109,000人に達しうるとされている(Proposed Loan and Administration of Grant, Port Vila Urban Development Project, ADB, 2011)。これに伴い、物流の基盤としての港湾やそれに接続する道路整備も、今後ますます重要が高まると考えられる。また、バ国の主要産業である観光の発展にも、移動手段としての交通インフラ整備が欠かせない。

エファテ島ではポートビラ周辺以外は手つかずの自然が広く残されており、大きな街も存在しない。しかし、今後港湾やその他の開発の重要が高まる場合、限られたポートビラ湾の水域の集約的な利用の在り方のみならず、他の地域で新たな開発を行う可能性を含め、多様な観点からの議論が必要になると考えられる。手つかずの自然の残る地域における開発は、それだけ大きな環境影響を伴うことから、できるだけ早期に観光開発を視野に入れた交通インフラ整備の将来計画を検討し、拡大する産業経済生活活動に伴う環境への影響を適切に配慮していくための戦略的環境影響評価を行うことを提案する。

環境影響評価の実施にあたっては、現状では全国レベルでの自然資源調査が不足していることから、保全対象とすべき自然資源の特定や分布の把握及びその評価など、基礎的な調査や知見の整理が不可欠である。これら広域的な自然資源の調査と評価結果をもとに、保全計画、土地利用計画、分散化を含めた観光開発計画等の総合開発計画、さらにそれらに基づくインフラ整備計画が国レベル、島レベルで策定される必要がある。

従って、インフラ整備計画や観光開発計画と自然環境保全計画とは、本来は全国レベルから段階的に策定され、それぞれの計画におけるポートビラ湾周辺地区の位置づけが検討されるとともに、これらの計画が相互に融合された総合的な上位計画に基づいて最終的に同地区のインフラ整備計画が策定されるべきである。

9.1で述べたサンゴ礁保全計画についても同様に、まず全国的視野にたったサンゴ保全計画が策定され、その中で本事業地区において必要な保全策を検討することで、本事業で実施するモニタリングの結果やモニタリングに係る技術の蓄積が同保全策に有効に活用されるよう取り組むべきである。

9.3 ポートビラ湾の持続的利用に向けた枠組みの形成

ポートビラ湾内ではスター埠頭における本事業のほか、国内埠頭整備やリゾート開発など、複数の事業が計画されている。現状では環境影響評価は個々の事業ごとに行われているが、事業ごとにみた影響は小さくとも、全体でみれば累積的、複合的な影響が生じる可能性は否定できない。そのため、バヌアツ政府は各事業の環境影響評価調査が重複、矛盾することのないよう留意するとともに、累積的、複合的な影響の可能性を視野に入れた湾全体の持続的な利用総合計画を策定し、そのもとに各事業計画を位置付けて体系的な環境保全と利用を進

めることが望ましい。

また、バ国では環境影響評価の一環として一般市民を対象としたステークホルダー協議が実施されるようになっているが、累積的、複合的影響を考慮したうえで協議が行われるよう、異なる事業の関係者間で情報共有に努めるべきである。

実際には、ポートビラ湾周辺はイフィラ族の慣習地であり、湾周辺に係わる開発プロジェクトはすべて同族の了解若しくは同族自らの意思に基づいて実施されることになるため、ポートビラ湾の利用については政府よりもむしろ同族が一元的に決定権を持っているといえる。従って、ポートビラ湾の持続的利用を図るという意味では、同族の上層部の理解が重要となるため、政府側から持続的利用に関する協議を呼びかけて行くことが求められる。

他方で、新たな開発計画の策定にあたっては、今年新たに制定された環境影響評価規則によって、EIA の過程でステークホルダーとの協議を行うことが義務付けられた。これにより、一般市民を含む様々な立場の関係者が開発の是非に公式な発言ができるようになり、その点では湾の持続的利用に向けた合意形成の枠組みが一步前進したといえる。

ステークホルダーからの意見の窓口となり、それをふまえて環境面から事業実施に承認を与えるのは環境保護保全局の役割である。同局には今後、関連機関の間に立つ調整能力とともに、湾の環境保全に対する具体的方針が求められると考えられる。同局長によれば、環境保護保全局ではポートビラ湾の環境保全に関するマスタープランの策定を提案しているとのことである。バ国の社会的背景や環境保全の必要性をふまえ、こうしたマスタープランや包括的な視点に立った戦略が早期に作成されることを求めたい。

一方、開発の是非の判断に際しては、イフィラ族はもとより、関係省庁の間でも現状では湾内の環境に関する科学的知見が乏しい状況にある。湾内の環境モニタリングについては、水質は地質鉱物水資源局、サンゴ等は水産局に実績があるが、地質鉱物水資源局の場合は主に財政上の問題から十分な調査ができておらず、水産局の場合は湾内をこれまで長期モニタリングの対象としてこなかった。このような状況をふまえ、本調査ではスター埠頭供用時のモニタリングの一環として、両局が担当する長期モニタリングの実施を提案した。長期モニタリングが確実に実施されるとともに、次のステップとしてその結果が効果的に公開、活用されるよう、組織的、技術的枠組みの形成が望まれる。また、モニタリングや環境管理計画はそれぞれの事業計画ごとに個別に実施されるべきではなく、共通の環境管理計画やモニタリング計画が策定されるべきである。そのためには、すべてのステークホルダーの共通のプラットフォームが形成される必要がある。そこで、ここではそのあり方の一つとして、以下に示す「ポートビラ湾の環境保全と持続的利用のためのコミッティ」の設立を提案したい。コミッティは、将来的には湾の環境保全や開発に関する意思決定機能を備えていくことが望ましいと考えられるが、当面は科学的データを共有する場としての開始を提案する。

運営にあたっては、環境保護保全局が中心となることが望ましい。しかし、同局の年間予算は限られており（2011 年約 15 百万バツ、2010 年約 18 百万バツ）、職員数も 18 名（正規職員 10 名、プロジェクト雇用 7 名、ボランティアアドバイザー 1 名）と必ずしも十分とはいえない。予算面、

人材面の強化が望まれるとともに、当面は他の関連機関の協力も不可欠と考えられる。

「ポートビラ湾の環境保全と持続的利用のためのコミッティ」(案)

目 的：モニタリングデータの評価、科学的知見に基づくポートビラ湾の環境保全や持続的利用に向けた課題の協議、情報共有、合意形成

構成者：環境保護保全局、地質鉱物水資源局、水産局、学識者・専門家

インフラ公共事業省（港湾局、公共事業局）、ほか政府機関

イフィラ族、シェファ州、ポートビラ市、観光業者 等

9.4 環境管理・モニタリングに関わる人材の育成と組織の強化

本事業で計画している環境管理計画やモニタリングを実施していくために求められる人材の拡充や予算の確保を含めた十分な体制を構築していくことが望まれる。特に環境行政や EIA の審査を担当する環境保護保全局を含め、水産局、地質鉱物水資源局など環境保全や環境モニタリングを管轄する部局の組織的強化、人材の育成が求められる。