

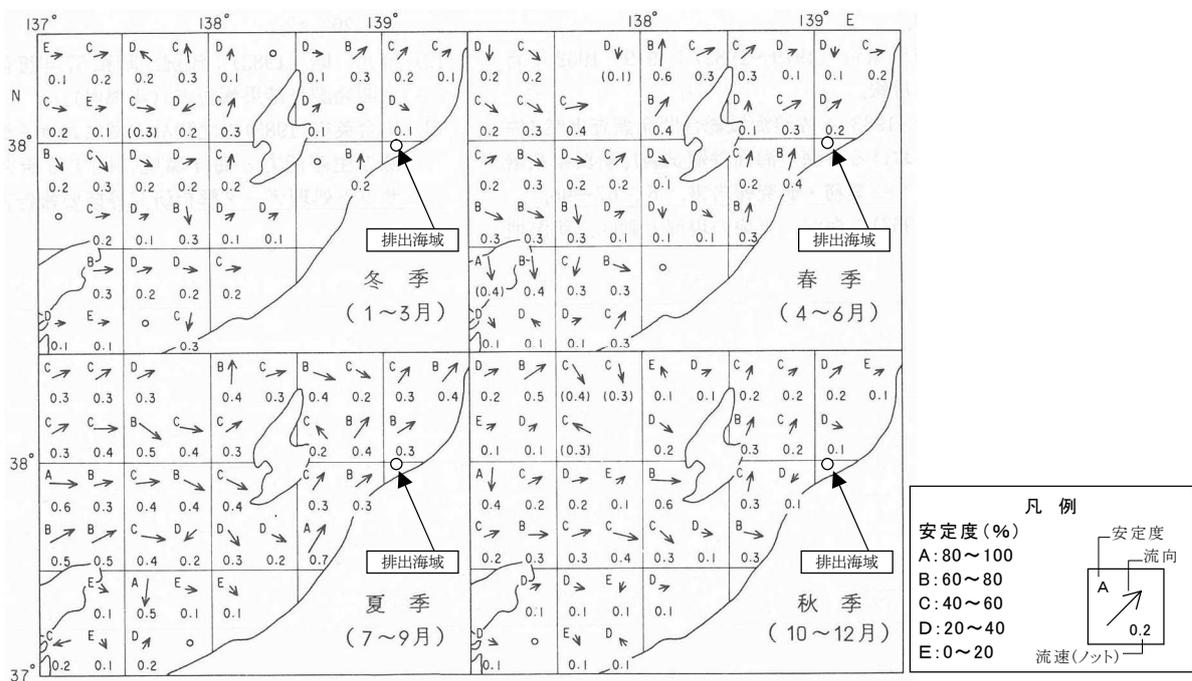
7. 環境調査項目に係る変化の程度及び変化の及ぶ範囲並びに予測の方法

7-1 水環境

7-1-1 流況

1) 予測の概要

「日本全国沿岸海洋誌,第26章佐渡海峡,1985年」によると、「佐渡海峡における流況の特徴は潮流が弱く、一般的には0.5ノット程度の北東の流れが卓越しているが、南西方向へ流れることも多く、北東流が65%、南西流が35%である。海岸付近の流れは、流向は夏季から冬季にかけて北東を中心とした陸岸にほぼ平行した下り潮と上り潮が卓越し、北東方向の流れの出現が多い。」とされている(図7.1参照)。



出典：日本全国沿岸海洋誌,第26章佐渡海峡,II 物理,1985年

図 7.1 佐渡海峡の季節別の流向・流速

このように当該海域は陸岸に平行な東流と西流がみられる海域であることから、それぞれの流況パターンをモデルで表現することが必要である。本調査では、この流れの特徴を表現できる計算を実施し、浚渫土砂の海洋投入による水質(SS)や堆積の影響評価を検討するための基本的な流れの場を検討した(表7.1参照)。

表 7.1 計算ケース (流況)

流況パターン	流況計算
東流	○
西流	○

2) 予測方法

(1) 予測手順

当該海域の流況の予測手順を図 7.2 に示す。

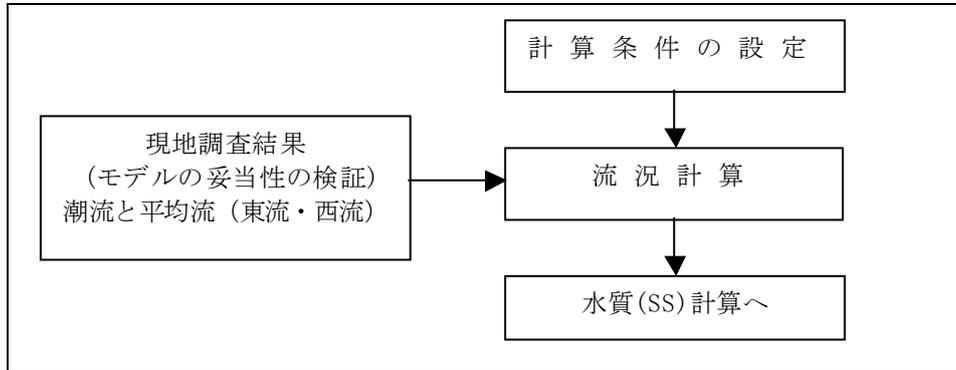


図 7.2 流況の予測手順 (流況)

(2) 予測モデル

流動モデルは 3 次元レベルモデルを使用し、基本方程式は以下のような連続の式、運動方程式、水温・塩分の拡散方程式である。

<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>

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

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

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

<水温・塩分の保存式>

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

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

右辺の F は平均的な流れと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、水温、塩分が一様化される効果で、以下の式で表される。

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

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

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

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

p : 圧力

θ : 水温

S : 塩分

f : コリオリ係数

ρ_0 : 代表密度

ρ : 密度

K_M : 鉛直渦動粘性係数

K_H : 鉛直渦拡散係数

A_M : 水平渦動粘性係数

A_H : 水平渦拡散係数

g : 重力加速度

t : 時間

である。

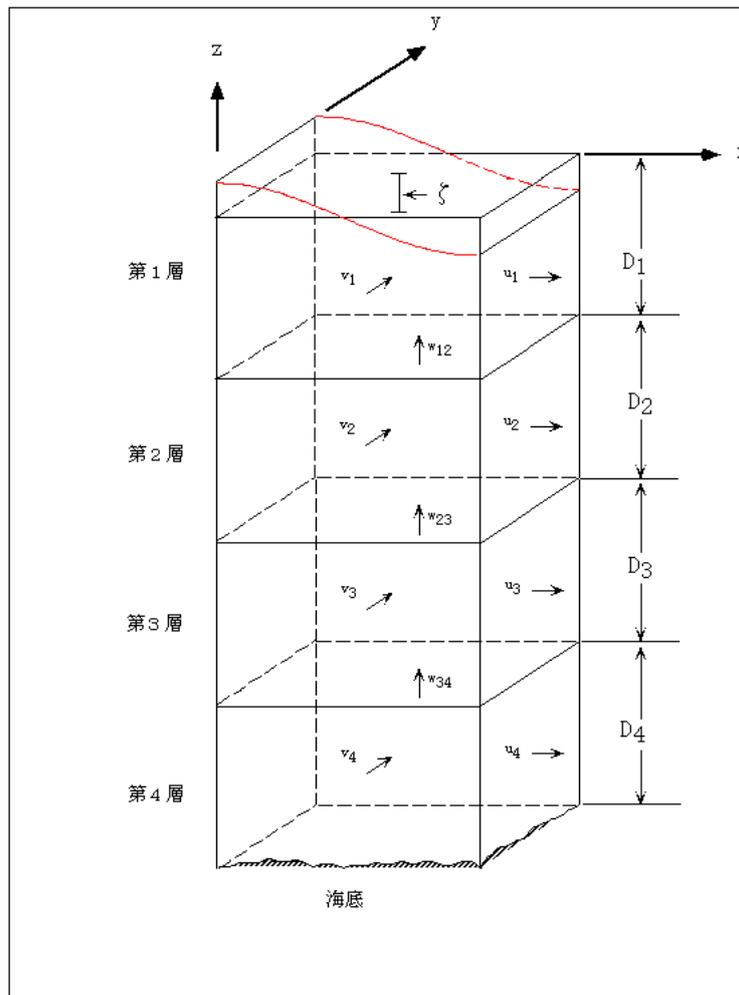


図 7.3 モデルの座標系の概略

(3) 計算条件

① 計算範囲と格子間隔

計算格子は浚渫土砂の海洋投入により堆積が生じると想定される範囲を 50 m 格子で分割した。また、50m 格子の外側領域は 150m 格子とし、想定される濁りの拡散範囲とした。さらに、その外側領域に 450m 格子の領域を設定した。このように、段階的に計算格子を大きくすることで着目したい範囲を詳細に表現した。

土砂の堆積や濁りの拡散範囲を想定した計算範囲の設定は、既往資料*2 を参考にした。

計算範囲は新潟西港前面海域とし、図 7.4 に示す範囲とした。

*2：平成 16 年度浚渫土砂の海洋投入及び有効利用に関する検討調査報告書

(平成 17 年 3 月、国土交通省関東地方整備局港湾空港部海洋環境・海岸課)

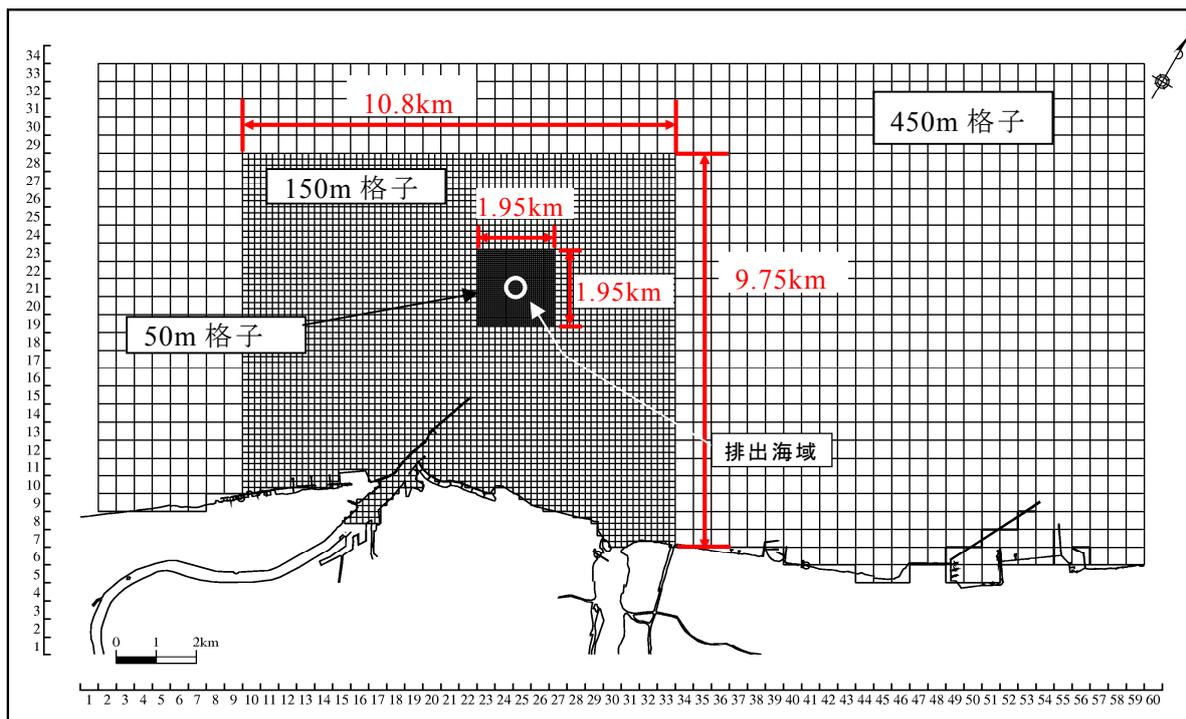
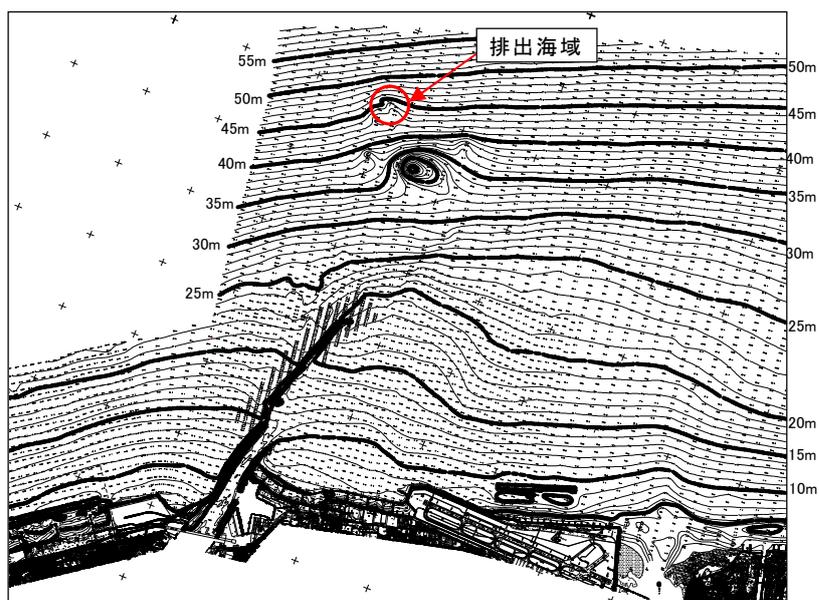


図 7.4 計算範囲

② 水深

各計算領域の水深を作成し、図 7.5 (1) ~ (3) に水深の分布を計算領域別に示した。計算格子の水深は、当該海域では深浅測量成果（下記参考図）を用い、周辺海域については、「沿岸の海の基本図デジタルデータ」（1971年9月発行、（財）日本水路協会）を用いて設定した。



参考図 新潟港（西港地区）周辺の海底地形：平成 17 年度

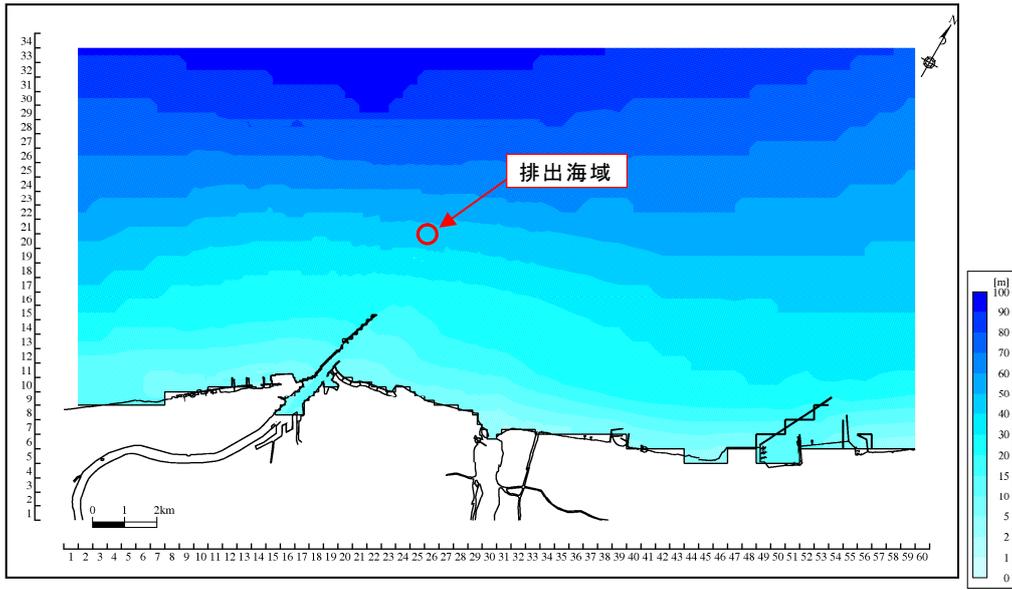


图 7.5 (1) 水深 (大領域、450m 格子)

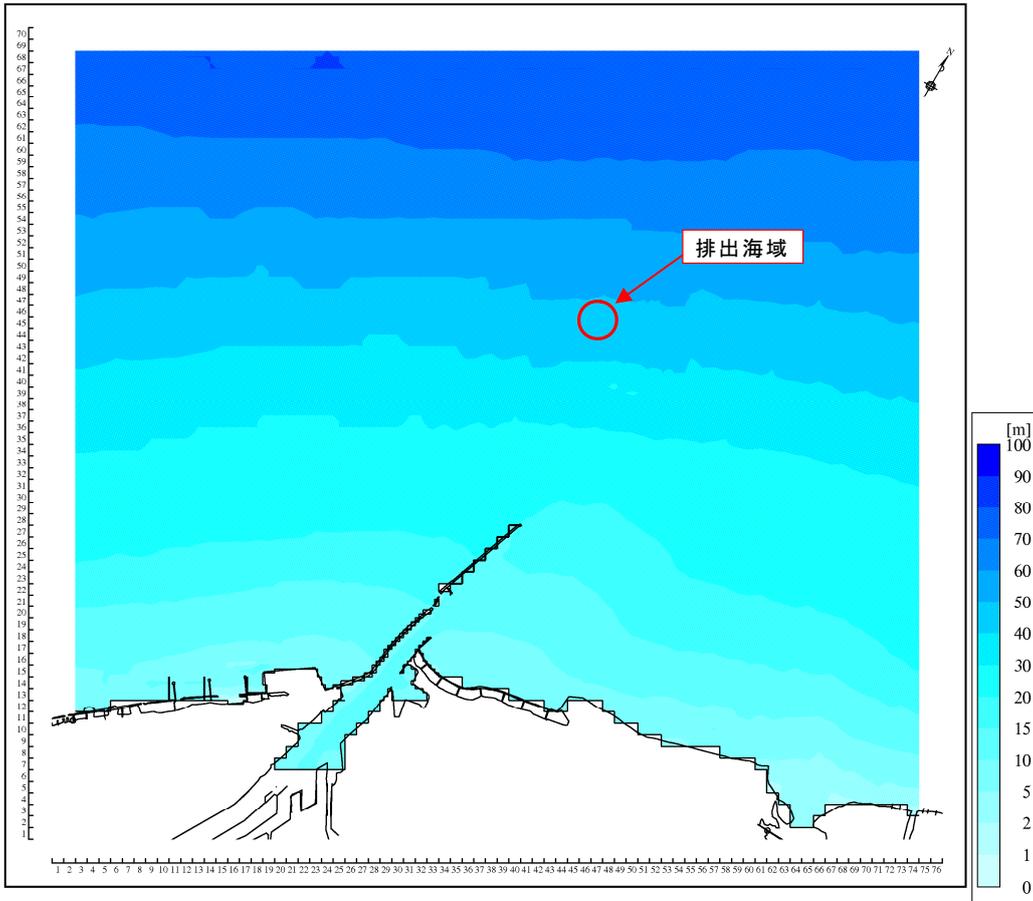


图 7.5 (2) 水深 (小領域、150m 格子)

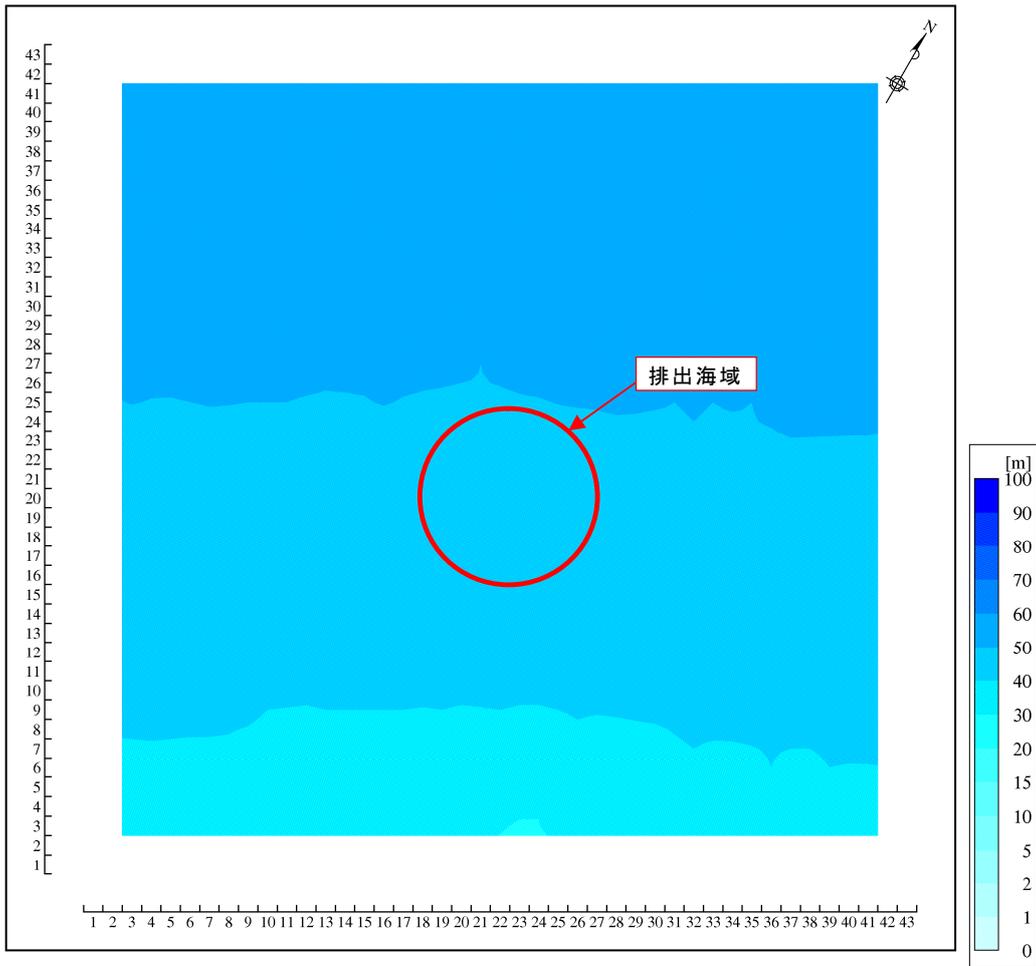


图 7.5 (3) 水深 (排出海域、50m 格子)

③ 層区分

鉛直方向の層区分は、浚渫土砂の投入海域の水深を勘案して決定した。層区分は以下のとおりである。

- 第1層：0～2m
- 第2層：2～5m
- 第3層：5～10m
- 第4層：10～30m
- 第5層：30～60m
- 第6層：60m～海底

④ 境界条件

a) 潮位

図 7.6 に示す開境界において、当海域の代表的な分潮として 1 日周期の $K_1 + O_1$ 分潮の水位変動を与えた。

境界に設定した値は、海上保安庁水路部発行、書誌 742 号（平成 4 年 2 月発行）日本沿岸潮汐調和定数表の新潟東港および新潟西港を参考に設定した。

開境界の端点における設定値を表 7.2 に示す。端点間（A-B 間、B-C 間、C-D 間）の各格子の潮位条件は、端点の設定値を内挿して設定した。

表 7.2 開境界の潮位条件

地点	A	B	C	D
振幅(cm)	10.9	10.7	10.5	10.7
遅角(度)	2.0	2.0	0.0	0.0
平均水面からの高さ(cm)	1.0	0.0	0.0	1.0

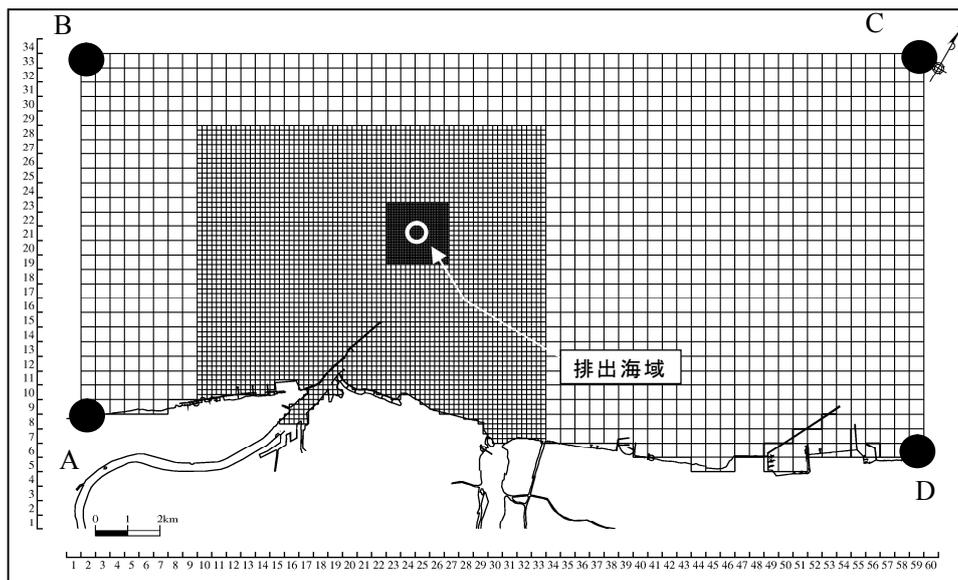


図 7.6 開境界の位置

b) 水温・塩分

海域の水温・塩分の境界値は、新潟県水産海洋研究所が平成 14 年度～平成 16 年度に実施した新潟沖の水温・塩分調査結果を用いた。

⑤ 淡水流入量

計算で考慮した河川は、信濃川および阿賀野川とした。各河川の淡水流入量は、平成 7～16 年（10 年間）の年平均値とした。また、流入する淡水の水温については、公共用水域水質測定結果より年平均値を設定した。対象河川の平均流量と水温を表 7.3 に示す。

表 7.3 対象河川の平均流量と水温

項目	流量(m ³ /s)	水温(°C)
信濃川（帝石橋）	351.53	13.0（万代橋）
阿賀野川（横越）	414.56	14.1（松浜橋）

注) 1. 帝石橋における 10 年間の年平均値は 381.53(m³/s)であるが、関屋分水への流量分配（30m³/s）を考慮した。
2. 帝石橋、横越観測所は水温データを取得していないため、最も近い観測所のデータを採用した

⑥ 気象条件

気象条件は、気象庁の新潟地方气象台における地上気象観測の平年値を用いた。この平年値は 1971～2000 年（30 年間）の統計値である。

表 7.4 気象データ一覧（平年値）

項目	単位	設定値
気温	°C	13.5
雲量	10 分比	7.7
全天日射量	MJ/m ²	11.8
相対湿度	%	73
風向	16 方位（最多風向）	S
風速	m/s	3.5

⑦ 諸係数

流況の計算に使用したパラメータを表 7.5 に示す。

表 7.5 流況の計算に使用したパラメータ

項目	設定値
海面摩擦係数	本多・光易(1980)* ³ の実験式風速 3.5m/s を用いた。風速 3.5m/s (1971~2000 年の平均) から 0.0012 とした。
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により得られる値を設定した。粗度高さは 0.1cm とした。
水平渦動粘性係数 水平渦拡散係数	Smagorinsky(1963)* ⁴ の方法により設定した。この方法の中で用いられる比例定数 $C_{M,H}$ は 0.1 とし、設定値の最小値は 1.0×10^3 、最大値は 1.0×10^7 (cm ² /s) とした。
鉛直渦動粘性係数 鉛直渦拡散係数	Munk and Anderson(1948)* ⁵ によるリチャードソン数に依存する関数を用いた。求まる係数の最大値を 5.0 とした。
コリオリパラメータ	$f=2\omega \sin\phi$ (地球自転の角速度 ($\omega=2\pi/24 \times 3600$)、緯度 $\phi=38.0^\circ$)
タイムステップ	陽解法を用い、この計算安定条件から、450m 格子：10 秒、150m 格子：2 秒、50m 格子：1 秒とした。
積分時間	初期の擾乱が消え、流動場が完全に安定するまでの 120 時間 (5 日間) とした。
最小層厚	最小層厚は 0.1m とし、各計算格子に対して 6 層の層分割を行った際に、最下層の層厚が 0.1m 未満であった場合、その格子の層厚は全て 0.1m とした。

*³本多忠夫・光易 恒(1980):水面に及ぼす風の作用に関する実験的研究,第 27 回海岸工学講演会論文集,90-93.

*⁴ J.Smagorinsky(1963) : General Circulation Experiments with the Primitive Equations I . The Basic Experiment, Monthly Weather Review, 91, 99-164.

*⁵ Munk, W.h. and E.R. Anderson (1948) : Notes on a theory of the thermocline, J.Mar.Res., 7,276-295.

パラメータの設定は以下のとおりである。

・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乗に比例する形で表現される。

τ_a : 海面摩擦項(g/cm/s²)

Cd : 海面摩擦係数

ρ_a : 大気密度(g/cm³)

W : 風速ベクトル(m/s)

海面摩擦係数については、本多・光易(1980)の研究で以下のような実験式が求められている。

$$Cd = \frac{(1.29 - 0.024W) \times 10^{-3}}{W} \quad : W < 8 \text{ m/s} \quad (\text{採用})$$

$$(Cd = (0.581 + 0.063W) \times 10^{-3} \quad : W \geq 8 \text{ m/s})$$

W : 風速(m/s)

本計算で考慮した風速 3.5m/s より、海面摩擦係数は 0.0012 とした。

・水平渦動粘性係数、水平渦拡散係数

本調査では、Smagorinsky(1963)*⁶ による経験式を適用し、水平渦動粘性係数(A_M)、水平渦拡散係数(A_H)は次式で表される。

$$A_{M,H} = C_{M,H} (\Delta x \times \Delta y) \left[\frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right]^{1/2}$$

C_M 、 C_H は経験的な定数で 0.05~0.5 程度の値を取るとされている。本計算では 0.1 を用いて、計算で求められる流速から水平渦動粘性係数および水平渦拡散係数を逐次計算で求めた。

*⁶ J.Smagorinsky(1963) : General Circulation Experiments with the Primitive Equations I . The Basic Experiment, Monthly Weather Review, 91, 99-164.

・鉛直渦動粘性係数、鉛直渦拡散係数

鉛直渦動粘性係数(K_M)、鉛直渦拡散係数(K_H)については、Munk and Anderson(1948)*7 を適用した。この方法で、求まる係数の最大値を 5.0 とした。

鉛直渦動粘性係数(K_M)、鉛直渦拡散係数(K_H)は、以下の様に表される。

$$K_M = \psi_M l^2 \left| \frac{\partial U}{\partial z} \right| + K_{MB}$$

$$K_H = \psi_H l^2 \left| \frac{\partial U}{\partial z} \right| + K_{HB}$$

$$\psi_M = (1+10R_i)^{-1/2}$$

$$\psi_H = (1+3.33R_i)^{-3/2}$$

$$R_i = \frac{-\frac{g}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial z} \right)}{\left(\frac{\partial U}{\partial z} \right)^2}$$

$$l = \kappa H \left(1 - \frac{z}{H} \right) \left(\frac{z}{H} \right)^{1/2}$$

K_{MB} : バックグラウンドの鉛直渦動粘性係数(=0.05 cm²/s)

K_{HB} : バックグラウンドの鉛直渦拡散係数(=0.05 cm²/s)

κ : カルマン定数(=0.4)

z : 基準面からの鉛直座標値

H : 水深(cm)

U : 水平流速(cm/s)

l : 混合距離(cm)

*7 Munk, W.h. and E.R. Anderson (1948): Notes on a theory of the thermocline, J.Mar.Res., 7,276-295.

- コリオリパラメータ

コリオリ項は地球自転の影響によって運動する物体に働く見かけ力を表し、次式で表される。

$$C_x = f \cdot v$$

$$C_y = -f \cdot u$$

ここで、

C_x, C_y : コリオリ力の x, y 成分

f : コリオリ係数(1/s)

u, v : 流速の x, y 成分(cm/s)

コリオリ係数は、 $f = 2\omega \sin\phi$ と表され、

ω : 地球自転の角速度($\omega = 2\pi/24 \times 3600$)

ϕ : 緯度

本計算での緯度 ϕ は、排出海域の緯度 (N37° 59'57.486") から 38.0° とした。

- タイムステップ

流況

流況計算では陽解法を用いており、この計算安定条件は次式で与えられる。

$$\Delta t < \frac{\Delta s}{\sqrt{2 \cdot g \cdot h_{\max}}}$$

Δs : 格子間隔(cm)

g : 重力加速度(cm/s^2)

h_{\max} : 計算領域内の最大水深(cm)

本計算のタイムステップは、450m 格子を 10 秒、150m 格子を 2 秒、50m 格子を 1 秒とした。

- 積分時間

流動シミュレーションでは独特の初期の擾乱が消え、流動場が完全に安定するまでを計算期間とし、120 時間 (5 日間) の積分を行った。

- 最小層厚

最小層厚は 0.1m とし、各計算格子に対して 6 層の層分割を行った際に、最下層の層厚が 0.1m 未満であった場合、その格子の層厚は全て 0.1m とした。

3) 予測結果

(1) 予測モデルの検証

潮流及び恒流について、観測値と計算値を比較することによりモデルの検証を行うこととした。比較に用いるデータについては、既往の調査結果（「新潟港港湾計画資料（その2）」（平成12年7月、新潟港港湾管理者））における流況の観測値とした。当該調査では、新潟港港湾区域及びその周辺海域で潮流調査（冬季と春季）を実施しており、予測海域全体の流れの状況が把握されていると考える。冬季の調査時期は平成6年12月10日～12月24日、春季の調査時期は平成7年3月8日～3月23日である。

物質輸送は往復流である潮流よりも、一方向に流れる恒流の役割が大きい*8。この海域の潮差は0.2～0.4mであり*9、流れに含まれる周期成分は小さく、恒流と日周期成分の比は冬季の平均で0.94、春季の平均で1.50である。（例として太平洋側では概ね0.4以下である。）そのため再現については恒流成分との整合に重点をおいて行った。

*8 沿岸海洋学(柳哲雄 1989年5月)

*9 日本全国沿岸海洋誌(日本海洋学会 1987年7月)

(2) 再現の検証

① 恒流の比較

東流時における恒流の比較図を図 7.7 に、西流時における恒流の比較図を図 7.8 に示す。図 7.7 および図 7.8 には、観測値が存在している第 2 層（2.0～5.0 m）、第 4 層（10～30m）および第 5 層（30～60m）の 3 層について示した。計算結果の概要を以下に示す。

（東流時）

- St.1 および St.2 が位置する沖合の海域では上層から下層にわたり一様に東流の傾向となっている。
- St.4、St.5 および St.7 が位置する陸岸近くでは、新潟西港の防波堤の地形的特長により時計回りの循環がみられ、その結果、陸岸のごく近くでは西流、信濃川河口付近では北流となっている。

（西流時）

- 沖合の St.1 と St.2 の上層では、観測値において St.1 で東流、St.2 で西流となっている。
- 陸岸近くでは、東流時と同様に時計回りの循環流が存在することによって、岸近くで西流、信濃川河口付近で北流となっており、西流が卓越する傾向は下層ほど顕著である。

以上のように、計算結果は観測値の流れの状況がおおむね再現できていると考える。

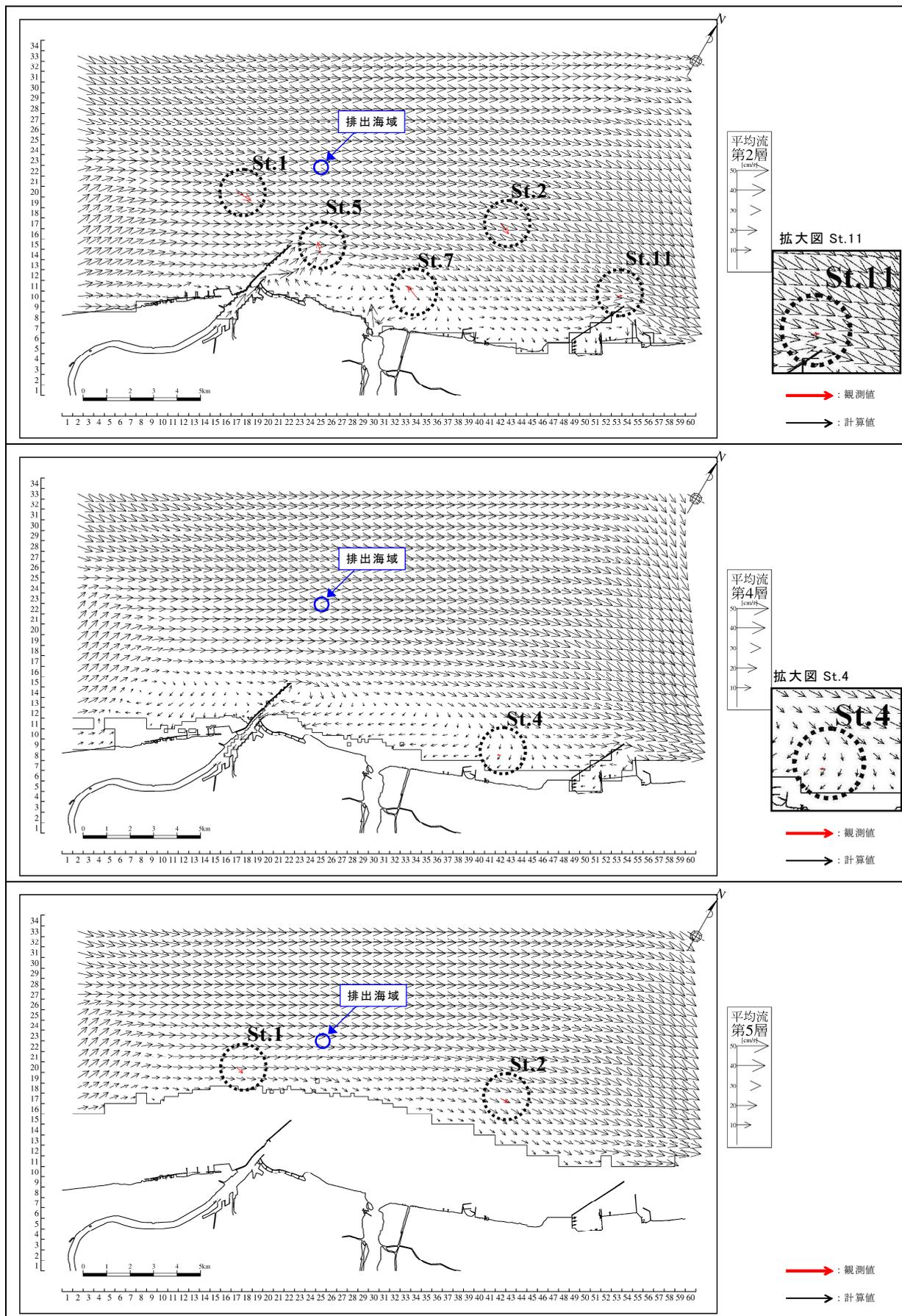


図 7.7 恒流の比較図（東流時）（計算値は大領域の格子間隔（450m）ごとに間引いて表示。）

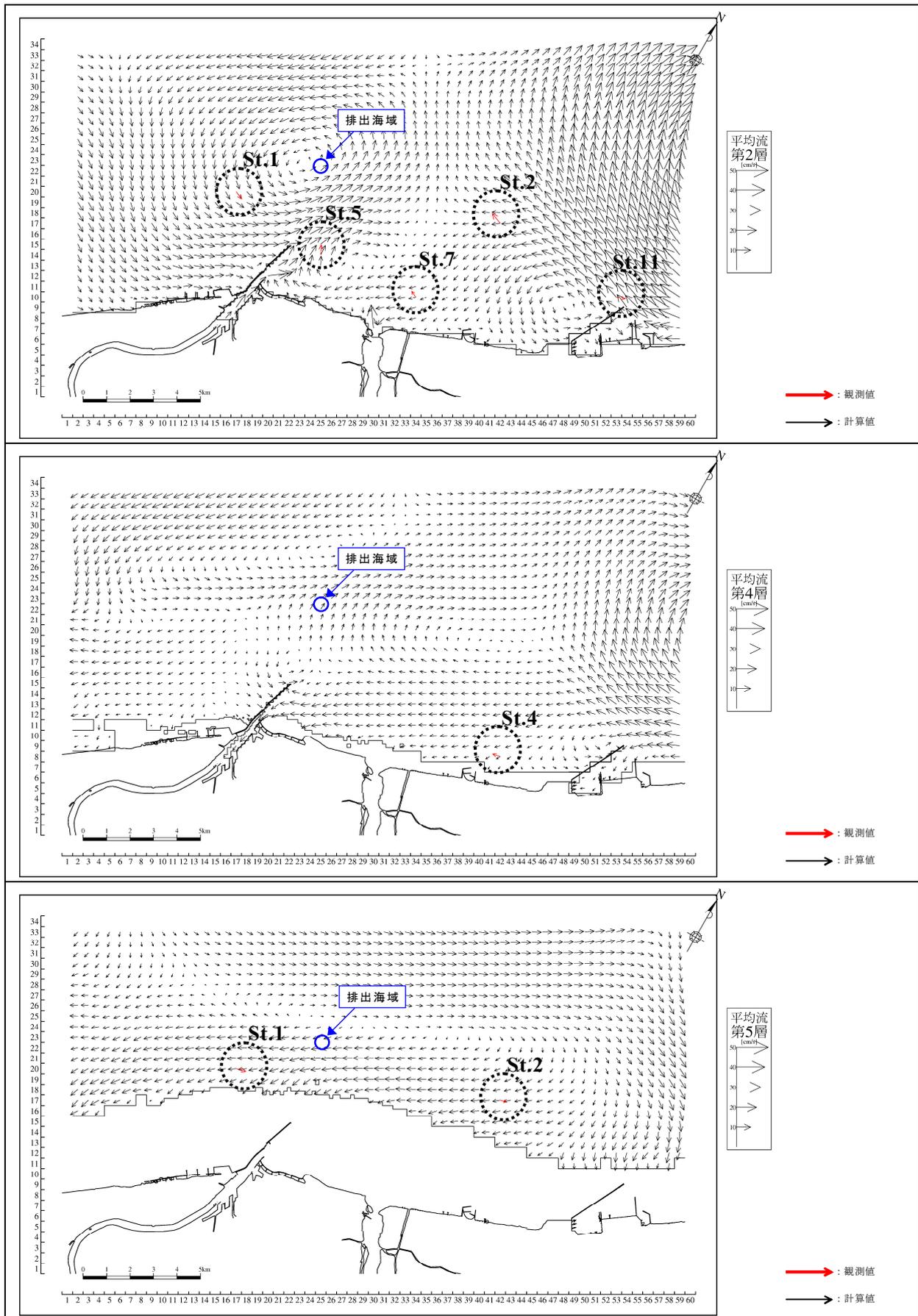


図 7.8 恒流の比較図（西流時）（計算値は大領域の格子間隔（450m）ごとに間引いて表示。）

② 潮流楕円の比較

潮流楕円の比較を行った調査地点図を図 7.9 に、東流時および西流時における潮流楕円の比較図を図 7.10 に示す。観測値から得られた潮流楕円は、東流時と西流時で大きく異なっている点が特徴的である。

これは、流れの潮流成分が前述の恒流と比較して小さいか同程度であるため、その影響を受けているためと考えられる。通常の沿岸海域では、潮流成分は恒流に比べて非常に大きく、卓越しており、このような特徴はほとんどみられない。

潮流楕円については、排出海域近傍 (St. 1、St. 5) において、流速が大きい潮流楕円は概ね合っており、計算値は観測値の傾向をある程度再現していると考えられる。なお、恒流成分が大きい海域であることから、潮流成分の小さい箇所の変動は全体的な流れにほとんど影響しないと考えられる。

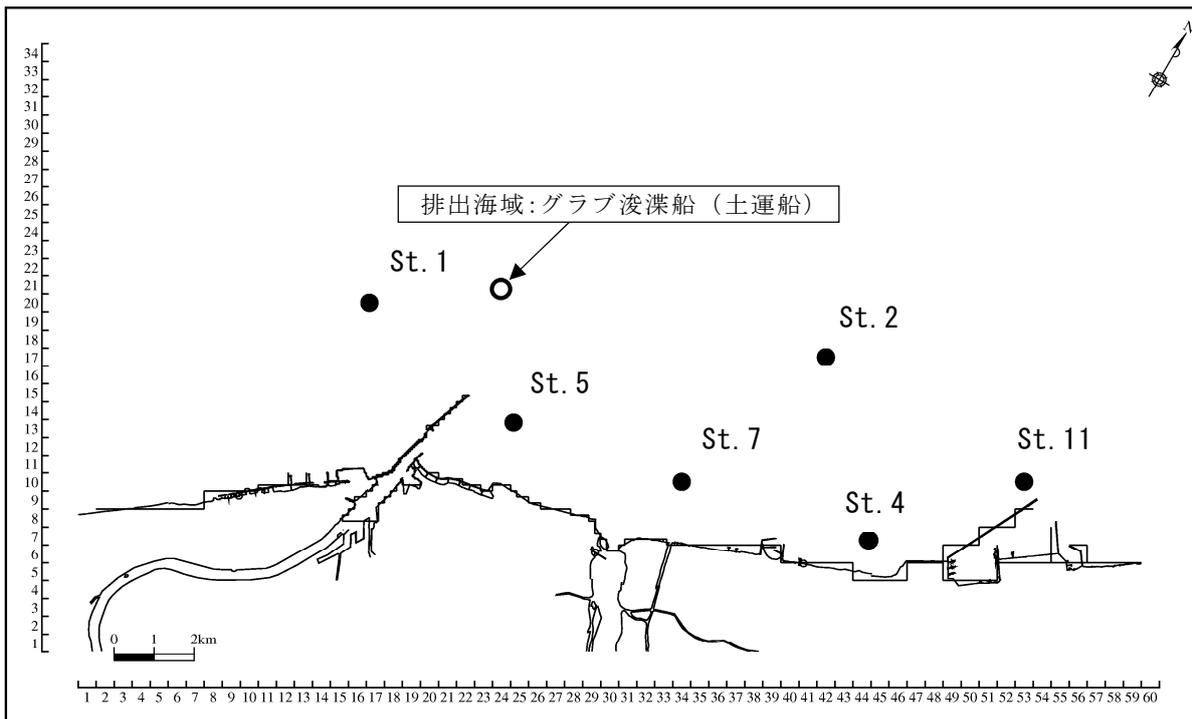


図 7.9 潮流調査地点図 (潮流楕円比較地点)

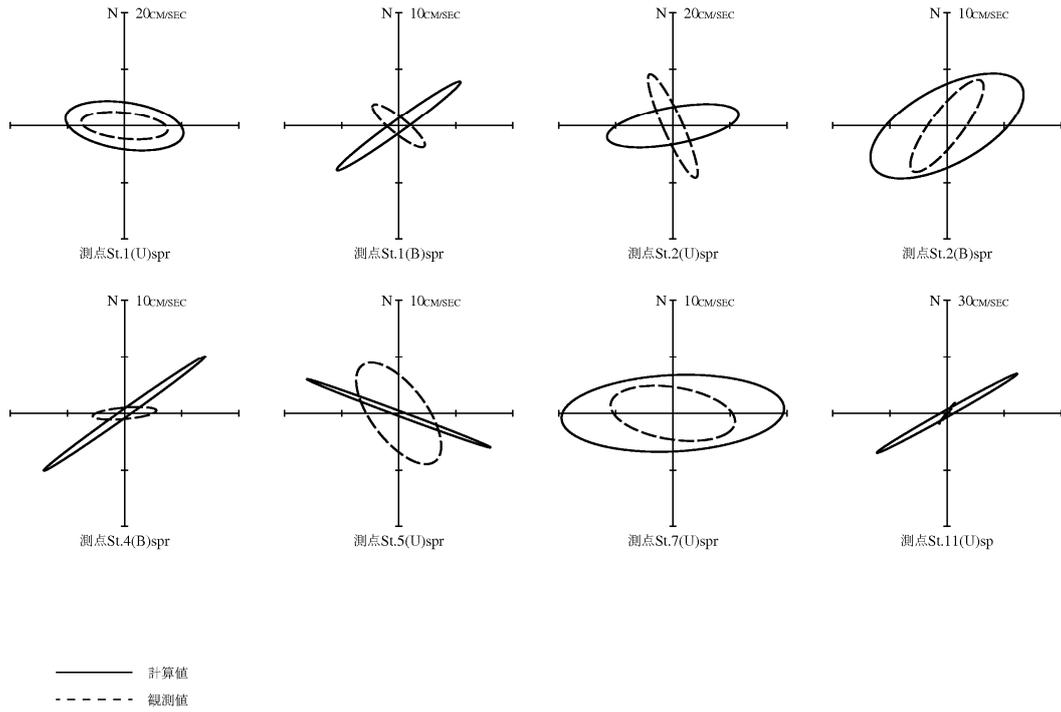


図 7.10 (1) 潮流楕円の比較図 (東流時)

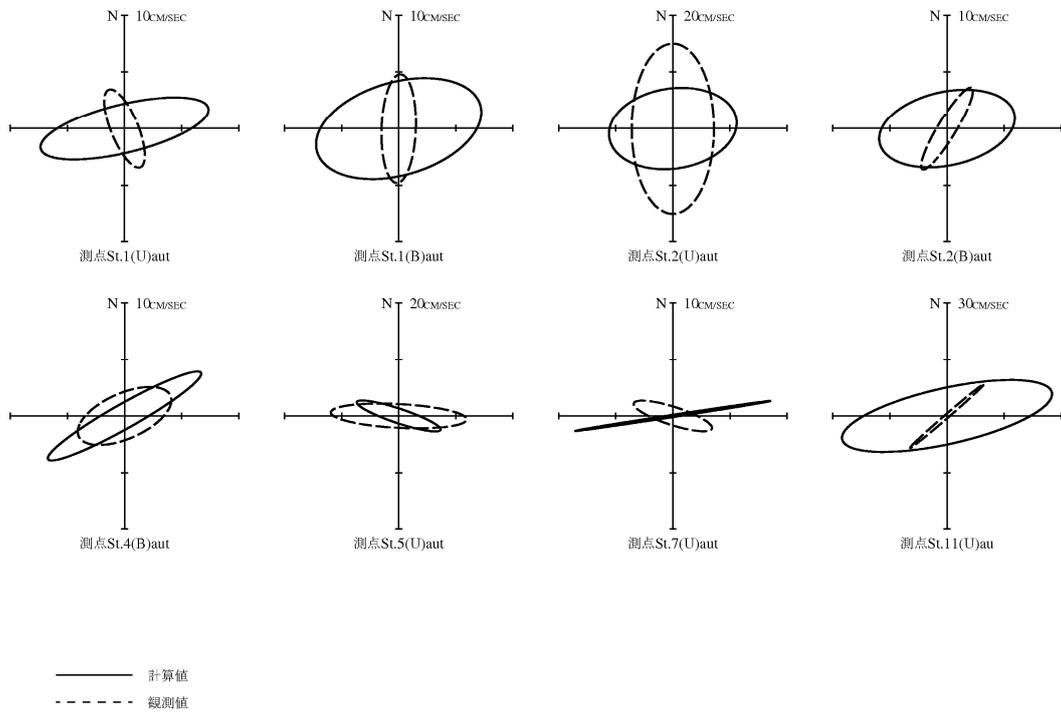


図 7.10 (2) 潮流楕円の比較図 (西流時)

(3) 流況計算結果

東流時における流況計算結果を下げ潮時および上げ潮時について図 7.11 に示した。同様に、西流時における流況計算結果を下げ潮時および上げ潮時について図 7.12 に示した。

東流時の計算ケースにおいては、下げ潮時および上げ潮時ともに東流が卓越している様子がうかがえる。一方で、西流時の計算ケースにおいては、下げ潮時には東流が卓越しているが、上げ潮時には西流が卓越している。なお、昭和 60 年度～平成 11 年度の海洋投入でできた凸部近傍 (p.113、参考図 新潟港 (西港地区) 周辺の海底地形：平成 17 年度参照) では、当該海域が開放的な地形であり、水深も深いため、凸部近傍とその周辺の流況に大きな相違は認められない。

海水の濁り (SS) 及び海底地形 (堆積厚) の予測計算は、本流況計算モデルを用いて予測を行った。

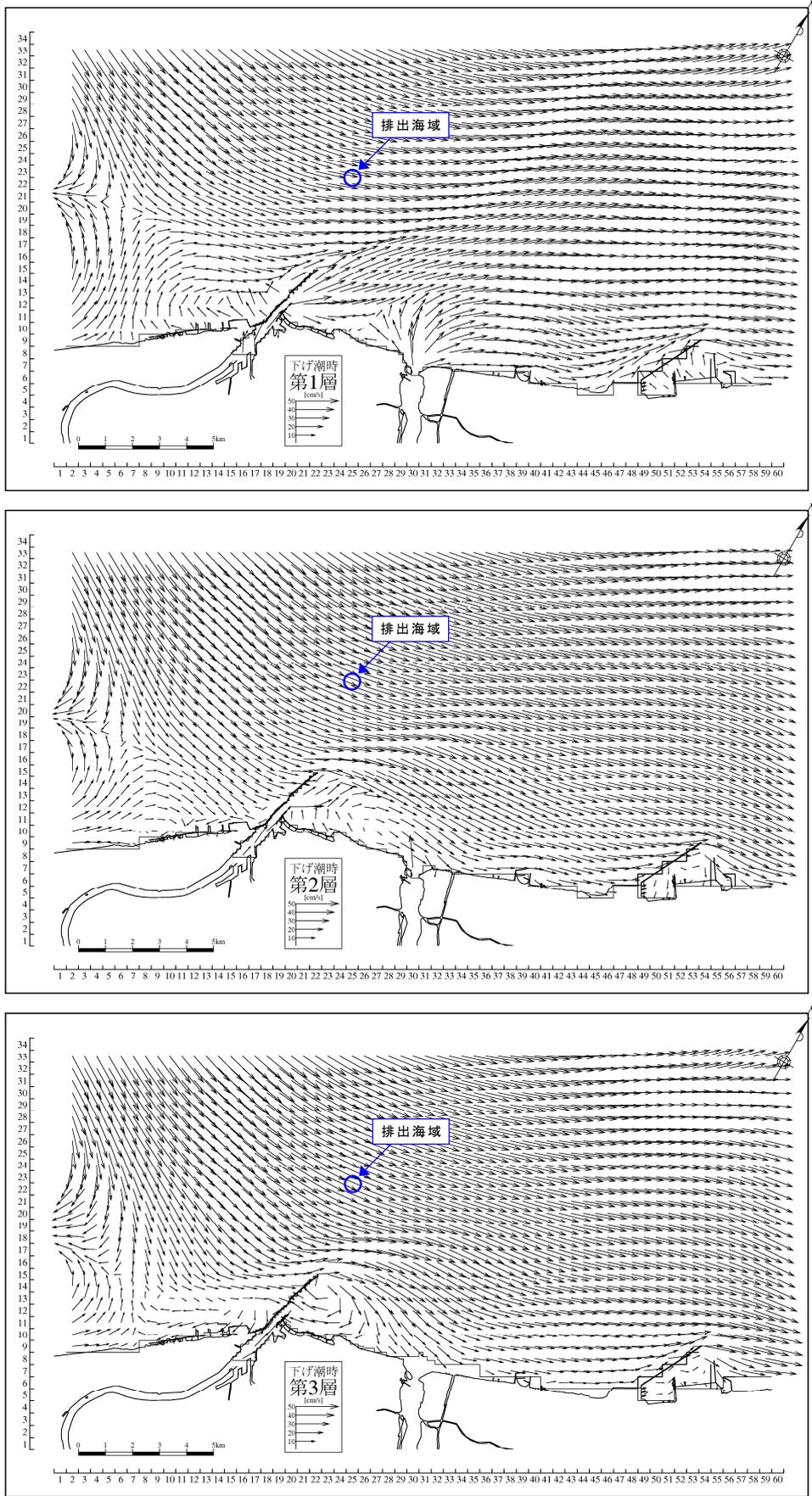


図 7.11 (1) 流況計算結果 (東流,下げ潮時) (計算値は大領域の格子間隔ごとに間引いて表示。)

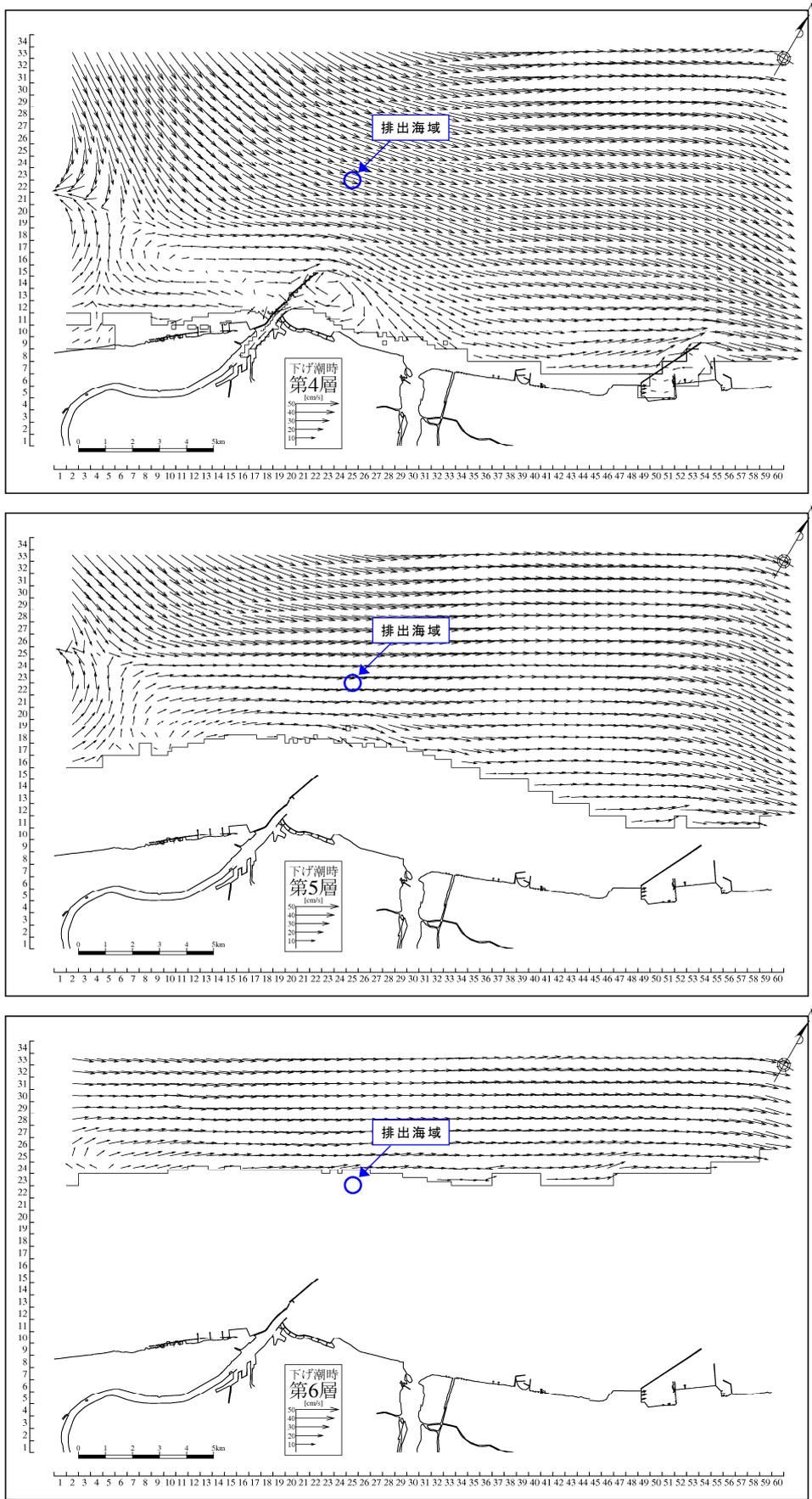


図 7.11 (2) 流況計算結果 (東流, 下げ潮時) (計算値は大領域の格子間隔ごとに間引いて表示。)

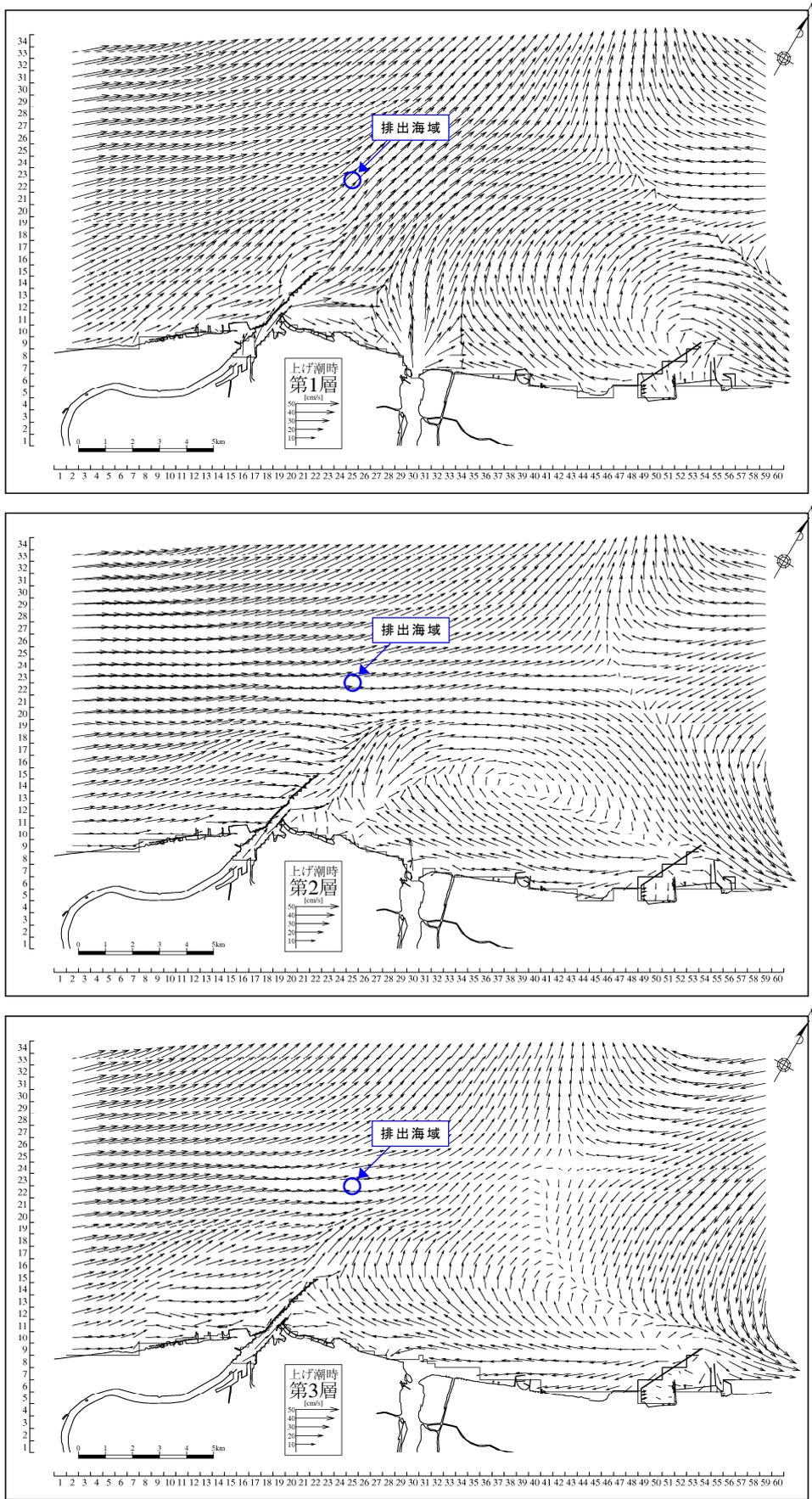


図 7.11 (3) 流況計算結果 (東流, 上げ潮時) (計算値は大領域の格子間隔ごとに間引いて表示。)

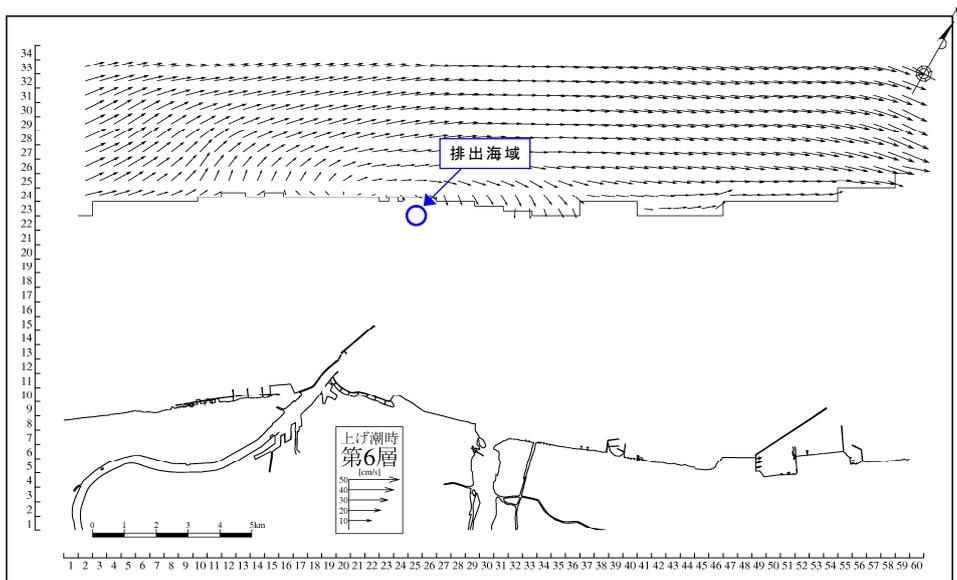
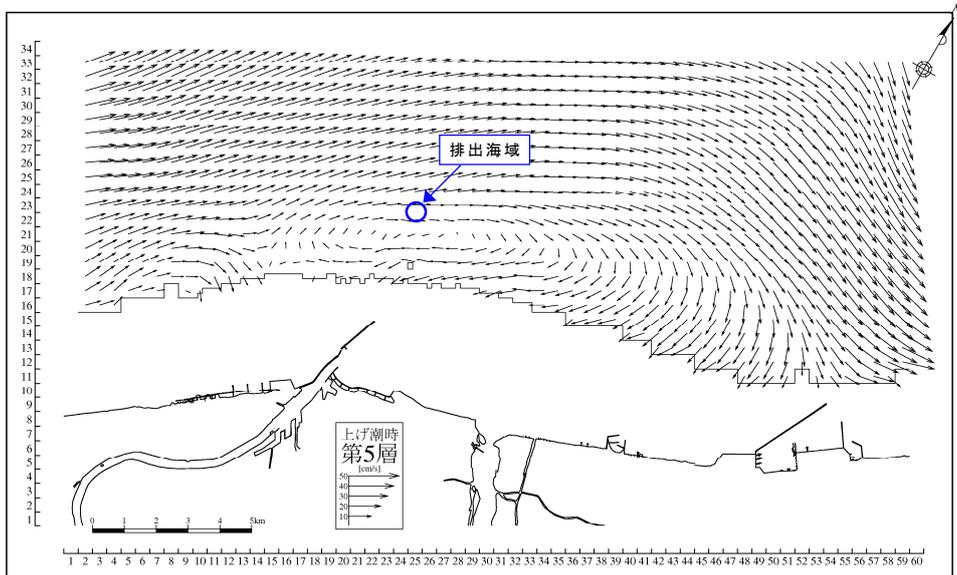
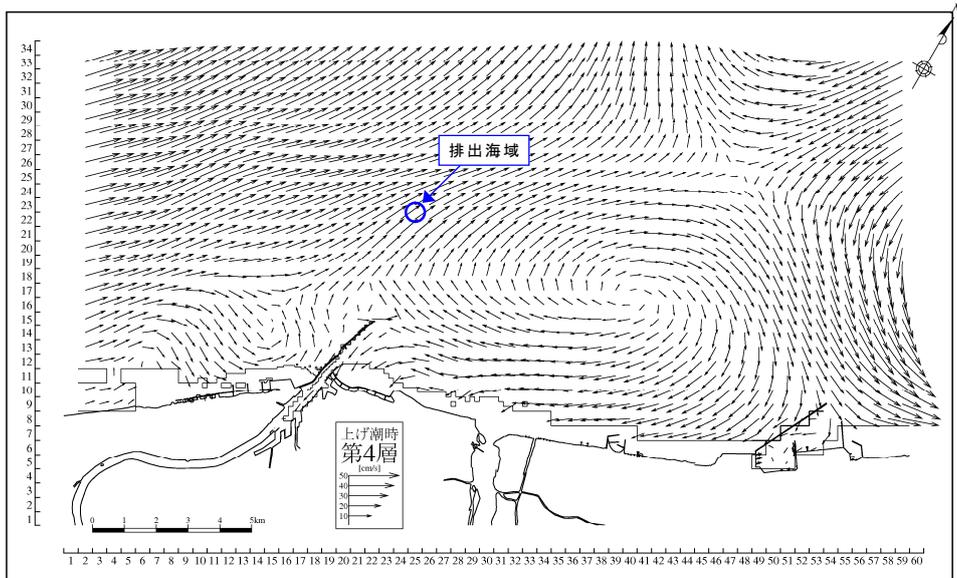


図 7.11 (4) 流況計算結果 (東流, 上げ潮時) (計算値は大領域の格子間隔ごとに間引いて表示。)

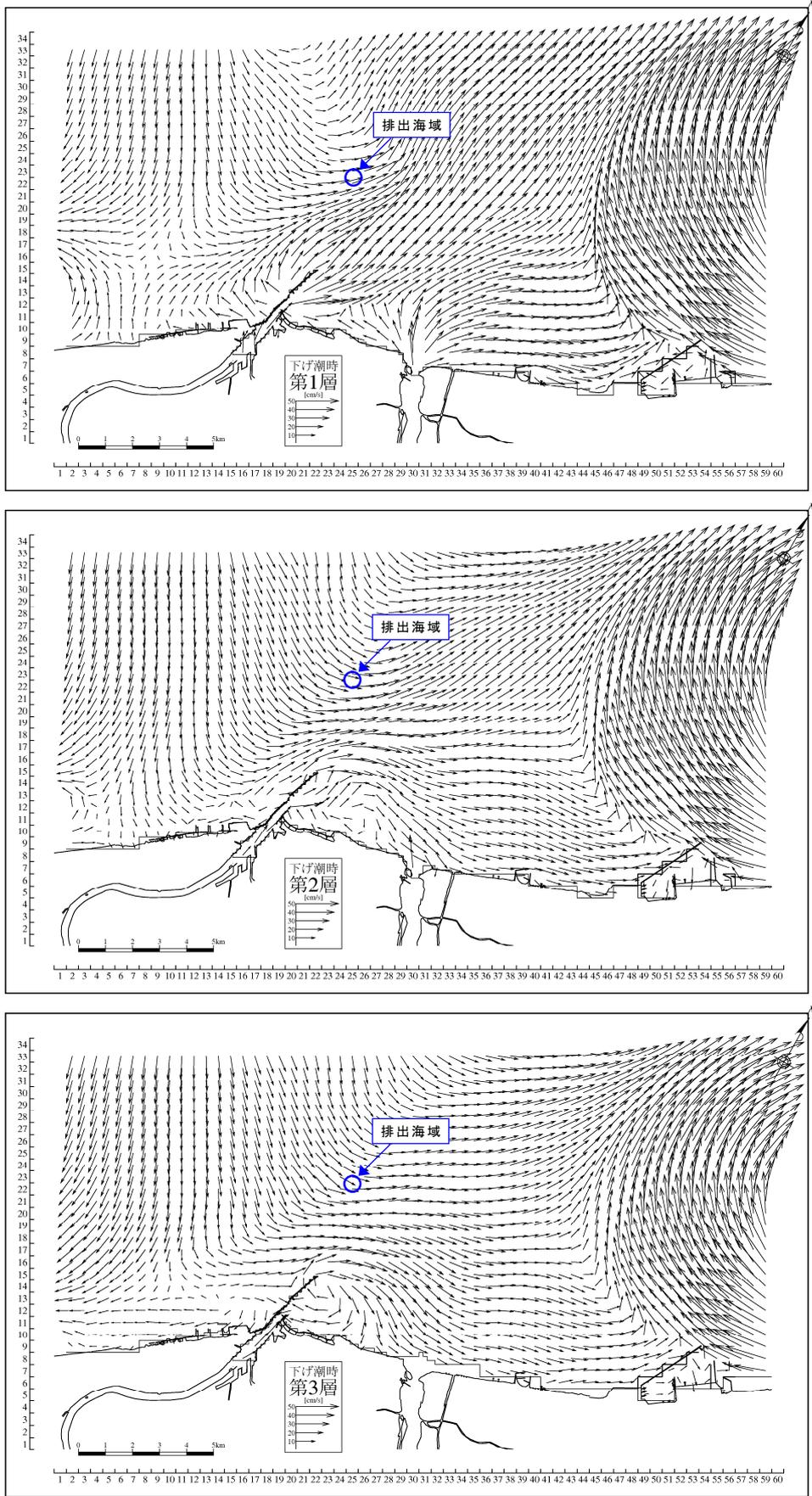


図 7.12 (1) 流況計算結果 (西流,下り潮時) (計算値は大領域の格子間隔ごとに間引いて表示。)

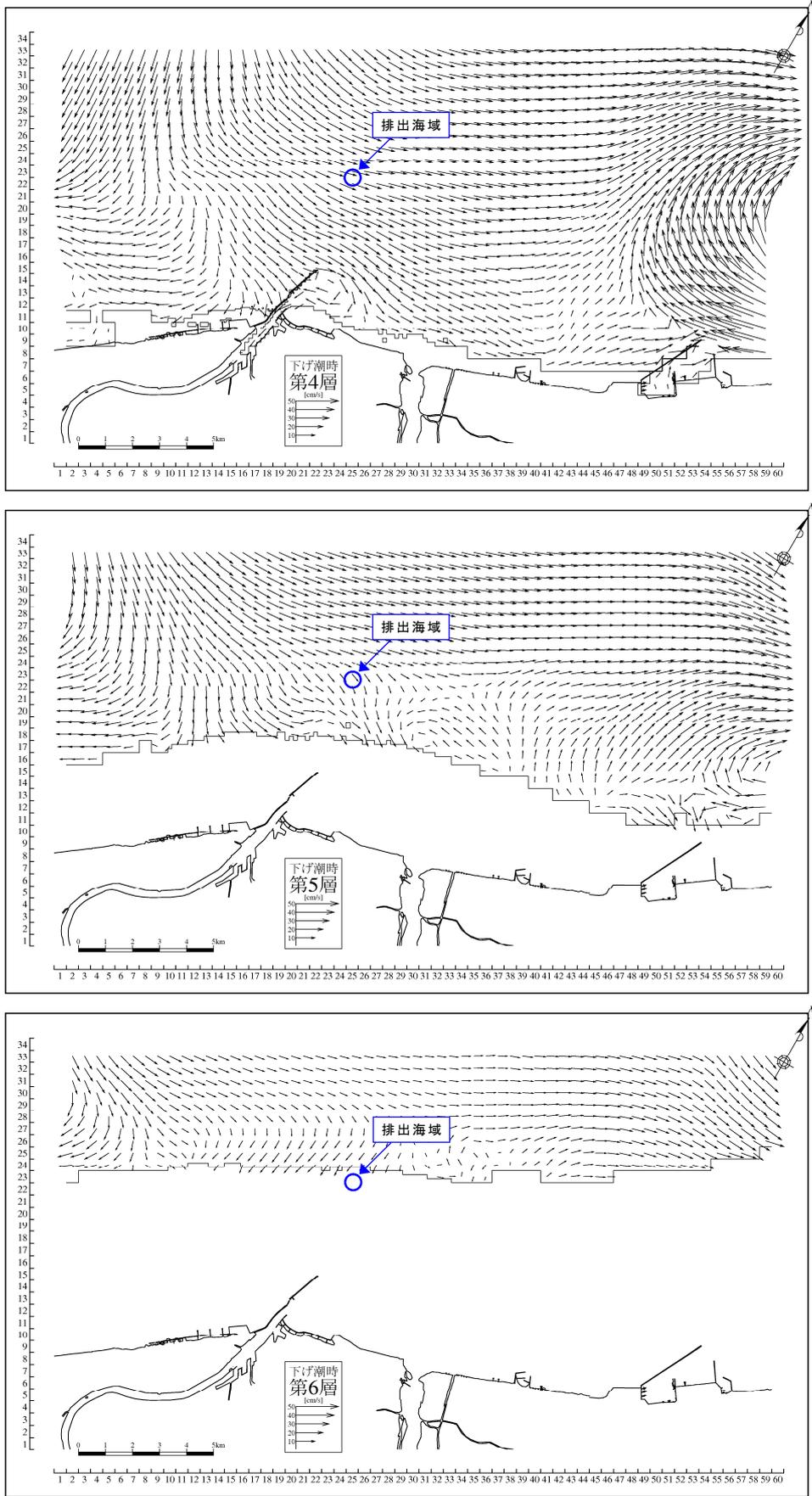


図 7.12 (2) 流況計算結果 (西流, 下げ潮時) (計算値は大領域の格子間隔ごとに間引いて表示。)

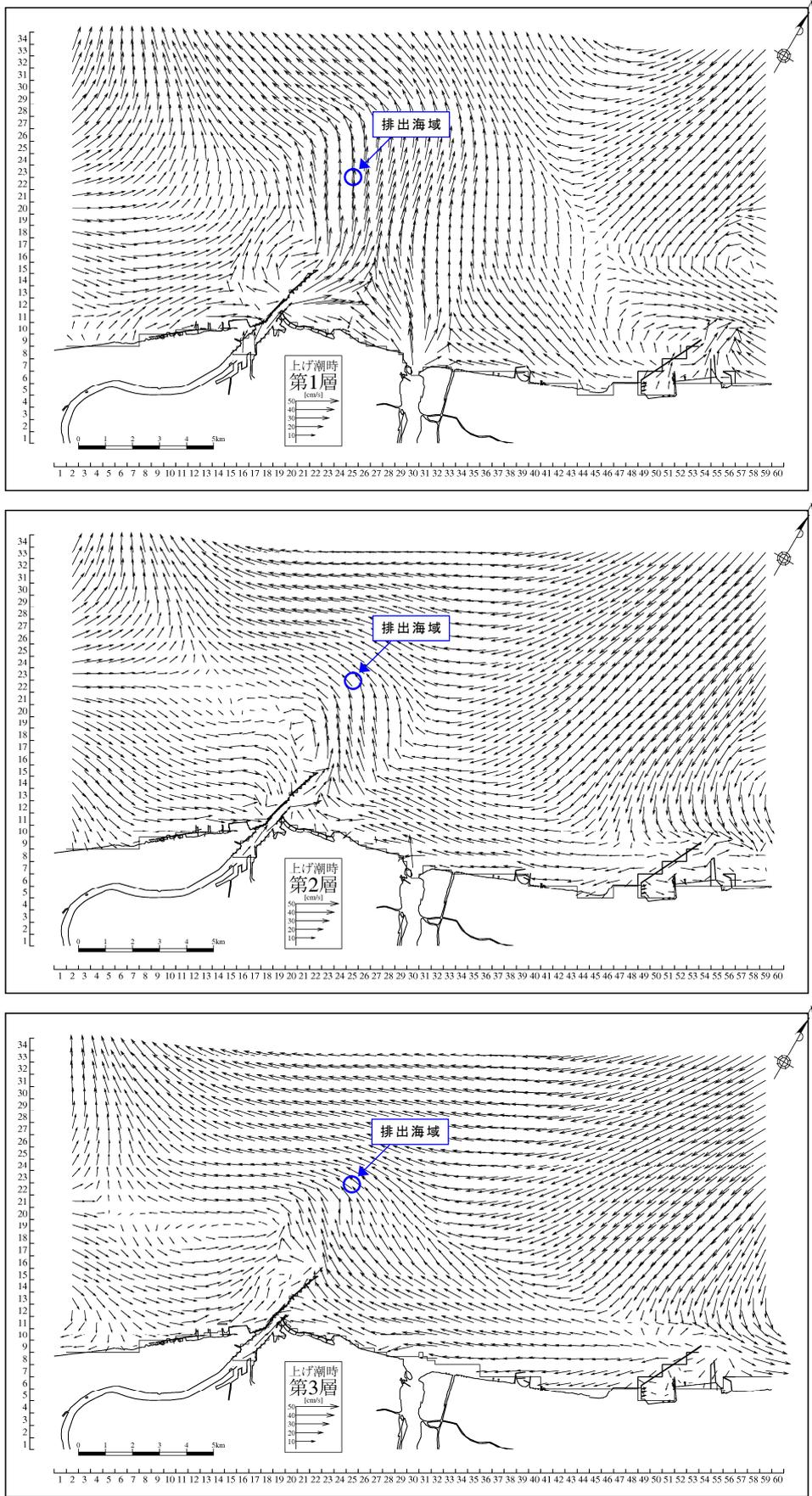


図 7.12 (3) 流況計算結果 (西流, 上げ潮時) (計算値は大領域の格子間隔ごとに間引いて表示。)

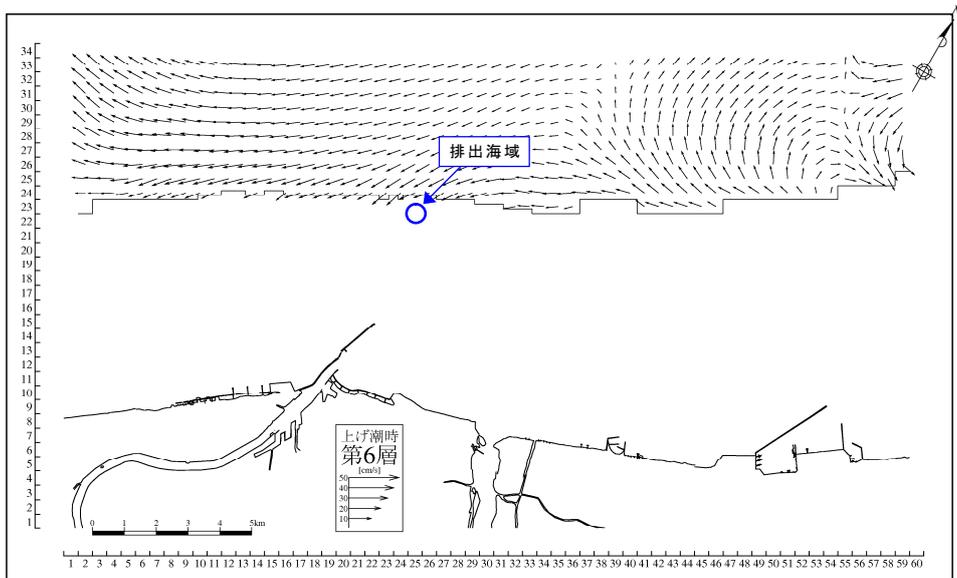
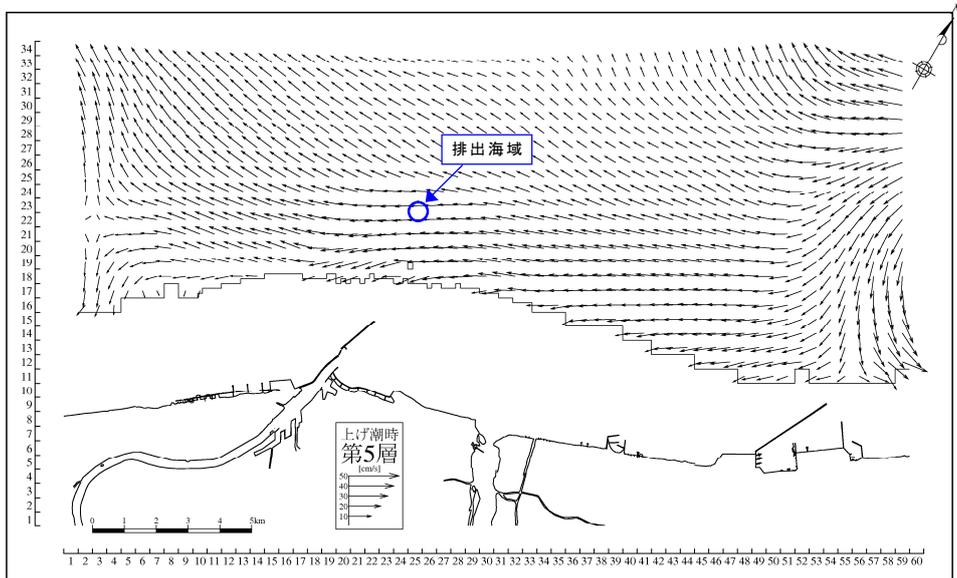
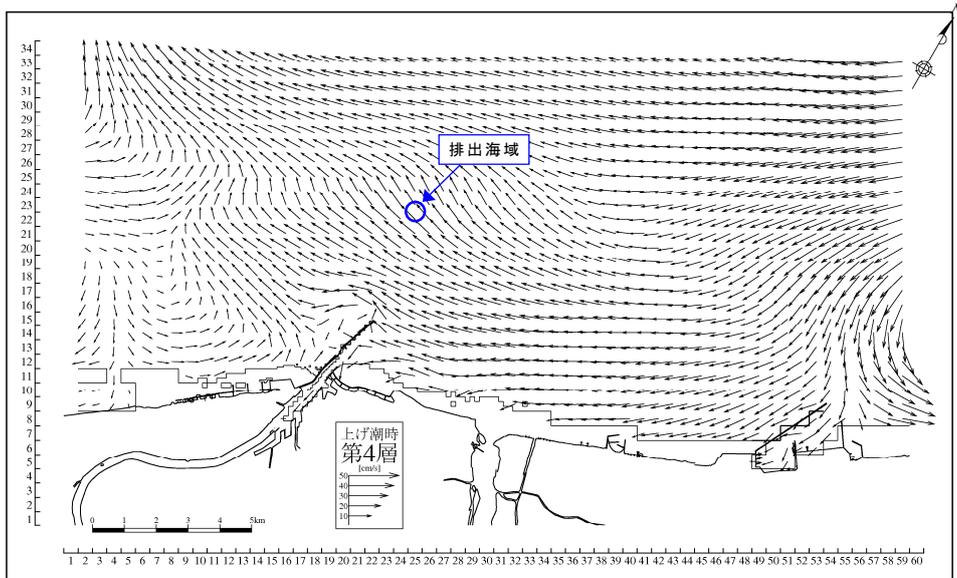


図 7.12 (4) 流況計算結果 (西流, 上げ潮時) (計算値は大領域の格子間隔ごとに間引いて表示。)