

11.5.2 水底の掘削等に係る水の濁り

1) 調査の結果

(1) 調査項目

調査項目は、以下に示すとおりとしました。

- ① 水質（浮遊物質量）の状況
- ② 水象（流向及び流速）の状況
- ③ 水底の土砂（粒度分布）の状況

(2) 調査手法

調査は、既存資料調査及び現地調査による情報の収集並びに当該情報の整理により行いました。

現地調査の方法は、表 11.5.2-1 に示すとおりです。

表 11.5.2-1 水底の掘削等に係る水の濁りの調査手法

調査項目		測定方法
水質の状況	浮遊物質量	「水質汚濁に係る環境基準について」（昭和 46 年 12 月 28 日環境庁告示第 59 号、最終改正：令和 5 年 3 月 13 日環境省告示第 6 号）に規定される測定方法
水象の状況	流向及び流速	「海洋観測指針」（平成 11 年 3 月、気象庁）及び「海洋調査技術マニュアル海象・気象調査編」（平成 17 年 3 月、社団法人海洋調査協会）に規定された超音波式流向流速計（超音波ドップラー多層流向流速計）に基づく測定方法
水底の土砂の状況	粒度分布	JIS A 1204 に基づく粒度試験方法

(3) 調査地域

調査地域は、実施区域における公共用水域において、水底の掘削等を予定している水域及びその周辺水域としました。

(4) 調査地点

調査地点は、予測地点との対応を考慮し、調査地域において水質の状況、水象の状況、水底の土砂の状況を適切に把握できる地点としました。

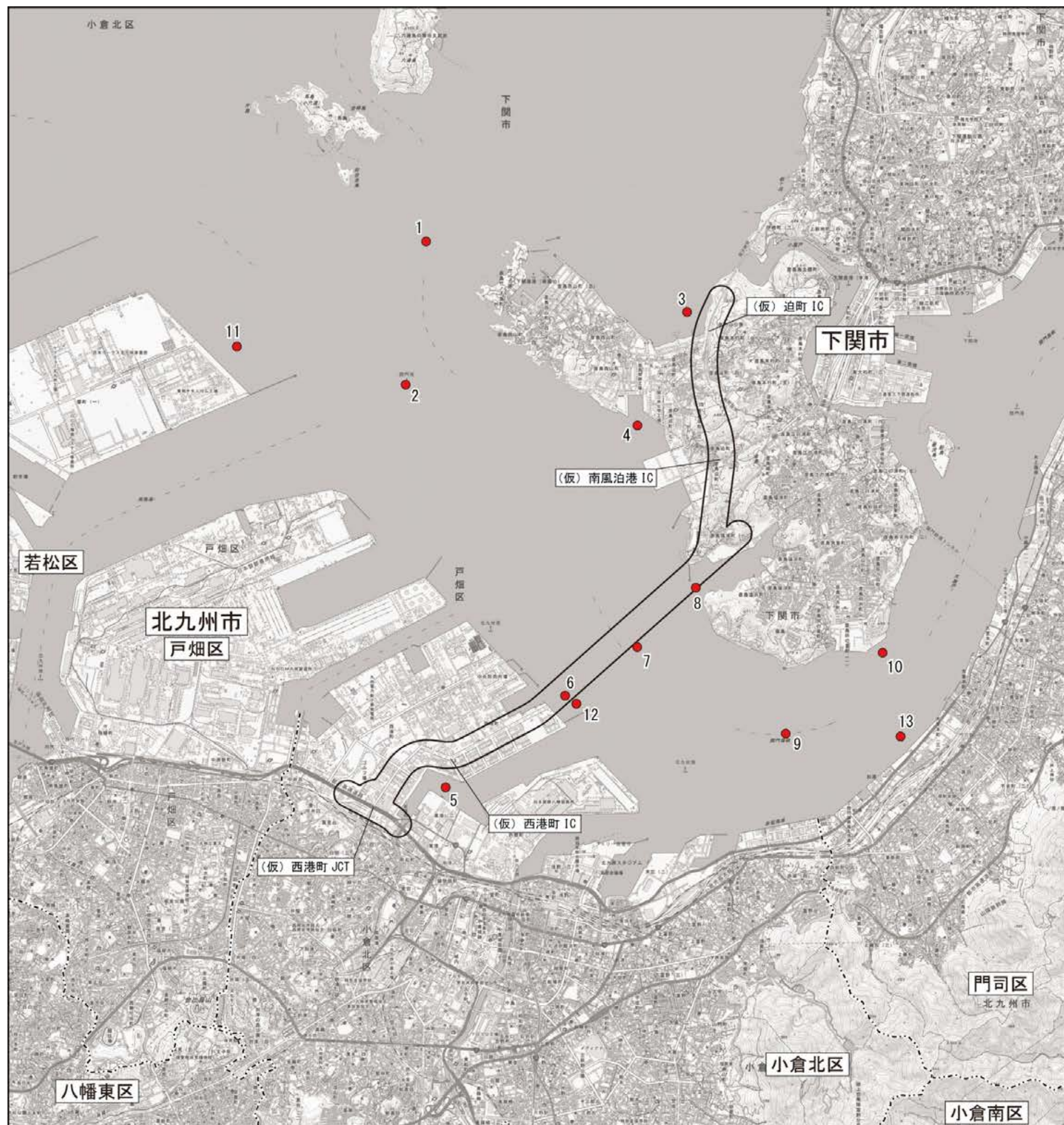
調査地点は表 11.5.2-2 に、現地調査地点の選定理由は表 11.5.2-3 に示すとおりです。また、調査地点の位置は、図 11.5.2-1 に示すとおりです。

表 11.5.2-2 水底の掘削等に係る水の濁りの調査地点

調査地点	水質の状況	水象の状況	水底の土砂の状況	種別	備考
1	○	—	—	海域	現地調査地点
2	○	—	—	海域	
3	○	—	○	海域	
4	○	—	—	海域	
5	○	—	○	海域	
6	○	—	○	海域	
7	○	—	—	海域	
8	○	—	○	海域	
9	○	—	—	海域	
10	○	—	—	海域	
11	—	○	—	海域	
12	—	○	—	海域	
13	—	○	—	海域	

表 11.5.2-3 現地調査地点の選定理由

調査項目	調査地点	選定理由
水質の状況	1～10	橋脚の設置工事が想定される位置及び実施区域の周辺に設定するとともに、既存資料調査における水質調査地点（第 4 章 都市計画対象道路事業実施区域及びその周囲の概況（地域特性） 4.1.2 水環境の状況 2) 水質）を踏まえて、潮流の流れを考慮した広域的な範囲において、水質の状況を適切に把握できる地点を設定した。
水象の状況	11～13	橋脚の設置工事が想定される位置及び実施区域の周辺に設定するとともに、潮流の流れを考慮した広域的な範囲において、東西方向の水象の状況を適切に把握できる地点を設定した。
水底の土砂の状況	3、5、6、8	橋脚の設置工事が想定される位置及び実施区域の周辺において、水底の土砂の状況を適切に把握できる地点を設定した。



記 号	名 称
	対象道路事業実施区域
	行政界

凡例

- 現地調査地点
- 1 ～ 10 : 水質の状況
- 11 ～ 13 : 水象の状況
- 3、5、6、8 : 水底の土砂の状況

図 11.5. 2-1 水底の掘削等に係る水の濁りの調査地点位置図

(5) 調査期間等

現地調査の調査期間については、水質の状況、水底の土砂の状況は春夏秋冬の四季調査、水象の状況は夏冬の2季調査（15 昼夜連続測定）を基本とし、状況を適切に把握できる期間及び頻度としました。

調査期間は、表 11.5.2-4 に示すとおりです。

表 11.5.2-4 水底の掘削等に係る水の濁りの調査期間

調査項目	時期	調査期間
水質の状況	春季	令和4年4月28日（木）
	夏季	令和3年7月30日（金）
	秋季	令和3年10月13日（水）
	冬季	令和4年1月28日（金）
水象の状況	夏季	地点11：令和3年8月3日（火）～8月21日（土） 地点12：令和3年8月2日（月）～8月20日（金） 地点13：令和3年8月1日（日）～8月19日（木）
	冬季	地点11：令和4年1月30日（日）～2月28日（月） 地点12：令和4年1月25日（火）～2月19日（土） 地点13：令和4年1月24日（月）～2月24日（木）
水底の土砂の状況	春季	令和4年4月25日（月）
	夏季	令和3年7月28日（水）
	秋季	令和3年10月12日（火）
	冬季	令和4年1月10日（月）

(6) 調査結果

① 水質（浮遊物質量）の状況

現地調査における水質（浮遊物質量）の状況の調査結果は、表 11. 5. 2-5 に示すとおりです。

表 11. 5. 2-5 水質の状況の調査結果（浮遊物質量（SS））

[単位：mg/l]

調査地点	浮遊物質量（SS）									
	春季		夏季		秋季		冬季		平均	
	上層	下層	上層	下層	上層	下層	上層	下層	上層	下層
1	1	2	<1	1	2	3	1	1	1	2
2	2	3	1	1	1	3	1	1	1	2
3	3	5	1	1	2	2	1	<1	2	2
4	2	2	2	2	4	4	1	1	2	2
5	1	2	2	3	3	3	3	3	2	3
6	1	3	2	9	3	2	2	1	2	4
7	3	2	2	3	1	2	2	2	2	2
8	1	2	2	3	2	4	1	2	2	3
9	2	2	2	3	2	4	2	2	2	3
10	3	2	2	2	3	6	1	1	2	3

注 1) 「平均」は、四季の測定結果の算術平均値を示す。

注 2) 上層は海面下 0. 5m、下層は海底面上 1. 0m での採水結果を示す。

注 3) <1 は、定量下限値未満を示す。

② 水象（流向及び流速）の状況

現地調査における水象（流向及び流速）の状況の調査結果について、夏季及び冬季における平均大潮期の流況分布は表 11.5.2-6 及び図 11.5.2-2 に、夏季及び冬季における残差流は表 11.5.2-7 及び図 11.5.2-3 に示すとおりです。

流況分布、残差流ともに、夏季及び冬季は概ね同様の傾向を示していました。

表 11.5.2-6 水象の状況の調査結果（流況（流向及び流速））

[単位：cm/s]

調査地点	平均大潮期の流況（流向及び流速）							
	夏季				冬季			
	西流時		東流時		西流時		東流時	
	中層	下層	中層	下層	中層	下層	中層	下層
11	6.8	8.5	23.4	16.9	8.6	7.1	22.7	19.2
12	44.2	34.4	57.6	46.0	44.4	38.8	59.8	50.2
13	92.7	56.6	115.2	65.8	84.4	60.2	95.0	68.5

注 1) 表中の流速は、調査期間中の最大値を示す。

注 2) 中層は海面下 5m、下層は海底上 1m を示す。

表 11.5.2-7 水象の状況の調査結果（残差流）

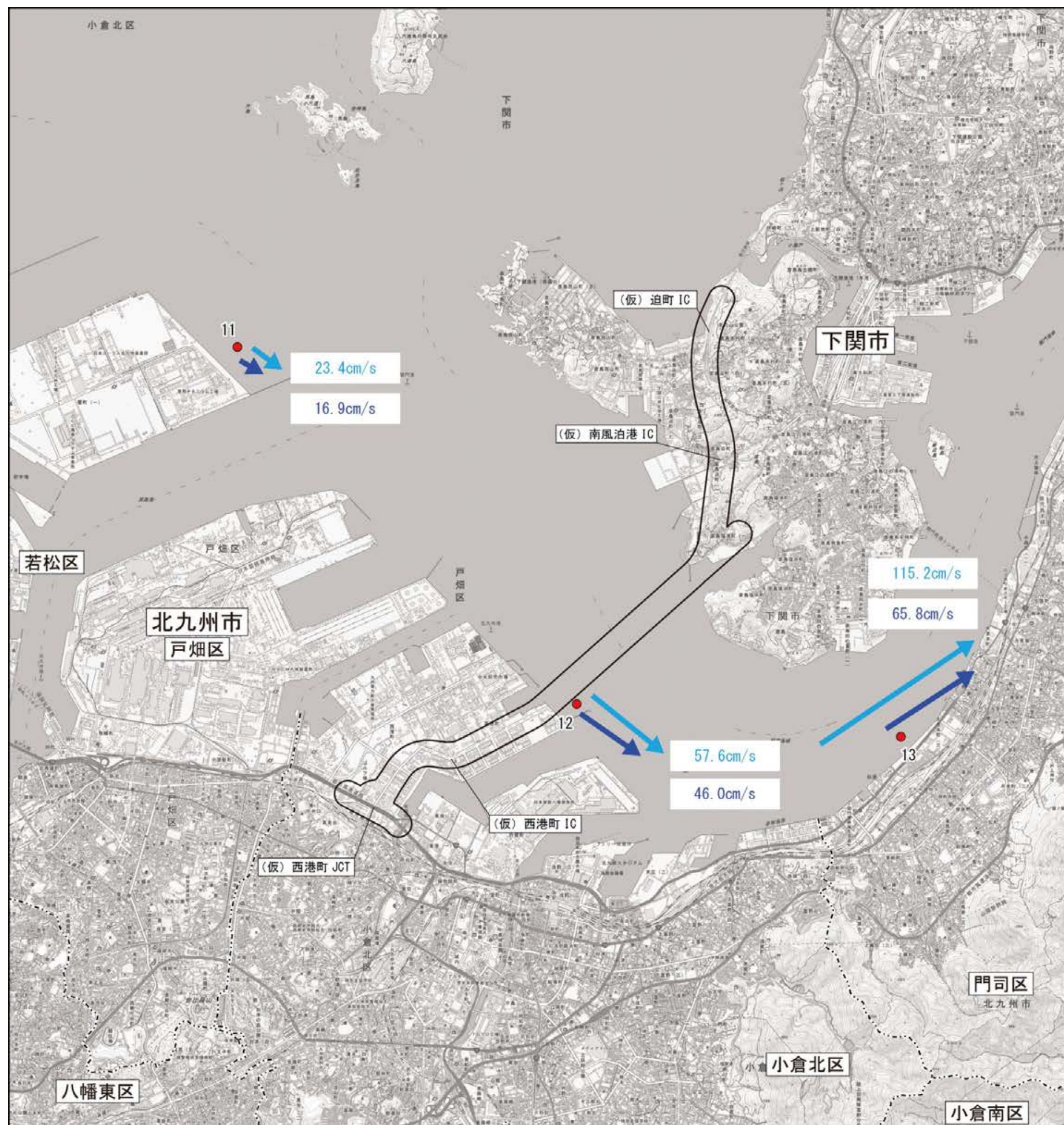
調査地点	残差流							
	夏季				冬季			
	中層		下層		中層		下層	
	残差流 (cm/s)	方位 (°)	残差流 (cm/s)	方位 (°)	残差流 (cm/s)	方位 (°)	残差流 (cm/s)	方位 (°)
11	14.9	132	12.6	122	15.6	134	12.9	125
12	8.4	97	7.0	96	9.2	102	7.5	92
13	11.4	46	5.0	36	5.6	40	4.7	32

注 1) 表中の流速は、調査期間中の最大値を示す。

注 2) 中層は海面下 5m、下層は海底上 1m を示す。



図 11.5.2-2(1) 水象の状況の調査結果(流況(流向及び流速))
(夏季: 平均大潮期 西流最強時)



記 号	名 称
	対象道路事業実施区域
	行政界

凡例

- 潮流の強さと向き（中層）
- 潮流の強さと向き（下層）

図 11.5. 2-2 (2) 水象の状況の調査結果（流況（流向及び流速））
（夏季：平均大潮期 東流最強時）

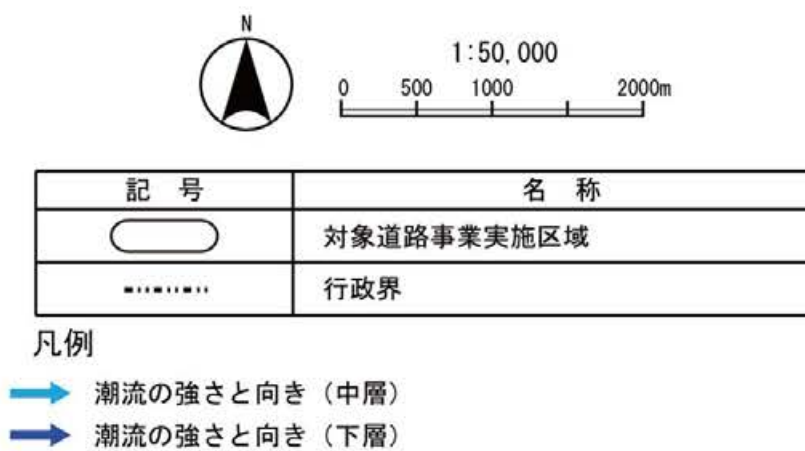


図 11.5. 2-2 (3) 水象の状況の調査結果 (流況 (流向及び流速))
(冬季: 平均大潮期 西流最強時)

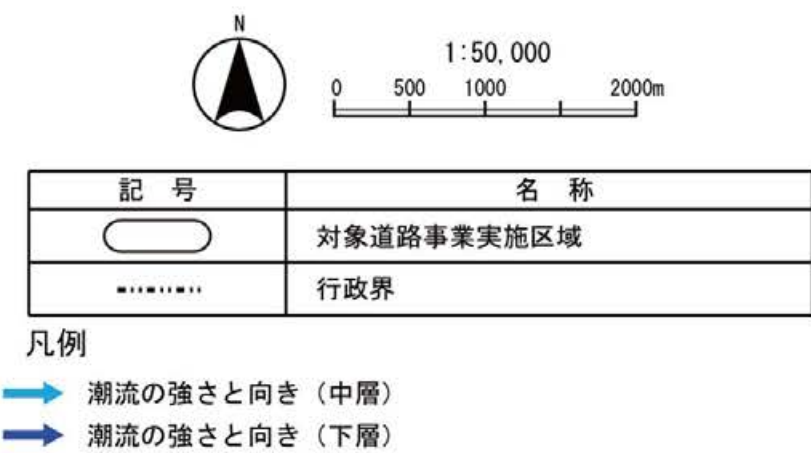
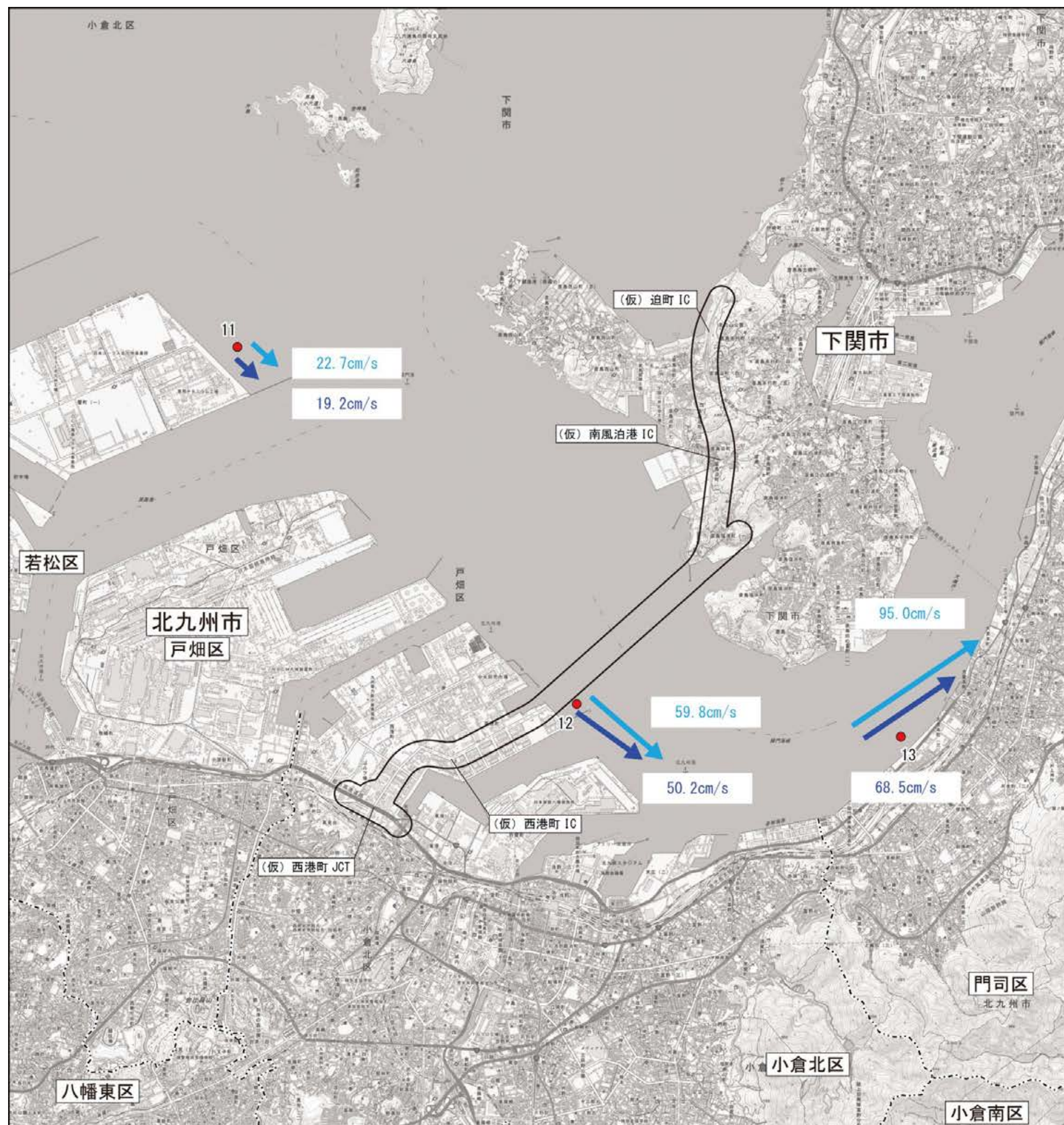


図 11.5.2-2(4) 水象の状況の調査結果 (流況 (流向及び流速))
(冬季: 平均大潮期 東流最強時)

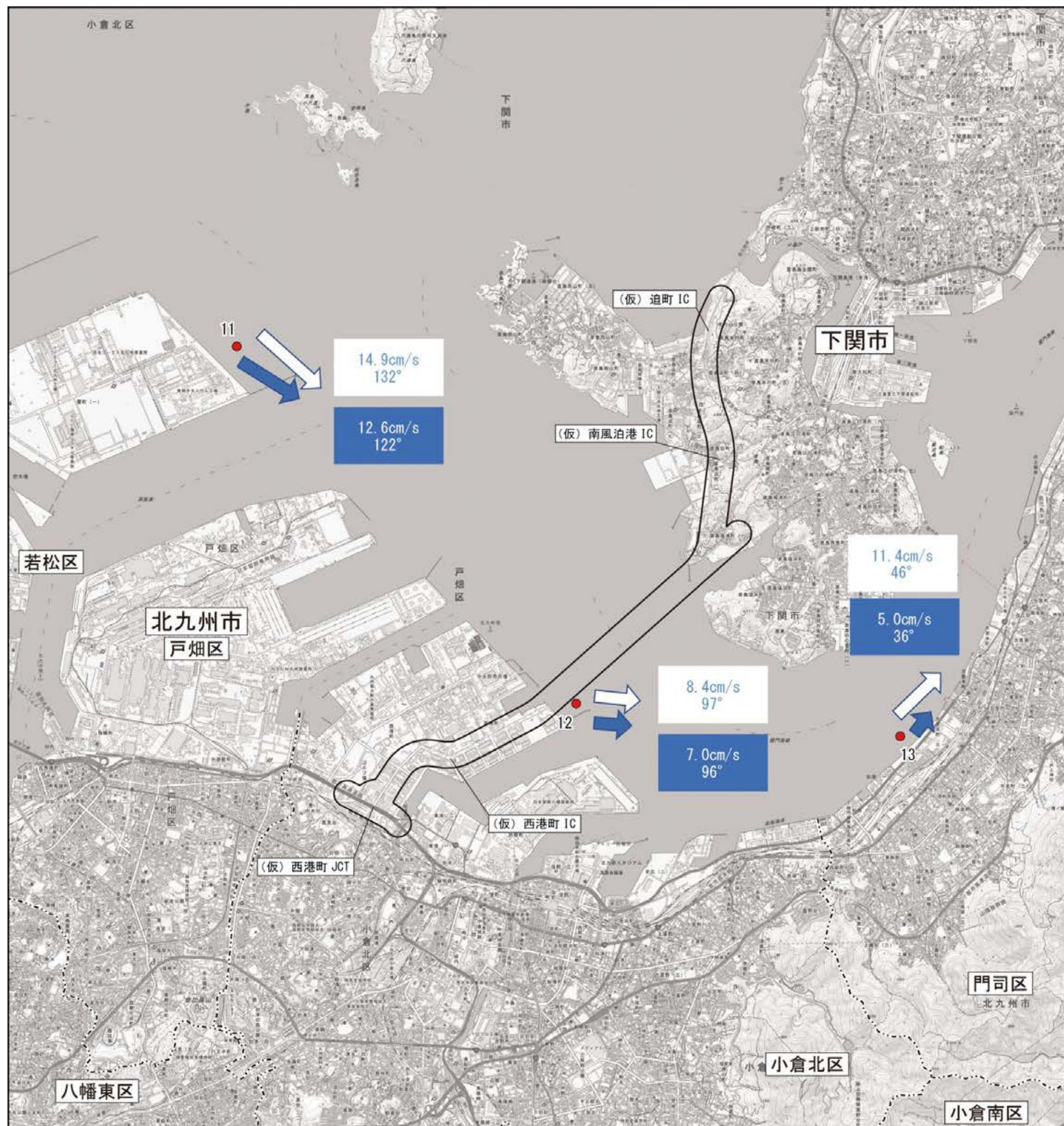


図 11.5.2-3(1) 水象の状況の調査結果（残差流）（夏季）

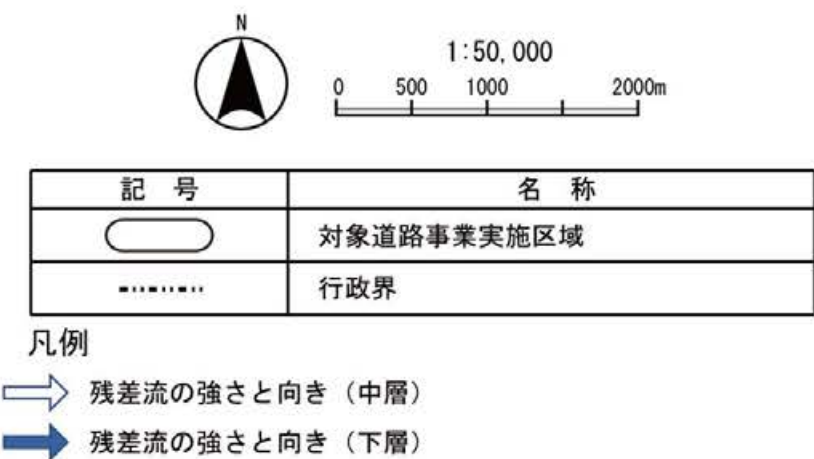
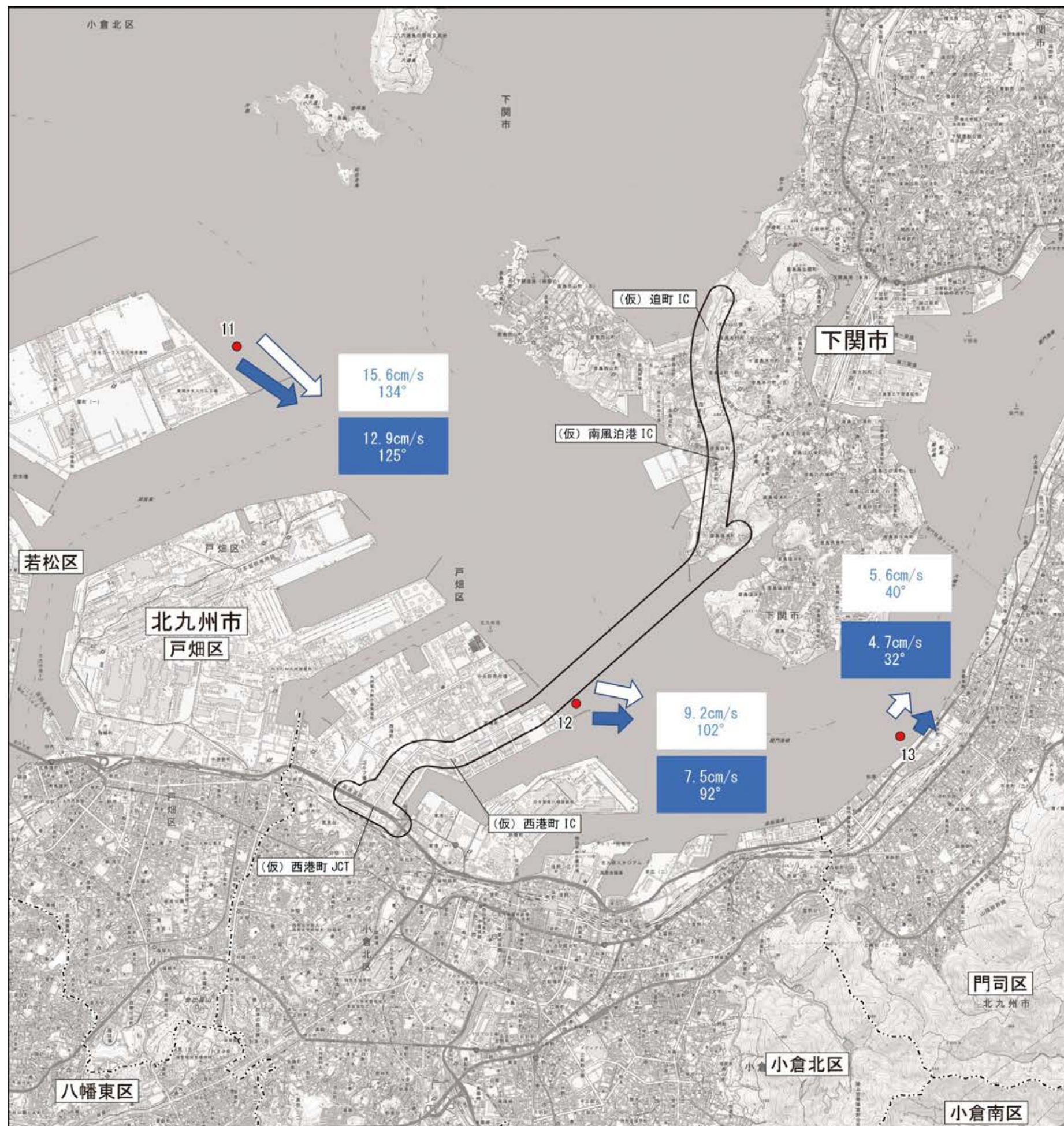


図 11.5.2-3(2) 水象の状況の調査結果 (残差流) (冬季)

③ 水底の土砂（粒度分布）の状況

現地調査における水底の土砂（粒度分布）の状況の調査結果は、表 11.5.2-8 に示すとおりです。

表 11.5.2-8 水底の土砂の状況の調査結果（粒度分布）

調査地点	調査期間	粒径組成比率（％）							
		粗礫分 19mm 以上	中礫分 4.75mm 以上	細礫分 2mm 以上	粗砂分 0.85mm 以上	中砂分 0.25mm 以上	細砂分 0.075mm 以上	シルト分 0.005mm 以上	粘土分 0.005mm 以下
3	春季	0.0	0.0	0.4	0.6	3.4	95.5	0.1	
	夏季	0.0	0.0	0.4	0.9	3.2	95.3	0.2	
	秋季	0.0	0.1	0.5	0.9	3.4	95.0	0.1	
	冬季	0.0	0.0	0.5	0.9	2.6	95.9	0.1	
	平均	0.0	0.0	0.5	0.8	3.2	95.4	0.1	
5	春季	0.0	2.1	1.4	1.8	10.3	18.1	38.4	27.9
	夏季	0.0	0.4	1.7	2.2	20.9	24.2	27.4	23.2
	秋季	0.0	0.8	1.1	1.4	11.1	26.3	42.5	16.8
	冬季	0.0	6.1	2.9	1.6	19.2	19.7	25.2	25.3
	平均	0.0	2.4	1.8	1.8	15.4	22.1	33.4	23.3
6	春季	0.0	2.9	7.5	10.9	22.8	54.2	1.7	
	夏季	0.0	4.6	7.3	13.0	32.1	42.8	0.2	
	秋季	0.0	1.2	4.9	11.1	31.5	48.4	2.9	
	冬季	0.0	0.2	2.8	7.1	34.9	51.9	3.1	
	平均	0.0	2.2	5.6	10.5	30.3	49.3	2.0	
8	春季	0.0	1.4	4.7	9.7	20.0	51.2	5.6	7.4
	夏季	0.0	1.2	0.9	1.5	3.2	27.9	34.6	30.7
	秋季	0.0	1.6	5.2	9.0	21.9	49.7	8.1	4.5
	冬季	0.0	0.4	1.9	2.7	6.7	37.6	30.0	20.7
	平均	0.0	1.2	3.2	5.7	13.0	41.6	19.6	15.8

注 1) 調査結果は、海底表面での採泥結果を示す。

注 2) 粒径組成比率の合計は、四捨五入により 100%にならない場合がある。

2) 予測の結果

(1) 予測項目

予測項目は、水底の掘削等に伴い発生する水の濁りの程度としました。

(2) 予測手法

水底の掘削等に係る水の濁りの予測は、「港湾工事における濁り影響予測の手引き」（平成16年、国土交通省）（以下、「手引き」という。）を参考に、現地調査結果や既存資料を用いた数値シミュレーションにより当該海域の流況を再現し、水の濁りの拡散範囲を予測しました。

① 予測手順

予測方法及び予測範囲は表 11.5.2-9 に、予測手順は図 11.5.2-4 に示すとおりです。

表 11.5.2-9 予測方法及び予測範囲

項目	内容
予測方法	土砂による水の濁りの拡散の状況を浮遊物質の収支に関する数値シミュレーションにより予測した。予測には濁水の拡散状況を予測できる3次元モデル（多層モデル）を用いた。
予測範囲	海底の水底の掘削等を行う工事の影響を的確に把握するため、予測範囲は対象となる海域の特性を踏まえ、計画路線周辺の流況が最も再現でき、水の濁りの影響を受ける水域の範囲を予測できるように設定した。

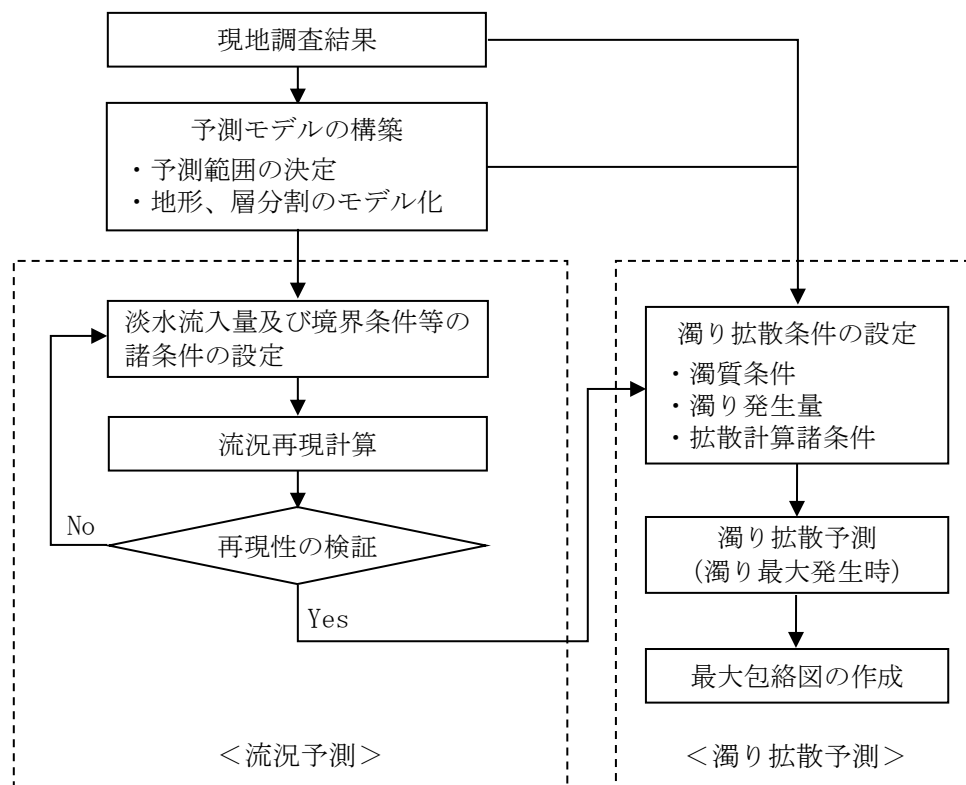


図 11.5.2-4 水底の掘削等に係る水の濁りの予測手順

② 予測式

a) 流況予測モデル

流況予測モデルは、非圧縮性粘性流体に関する Navier-Stokes の運動方程式と流体の連続式を基礎式としたモデルを用いました。

(a) 基本式

i) 連続方程式

連続方程式は、次に示す式を用いました。

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

ここで、

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(cm/s)

ii) 運動方程式

運動方程式は、次に示す Navier-Stokes 式を用いました。

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} - f v = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_M \frac{\partial u}{\partial z} \right) + F_x$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} + f u = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_M \frac{\partial v}{\partial z} \right) + F_y$$

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

ここで、

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(cm/s)

f : コリオリ係数(l/s)

p : 圧力(g/cm/s²)

ρ_0 : 密度(g/cm³)

K_M : 鉛直渦動粘性係数(cm²/s)

ρ : 海水の密度(g/cm³)

g : 重力加速度(cm/s²)

t : 時間(s)

運動方程式の F_x 、 F_y は、次に示す式を用いて求めました。

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

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

ここで、

x, y : 右手系の直交座標系、上向きを正

u, v : x, y 方向の流速成分(cm/s)

A_M : 水平渦動粘性係数(cm^2/s)

iii) 状態方程式

状態方程式は、Knudsen 式を用いました。

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

ここで、

T : 水温($^{\circ}C$)

S : 塩分(‰)

ρ : 密度(g/cm^3)

a, b, c, d : 状態方程式の係数

状態方程式の係数は、UNESCO(1981)に準拠し、以下のとおりとしました。

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

$$a_0 : 999.842594$$

$$a_1 : 6.793952 \times 10^{-2}$$

$$a_2 : -9.09529 \times 10^{-3}$$

$$a_3 : 1.001685 \times 10^{-4}$$

$$a_4 : -1.120083 \times 10^{-6}$$

$$a_5 : 6.536332 \times 10^{-9}$$

$$b_0 : 8.24493 \times 10^{-1}$$

$$b_1 : -4.0899 \times 10^{-3}$$

$$b_2 : 7.6438 \times 10^{-5}$$

$$b_3 : -8.2467 \times 10^{-7}$$

$$b_4 : 5.3875 \times 10^{-9}$$

$$c_0 : -5.72466 \times 10^{-3}$$

$$c_1 : 1.0227 \times 10^{-4}$$

$$c_2 : -1.6546 \times 10^{-6}$$

$$d_0 : 4.8314 \times 10^{-4}$$

iv) 水温・塩分の拡散方程式

水温・塩分の拡散方程式は、次に示す式を用いました。

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

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

運動方程式の F_T 、 F_S は、次に示す式を用いて求めました。

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

ここで、

x, y : 右手系の直交座標系、上向きを正

T : 水温(°C)

S : 塩分(‰)

A_H : 水平渦拡散係数(cm^2/s)

(b) 境界条件

i) 海底面

海底面における境界条件は、次式に示すとおりです。

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

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

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

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

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

ここで、

$\vec{\tau}_b$: 底面せん断応力(N/m ²)
\vec{v}_b	: 海底での水平流速ベクトル(cm/s)
u_b, v_b	: x, y 方向の底面流速(cm/s)
h	: 水深(m)
K_M	: 鉛直渦動粘性係数(cm ² /s)
K_H	: 鉛直渦拡散係数(cm ² /s)

底面の摩擦係数 (C_D) は、次に示す式を用いて求めました。

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

ここで、

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 (=1.0) (cm)
κ	: カルマン定数 (=0.4)

i) 海表面

海表面における境界条件は、次式に示すとおりです。

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

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

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

ここで、

τ_{sx}, τ_{sy}	: x, y 方向の風応力(N/m ²)
Q_{suf}	: 海表面を通じての熱フラックス(W/m ²)
C_v	: 比熱(J/kg・K)
w	: 鉛直流速(cm/s)
η	: 水位(m)

b) 濁り拡散モデル

濁り予測に用いる沈降拡散モデルは、次に示す式を用いました。

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

ここで、

S	: SS 濃度(mg/L)
x, y, z	: 右手系の直行座標系、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)

(3) 予測地域

予測地域は、実施区域における公共用水域において、水底の掘削等を予定している水域及びその周辺水域としました。

予測地域は、図 11.5.2-5 に示すとおりです。

(4) 予測地点

予測地点は、水底の掘削等を予定している水域及びその周辺水域において、水底の掘削等に係る水の濁りの影響を適切に把握できる地点として、橋脚の設置工事が想定される位置及びその周辺としました。

(5) 予測対象時期等

予測対象時期は、水底の掘削等に係る水の濁りの環境影響が最大となる時期としました。

(6) 予測条件

① 流況予測モデル

a) 予測メッシュ

流域予測モデルの予測メッシュは、予測地域の周囲の大領域を第 1 領域として設定し、実施区域周辺の関門海峡の詳細な地形を反映するため、第 2～5 領域を設定しました。各領域の予測メッシュの設定は、表 11.5.2-10 及び図 11.5.2-5 に示すとおりです。

表 11.5.2-10 各領域の予測メッシュの設定

領域	領域の範囲	メッシュ幅
第 1 領域	東西 39.0km×南北 21.0km	300.0m
第 2 領域	東西 23.5km×南北 12.7km	100.0m
第 3 領域	東西 5.9km×南北 9.0km	33.3m
第 4 領域	東西 0.5km×南北 0.5km	11.1m
第 5 領域	東西 0.5km×南北 0.5km	11.1m

b) 層分割

予測モデルにおける鉛直方向の層分割は、7 層としました。設定した層分割は、表 11.5.2-11 に示すとおりです。

表 11.5.2-11 層分割の設定

層	層分割
1 層目	水面～水深 2m
2 層目	水深 2m～4m
3 層目	水深 4m～6m
4 層目	水深 6m～8m
5 層目	水深 8m～10m
6 層目	水深 10m～12m
7 層目	水深 12m～海底

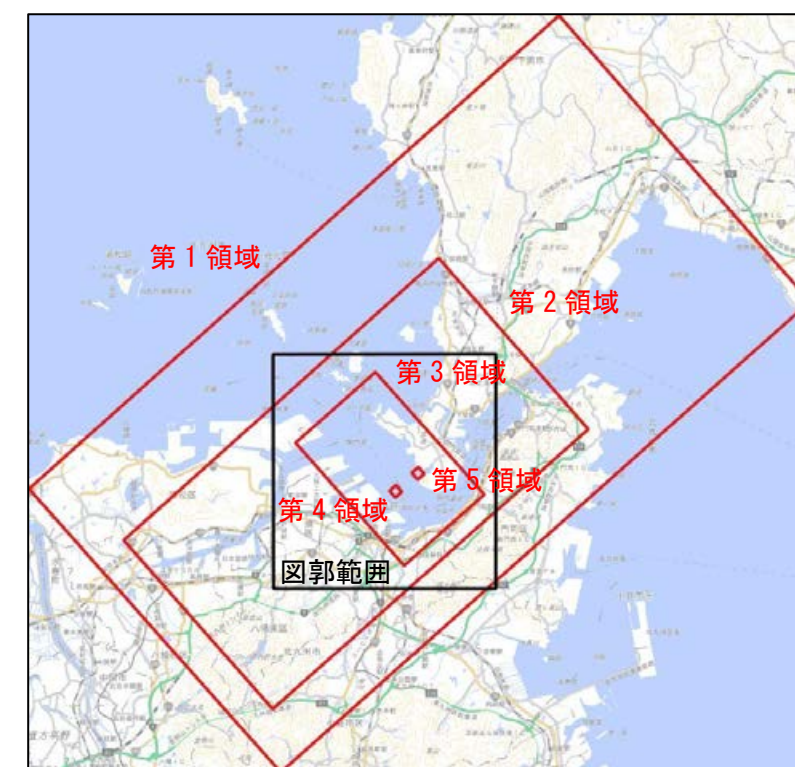
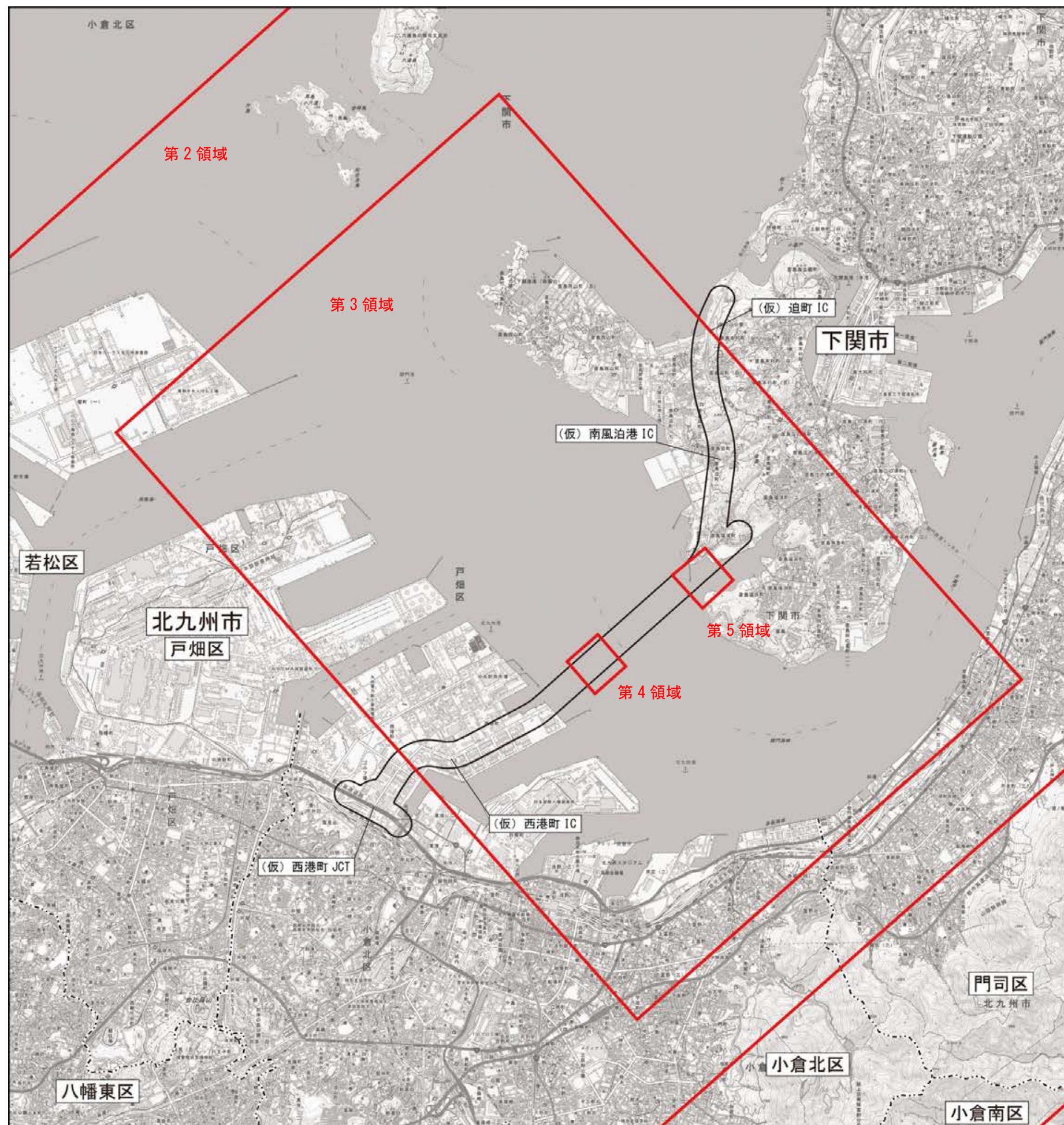


図 11.5.2-5 水底の掘削等に係る予測地域図及び各領域の予測メッシュの設定

c) 淡水流入量

淡水流入量については、予測地域に流入する河川の夏季及び冬季の平均流量を設定しました。設定した河川の平均流量は表 11.5.2-12 に、予測地域に流入する河川の位置は図 11.5.2-6 に示すとおりです。

なお、各河川では流量の観測が実施されていないため、対象河川近傍の佐波川（山口県）と遠賀川（福岡県）の河川流量と流域面積比の関係から平均流量を算出し設定しました。佐波川（山口県）と遠賀川（福岡県）の河川流量は、水文水質データベースより平成 23 年～令和 2 年の 10 年間の河川流量を収集し、夏季及び冬季の平均値を算出しました。

また、事業所からの排水流入量は、59 ヶ所を対象に年平均流量を設定しました。事業所からの排水流量は表 11.5.2-13 に、事業所からの排水流入地点は図 11.5.2-7 に示すとおりです。

表 11.5.2-12 河川の平均流量

No.	河川名	流域面積 (km ²)	夏季の平均流量 (m ³ /s)	冬季の平均流量 (m ³ /s)
①	永田川	5.39	0.43	0.11
②	西田川	8.86	0.71	0.17
③	友田川	7.48	0.60	0.15
④	綾羅木川	34.94	2.81	0.68
⑤	新川	4.98	0.40	0.10
⑥	神田川	24.51	1.97	0.48
⑦	浜田川	9.64	0.77	0.19
⑧	木屋川	281.72	22.63	5.51
⑨	糸根川	3.98	0.32	0.08
⑩	前場川	11.90	0.96	0.23
⑪	村中川	1.87	0.16	0.04
⑫	紫川	113.00	9.37	2.48
⑬	板櫃川	25.80	2.14	0.57
⑭	撥川	5.25	0.44	0.12
⑮	割子川	9.44	0.78	0.21
⑯	新々堀川	14.14	1.17	0.31
⑰	金手川	3.76	0.31	0.08

注 1) 流域面積は河川整備計画等から設定した。

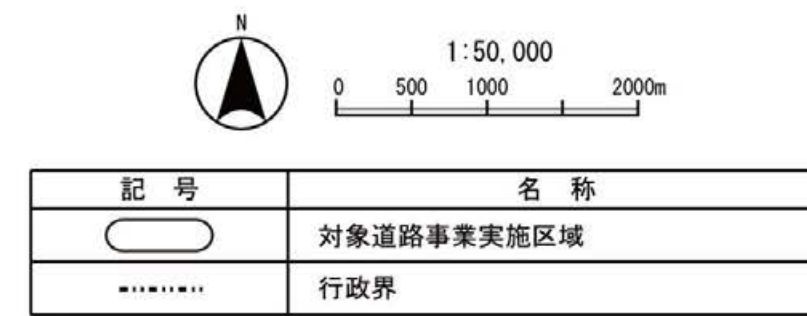
注 2) ①～⑩は佐波川（山口県）の河川流量と流域面積比との関係から流量を設定した。

⑪～⑰は遠賀川（福岡県）の河川流量と流域面積比との関係から流量を設定した。

佐波川と遠賀川は水文水質データベースの観測結果より算出した。（平成 23 年～令和 2 年の平均値）

表 11.5.2-13 事業所からの排水流量

No.	年平均流量 (m ³ /日)	備考	No.	年平均流量 (m ³ /日)	備考
1	226		31	1,000	
2	82		32	1,500	
3	3		33	760	
4	100		34	334,900	
5	24,945		35	98,818	
6	49		36	349	
7	11,039		37	245	同地点から流入
8	3,369		38	1,185	
9	5,195		39	54	
10	10,264		40	41,651	
11	23		41	4,194,215	
12	102		42	772,330	
13	13		43	3,744	
14	3,153	同地点から流入	44	684	
15	4,841		45	1,359	
16	951		46	360	
17	148	同地点から流入	47	3,000	
18	154		48	1,421	
19	26	同地点から流入	49	260	
20	85		50	151,250	
21	142		51	870	
22	10,759		52	700	同地点から流入
23	65		53	252	
24	12,920		54	322	
25	5,600		55	9700	
26	2,865		56	3,064	
27	24,000		57	64,200	同地点から流入
28	88,400		58	11,392	
29	60		59	60	
30	435,950				

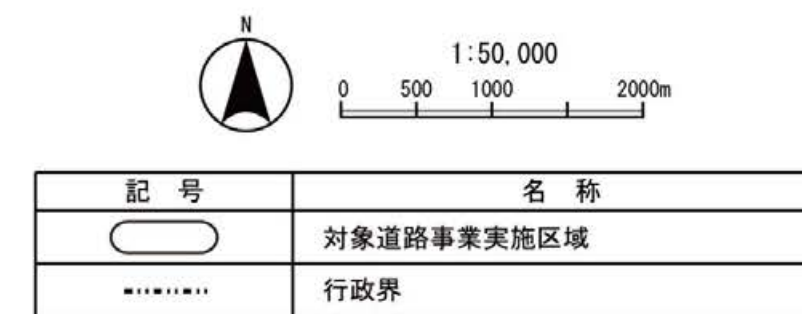


凡例

○ 流入河川の位置



図 11.5.2-6 予測地域に流入する河川の位置



凡例

○ 事業所の位置



図 11.5.2-7 事業所からの排水流入地点

d) 計算条件

(a) 諸係数

流況予測に用いた諸係数は、流況の再現性を考慮した上で一般的な係数の範囲内で設定しました。流況予測に用いた諸係数は、表 11. 5. 2-14 に示すとおりです。

表 11. 5. 2-14 流況予測に用いた諸係数

項目	設定内容
水平渦動粘性係数 水平渦拡散係数	<p>Smagorinsky(1963)による経験式を用いた。</p> $A_{M,H} = C_{M,H}(\Delta x \times \Delta y) \left[\frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right]^{1/2}$ <p>この経験式の中で用いられる比例係数C_M、C_Hは、感度解析の結果から 0. 5 とした。また、水平渦動粘性係数の最小値は $10^4(\text{cm}^2/\text{s})$ とした。</p>
鉛直渦動粘性係数 鉛直渦拡散係数	<p>Pacanowski and Philander(1981)による成層化関数を用いた。鉛直渦動粘性係数の最小値は $1. 0(\text{cm}^2/\text{s})$、最大値は $100. 0(\text{cm}^2/\text{s})$ とした。</p> $K_M = \frac{K_{M0}}{(1 + \alpha R_i)^n} + K_{MB}, K_H = \frac{K_M}{1 + \alpha R_i} + K_{HB}, R_i = \frac{-\frac{g}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial z} \right)}{\left(\frac{\partial U}{\partial z} \right)^2}$ <p>ここで、</p> <p>K_{MB} : バックグラウンドの鉛直渦動粘性係数 (= $1.0\text{cm}^2/\text{s}$)</p> <p>K_{HB} : バックグラウンドの鉛直渦拡散係数 (= $1.0\text{cm}^2/\text{s}$)</p> <p>K_{M0} : パラメータ (= $100.0\text{cm}^2/\text{s}$)</p> <p>$\alpha$: パラメータ (=5)</p> <p>n : パラメータ (=2)</p> <p>z : 基準面からの鉛直座標値</p> <p>U : 水平流速 (cm/s)</p>
海底摩擦係数	0. 0026
コリオリ係数	$8. 1 \times 10^{-5} \text{ 1/s}$

出典 : 「J. Smagorinsky : General Circulation Experiments with the Primitive Equations I. The Basic Experiment.」(昭和 38 年、Monthly Weather Review, 91, 99-164.)

「R. C. Pacanowski and S. G. H. Philander: Parameterization of Vertical Mixing in Numerical Models of Tropical Oceans.」(昭和 56 年、J. Phys. Oceanogr., 11, 1443-1451.)

(b) 境界条件

境界位置及び境界設定値は、図 11.5.2-8 及び表 11.5.2-15 に示すとおりです。

潮汐の境界条件は、日本海洋データセンター（JODC）より境界近傍地点の平成 23 年～令和 2 年の 10 年間の潮汐データを調和解析し設定しました。なお、予測計算における対象潮汐は濁りの拡散が大きくなる平均大潮期（ M_2+S_2 ）と、濁りの濃度が高くなる平均小潮期（ M_2-S_2 ）を対象としました。

水温及び塩分の境界条件は、瀬戸内海総合水質調査における平成 23 年～令和 2 年の 10 年間の境界近傍観測結果の水温・塩分データを収集し、夏季及び冬季の平均値を設定しました。

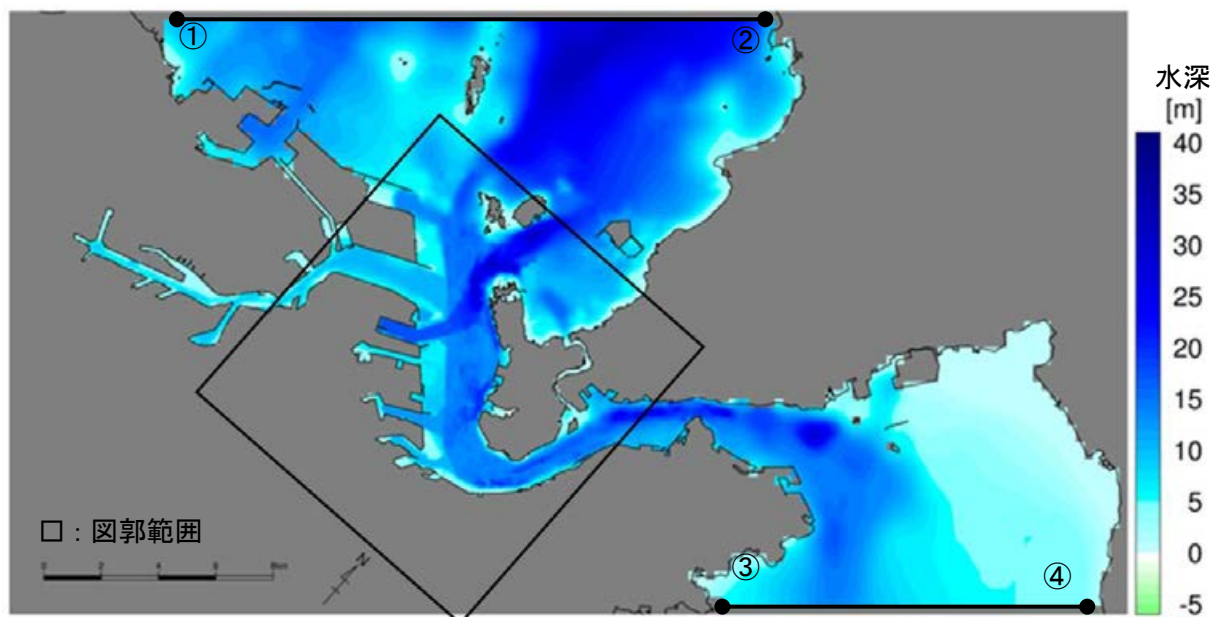


図 11.5.2-8 境界位置

表 11.5.2-15(1) 境界設定値（潮汐）

境界地点	平均大潮期（ M_2+S_2 分潮）		平均小潮期（ M_2-S_2 分潮）	
	振幅 (cm)	位相 (°)	振幅 (cm)	位相 (°)
①	74.9	278.9	26.5	278.9
②	18.4	327.9	5.9	327.9
③	150.8	253.9	58.2	253.9
④	147.6	254.2	53.3	254.2

注) 日本海洋データセンター（JODC）の平成 23 年～令和 2 年の潮汐データを調和解析し設定した。

表 11.5.2-15(2) 境界設定値（水温・塩分）

境界地点	夏季				冬季			
	表層～中層 （第 1～6 層）		下層 （第 7 層）		表層～中層 （第 1～6 層）		下層 （第 7 層）	
	水温 (°C)	塩分 (-)	水温 (°C)	塩分 (-)	水温 (°C)	塩分 (-)	水温 (°C)	塩分 (-)
①	26.8	32.9	24.4	33.4	14.4	31.9	13.6	31.9
②	26.8	32.9	24.4	33.4	14.4	31.9	13.6	31.9
③	27.7	31.9	25.3	32.3	10.2	33.0	10.7	33.4
④	27.7	31.9	25.3	32.3	10.2	33.0	10.7	33.4

注) 瀬戸内海総合水質調査（境界地点①②：響灘近傍地点、境界地点③④：周防灘近傍地点）の平成 23 年～令和 2 年の平均値を用いた。

e) 流況再現性の検討

(a) 潮汐流の再現結果

実施区域及びその周辺の平均大潮期 (M_2+S_2) における夏季及び冬季の流況再現結果（流速ベクトル図）は図 11.5.2-9～図 11.5.2-10、実施区域及びその周辺の平均小潮期 (M_2-S_2) における夏季及び冬季の流況再現結果は図 11.5.2-11～図 11.5.2-12 に示すとおりです。

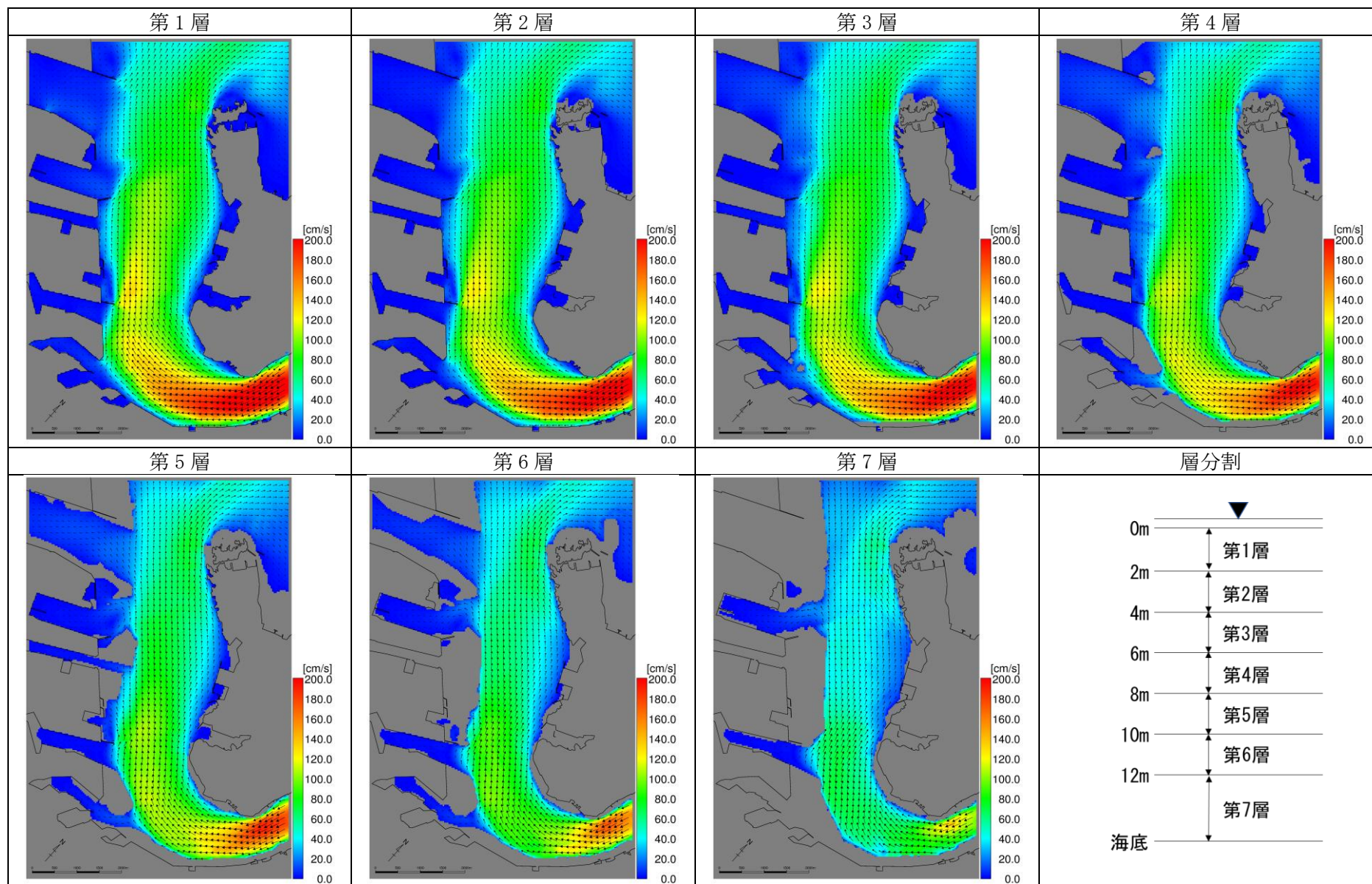


图 11.5.2-9(1) 流況再現結果（夏季、満潮時、平均大潮期（ M_2+S_2 ））

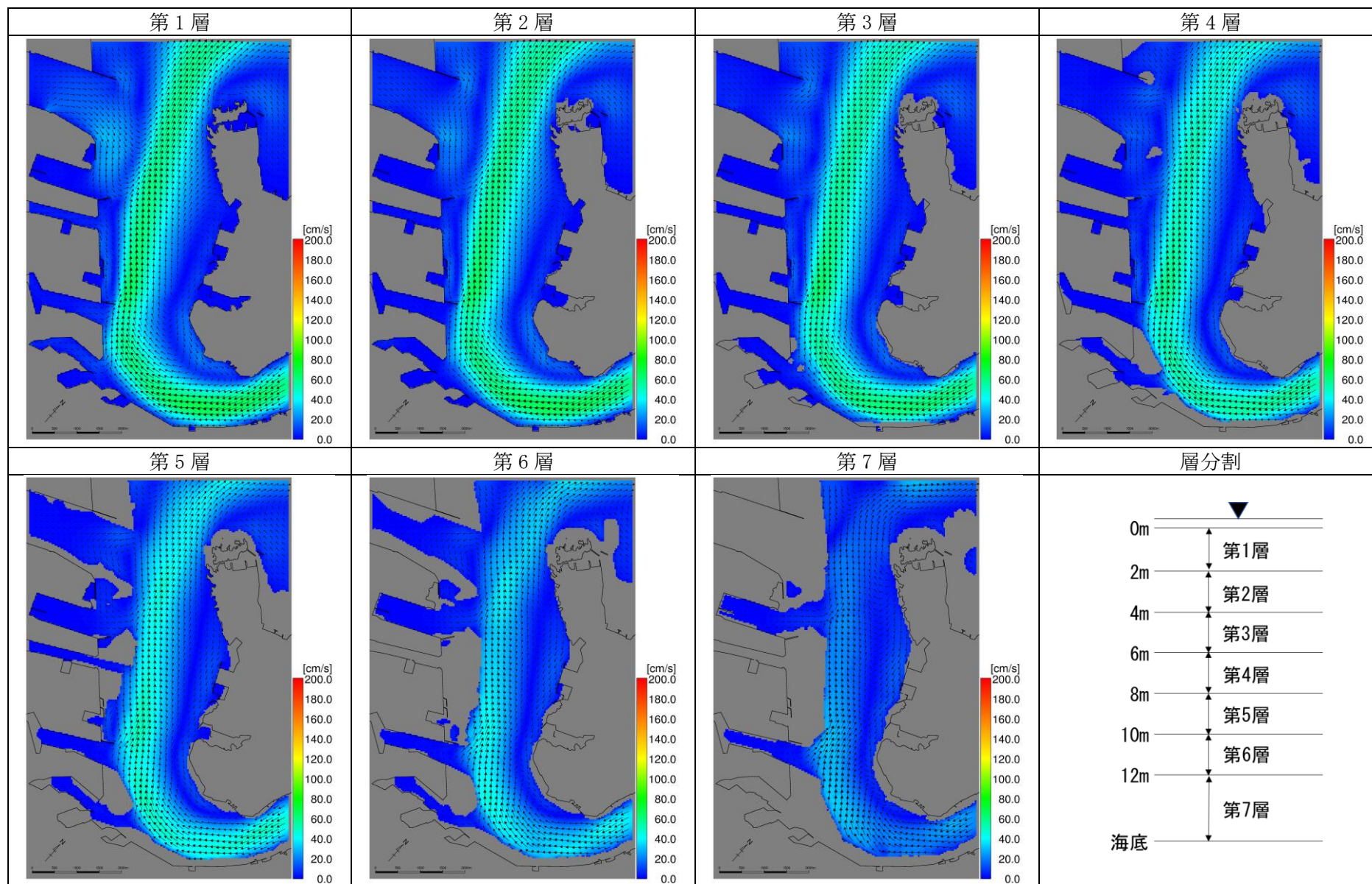


図 11.5.2-9(2) 流況再現結果（夏季、下げ潮時、平均大潮期（ M_2+S_2 ））

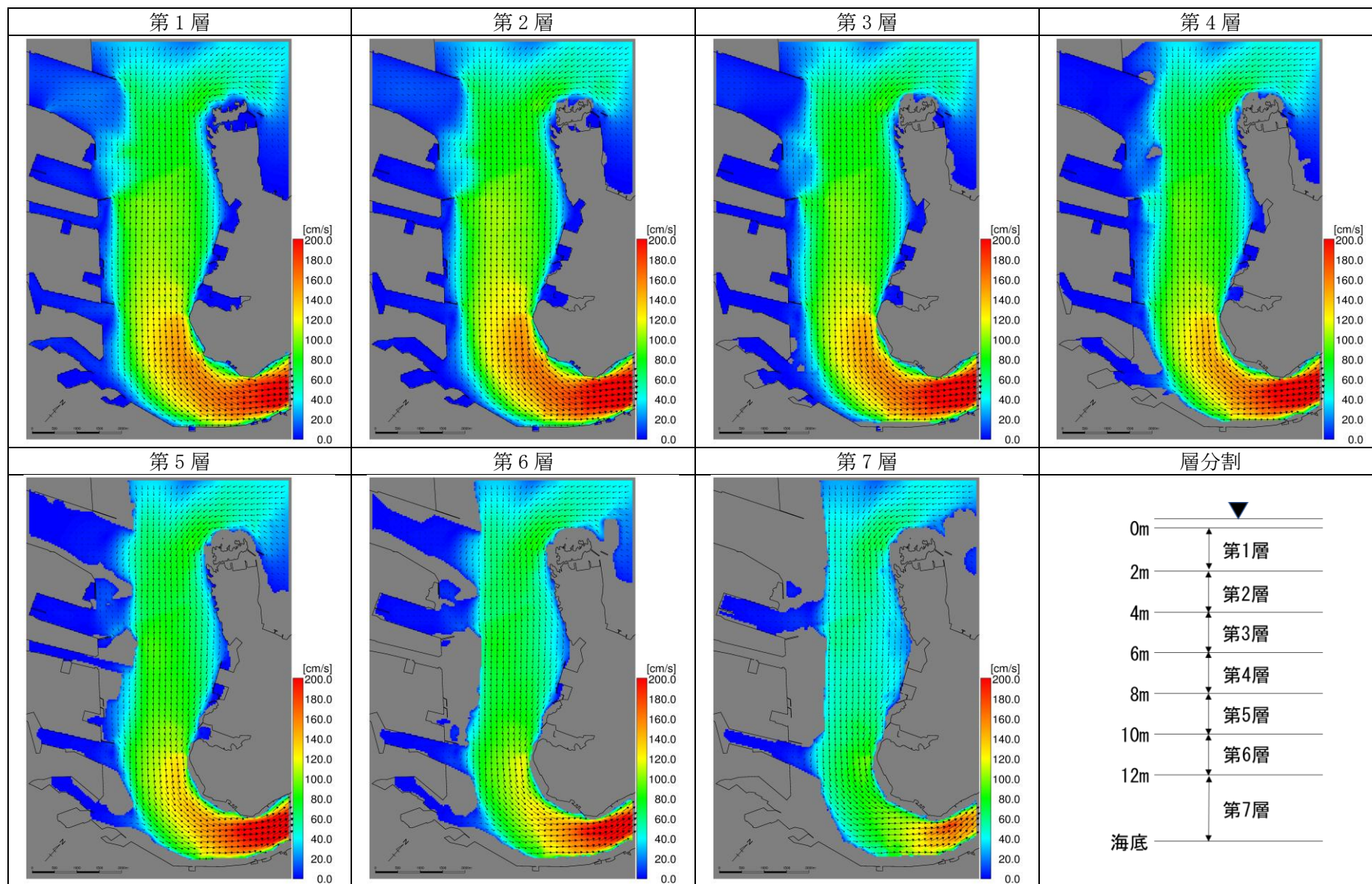


図 11.5.2-9(3) 流況再現結果（夏季、干潮時、平均大潮期（ M_2+S_2 ））

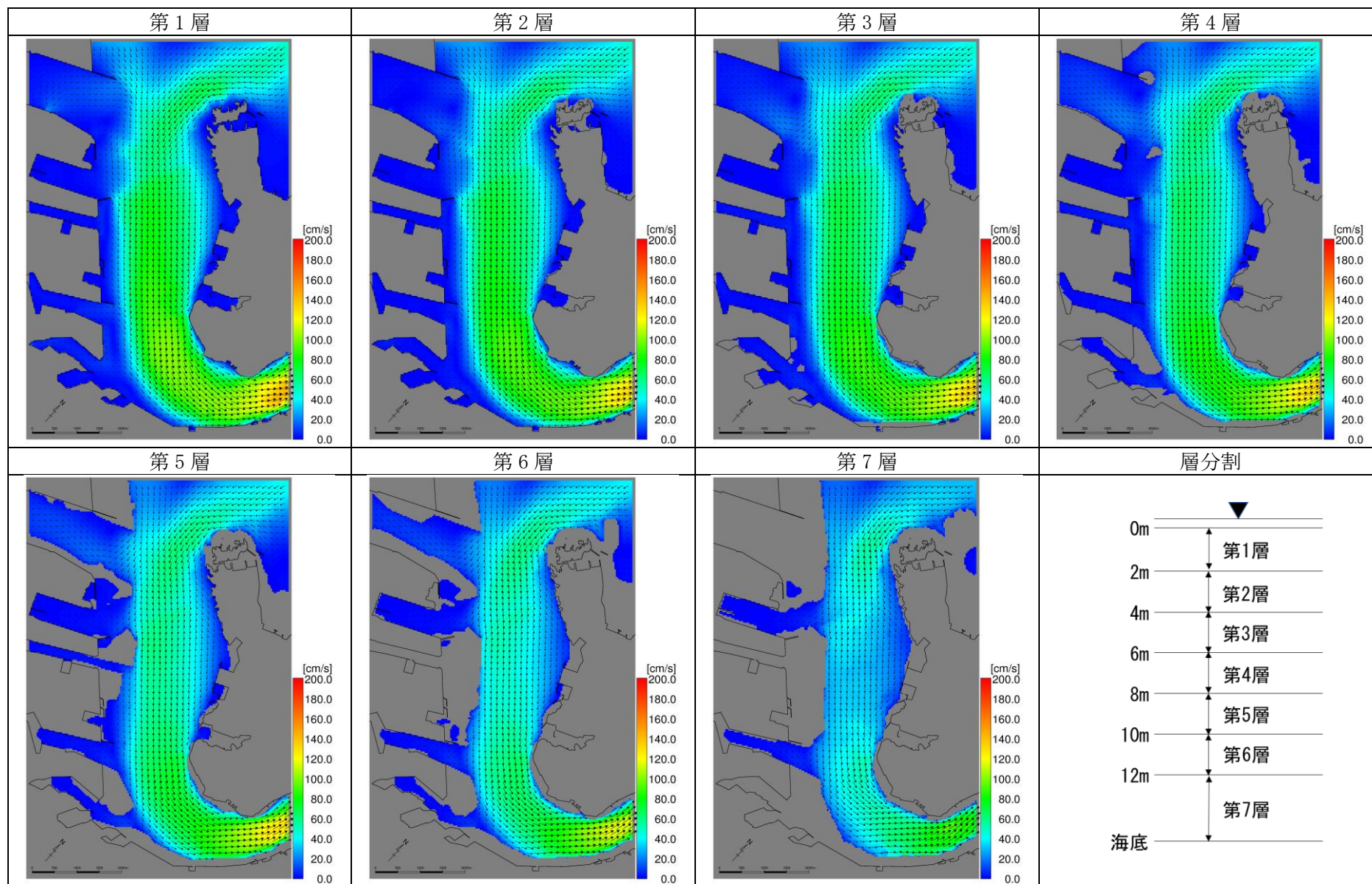


図 11.5.2-9(4) 流況再現結果（夏季、上げ潮時、平均大潮期（ M_2+S_2 ））

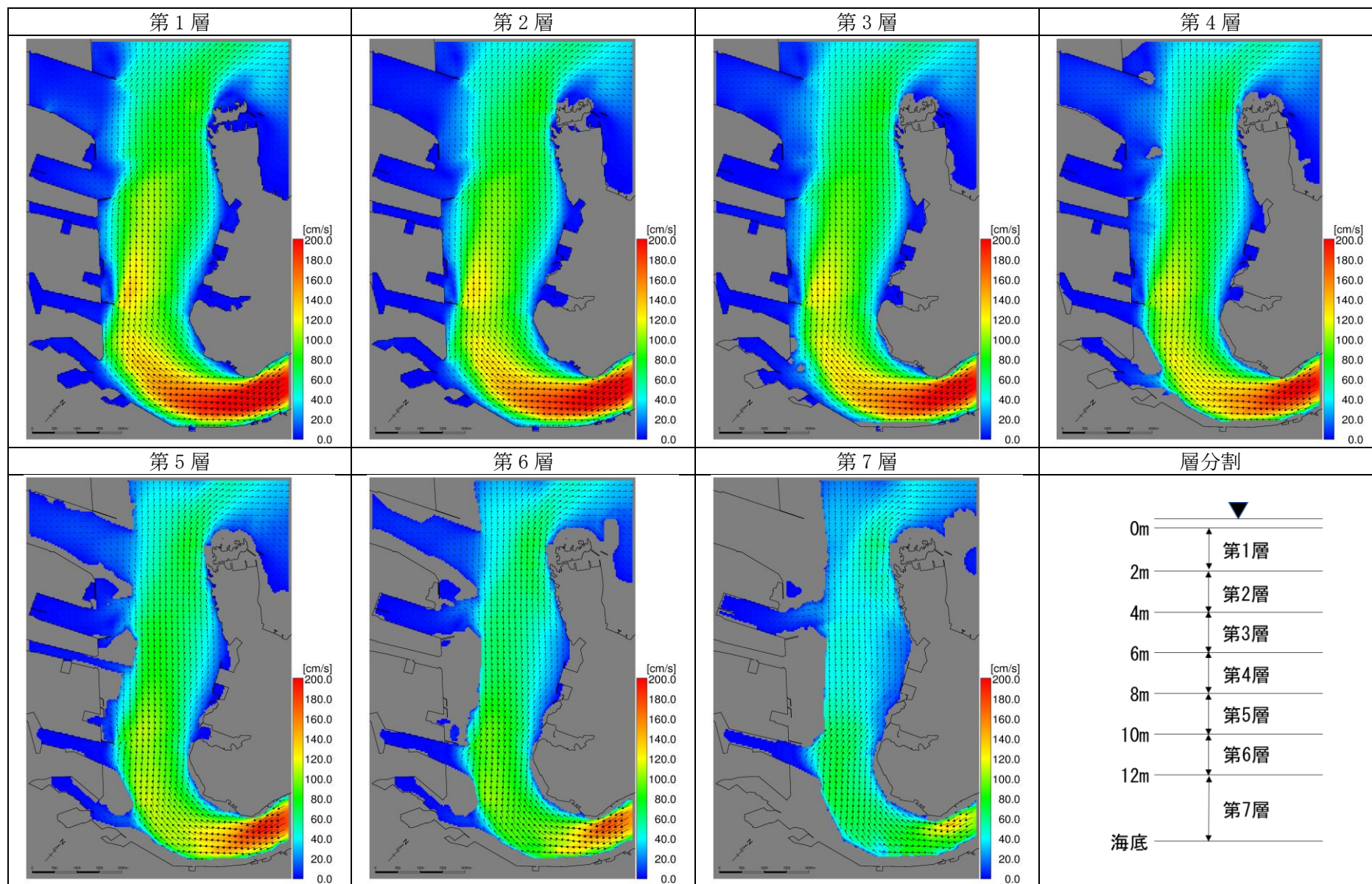


図 11.5.2-10(1) 流況再現結果（冬季、満潮時、平均大潮期（ M_2+S_2 ））

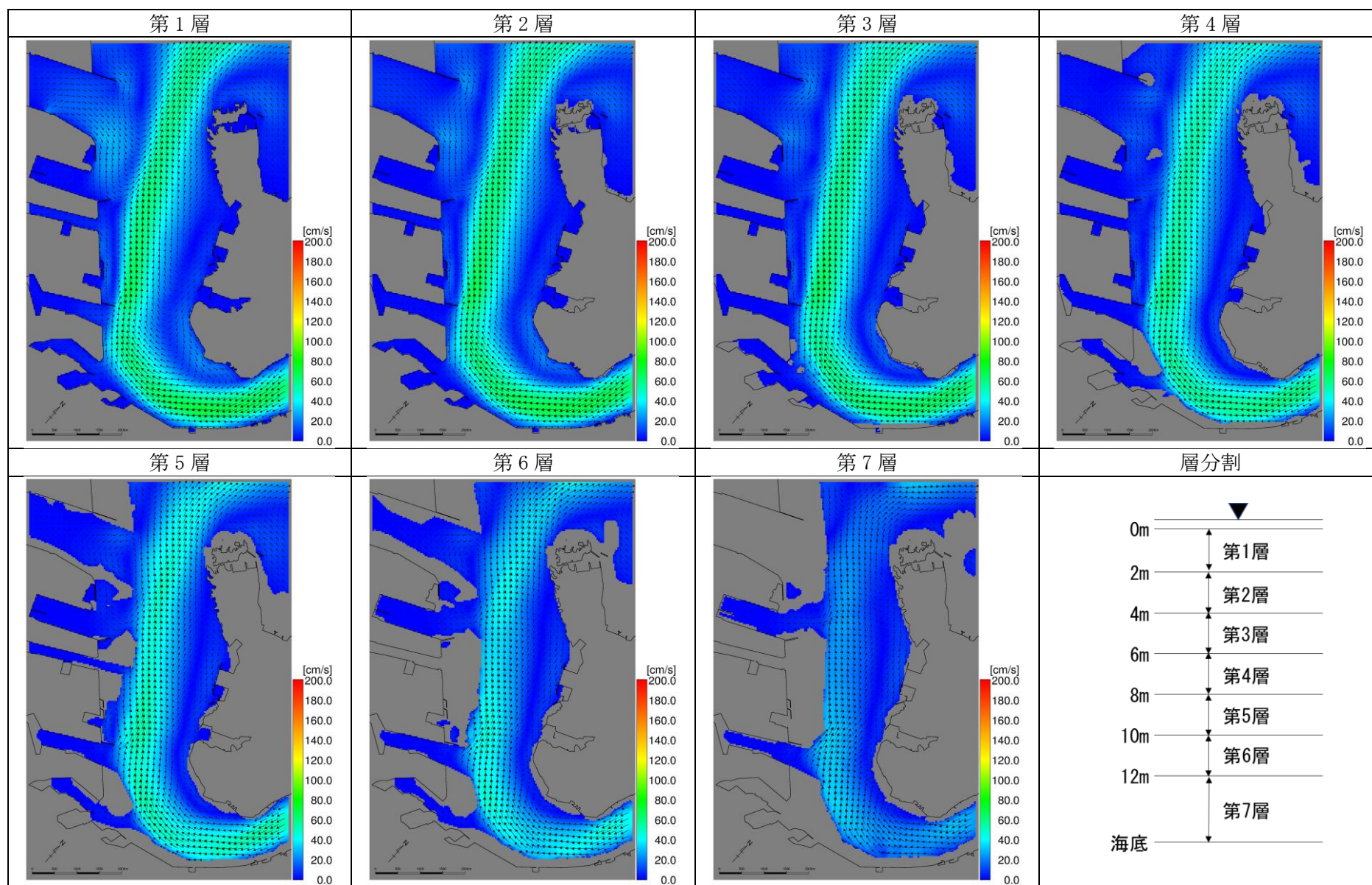


図 11.5.2-10(2) 流況再現結果（冬季、下げ潮時、平均大潮期（ M_2+S_2 ））

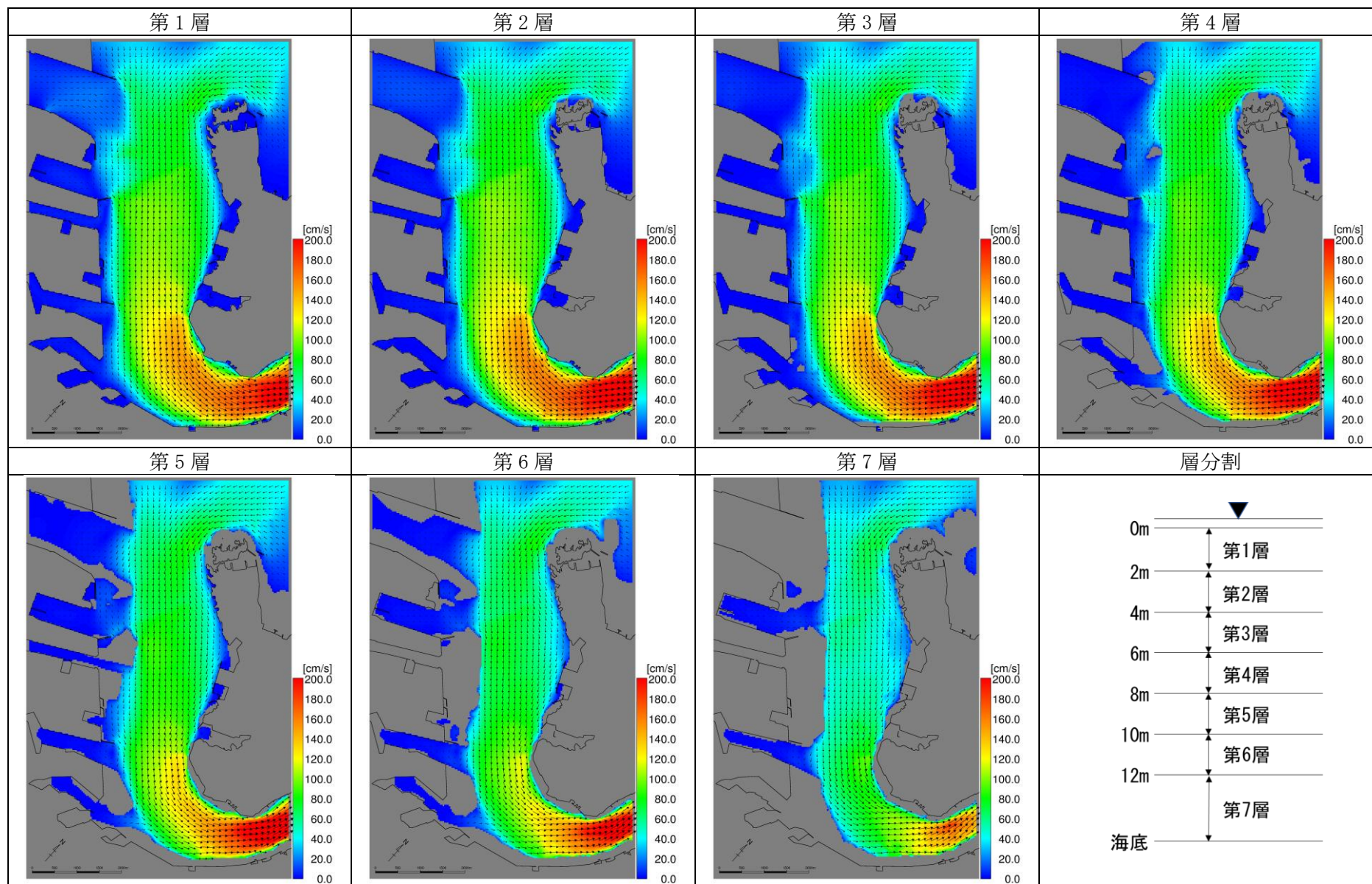


図 11.5.2-10(3) 流況再現結果（冬季、干潮時、平均大潮期（ M_2+S_2 ））

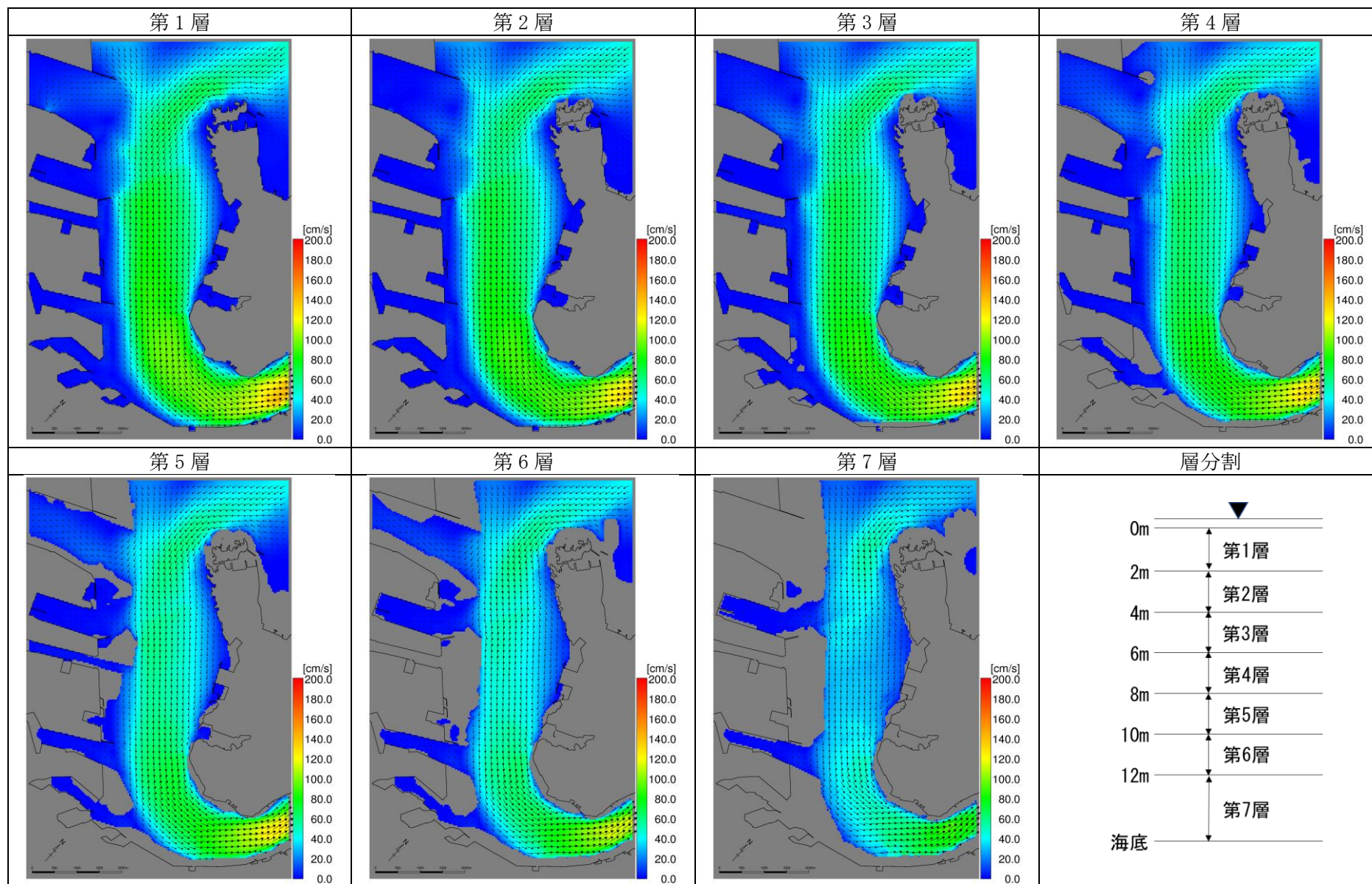


図 11.5.2-10(4) 流況再現結果（冬季、上げ潮時、平均大潮期（ M_2+S_2 ））

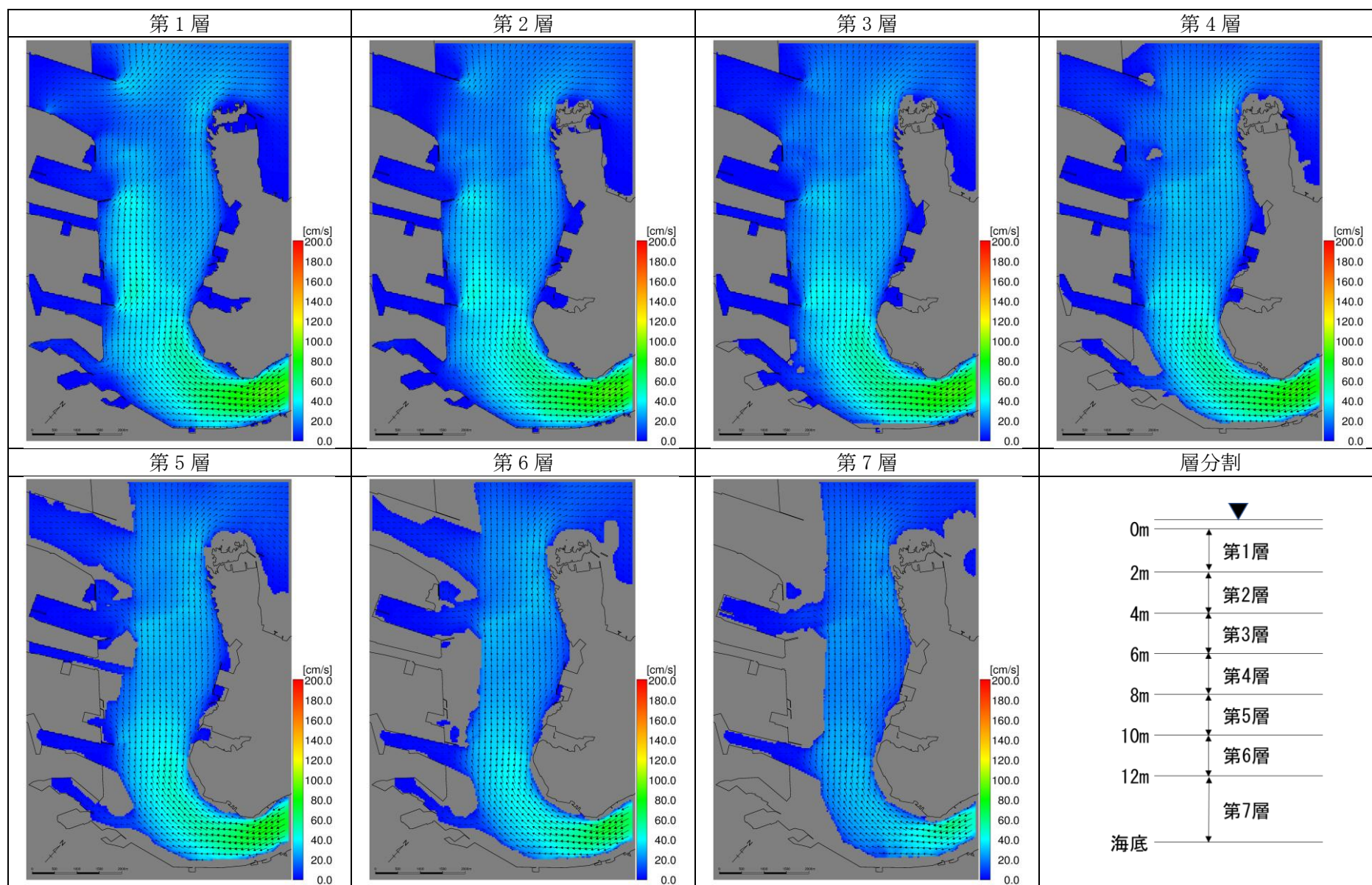


図 11.5.2-11(1) 流況再現結果（夏季、満潮時、平均小潮期（ M_2-S_2 ））

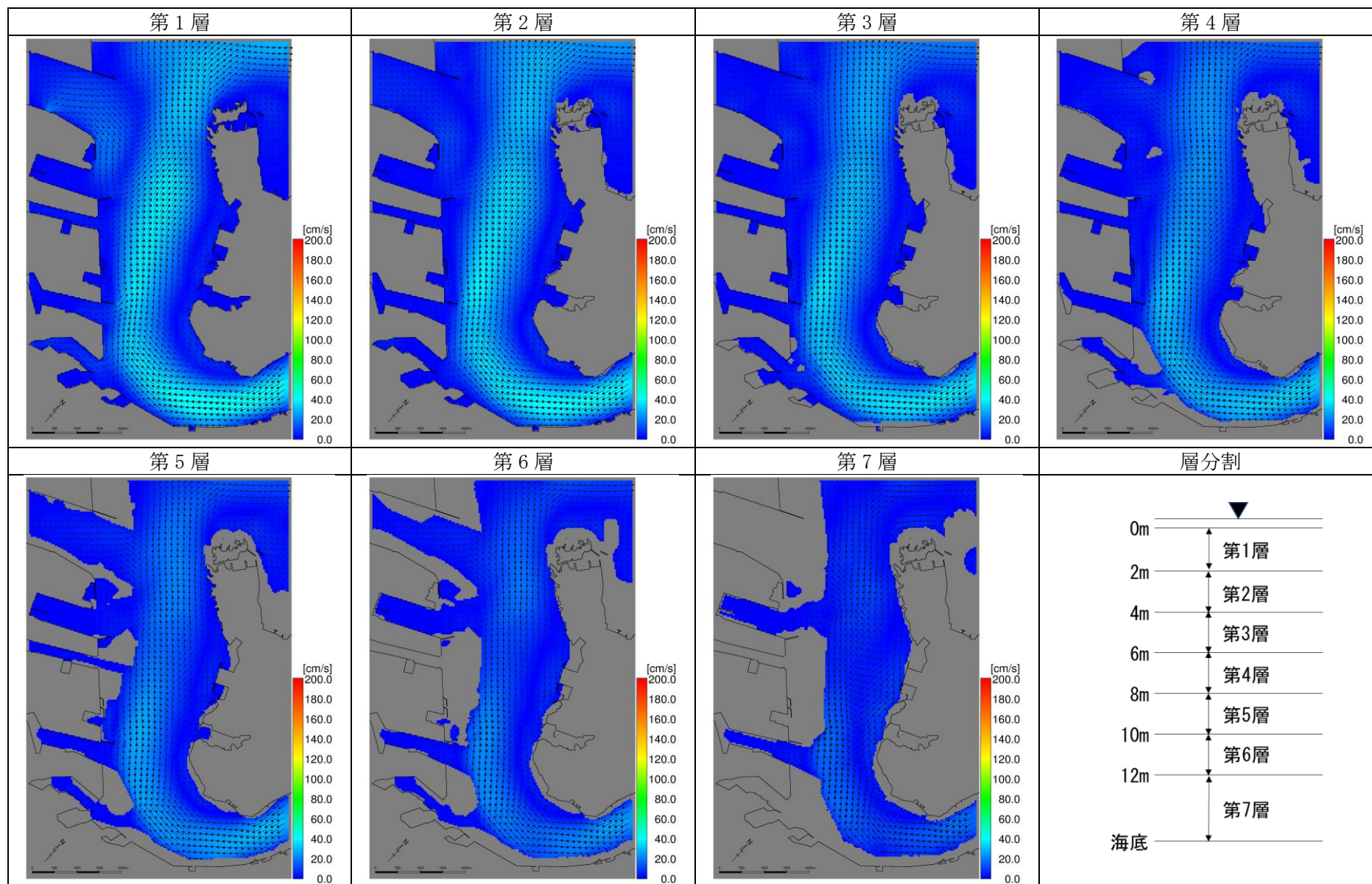


図 11.5.2-11(2) 流況再現結果（夏季、下げ潮時、平均小潮期（ M_2-S_2 ））

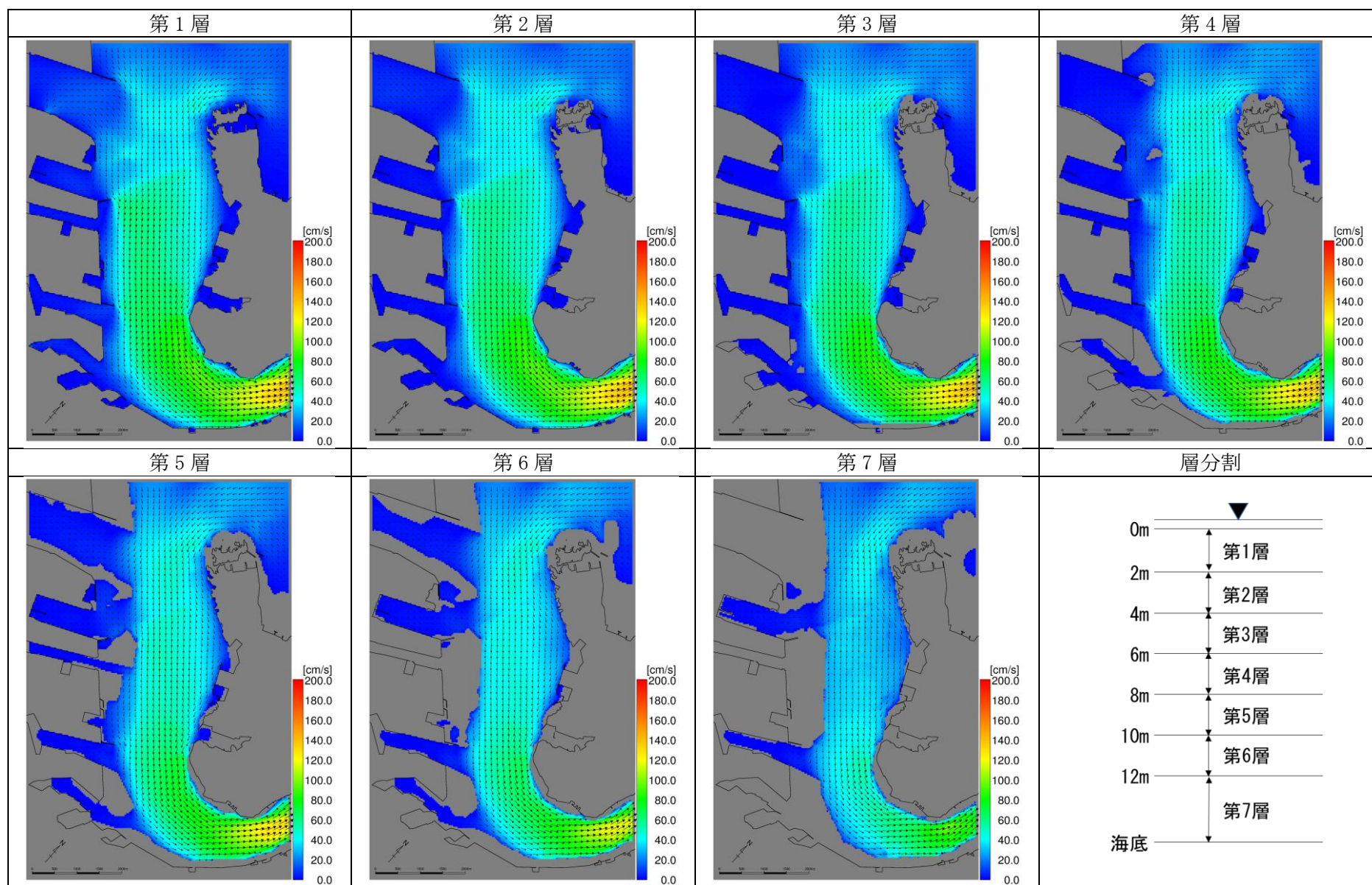


図 11.5.2-11(3) 流況再現結果（夏季、干潮時、平均小潮期（ M_2-S_2 ））

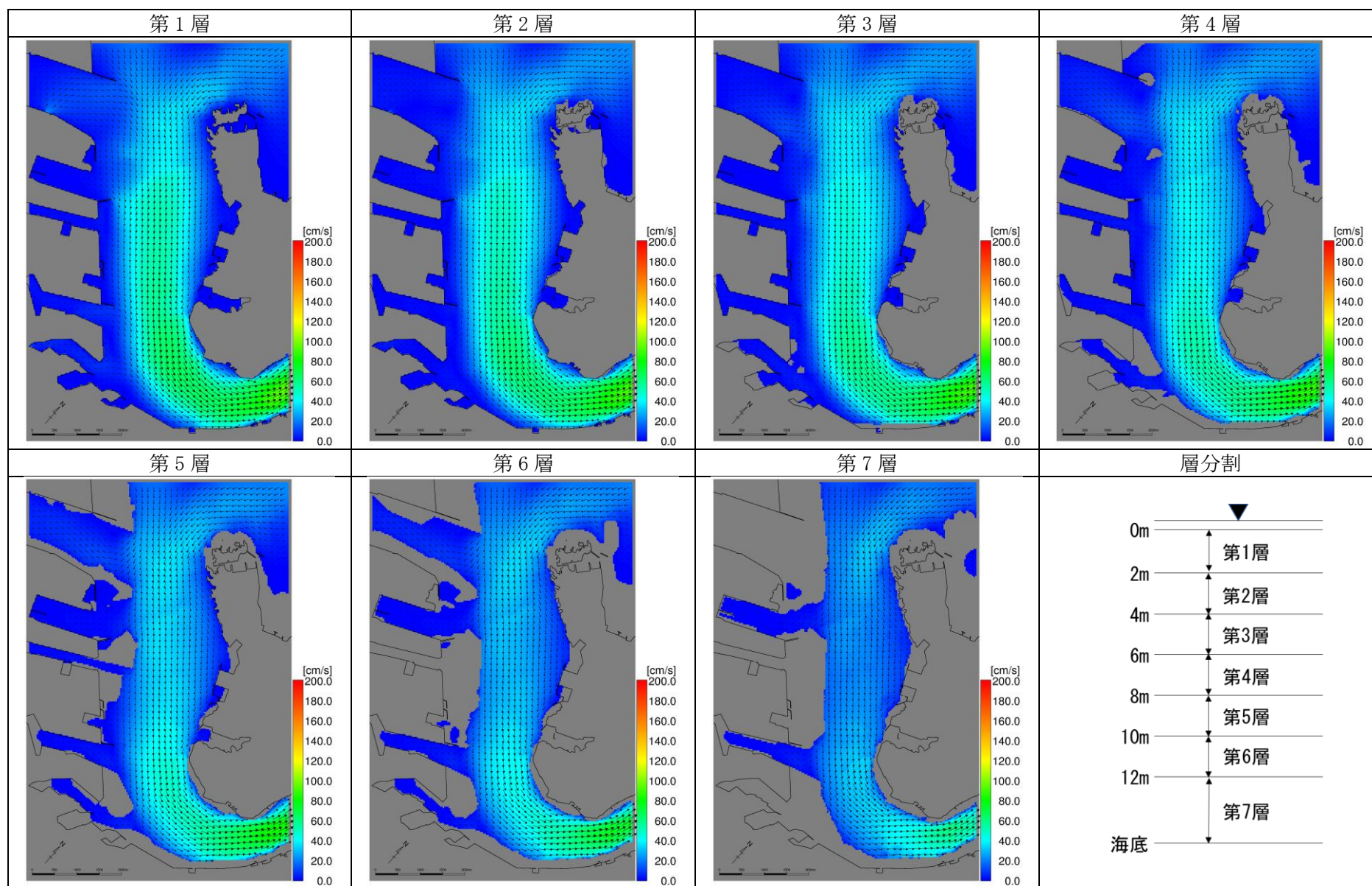


図 11.5.2-11(4) 流況再現結果（夏季、上げ潮時、平均小潮期（ M_2-S_2 ））

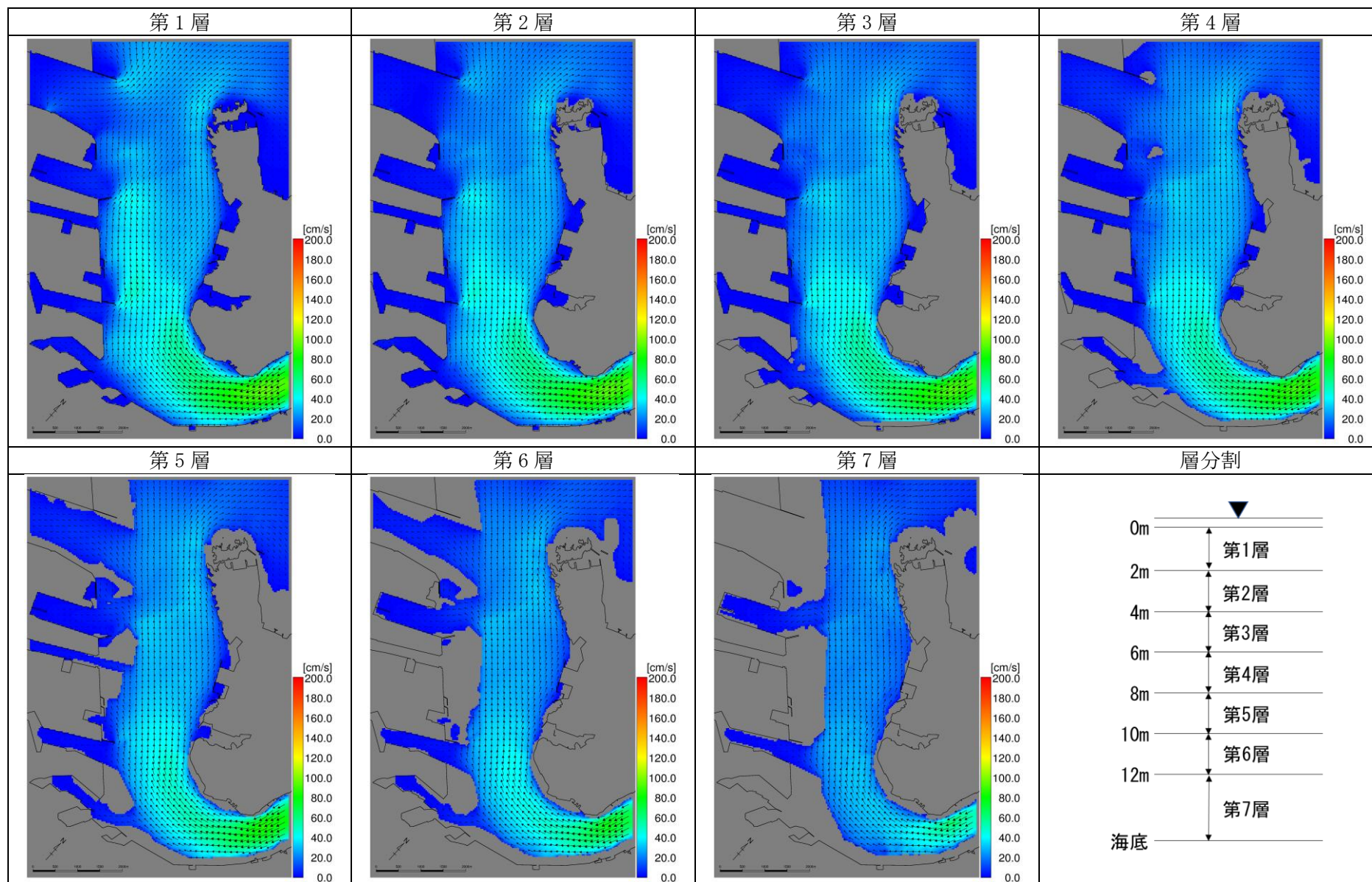


図 11.5.2-12(1) 流況再現結果（冬季、満潮時、平均小潮期（ M_2-S_2 ））

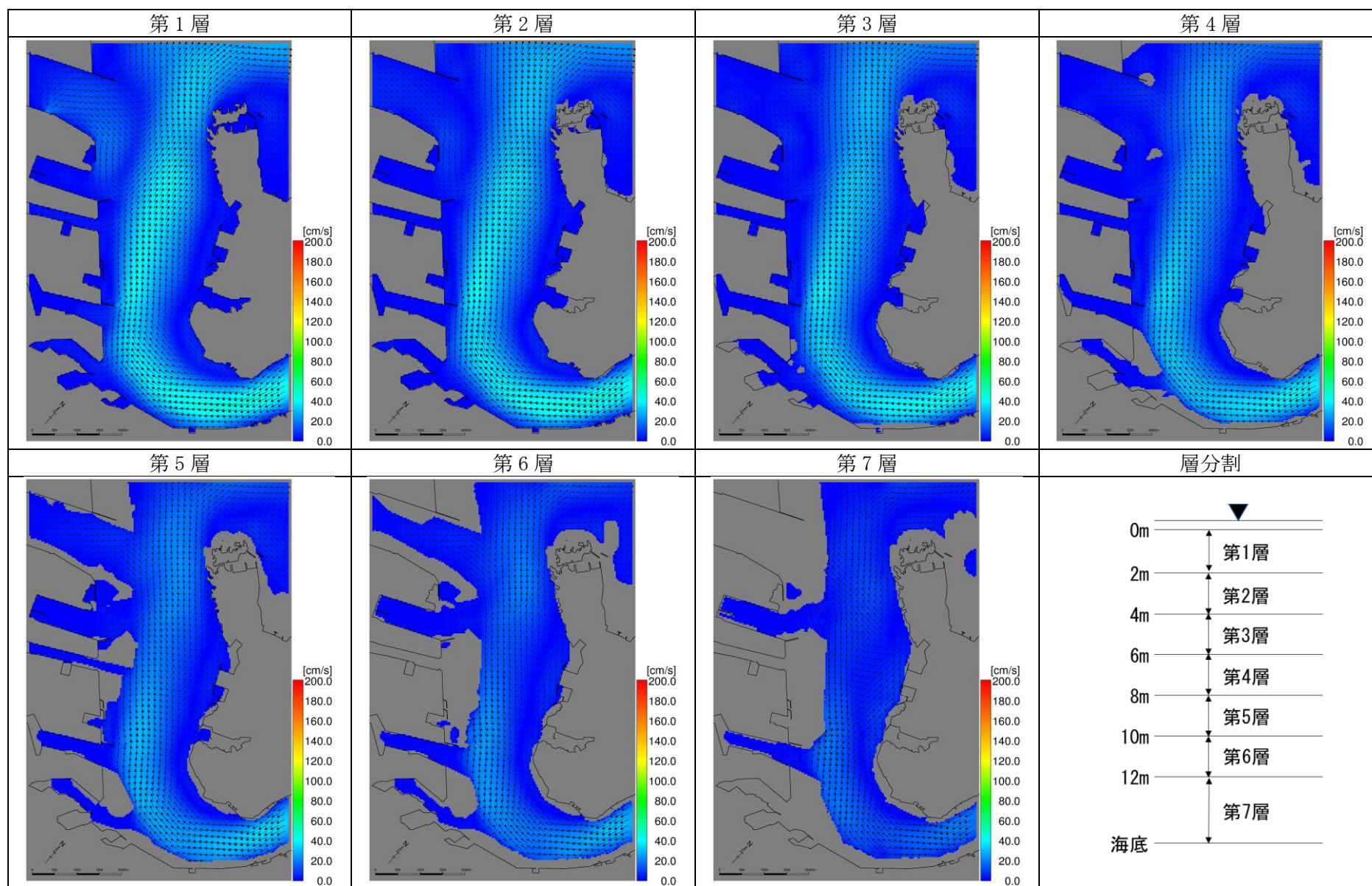


図 11.5.2-12(2) 流況再現結果（冬季、下げ潮時、平均小潮期（ M_2-S_2 ））

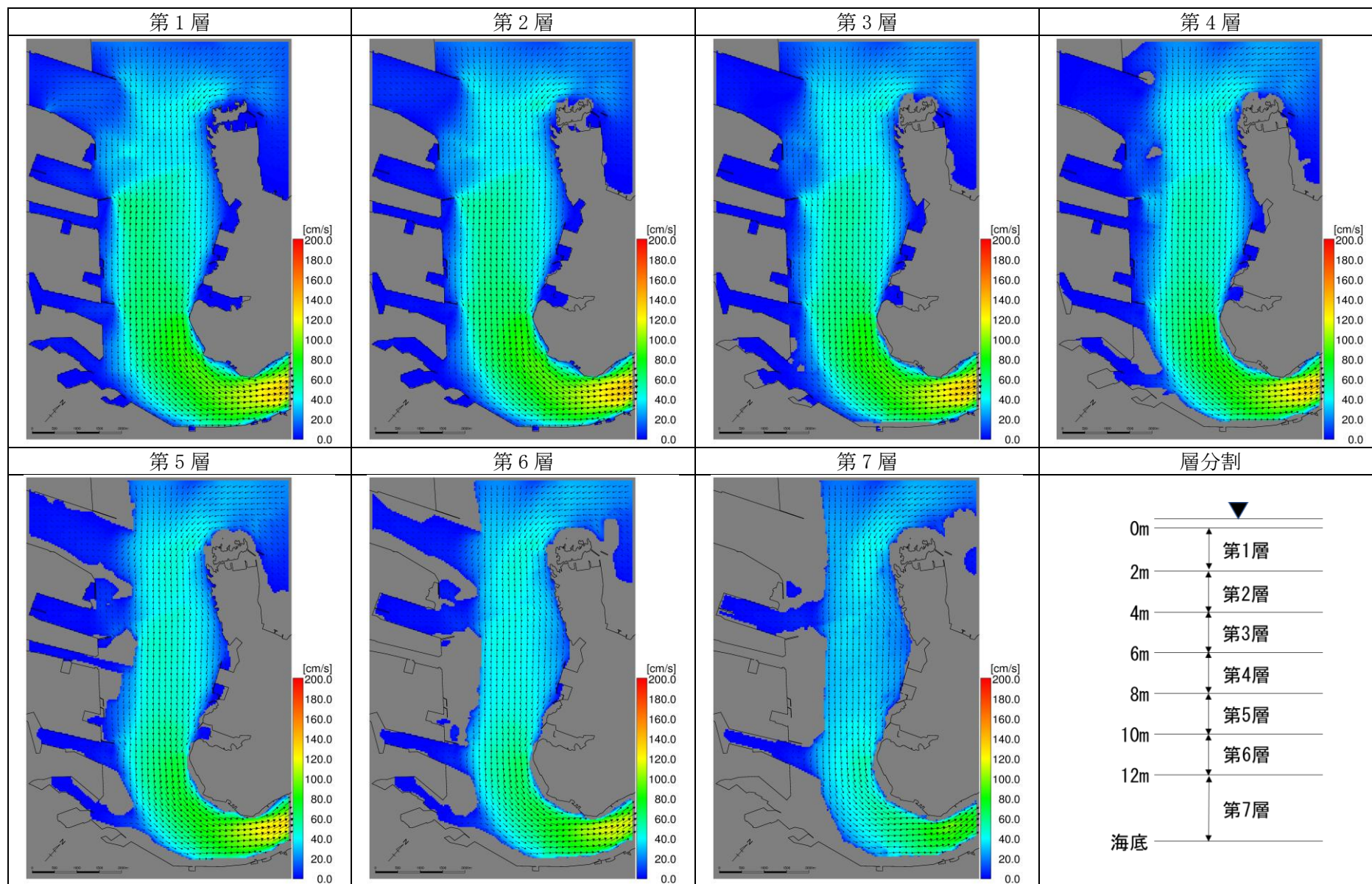


図 11.5.2-12(3) 流況再現結果（冬季、干潮時、平均小潮期（ M_2-S_2 ））

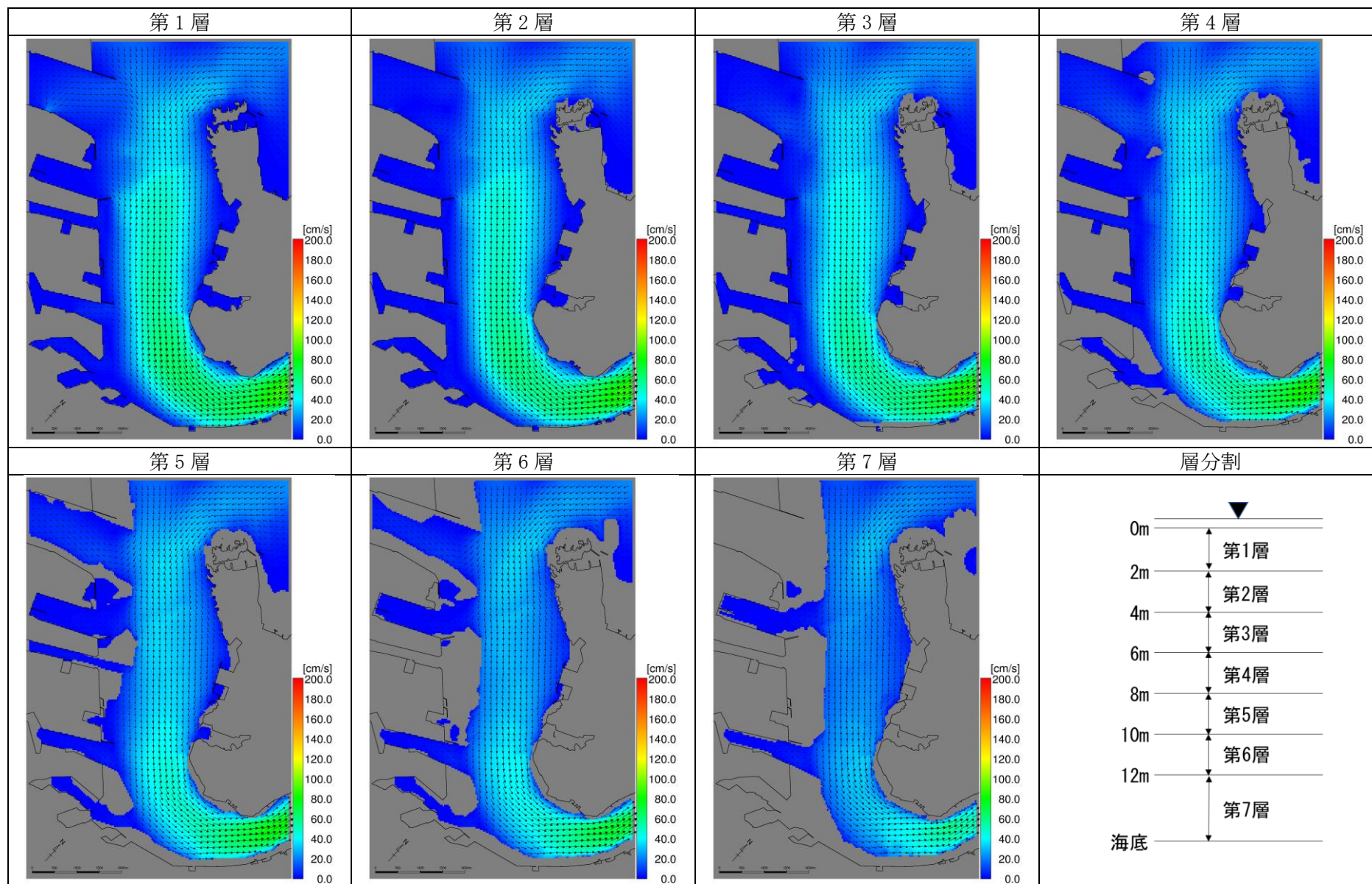
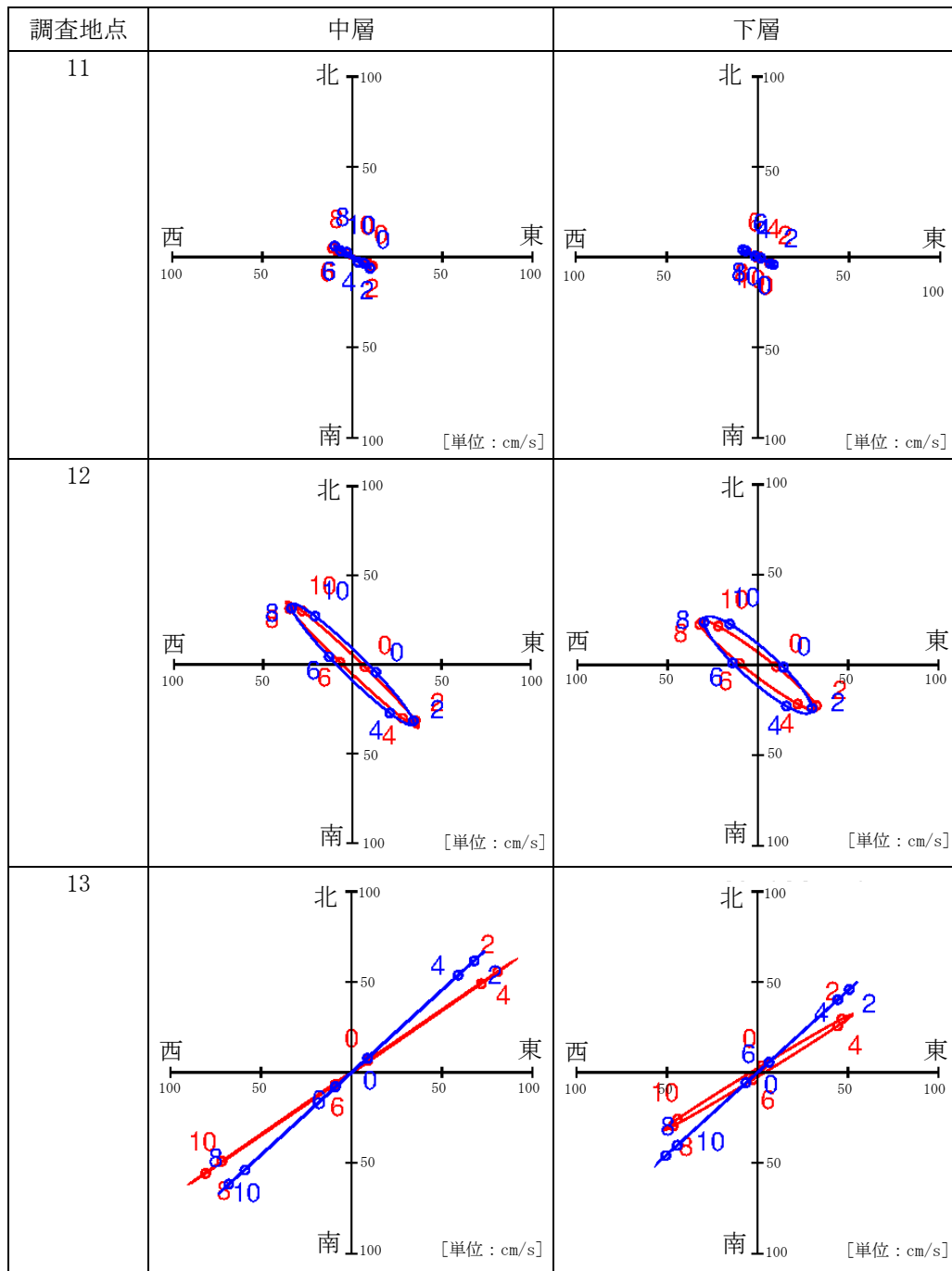


図 11.5.2-12(4) 流況再現結果（冬季、上げ潮時、平均小潮期（ M_2-S_2 ））

(b) 潮汐流の再現性

潮汐流の再現性は、夏季及び冬季の現地調査結果と流況再現結果の潮流楕円を比較することにより確認しました。平均大潮期及び平均小潮期の潮流楕円の比較結果は、図 11.5.2-13 及び図 11.5.2-14 に示すとおりです。

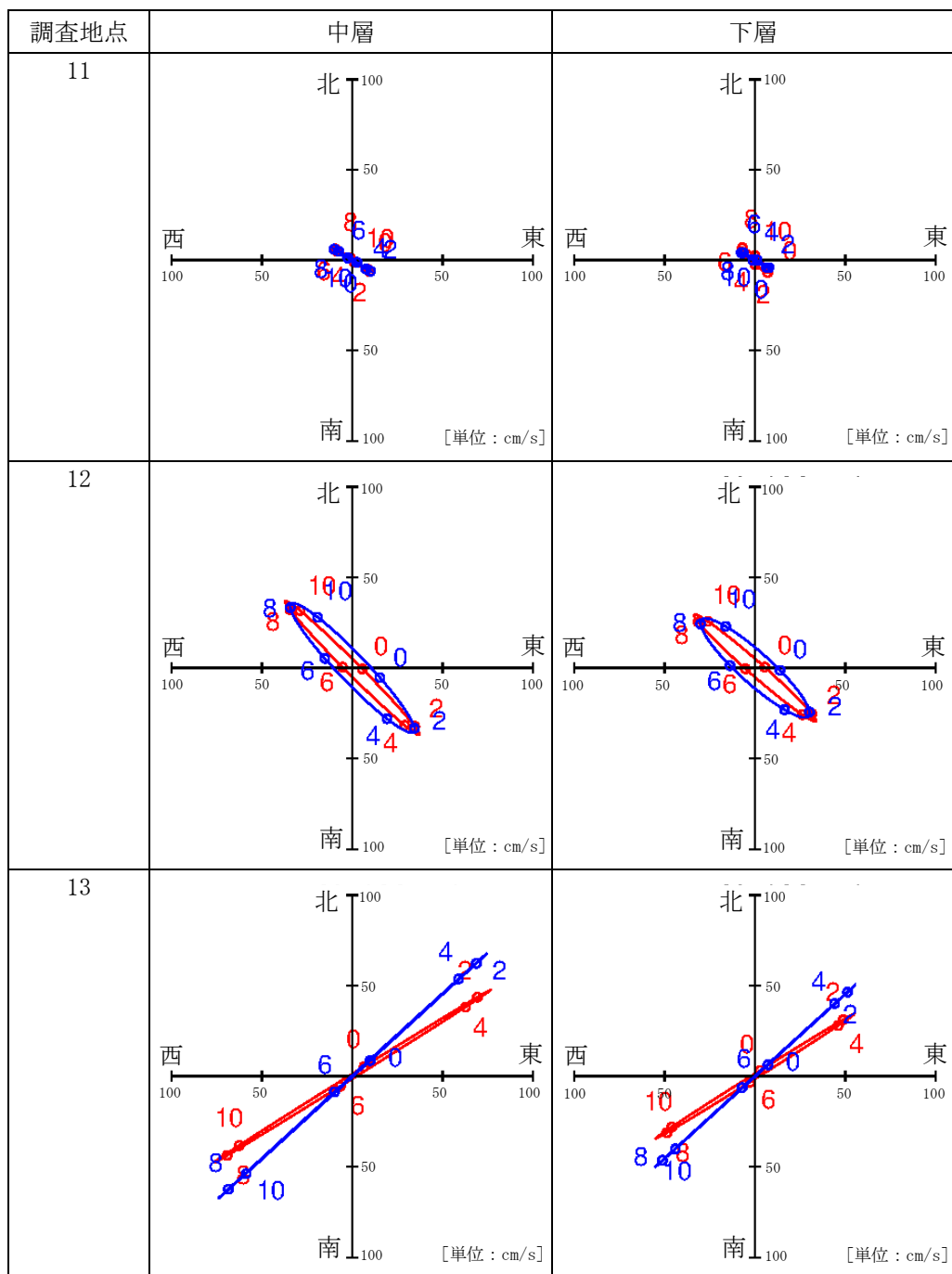
流況再現結果の楕円の方向及び大きさが現地調査結果と概ね一致していることから、流況再現結果は当該海域の潮汐流を再現しているものと考えられます。



注 1) 赤線：現地調査結果 青線：流況再現結果

注 2) 中層は海面下 5m、下層は海底上 1m を示す。

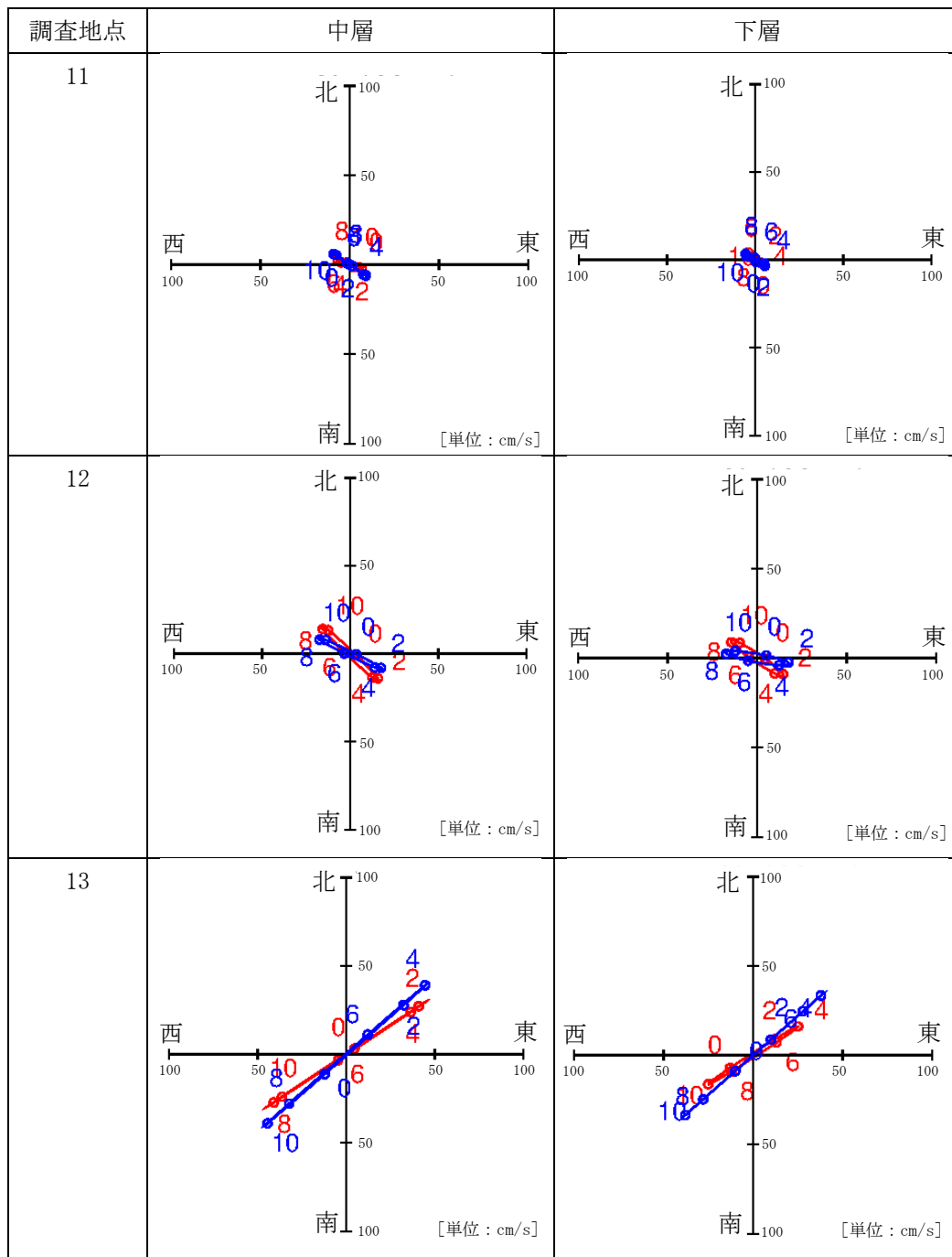
図 11.5.2-13(1) 潮汐流の現地調査結果と流況再現結果の比較（夏季、平均大潮期）



注 1) 赤線：現地調査結果 青線：流況再現結果

注 2) 中層は海面下 5m、下層は海底上 1m を示す。

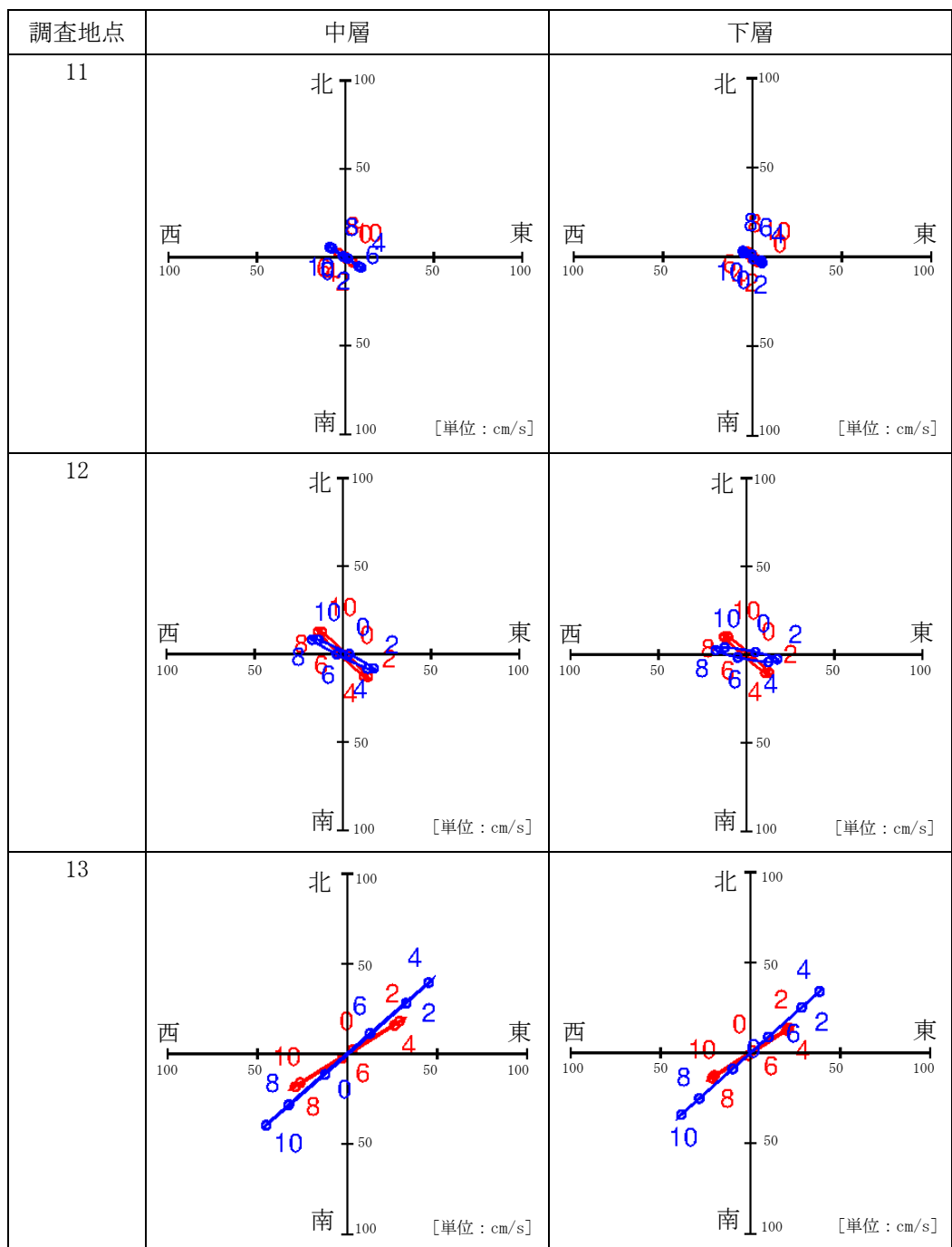
図 11.5.2-13(2) 潮汐流の現地調査結果と流況再現結果の比較（冬季、平均大潮期）



注 1) 赤線：現地調査結果 青線：流況再現結果

注 2) 中層は海面下 5m、下層は海底上 1m を示す。

図 11.5.2-14(1) 潮汐流の現地調査結果と流況再現結果の比較（夏季、平均小潮期）



注 1) 赤線：現地調査結果 青線：流況再現結果

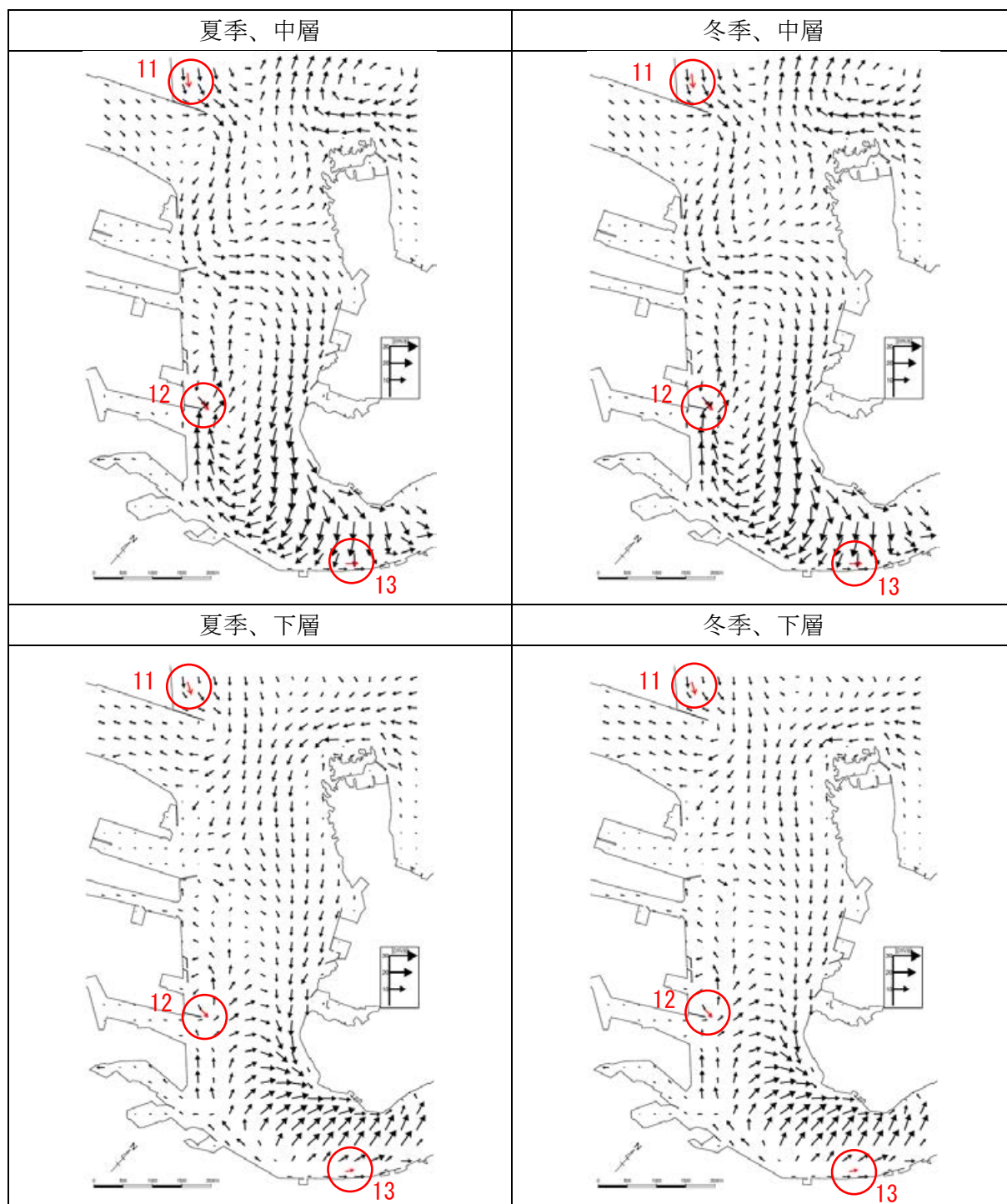
注 2) 中層は海面下 5m、下層は海底上 1m を示す。

図 11.5.2-14(2) 潮汐流の現地調査結果と流況再現結果の比較（冬季、平均小潮期）

(c) 残差流の再現性

残差流の再現性については、夏季及び冬季の現地調査結果と流況再現結果を比較することにより確認しました。残差流の比較結果は、図 11.5.2-15 に示すとおりです。

現地調査結果と流況再現結果のベクトルの方向と大きさが概ね一致していることから、流況再現結果は予測地域の残差流を再現していると考えられます。



注 1) 黒のベクトルが現況再現結果、赤のベクトルが現地調査結果を示す。

注 2) 計算値は 8 メッシュ毎に表示。

注 3) 中層は海面下 5m、下層は海底上 1m を示す。

図 11.5.2-15 残差流の比較

② 濁り拡散モデル

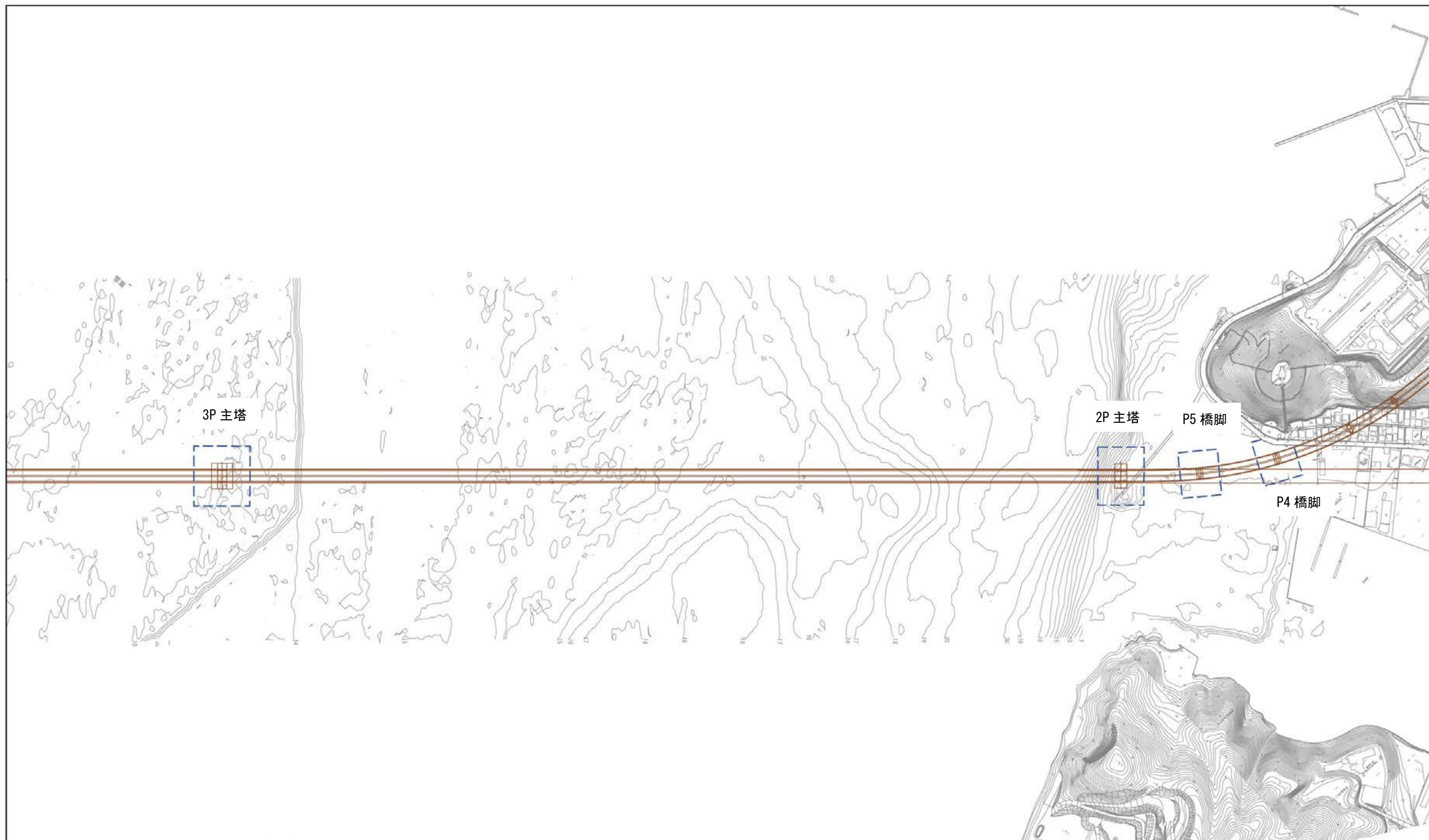
a) 工事実施位置と施工量

工事実施位置は、掘削工が施工される 3P 主塔、2P 主塔、P5 橋脚、P4 橋脚としました。工事の実施にあたっては、橋脚の周囲に汚濁防止膜を設置して、工事による水の濁りの拡散の低減を図る計画としており、その工事実施位置及び汚濁防止膜の設置範囲は図 11.5.2-16 に示すとおりです。

また、各工事実施位置の日施工量は、表 11.5.2-16 に示すとおりです。

表 11.5.2-16 各工事実施位置の日施工量

工事位置	濁り発生要因	使用船舶	日施工量
3P 主塔	掘削（浚渫）	グラブ浚渫船（型式 8m ³ ）	715.0m ³ /日
2P 主塔	掘削（浚渫）	グラブ浚渫船（型式 8m ³ ）	715.0m ³ /日
P5 橋脚	掘削（浚渫）	グラブ浚渫船（型式 8m ³ ）	715.0m ³ /日
P4 橋脚	掘削（浚渫）	グラブ浚渫船（型式 8m ³ ）	715.0m ³ /日



凡例
 — 対象道路
 [] 汚濁防止膜の設置範囲

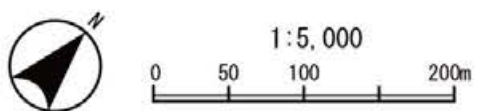


図 11.5.2-16 工事実施位置及び汚濁防止膜の設置範囲

b) 濁り発生量の算出

濁り発生量は、以下に示す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(a)及び濁り発生量算定式(b)を用いて、想定されている工事施工量から濁り発生量を求めました。

$$w = \frac{R}{R_{75}} w_0 \quad \dots\dots\dots (a)$$

$$W_s = w \times Q_s \quad \dots\dots\dots (b)$$

ここで、

w	: 当該区域における濁り発生原単位(kg/m ³)
w_0	: 既往の濁り発生原単位(kg/m ³)
R	: 現地流速における汚濁限界流速に対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(75 μ m以下)の 粒径加積百分率(%)
W_s	: 濁り発生量(kg/日)
Q_s	: 施工量(m ³ /日)

濁り発生量算定の流れは、以下に示すとおりです。

- ①現地流速から汚濁限界流速を求めました。
- ②対象土砂の粒度試験結果から代表的な粒度分布(粒径加積曲線)を求め、①から汚濁限界粒子径を求めました。
- ③汚濁限界粒子径の粒径加積百分率(R)と既往の原単位(w_0)を推定算定した際の粘土・シルト分の土粒子径(75 μ m 以下)の粒径百分率(R_{75})との比率を求めました。
- ④(a)式に基づいて既往の濁り発生原単位(w_0)に③の比率を掛け合わせるにより現地流速に応じた当該区域における濁り発生原単位(w)を求めました。
- ⑤(b)式により当該海域における濁り発生原単位(w)に日施工量(Q_s)を乗じ、濁り発生量(W_s)を算定しました。

c) 汚濁限界流速及び汚濁限界粒子径

汚濁限界粒子径は、図 11.5.2-17 に示す現地の平均流速（汚濁限界流速）との関係から算定しました。

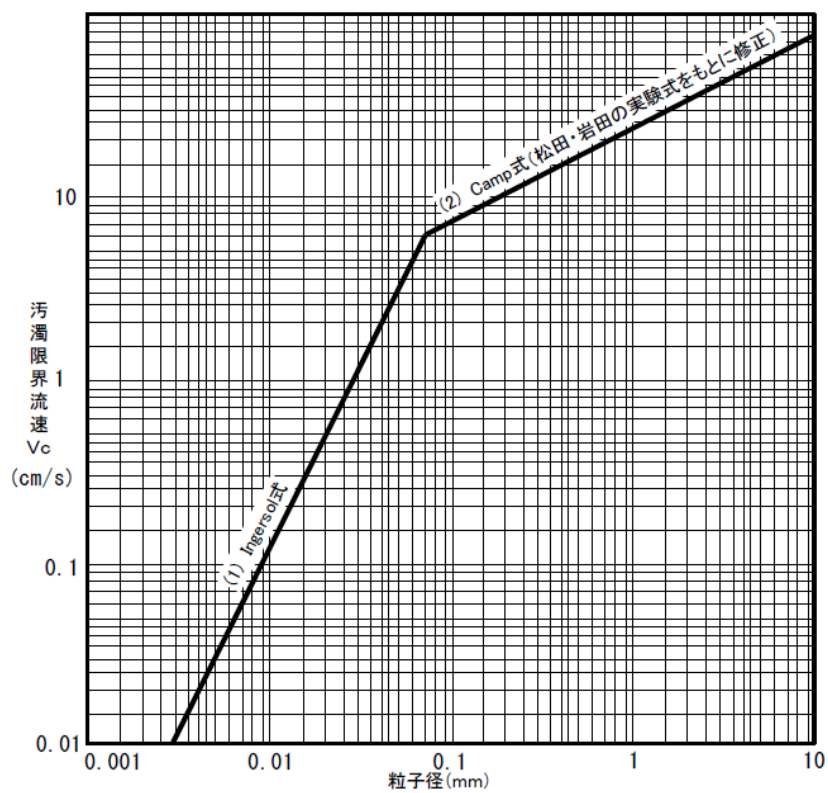


図 11.5.2-17 粒子径と汚濁限界流速の関係

d) 現地流速、底質条件、汚濁限界粒子径の加積百分率(R)

各工事位置における現地流速、底質条件及び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) は、表 11. 5. 2-17 に示すとおりです。

表 11. 5. 2-17 各工事位置における現地流速、底質条件、汚濁限界粒子径の加積百分率(R)

工事位置	現地流速	汚濁限界粒子径	粒径区分	組成比	汚濁限界粒子径加積百分率(R)
3P 主塔	平均大潮期 34.85cm/s	平均大潮期 2.256mm	粗礫分	0.0%	平均大潮期 92.9%
			中礫分	2.2%	
			細礫分	5.6%	
			粗砂分	10.5%	
	平均小潮期 17.24cm/s	平均小潮期 0.552mm	中砂分	30.3%	平均小潮期 72.9%
			細砂分	49.3%	
			シルト分	1.0%	
			粘土分	1.0%	
2P 主塔	平均大潮期 15.86cm/s	平均大潮期 0.467mm	粗礫分	0.0%	平均大潮期 85.3%
			中礫分	1.2%	
			細礫分	3.2%	
			粗砂分	5.7%	
	平均小潮期 10.34cm/s	平均小潮期 0.199mm	中砂分	13.0%	平均小潮期 67.4%
			細砂分	41.6%	
			シルト分	19.6%	
			粘土分	15.8%	
P5 橋脚 P4 橋脚	平均大潮期 0.75cm/s	平均大潮期 0.026mm	粗礫分	0.0%	平均大潮期 28.9%
			中礫分	1.2%	
			細礫分	3.2%	
			粗砂分	5.7%	
	平均小潮期 0.39cm/s	平均小潮期 0.018mm	中砂分	13.0%	平均小潮期 26.4%
			細砂分	41.6%	
			シルト分	19.6%	
			粘土分	15.8%	

注) 組成比の合計は、四捨五入により 100%にならない場合がある。

e) 汚濁防止膜の効果

汚濁防止膜による拡散抑制効果については、「手引き」を参考に除去率 50%と設定しました。

f) SS 発生負荷量の設定

各工事位置における SS 発生負荷量は、表 11.5.2-18 に示すとおりです。

表 11.5.2-18(1) 予測に用いる SS 発生負荷量（平均大潮期）

工事位置	使用船舶	型式	既往の 発生原単位 (kg/m ³)	汚濁限界粒子 径加積百分率		発生原 単位 (kg/m ³)	施工量 (m ³ /日)	SS 発生 負荷量 (t/日)
				R75 (%)	R (%)			
3P 主塔	グラブ浚渫船	8m ³	2.59	21.7	92.9	11.09	715.0	3.964
2P 主塔	グラブ浚渫船	8m ³	9.91	58.0	85.3	14.57	715.0	5.210
P5 橋脚	グラブ浚渫船	8m ³	9.91	58.0	28.9	4.94	715.0	1.765
P4 橋脚	グラブ浚渫船	8m ³	9.91	58.0			715.0	

注) SS 発生負荷量は汚濁防止膜の効果を考えている。

表 11.5.2-18(2) 予測に用いる SS 発生負荷量（平均小潮期）

工事位置	使用船舶	型式	既往の 発生原単位 (kg/m ³)	汚濁限界粒子 径加積百分率		発生原 単位 (kg/m ³)	施工量 (m ³ /日)	SS 発生 負荷量 (t/日)
				R75 (%)	R (%)			
3P 主塔	グラブ浚渫船	8m ³	2.59	21.7	72.9	8.70	715.0	3.111
2P 主塔	グラブ浚渫船	8m ³	9.91	58.0	67.4	11.52	715.0	4.117
P5 橋脚	グラブ浚渫船	8m ³	9.91	58.0	26.4	4.51	715.0	1.613
P4 橋脚	グラブ浚渫船	8m ³	9.91	58.0			715.0	

注) SS 発生負荷量は汚濁防止膜の効果を考えている。

g) 計算条件

濁り拡散予測に用いた計算条件は、表 11.5.2-19 に示すとおりです。

表 11.5.2-19 濁り拡散予測に用いた計算条件

項目	計算条件
流動場	流況再現結果
水平渦拡散係数	流況予測モデルにおいて求められた値
鉛直渦拡散係数	流況予測モデルにおいて求められた値
境界濃度	0.0 mg/L
初期濃度	0.0 mg/L
施工時間	8 時間