

3-6 潮流への影響の予測

今回計画に伴う清水港周辺海域の流況変化を予測するため、現況及び将来について、図 3-6-1 に示す手順に従って潮流シミュレーションを実施した。

(1) 予測手法の概要

1) 計算手順

計算手順は、図 3-6-1 に示すとおりである。

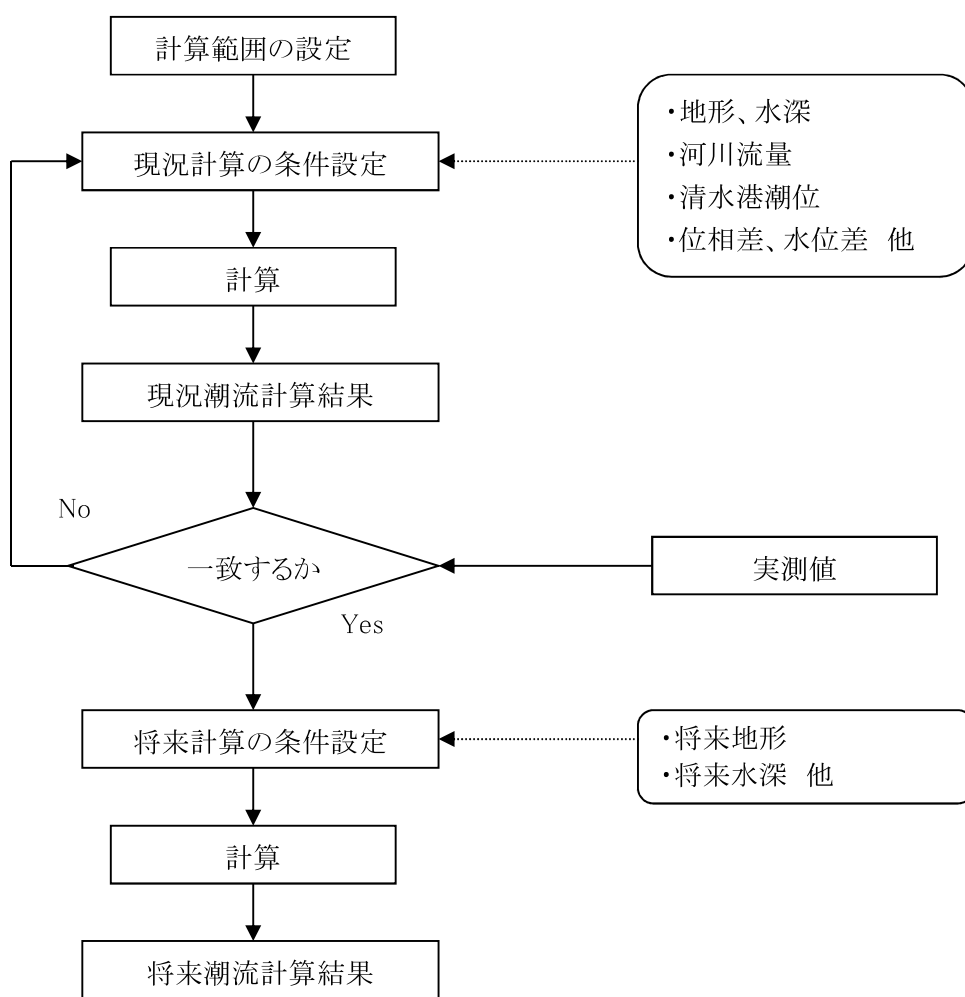


図 3-6-1 潮流予測手順

2) 計算ケース

潮流計算ケースは、表 3-6-1 に示すように現況及び将来（計画変更あり、計画変更なし）の3ケースとした。

表 3-6-1 潮流予測計算ケース

条件 \ ケース名	現況	将来	
		計画変更なし	計画変更あり
地形	現況	既定計画	今回計画
水深			
対象時期	冬季・夏季		
潮汐	潮汐流 (K_1+O_1) + 平均流		

3) 計算範囲

計算範囲は、図 3-6-3 に示す清水港港湾区域を含む約 8.6km×9.6km とした。

また、埋立計画、防波堤計画および航路・泊地計画等の形状が再現できるよう計算格子間隔は 50m とした。

なお、鉛直方向の層区分は図 3-6-2 に示すように4層区分とした。

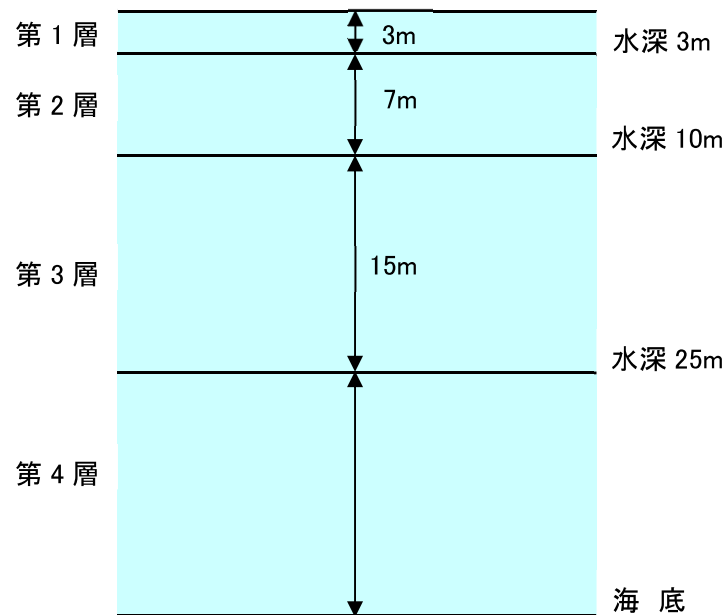


図 3-6-2 鉛直方向の層分割

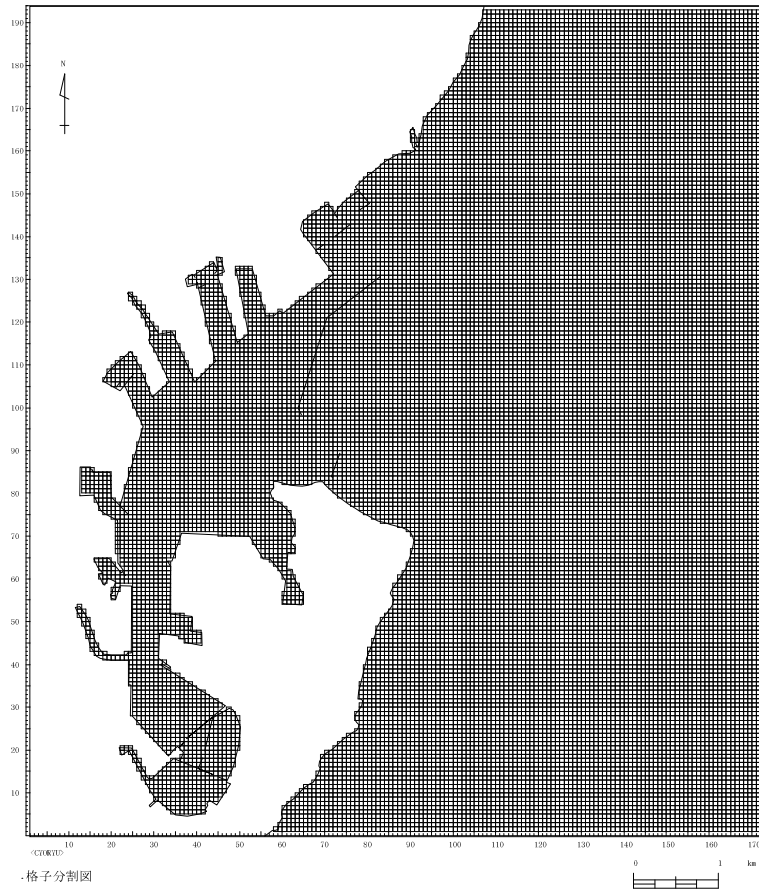


図 3-6-3(1) 計算範囲・地形及び格子図 (現況)

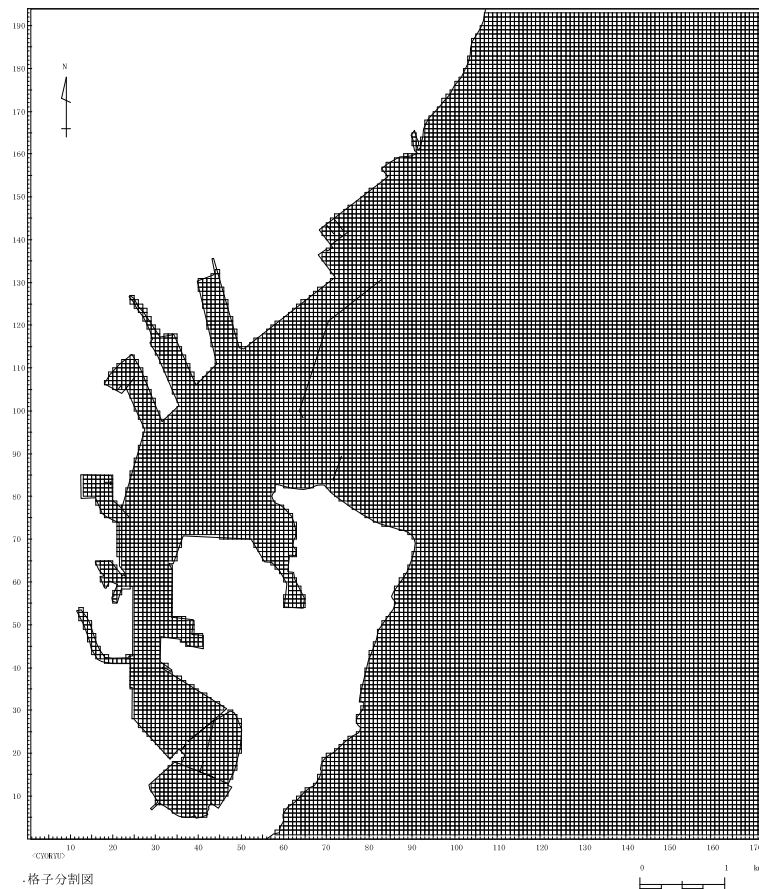
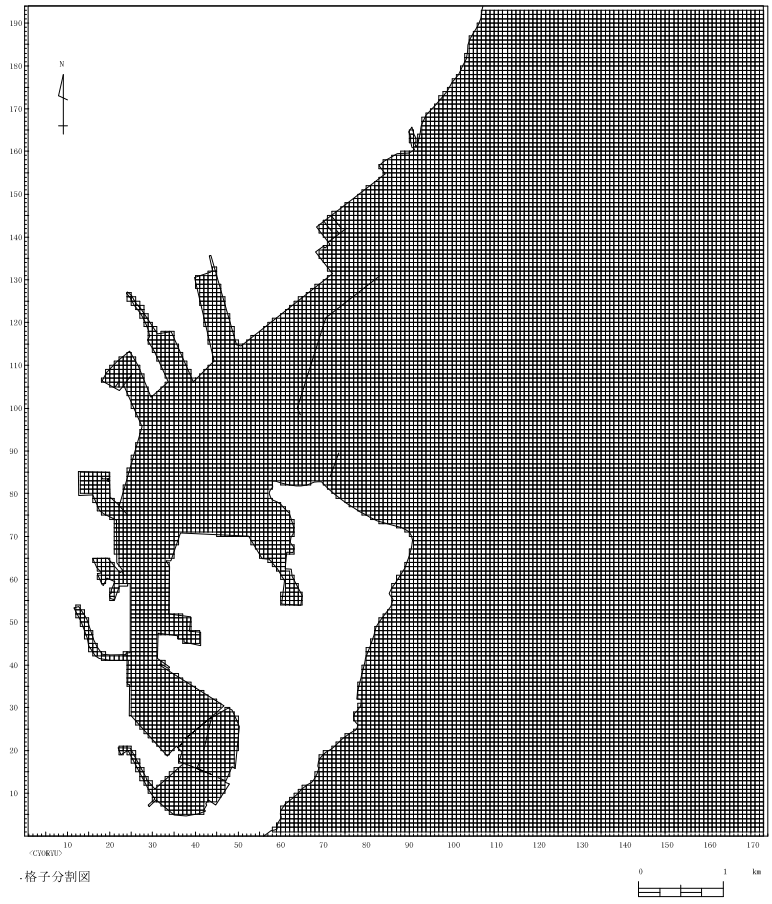


図 3-6-3(2) 計算範囲・地形及び格子図 (計画変更あり：今回計画)



格子分割図

図 3-6-3(3) 計算範囲・地形及び格子図（計画変更なし：既定計画）

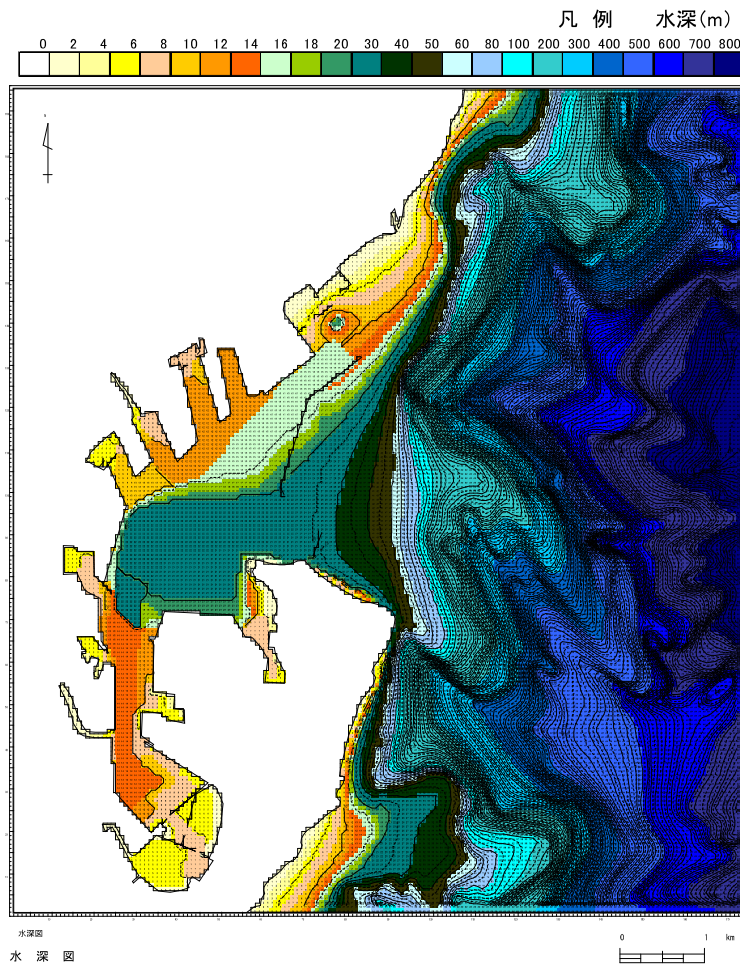


図 3-6-4 水深図

(2) 予測モデル

予測計算は、Navier-Stokes の運動方程式と物体の連続式を基礎式とし、流れを考慮した 2 次元 4 層レベルモデルを用いた。

- x 方向の運動方程式

$$\frac{\partial U}{\partial t} = -\frac{\partial U^2}{\partial x} - \frac{\partial VU}{\partial y} - \frac{\partial WU}{\partial z} + f_0 V - g \frac{\partial \zeta}{\partial x} - \frac{g}{\rho} \int_z^{\zeta} \frac{\partial \rho}{\partial x} dz' + \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu_x \frac{\partial U}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_y \frac{\partial U}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu_z \frac{\partial U}{\partial z} \right)$$

- y 方向の運動方程式

$$\frac{\partial V}{\partial t} = -\frac{\partial UV}{\partial x} - \frac{\partial V^2}{\partial y} - \frac{\partial WV}{\partial z} + f_0 U - g \frac{\partial \zeta}{\partial y} - \frac{g}{\rho} \int_z^{\zeta} \frac{\partial \rho}{\partial y} dz' + \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu_x \frac{\partial V}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_y \frac{\partial V}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu_z \frac{\partial V}{\partial z} \right)$$

- 連続の式

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

- 自由表面（潮位）の式

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x} \left(\int_{-H}^{\zeta} U dz \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(\int_{-H}^{\zeta} V dz \right)$$

- 熱収支の式（温度の拡散方程式）

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x} (UT) - \frac{\partial}{\partial y} (VT) - \frac{\partial}{\partial z} (WT) + \frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial T}{\partial z} \right)$$

- 塩素量収支の式（塩素量の拡散方程式）

$$\frac{\partial S}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x} (US) - \frac{\partial}{\partial y} (VS) - \frac{\partial}{\partial z} (WS) + \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial S}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial S}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_z \frac{\partial S}{\partial z} \right)$$

- 状態方程式

$$\rho = \rho(S, T)$$

ここでは、Knudsen の式を使用した。

$$\begin{aligned} \rho &= \sigma_t / 1000 + 1 \\ \sigma_t &= \Sigma_t + (\sigma_o + 0.1324) \{ 1 - A_t + B_t (\sigma_o - 0.1324) \} \\ \sigma_o &= -0.069 + 1.4708 S - 0.001570 S^2 + 0.0000398 S^3 \\ \Sigma_t &= -(T - 3.98)^2 / 503.570 \times (T + 283.0) / (T + 67.26) \\ A_t &= T(4.7869 - 0.098185 T + 0.0010843 T^2) \times 10^{-3} \\ B_t &= T(18.030 - 0.8164 T + 0.01667 T^2) \times 10^{-6} \end{aligned}$$

- 海面上における風の応力

$$k = 1$$

$$\frac{1}{\rho} \tau_x^{0.1} = \frac{\rho_a}{\rho} \gamma_a^2 W_x \sqrt{W_x^2 + W_y^2}$$

$$\frac{1}{\rho} \tau_y^{0.1} = \frac{\rho_a}{\rho} \gamma_a^2 W_y \sqrt{W_x^2 + W_y^2}$$

・層間の粘性応力

$$k = k$$

$$\frac{1}{\rho} \tau_x^{k-1,k} = \gamma_i^2 (U_{k-1} - U_k) \sqrt{(U_{k-1} - U_k)^2 + (V_{k-1} - V_k)^2}$$

$$\frac{1}{\rho} \tau_y^{k-1,k} = \gamma_i^2 (V_{k-1} - V_k) \sqrt{(U_{k-1} - U_k)^2 + (V_{k-1} - V_k)^2}$$

・海底での摩擦応力

$$k = K$$

$$\frac{1}{\rho} \tau_x^{bottom} = \gamma_b^2 U_k \sqrt{U_k^2 + V_k^2}$$

$$\frac{1}{\rho} \tau_y^{bottom} = \gamma_b^2 V_k \sqrt{U_k^2 + V_k^2}$$

ここで、各式中に用いられた変数や記号については以下のとおりである。

U, V, W :	x, y, z 方向の流速成分	(cm/sec)
ζ :	平均水面から自由表面までの変位 (水位)	(cm)
H :	平均水面から海底までの深さ	(cm)
ρ :	流体の密度	(g/cm ³)
f_0 :	コリオリパラメータ	(sec ⁻¹)
g :	重力加速度	(cm/sec ²)
T :	水温	(°C)
S :	塩素量	(‰)
ν_x, ν_y, ν_z :	x, y, z 方向の渦動粘性係数	(cm ² /sec)
D_x, D_y, D_z :	x, y, z 方向の渦動物質拡散係数	(cm ² /sec)
K_x, K_y, K_z :	x, y, z 方向の温度拡散係数	(cm ² /sec)
W_x, W_y :	x, y 方向の風速	(cm/sec)
ρ_a :	大気密度	(g/cm ³)
γ_a^2 :	海面摩擦係数	
γ_i^2 :	層間摩擦係数	
γ_b^2 :	海底摩擦	

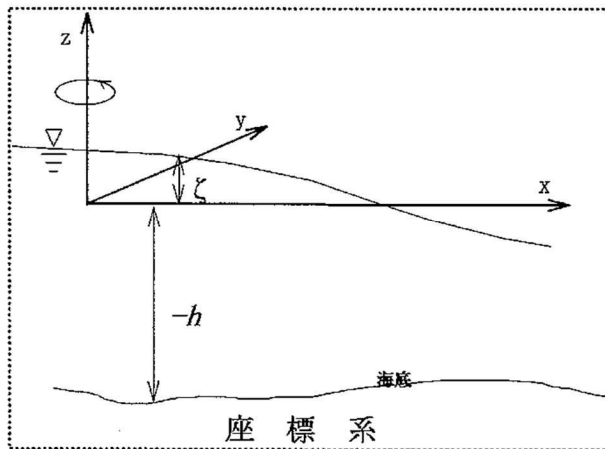


図 3-6-5 座標系

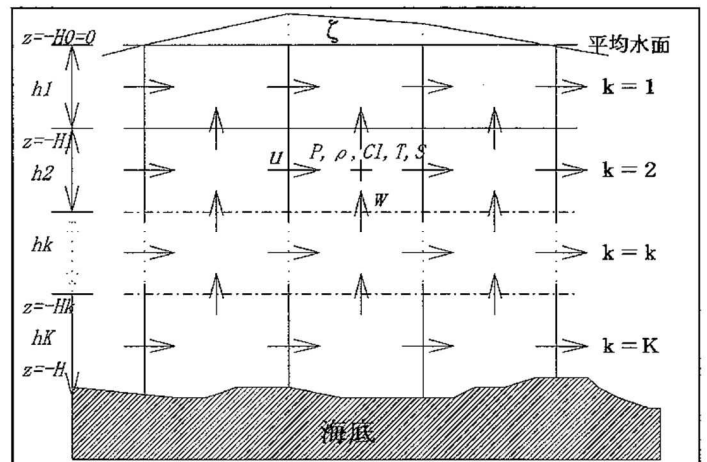


図 3-6-6 鉛直層区分

(3) 計算条件

潮流予測に係わる主な計算条件は、表 3-6-2 に示すとおりである。再現目標としては、観測結果に基づく大潮期の流況とした。

表 3-6-2 計算条件一覧表

項目	設定値	備考
地形	計画平面図、海図など	
水深	海図、深淺図など	
潮汐条件	$K_1 + O_1$	
計算範囲	沿岸方向約 8.6km × 岸沖方向約 9.6km	
格子間隔	50m	
層厚	第 1 層: 0~3m 第 2 層: 3~10m 第 3 層: 10~25m 第 4 層: 25m 以深	
タイムステップ	$\Delta t = 0.25$ 秒	
計算時間	240 時間 (10 潮汐)	計算が安定する時間
水平拡散係数	$1.5 \times 10^4 \text{ cm}^2/\text{sec}$	
鉛直拡散係数	$1.0 \text{ cm}^2/\text{sec}$	
水平渦動粘性係数	$0.1 \times 10^1 \text{ cm}^2/\text{sec}$	
鉛直渦動粘性係数	$0.1 \text{ cm}^2/\text{sec}$	
海底摩擦係数	$\gamma_b^2 = 0.0026$	
層間摩擦係数	$\gamma_i^2 = 0.0013$	
河川流量等	表 3-6-4 に示すとおり	

(4) 淡水流入量の算定

1) 算定方法

淡水流入量の算出方法は表 3-6-3 に示すとおりである。

表 3-6-3 淡水流入量算定方法

区分	現況	将来
生活系	「奥駿河湾流域別下水道整備総合計画(第1回変更)計画書・計画説明書、令和元年5月、静岡県」による現況の低水流量及び2020年度の排水量より設定	「奥駿河湾流域別下水道整備総合計画(第1回変更)計画書・計画説明書、令和元年5月、静岡県」による2030年度の低水流量及び排水量より設定
営業系		
工場		
家畜		
自然汚濁		

2) 淡水流入量

淡水流入量の算定結果は表 3-6-4 に、その流入地点は図 3-6-7 に示すとおりである。

表 3-6-4 淡水流入量

地点 No.	現況	将来	備考
	流量 (m ³ /日)	流量 (m ³ /日)	
1	249,696	249,696	興津川
2	43,200	43,200	庵原川
3	401,919	401,760	巴川、流域(7-18)
4	4,476	4,174	流域(7-6)
5	238	1,721	北部浄化センター
6	19,545	18,951	流域(7-13)
7	1,466	12,677	静清浄化センター
8	594	3,764	南部浄化センター
9	5,106	2,917	流域(7-20)

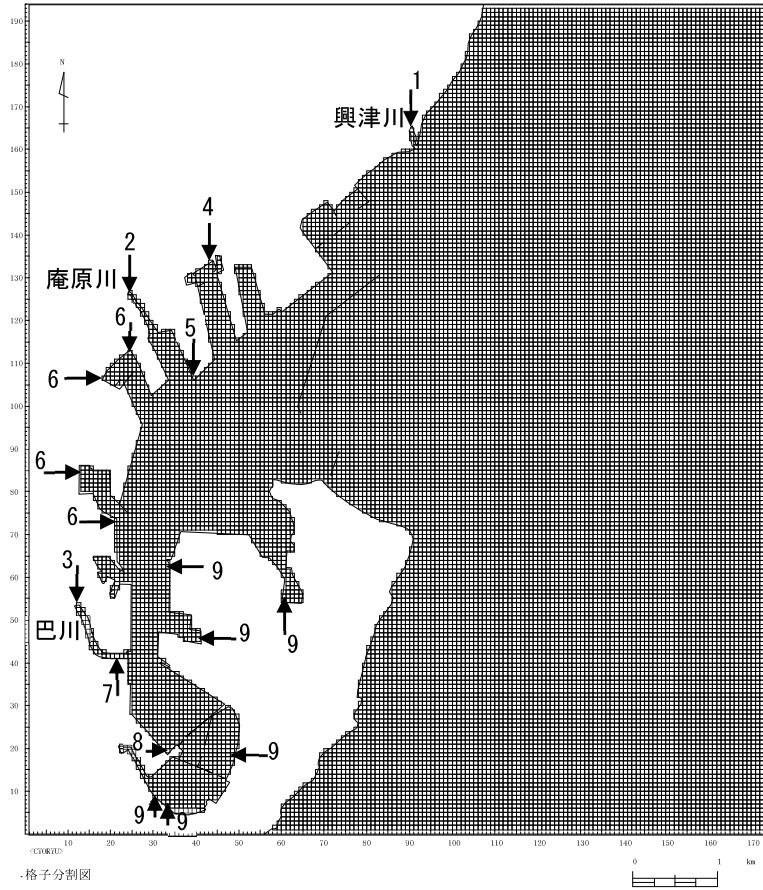


図 3-6-7(1) 淡水流入地点図 (現況)

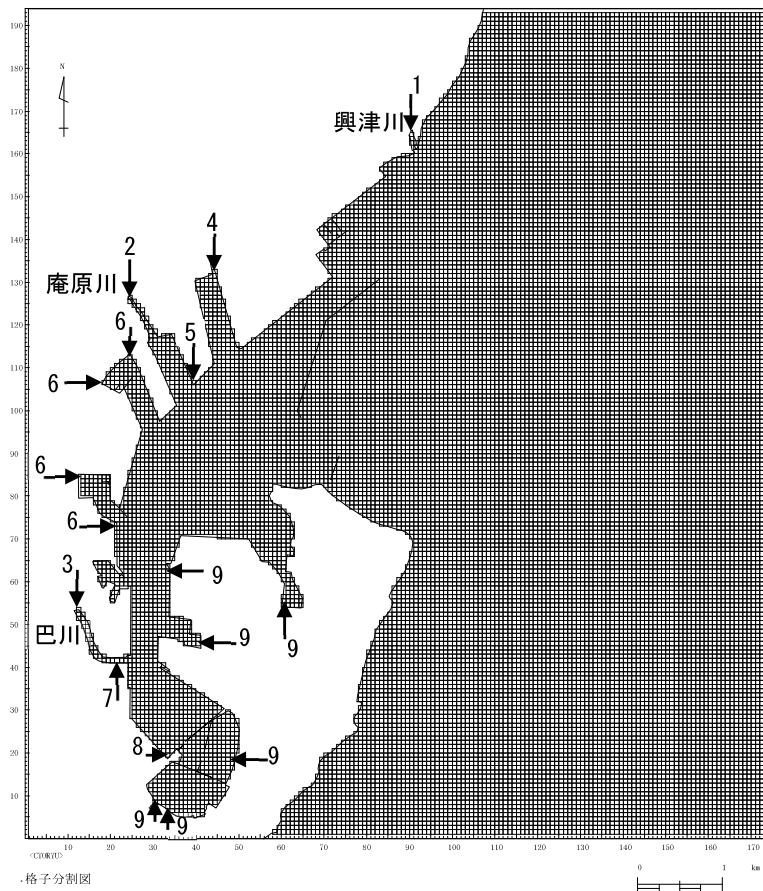
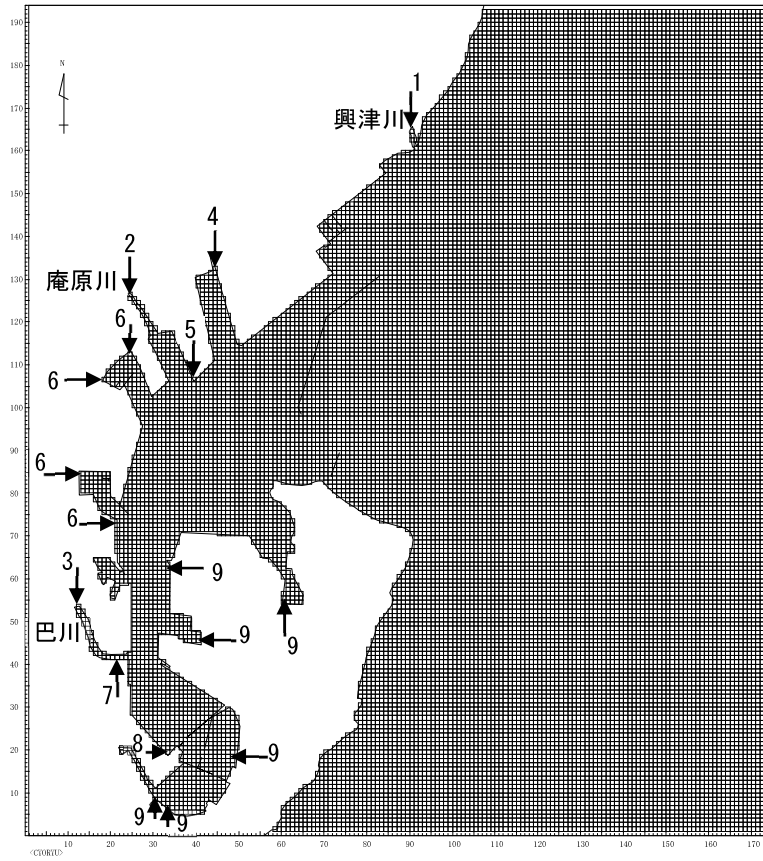


図 3-6-7(2) 淡水流入地点図 (計画変更あり)



格子分割図

図 3-6-7(3) 淡水流入地点図 (計画変更なし)

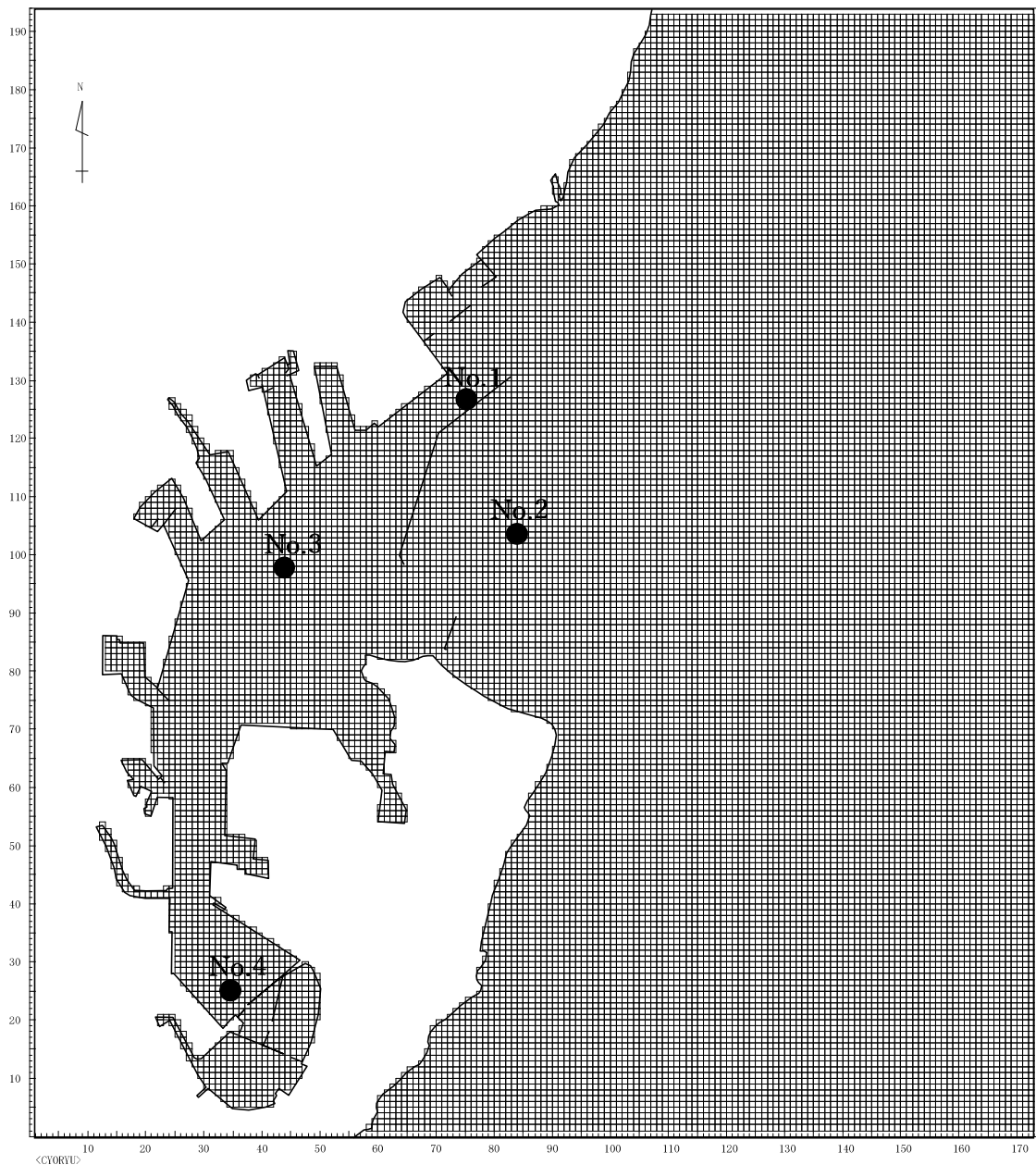
(5) 予測結果

1) 現況再現性

潮流モデルの再現性を検証するため、図 3-6-8 に示す潮流観測地点において、計算結果と観測結果の比較を行った。

その結果、図 3-6-9 に示すとおり最大流速時の流速を表す楕円長軸の長さ、最大流速時の流向を表す楕円長軸の向きが計算結果と観測結果で概ね一致しており、現況の流況を再現しているものと判断される。

再現が確認された大潮期の流況図は、図 3-6-10 に示すとおりである。



格子分割図

図 3-6-8 潮流調査地点



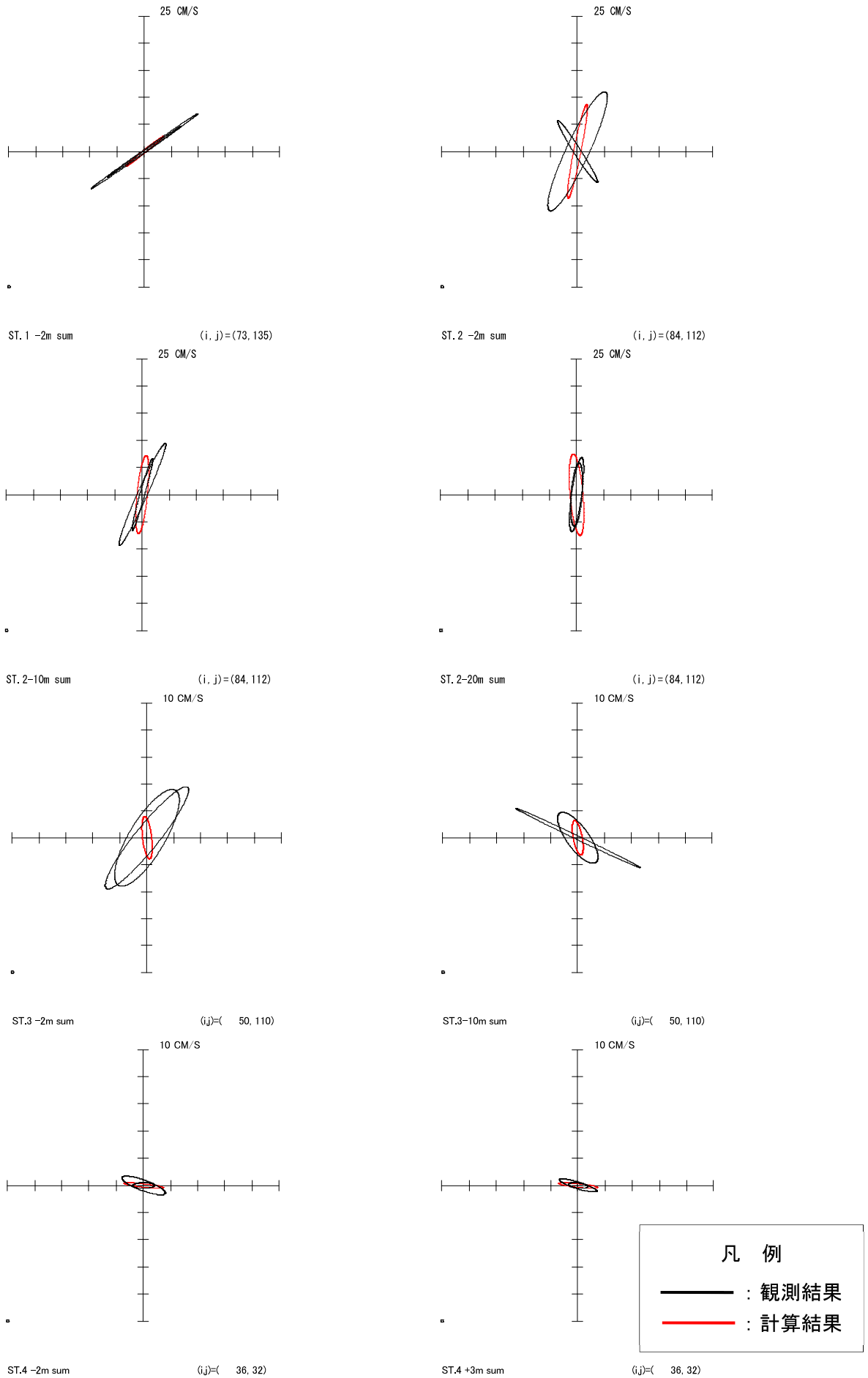
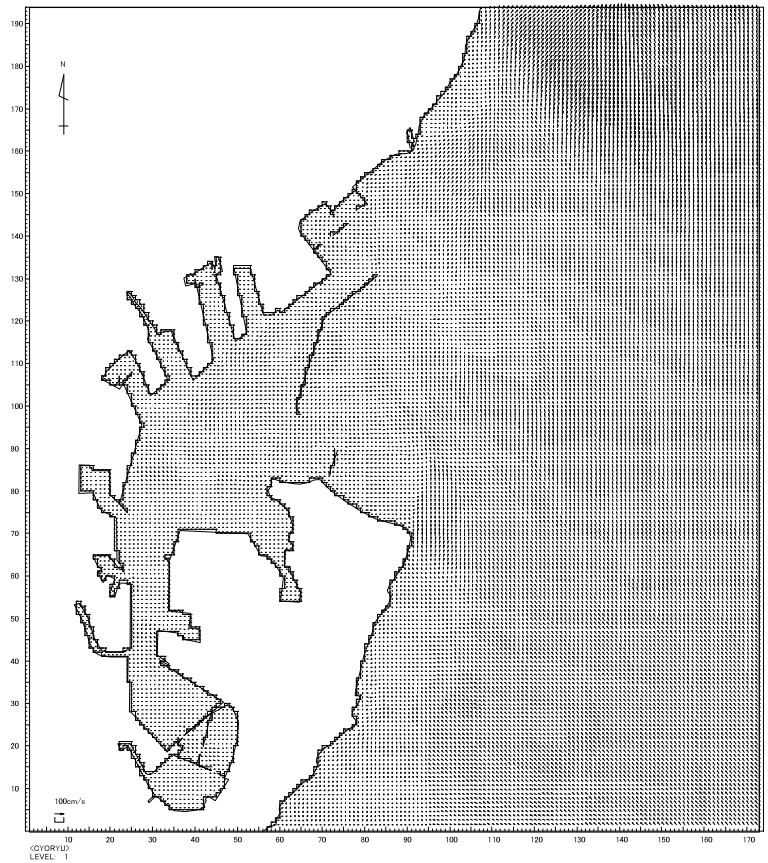
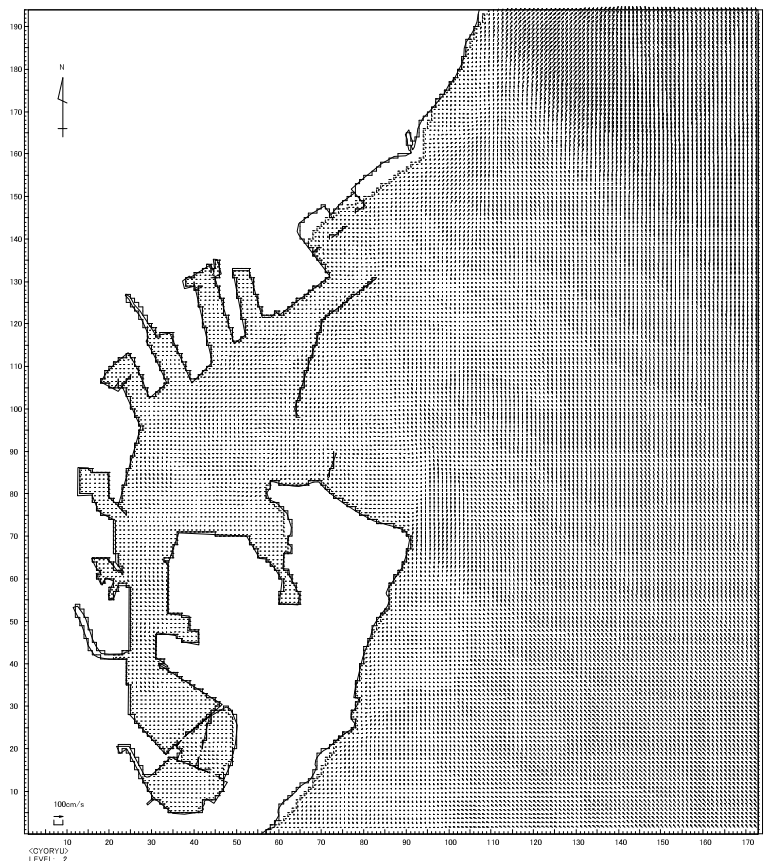
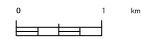


図 3-6-9 潮流楕円の比較（観測値と計算値の比較）



【第1層】



【第2層】

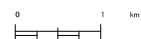
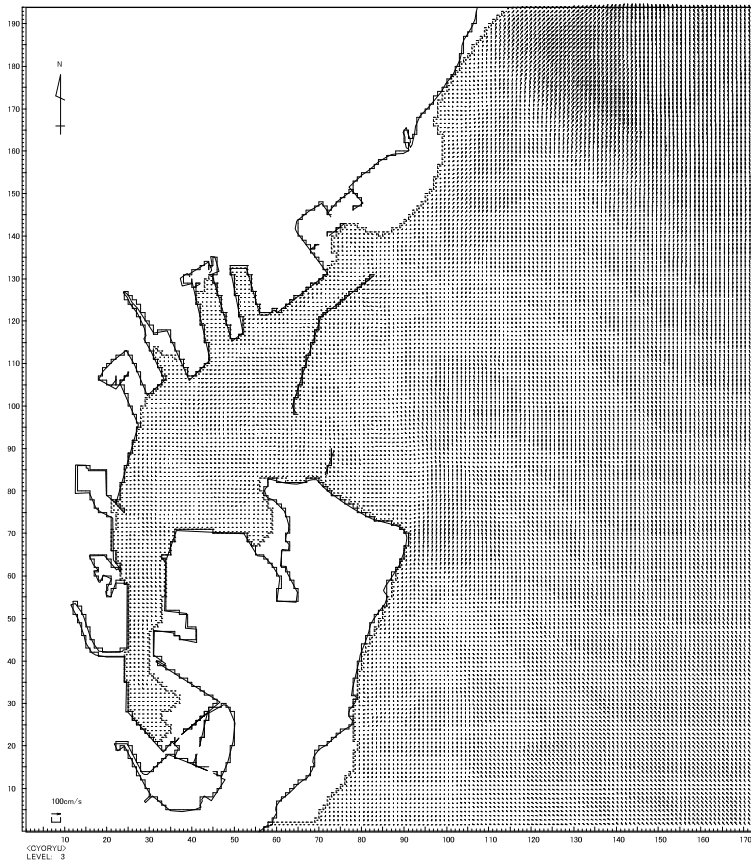
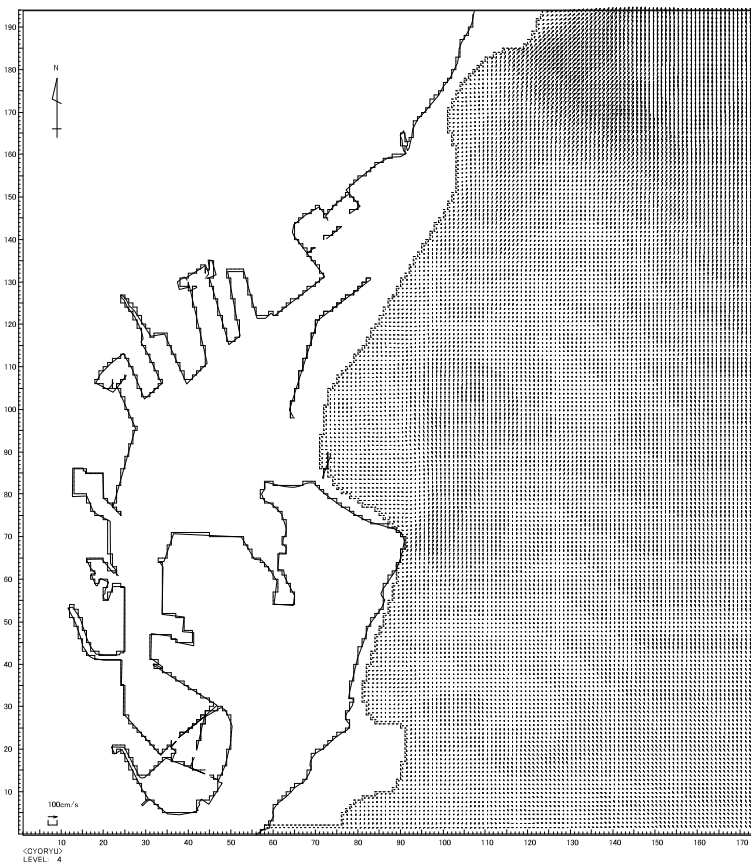
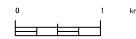


図 3-6-10(1) 現況流況図（現況：上げ潮最強時）



【 第 3 層 】



【 第 4 層 】

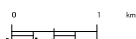
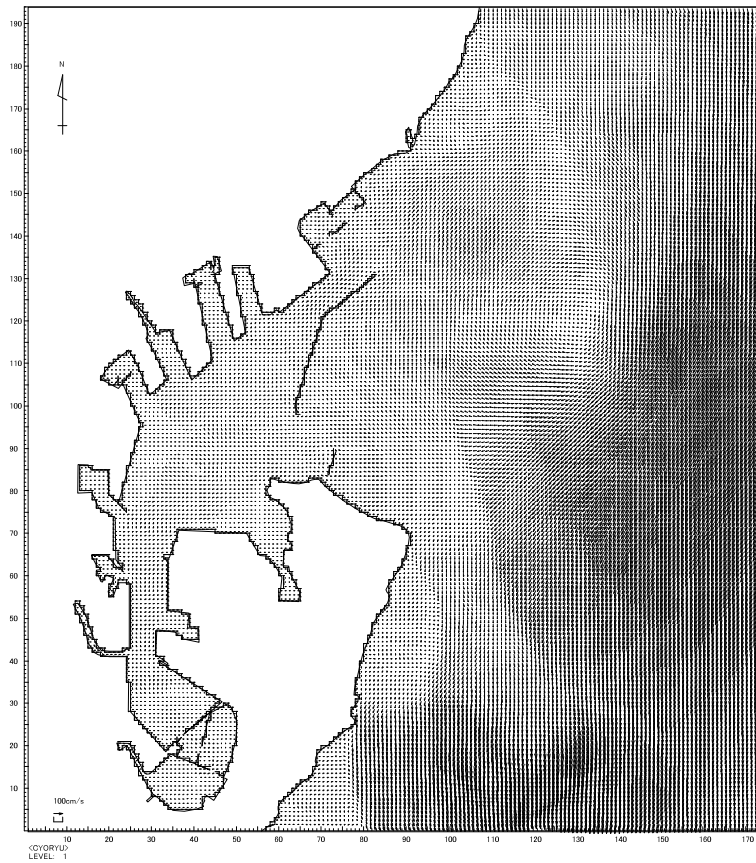
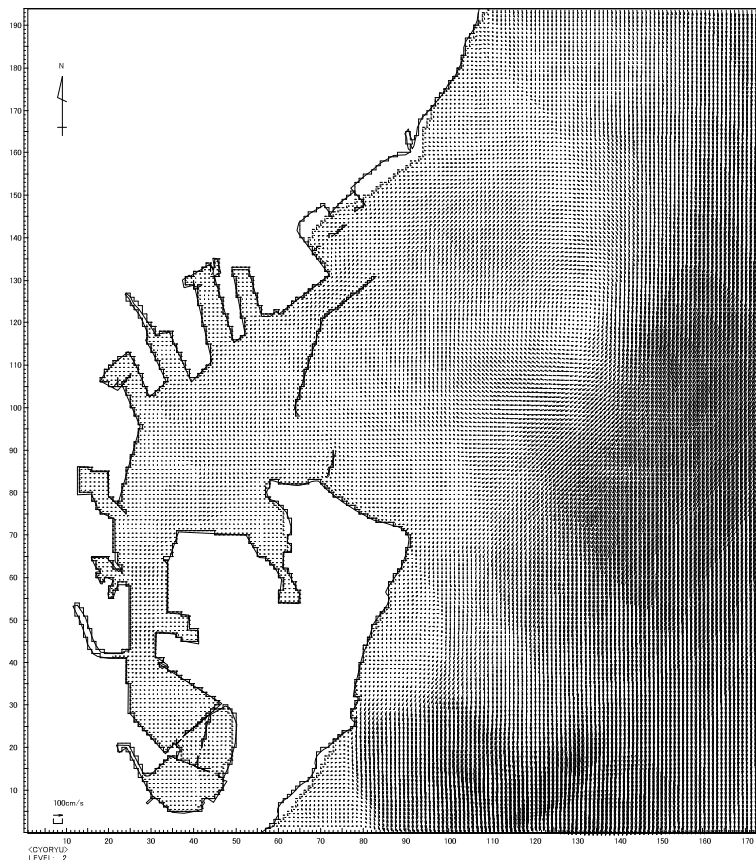
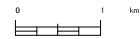


図 3-6-10(2) 現況流況図 (現況 : 上げ潮最強時)



【第1層】



【第2層】

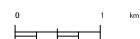
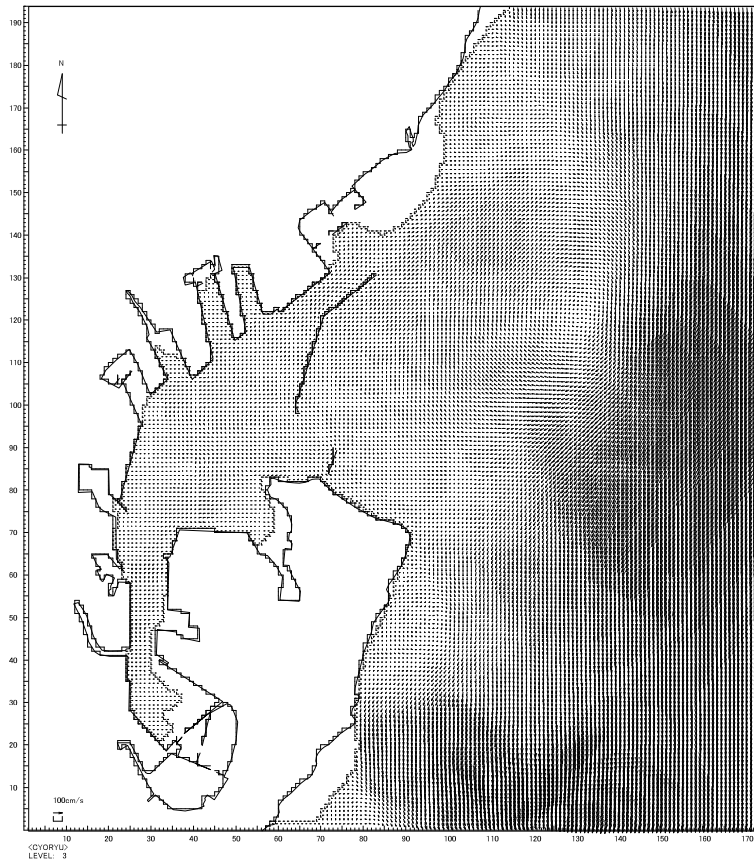
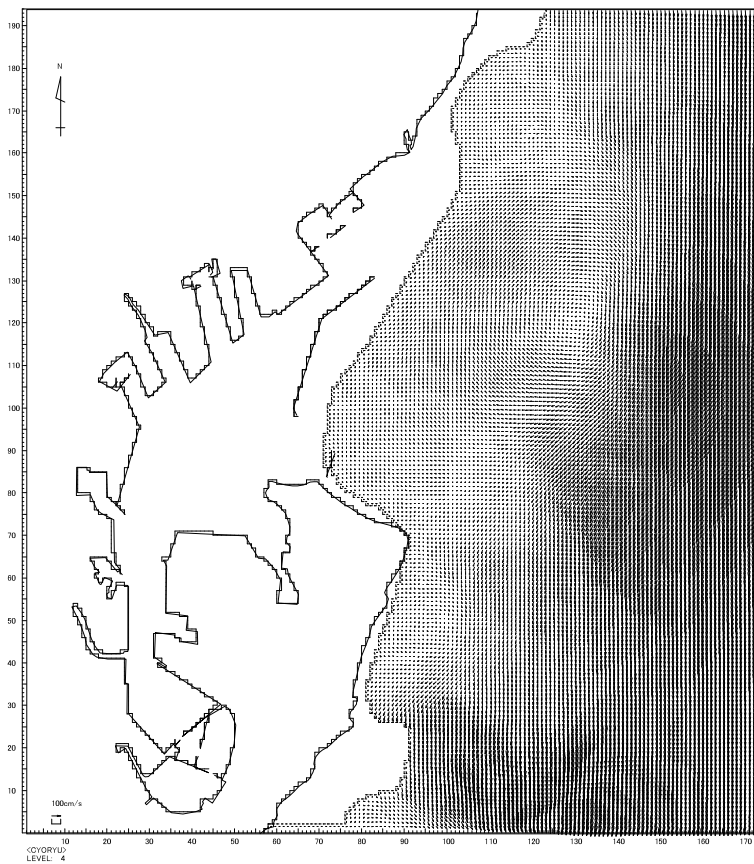
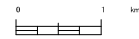


図 3-6-10(3) 現況流況図（現況：下げ潮最強時）



【 第 3 層 】



【 第 4 層 】



図 3-6-10(4) 現況流況図 (現況 : 下げ潮最強時)