

宮崎海岸侵食対策検討委員会 第3回技術分科会

補足説明資料

【地形変化モデル検討編】

平成 21 年 7 月 10 日

国土交通省・宮崎県

目 次

1. 等深線変化モデルの構築	1
1.1 地形変化解析の実施方針	1
1.2 基礎方程式	2
1.3 計算条件	5
1.4 再現計算結果	49
2. 地形変化モデルの検証	78

1. 等深線変化モデルの構築

1.1 地形変化解析の実施方針

■宮崎海岸の侵食対策の目指す方向性

- ・ 水系における流砂系、海域における漂砂系での土砂管理を主体とした侵食対策を目指す
- ・ 直轄事業期間中に汀線を回復・維持することだけが目的ではなく、県移管後も視野に入れた将来的にも持続可能な海中部を含めた海浜土砂量の回復・維持を目指す
 - 漂砂(土砂)量だけでなく質(粒径)も考慮した土砂管理が必要

上記の方向性を踏まえ、地形変化解析を実施するうえで特に考慮が必要な事項を以下に示す。

(1) 平面的な地形変化

- ・ 土砂管理を主体とした侵食対策の一つとして予想される養浜を一層効果的に行うためには、養浜箇所の違いによる効果・影響評価を実施することが有効。
- ・ 将来的にも持続可能な海中部を含めた海浜土砂量の回復・維持を目指すには、平面的な地形変化の予測が有効。
- ・ 環境や利用に配慮した侵食対策の検討にも、汀線位置の変化だけでなく海中部も含めた平面的な地形変化の予測が有効。

(2) 粒径の分級や粒径による漂砂量の違い

- ・ 土砂管理を主体とした侵食対策の一つとして予想される養浜を一層効果的に行うためには、養浜材の粒径の違いによる効果・影響評価を実施することが有効。
- ・ 環境や利用に配慮した侵食対策の検討にも、底質(粒径)の変化の予測が有効。

(3) 一ツ瀬川、小丸川からの流出土砂の影響

- ・ 一連の流砂系、漂砂系での土砂管理を主体とした侵食対策を検討するためには、各河川からの流出土砂の変化が海域の海浜土砂量に及ぼす効果・影響を検討する事が有効。

※大淀川の流出土砂の影響についても、宮崎海岸の過去からの長期的な状況変化を把握するため、定性的にでも把握出来るよう検討を行っていく。

1.2 基礎方程式

(1) 粒径毎の沿岸漂砂量式

土砂収支モデルとして、本検討では熊田ら(2003)による粒径分級を考慮した等深線変化モデルを用いる。粒径毎の沿岸漂砂量式は次式で表される。

$$q_x^{(K)} = \mu^{(K)} \cdot \varepsilon_x(z) \cdot K_x^{(K)} \cdot \frac{1}{8} H_b^2 c_{gb} \cdot \frac{1}{2} \sin 2\alpha_b$$

(K = 1, 2, \dots, N) \tag{1.1}

ここで、

$q_x^{(K)}$: 粒径毎の単位深さあたりの沿岸漂砂量 (m²/s)

$\mu^{(K)}$: 交換層内の粒径毎の含有率

ε_x : 沿岸漂砂量の水深方向分布 (m⁻¹)

H_b : 砕波波高 (m)

c_{gb} : 砕波点における群速度 (m/s)

α_b : 砕波点の波峰線が海岸線となす角

$\tan \beta$: 海底勾配

$K_x^{(K)}$: 無次元係数

また、係数 $K_x^{(K)}$ は粒径 $d^{(K)}$ を用いて

$$K_x^{(K)} = \frac{A}{\sqrt{d^{(K)}}}$$

\tag{1.2}

と表し、 A は検証計算により求める。

有義波の諸元を用いて表すと、式(1.1)は次式となる。

$$q_x^{(K)} = \mu^{(K)} \cdot \varepsilon_x(z) \cdot K_x^{(K)} \cdot \frac{1}{8} \frac{(H_{1/3})_b^2}{1.416^2} \frac{(c_{g1/3})_b}{\sqrt{1.416}} \cdot \frac{1}{2} \sin 2\alpha_b$$

\tag{1.3}

(2) 粒径毎の岸沖漂砂量式

岸沖漂砂量式は次式で表される。

$$q_z^{(K)} = \mu^{(K)} \cdot \varepsilon_x(z) \cdot K_z^{(K)} \cdot \frac{1}{8} H_b^2 c_{gb} \cdot \sin \bar{\beta} \left(\frac{\tan \beta_c^{(K)}}{\tan \beta} - 1 \right) \quad (K = 1, 2, \dots, N) \quad (1.4)$$

ここで、

$q_z^{(K)}$: 粒径毎の単位深さあたりの岸沖漂砂量 (m²/s)

$\bar{\beta}$: バーム高 h_R から限界水深 h_c までの初期断面の平均勾配

$\beta_c^{(K)}$: 粒径毎の平衡勾配

また、係数 $K_z^{(K)}$ は

$$K_z^{(K)} = \frac{\gamma \cdot A}{\sqrt{d^{(K)}}} \quad (1.5)$$

と表す。ここで、 γ は沿岸漂砂に対する岸沖漂砂の係数の比率である。

有義波の諸元を用いて表すと、式(1.4)は次式となる。

$$q_z^{(K)} = \mu^{(K)} \cdot \varepsilon_x(z) \cdot K_z^{(K)} \cdot \frac{1}{8} \frac{(H_{1/3})_b^2 (c_{g1/3})_b}{1.416^2 \sqrt{1.416}} \cdot \sin \bar{\beta} \left(\frac{\tan \beta_c^{(K)}}{\tan \beta} - 1 \right) \quad (1.6)$$

(3) 等深線変化量

粒径毎の等深線変化量 $y^{(K)}$ は次式で求められる。

$$\frac{\partial y^{(K)}}{\partial t} = -\frac{\partial q_x^{(K)}}{\partial x} - \frac{\partial q_z^{(K)}}{\partial z} + q_s^{(K)} \quad (K = 1, 2, \dots, N) \quad (1.7)$$

ここで、

q_s : 単位幅かつ単位深さあたりの粒径毎の土砂流入量 (m/s)

したがって、幅 B_s m の範囲に Q_s m³/s の土砂が流入し、沿岸漂砂量の水深方向分布と同じ配分で供給されるとすると

$$q_s^{(K)} = \mu^{(K)} \cdot \varepsilon_x(z) \cdot \frac{Q_s}{B_s} \quad (1.8)$$

となる。ここで、 $\mu^{(K)}$ は流入する土砂の含有率である。

全粒径の等深線変化量 Y は次式となる。

$$\frac{\partial Y}{\partial t} = \sum_{K=1}^N \frac{\partial y^{(K)}}{\partial t} \quad (1.9)$$

(4) 粒径毎の含有率変化

堆積時の粒径毎の含有率変化は次式で計算される。

$$\frac{\partial \mu^{(K)}}{\partial t} = \frac{1}{B} \left\{ \frac{\partial y^{(K)}}{\partial t} - \frac{\partial Y}{\partial t} \mu^{(K)} \right\} \quad (K = 1, 2, \dots, N) \quad (1.10)$$

ここで、

B : 交換層厚 (m)

侵食時の粒径毎の含有率変化は次式で計算される。

$$\frac{\partial \mu^{(K)}}{\partial t} = \frac{1}{B} \left\{ \frac{\partial y^{(K)}}{\partial t} - \frac{\partial Y}{\partial t} \mu_B^{(K)} \right\} \quad (K = 1, 2, \dots, N) \quad (1.11)$$

ここで、

$\mu_B^{(K)}$: 等深線変化前の交換層より岸側位置の含有率

1.3 計算条件

検証計算では、1983年地形を初期条件として計算を行い、1988年、1993年、2004年の地形の再現性を確認する。以下に本検討での計算条件を示す。なお、計算条件には現時点で得られているデータに基づき仮定したものも含まれている。これらの条件については新たな知見や計算結果を踏まえて今後随時更新していくものとする。

(1) 計算対象範囲

計算対象範囲は住吉海岸および土砂供給源であると考えられる小丸川、一ツ瀬川を含む、川南漁港(北端)から宮崎港(南端)までの29,400mとした。

計算地形のメッシュサイズは25mとし、計算する等深線の間隔は1mとした。漂砂移動帯は後述のとおり T.P.+4m~T.P.-12mとした((6) 沿岸漂砂量分布参照)。

(2) 初期条件

1) 初期地形

本モデルは今後20年程度の地形変化予測に用いるため、モデル構築にあたっては同程度期間の再現性を検証する必要がある。対象範囲においては、1983年に石崎川以南での深浅測量および計算対象領域全体にわたって空中写真の撮影が行われているため、これを初期条件とすることとした。再現対象は2004年までとした。これは、2005年に大型台風が来襲しているため、2005年測量成果にはこの台風による短期的な地形変化が含まれており、長期的な地形変化の把握を目的とする本モデル構築の際の再現条件には適さないと判断したためである。

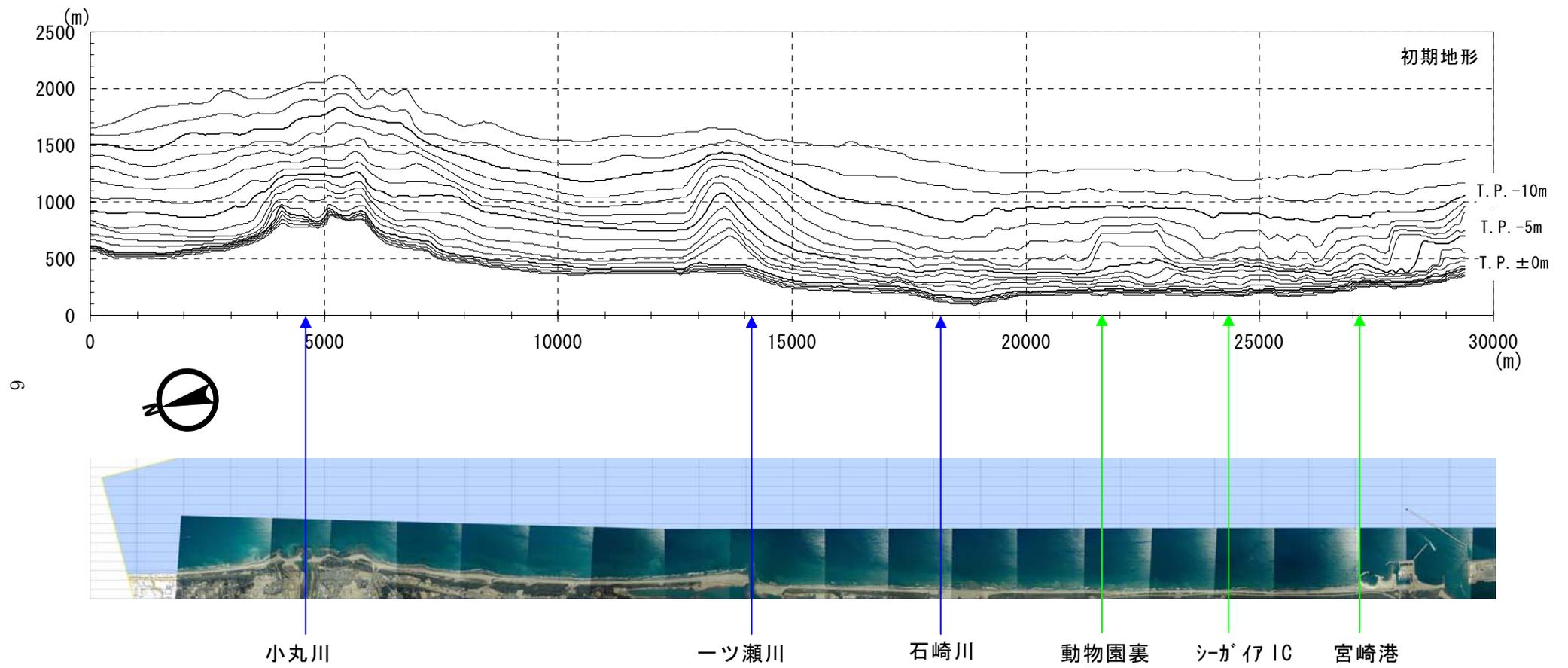
初期地形の作成は、石崎川以南については深浅測量成果に基づいている。測量が行われてない範囲については、汀線は空中写真から読み取っており、水深については既存の測量結果、海図および空中写真を全体的に整合がとれるようにフィッティングさせ、地形を作成した。用いた既存の測量成果を表-1.1に示す。小丸川河口、一ツ瀬川河口は、一ツ瀬川左岸側を除いては1983年と現況で汀線位置が大きく違わないため、その他の等深線についても変化が少ないと判断し、存在する最も古い測量成果を1983年地形に反映させることとした。

表-1.1 初期地形の作成に用いた測量成果

位置	測量時期
一ツ瀬川周辺	2004年11月
小丸川周辺	2005年3月

等深線変化モデルはバー地形等の等深線が入り組む地形条件(同じ等深線が一断面に複数ある場合)には適用できない。そこで、計算には平滑化した地形を用いることにした。

作成した初期の等深線図を図-1.1に示す。



図－ 1.1 初期地形 (1983 年地形)

2) 底質条件

底質条件は、平成17年1月～2月に実施した一ツ瀬川河口での底質調査結果(平成16年度 海岸侵食第1-I号 海岸侵食対策事業 報告書, 平成17年3月, 宮崎県宮崎土木事務所/株式会社 アイ・エヌ・エー)を基に設定した。

底質調査結果を図-1.2に示す。

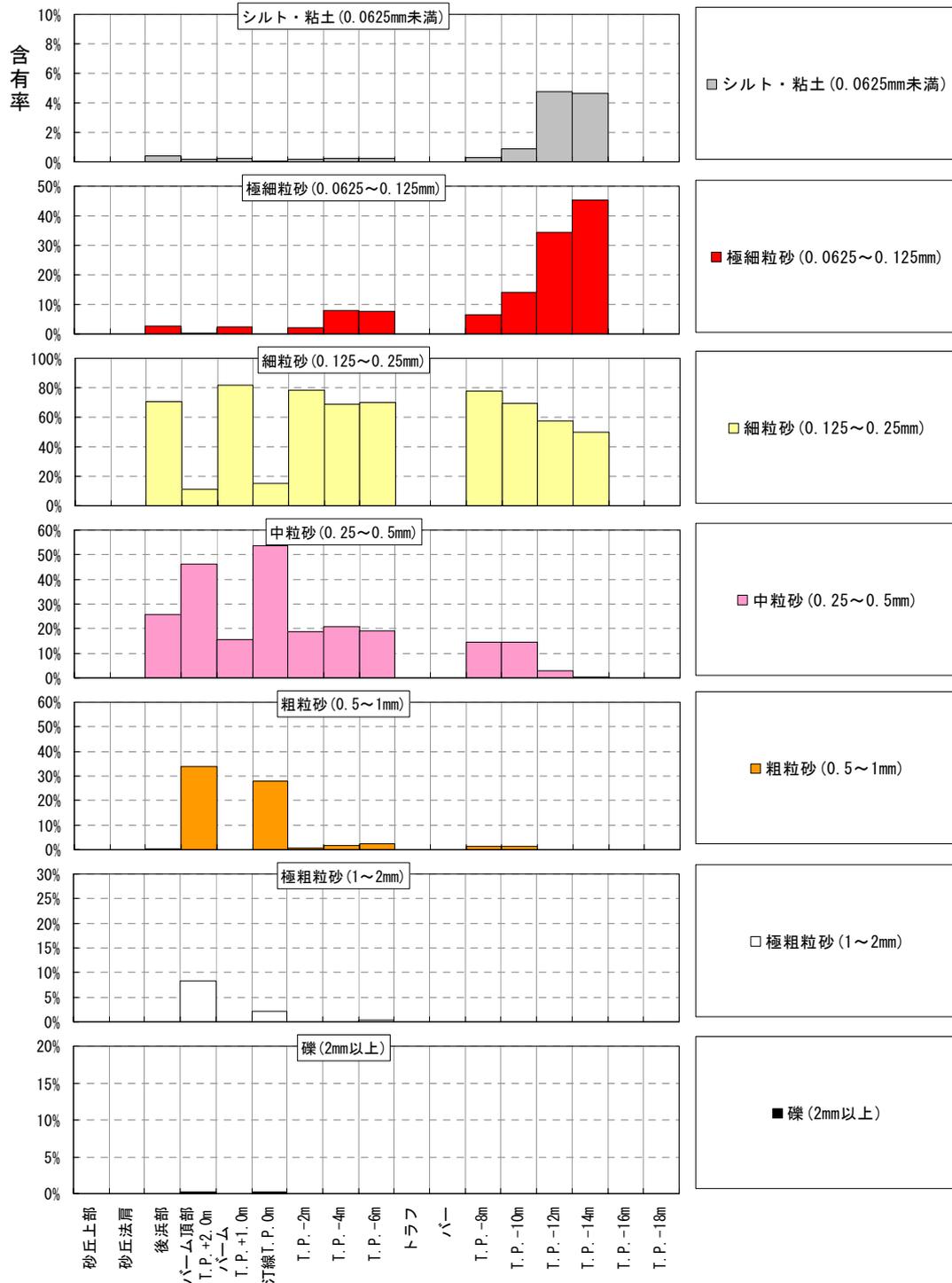


図-1.2 一ツ瀬川河口底質調査結果

シミュレーションに用いる底質は 4 粒径とした。代表 4 粒径とそれぞれの粒径に対する平衡勾配を表 1.2 に整理する。平衡勾配 $\tan \beta$ は野志ら (2005) の検討を参考に、式 (1.12) により算定した。

$$\begin{aligned} \tan \beta &= 0.16d & d \leq 2\text{mm} \\ \tan \beta &= 1.3 & d \geq 2\text{mm} \end{aligned} \quad (1.12)$$

表 1.2 代表 4 粒径と平衡勾配

分類	代表粒径 d (mm)	平衡勾配 $\tan \beta$
極細粒砂	0.09	1/71
細粒砂	0.18	1/35
中粒砂	0.35	1/18
粗粒砂	0.71	1/9

粒度分布は水深毎に一樣とした。なお、河川からの流入土砂の粒径は、全水深の粒度分布の平均値とした。設定した水深毎の粒度分布を図 1.3 に示す。

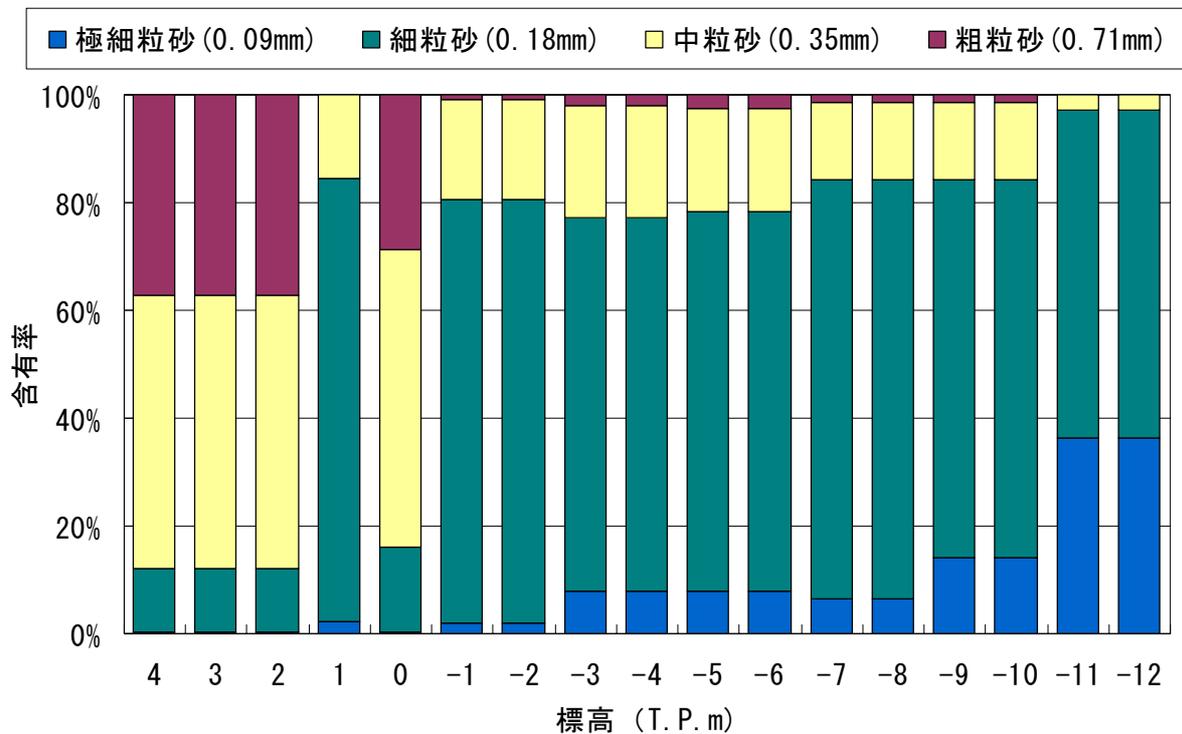
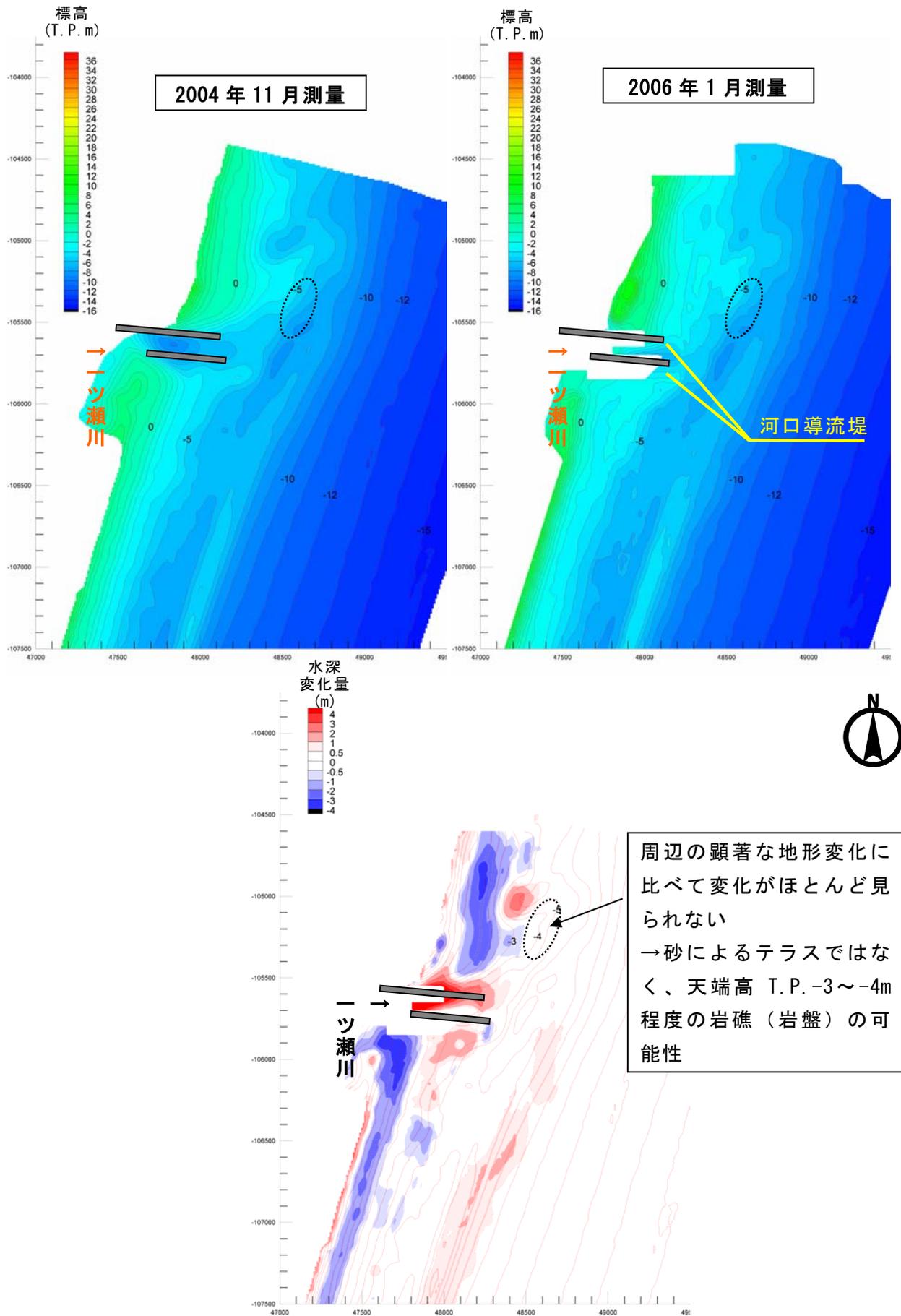


図 1.3 初期粒度分布 (沿岸方向一様)

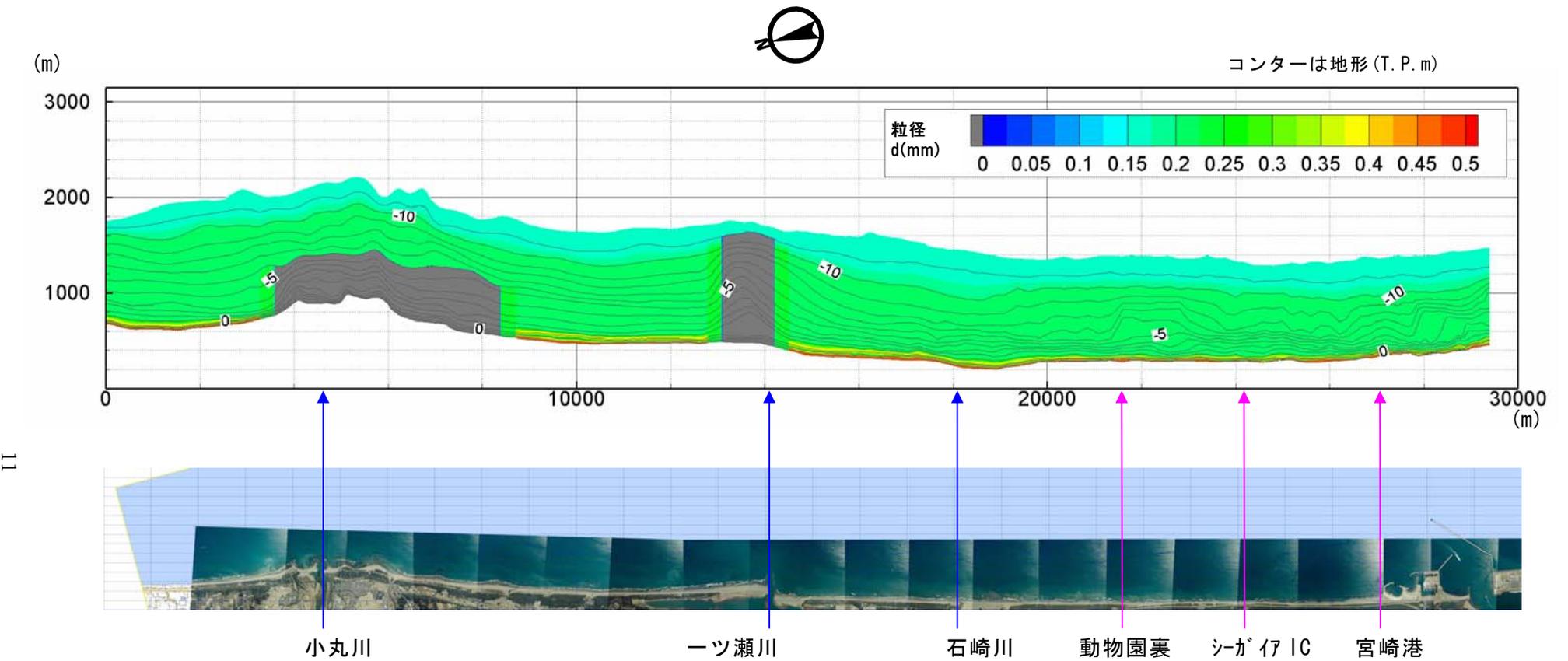
小丸川河口部は粒形の大きいレキで構成されていることが確認されている(写真－ 1.1)。また、一ツ瀬川河口部については、岩礁の有無は確認されていないものの、水深 5m 付近の等深線(河口テラス)がほとんど変動していないことが確認されている(図－ 1.4)。これを表現するため、モデルでは小丸川河口部および一ツ瀬川河口部については漂砂量が 0 に近くなるような粒径を仮定して解析を行った。粒径を仮定した範囲を図－ 1.5 に示す。



写真－ 1.1 小丸川河口付近海底の状況



図一 1.4 一ツ瀬川河口周辺の地形変化（2004年11月-2006年1月の比較）



図ー 1.5 初期粒度分布(グレー(■)は岩礁を仮定した範囲)

(3) 波浪条件

1) 沖波の波浪諸元

沖波の諸元は、【侵食メカニズム解明に向けた調査・検討編】で示したとおり 2006 年から 2008 年に観測された宮崎港防波堤沖波浪データを用いる。

地形変化予測モデルでは 20 年程度と長期的な計算を行うため、まず年間の平均的な波浪エネルギーを算出し、毎年同等の波浪エネルギーが作用することとした。また波浪の種類は、波向 16 方位のエネルギー平均波(波高、周期)を算出し、住吉海岸を代表する波向としては、全データの 1%以上の出現頻度が得られている波向(NE～SE)5 方位を主要波向と設定した。

宮崎港防波堤沖観測地点は防波堤の遮蔽域になっており、また水深も 15m と浅水変形の生じる領域にあるため、観測波浪諸元を沖に戻す必要がある。表－ 1.3 に 16 方位別に算出した観測地点でのエネルギー平均波と沖波のエネルギー平均波の波浪諸元を示す。沖波では波高が約 10%大きくなっている。

また、表－ 1.4 には宮崎港沖 NOWPHAS 観測波浪データのエネルギー平均波を示す。両者のエネルギーフラックス比を比較して図－ 1.6 に示す。宮崎港防波堤沖データは NOWPHAS データに比べて北からの波が卓越していることが分かる。

次に、季節による波浪特性を考慮するため、モデルへの入射波は月毎に設定する。各月の波の影響は、月毎・波向毎の波浪エネルギーと等しくなる頻度で各エネルギー平均波を作用させることにより表現する。各月・波向毎の作用頻度を日数換算した結果を表－ 1.5 および図－ 1.7 に示す。ただし、作用頻度の算出にあたっては、測得率の低い月のデータを除き、測得率 90%以上の月のデータを使用することにした。

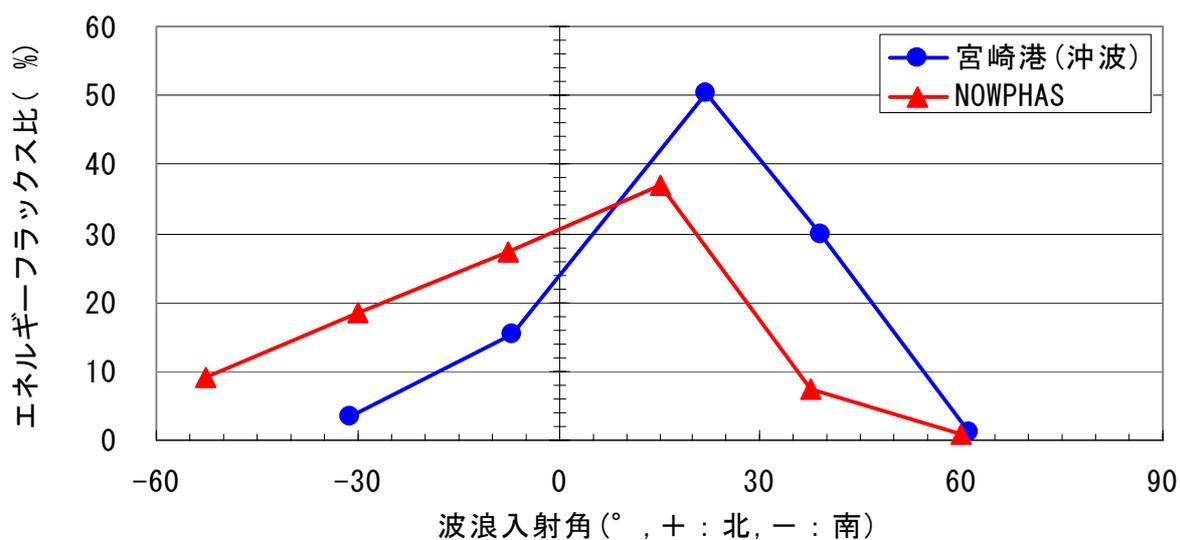
表－ 1.3 エネルギー平均波の諸元(宮崎港観測波浪データ：2006～2008年)

	宮崎港防波堤沖観測地点				沖波		
	出現回数	波高(m)	周期(s)	波向(°)	波高(m)	周期(s)	波向(°)
NE	371	1.29	5.6	55.0	1.42	5.6	61.0
ENE	6277	1.41	7.4	31.7	1.56	7.4	39.0
E	14204	1.22	7.9	17.7	1.31	7.9	22.0
ESE	4397	1.24	7.6	-6.4	1.32	7.6	-7.0
SE	670	1.41	8.0	-24.0	1.56	8.0	-31.0

表－ 1.4 エネルギー平均波の諸元(NOWPHAS 波浪データ：1992～2002年)

	NOWPHAS 観測地点			
	出現回数	波高(m)	周期(s)	波向(°)
NE	274	1.63	608	60.0
ENE	2407	1.60	7.6	37.5
E	14107	1.44	7.6	15.0
ESE	11525	1.43	7.2	-7.5
SE	4848	1.77	7.5	-30.0
SSE	1754	2.00	8.0	-52.5

*波向きは地形に垂直を0°とし、北を+、南を-としている。



図－ 1.6 エネルギーフラックス比の比較

表－ 1.5 波向毎月毎のエネルギー平均波の作用日数(測得率 90%以上の月を対象)

NE	出現率 P ₁	波高 H _m (m)	周期 T _m (s)	エネルギー 頻度P ₂	作用日 数(日)
1月	2.79	1.05	6.1	2.71	1
2月	4.91	1.19	5.4	4.23	1
3月	2.06	1.16	5.4	1.28	1
4月	1.48	1.37	5.4	1.64	0
5月	0.45	1.04	5.0	0.17	0
6月	0.46	1.24	5.2	0.33	0
7月	0.36	0.86	5.5	0.12	0
8月	0.22	1.22	5.7	0.16	0
9月	0.84	1.68	5.8	0.70	0
10月	0.99	1.61	5.6	0.80	0
11月	2.37	1.62	5.8	2.56	1
12月	0.47	1.05	5.0	0.22	0
通年	1.45	1.29	5.6		4

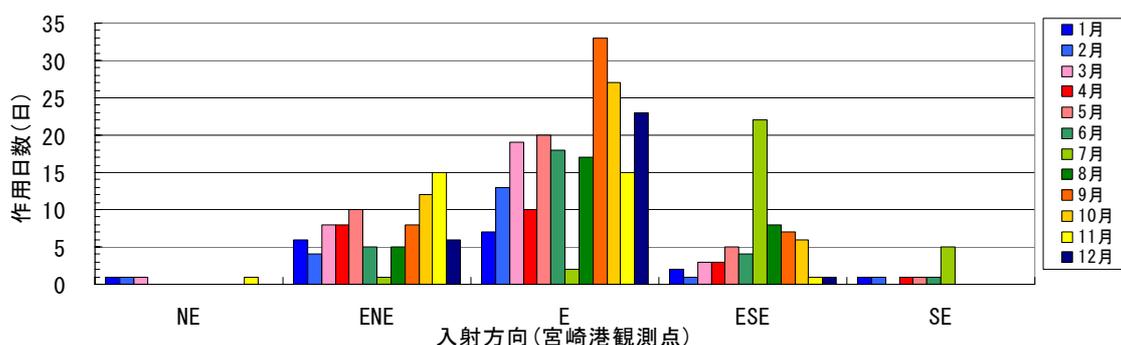
ESE	出現率 P ₁	波高 H _m (m)	周期 T _m (s)	エネルギー 頻度P ₂	作用日 数(日)
1月	13.08	0.82	7.6	9.80	2
2月	13.71	0.72	6.8	5.52	1
3月	13.64	1.03	6.9	8.46	3
4月	11.57	1.22	6.9	12.91	3
5月	22.10	1.06	7.1	12.19	5
6月	27.84	0.92	6.8	14.07	4
7月	37.88	1.61	8.3	68.50	22
8月	34.56	1.09	7.8	26.68	8
9月	14.25	1.51	8.3	13.82	7
10月	6.46	1.87	9.5	11.79	6
11月	2.88	0.95	8.3	1.54	1
12月	3.57	1.03	6.8	2.22	1
通年	17.24	1.24	7.6		63

ENE	出現率 P ₁	波高 H _m (m)	周期 T _m (s)	エネルギー 頻度P ₂	作用日 数(日)
1月	26.16	1.22	6.7	37.64	6
2月	27.67	1.10	6.6	25.28	4
3月	19.30	1.59	7.3	30.10	8
4月	28.80	1.30	7.6	40.24	8
5月	19.77	1.75	7.9	32.85	10
6月	15.41	1.42	7.2	19.76	5
7月	18.38	0.64	7.8	4.89	1
8月	11.00	1.79	6.5	19.11	5
9月	23.85	1.44	7.6	19.11	8
10月	39.01	1.39	7.7	31.81	12
11月	35.11	1.67	7.7	53.92	15
12月	21.47	1.40	6.4	23.18	6
通年	23.84	1.41	7.4		88

SE	出現率 P ₁	波高 H _m (m)	周期 T _m (s)	エネルギー 頻度P ₂	作用日 数(日)
1月	3.28	1.74	7.4	10.63	1
2月	2.75	1.31	7.2	3.87	1
3月	1.03	1.13	7.0	0.78	0
4月	2.96	1.52	6.5	4.81	1
5月	1.88	1.54	7.2	2.21	1
6月	6.59	0.80	7.0	2.60	1
7月	11.61	1.51	9.5	21.11	5
8月	0.31	1.13	9.7	0.32	0
9月	0.19	2.20	8.2	0.38	0
10月	0.00	-	-	0.00	-
11月	0.00	-	-	0.00	-
12月	0.00	-	-	0.00	-
通年	2.63	1.41	8.0		10

E	出現率 P ₁	波高 H _m (m)	周期 T _m (s)	エネルギー 頻度P ₂	作用日 数(日)
1月	54.20	0.82	7.2	38.29	7
2月	50.96	1.19	7.5	61.10	13
3月	63.96	1.17	8.0	59.39	19
4月	55.19	0.92	7.9	40.40	10
5月	55.80	1.31	7.9	52.59	20
6月	49.70	1.40	7.3	63.24	18
7月	31.78	0.52	7.4	5.38	2
8月	53.90	1.23	7.9	53.73	17
9月	60.88	1.58	8.5	65.72	33
10月	53.54	1.49	8.4	55.60	27
11月	59.65	1.09	8.2	41.98	15
12月	74.50	1.24	7.5	74.38	23
通年	54.80	1.22	7.9		204

SSE	出現率 P ₁	波高 H _m (m)	周期 T _m (s)	エネルギー 頻度P ₂	作用日 数(日)
1月	0.49	1.21	7.8	0.81	0
2月	0.00	-	-	0.00	-
3月	0.00	-	-	0.00	-
4月	0.00	-	-	0.00	-
5月	0.00	-	-	0.00	-
6月	0.00	-	-	0.00	-
7月	0.00	-	-	0.00	-
8月	0.00	-	-	0.00	-
9月	0.00	-	-	0.00	-
10月	0.00	-	-	0.00	-
11月	0.00	-	-	0.00	-
12月	0.00	-	-	0.00	-
通年	0.04	1.21	7.8		0

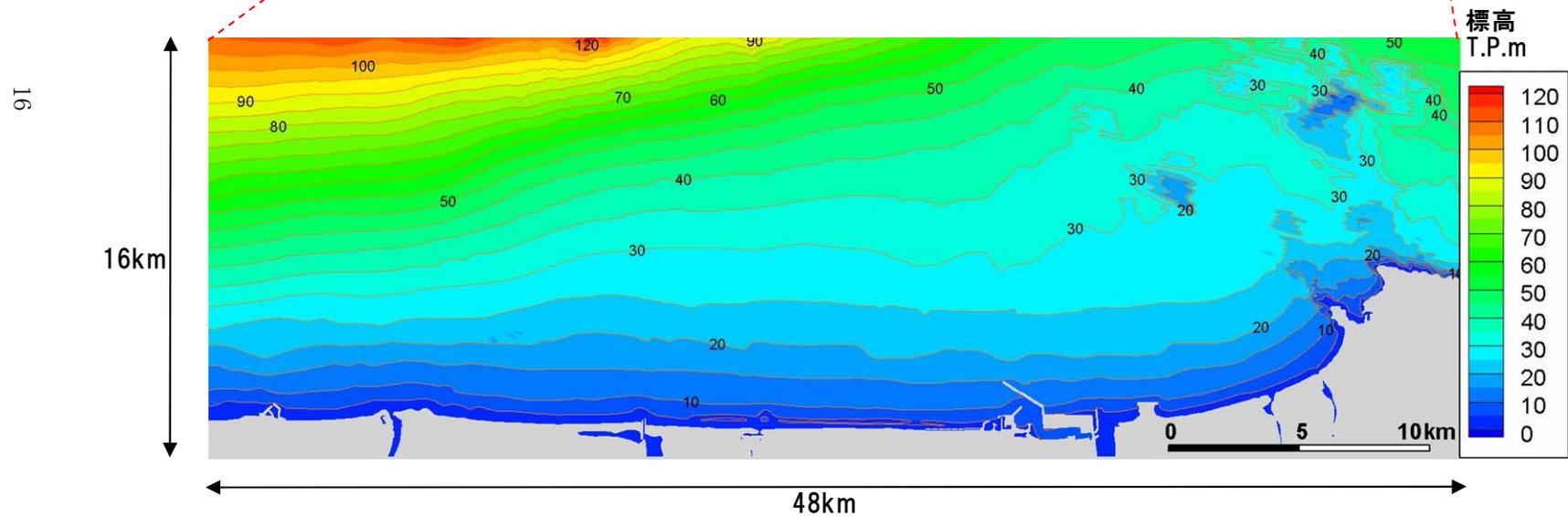
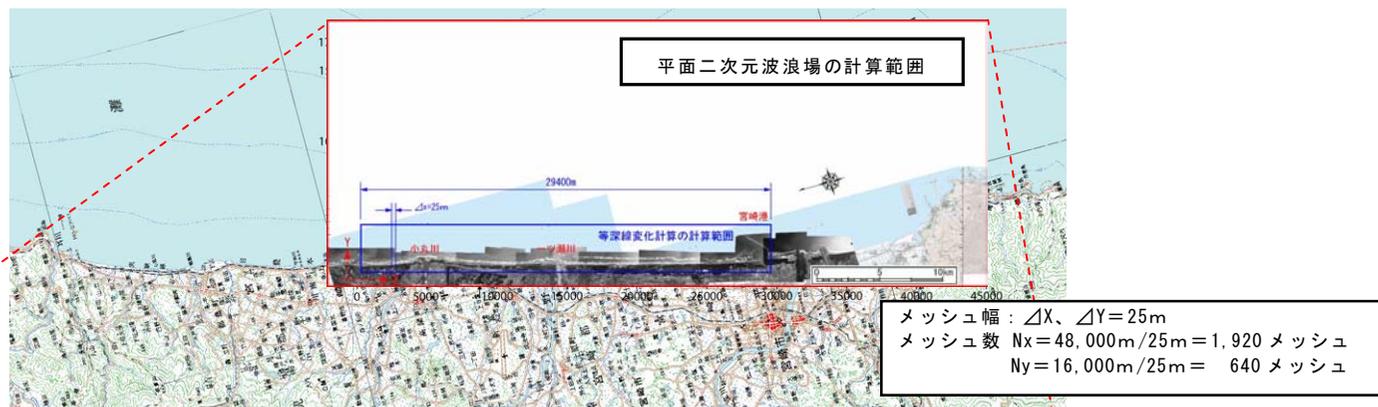


図－ 1.7 波向別の月毎のエネルギー平均波の作用日数の設定

2) 平面二次元波浪場計算の計算範囲および地形条件

等深線変化モデルには、T.P. -8.0m(砕波点沖側)の波浪条件を入力して計算を行うものとした。そのため、沖から T.P. -8.0m の地点までの波の変形はエネルギー平衡方程式により評価した。

平面二次元波浪場の計算領域は、宮崎港防波堤沖波浪観測所および等深線変化モデルの対象範囲を含む沿岸方向 48km×岸沖方向 16km とした。地形データは宮崎 [平成 10 年度(1998 年度測量)]、美々津[平成 8 年度(1996 年度測量)]の海図(海底地盤等深線[5 万分の 1])を参考に作成した。標高の基準高さは、T.P.±0m に統一し、海図の D.L. 基準の水深を T.P. ±0m 基準の値に換算した値を用いた。等高線が海図から得られない部分は、周囲の等深線がほぼ平行に分布していることより、同様に地形が形成されているものと見なし、補間して地形データを作成した。平面二次元波浪場の計算領域および地形条件を図- 1.8 に示す。

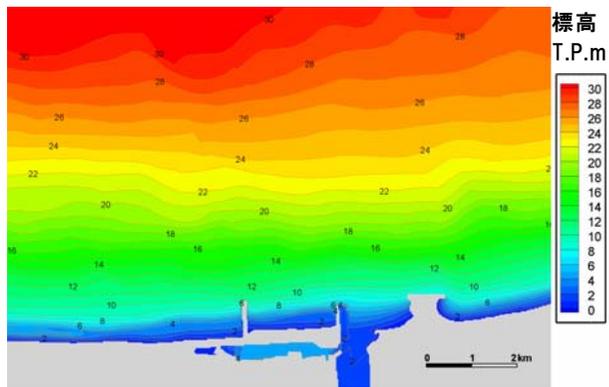


図一 1.8 計算領域および地形条件

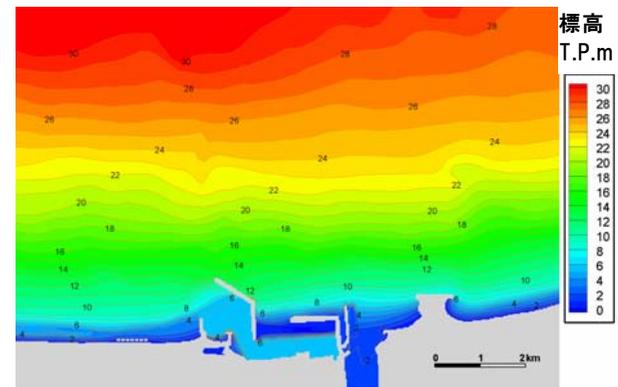
3) 平面二次元波浪場計算の構造物条件

構造物については、宮崎港防波堤の延伸など各年代の建設過程を考慮して計算を行った。平面二次元波浪場は1983年、1988年、1993年、1998年、2003年の5時期を対象に算定するものとする。それぞれの時期の構造物条件を図-1.9に示す。

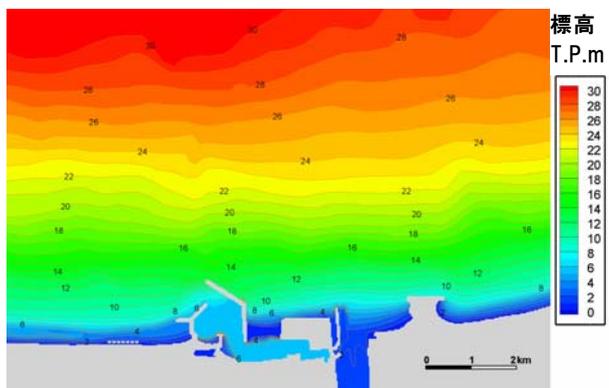
なお、等深線変化モデルには、平面二次元波浪場計算で得た T.P. -8.0m 地点の波高および波向を入力する（それ以浅にある構造物による波の変形は等深線変化モデル内の計算において考慮する）。



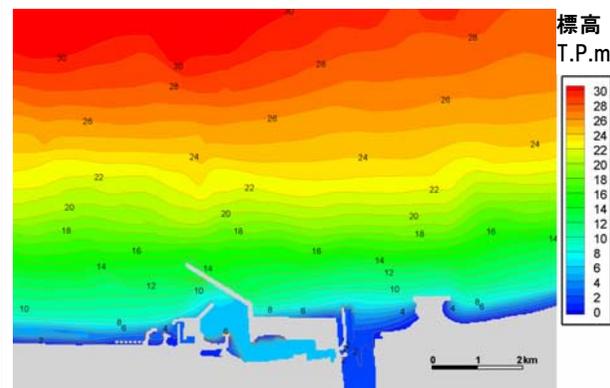
(a) 1983 年港湾形状



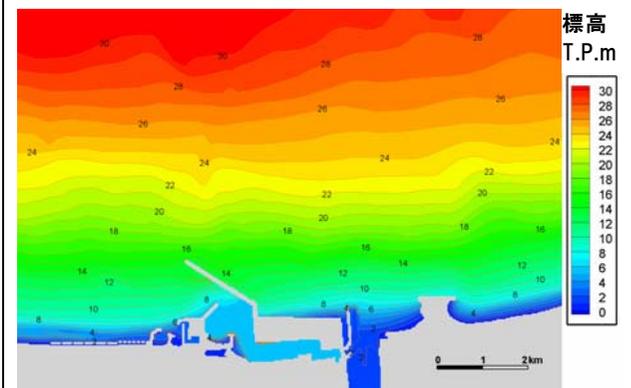
(b) 1988 年港湾形状



(c) 1993 年港湾形状



(d) 1998 年港湾形状



(e) 2003 年港湾形状

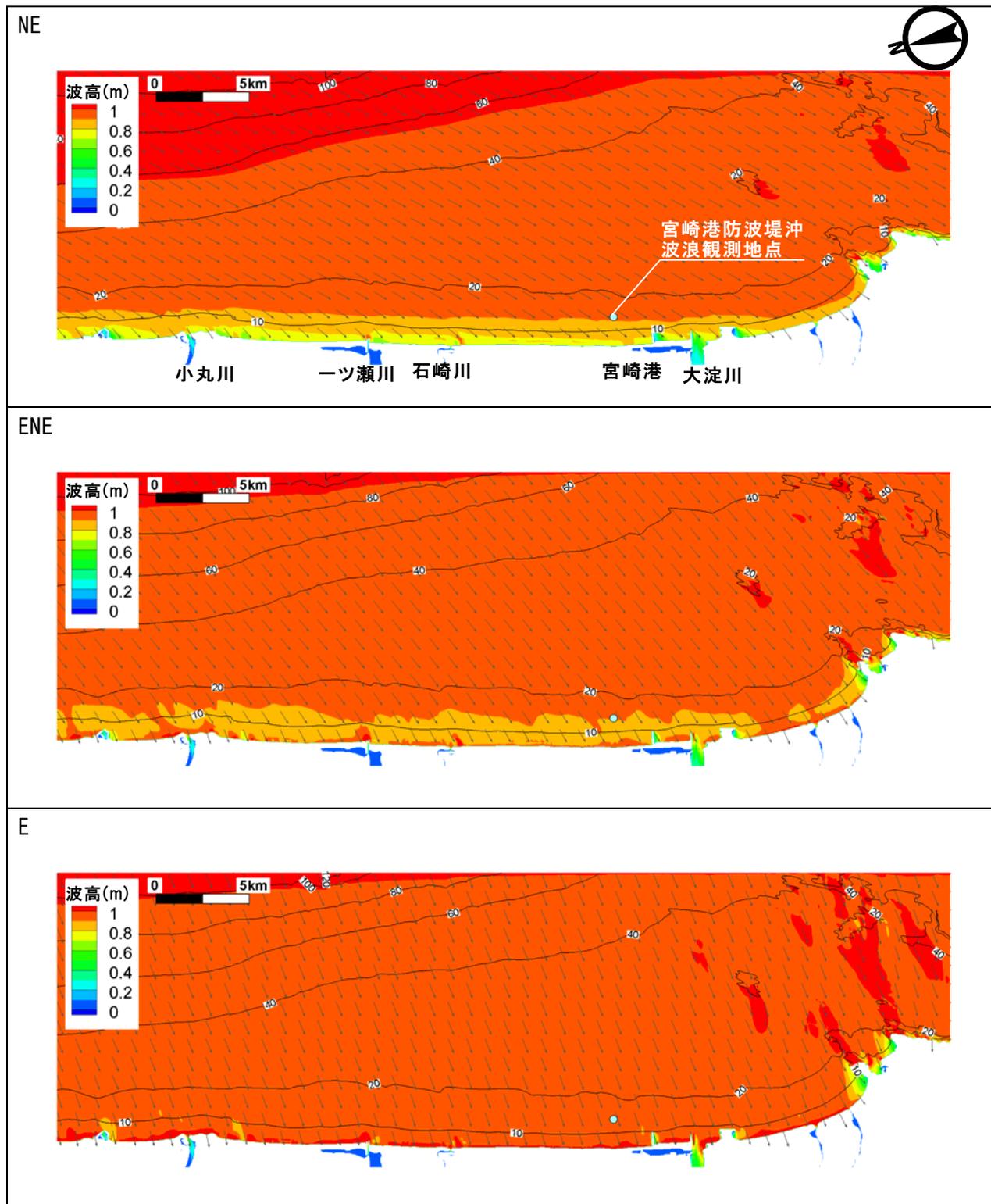
图一 1.9 构造物条件

4) 平面二次元波浪場計算の計算結果

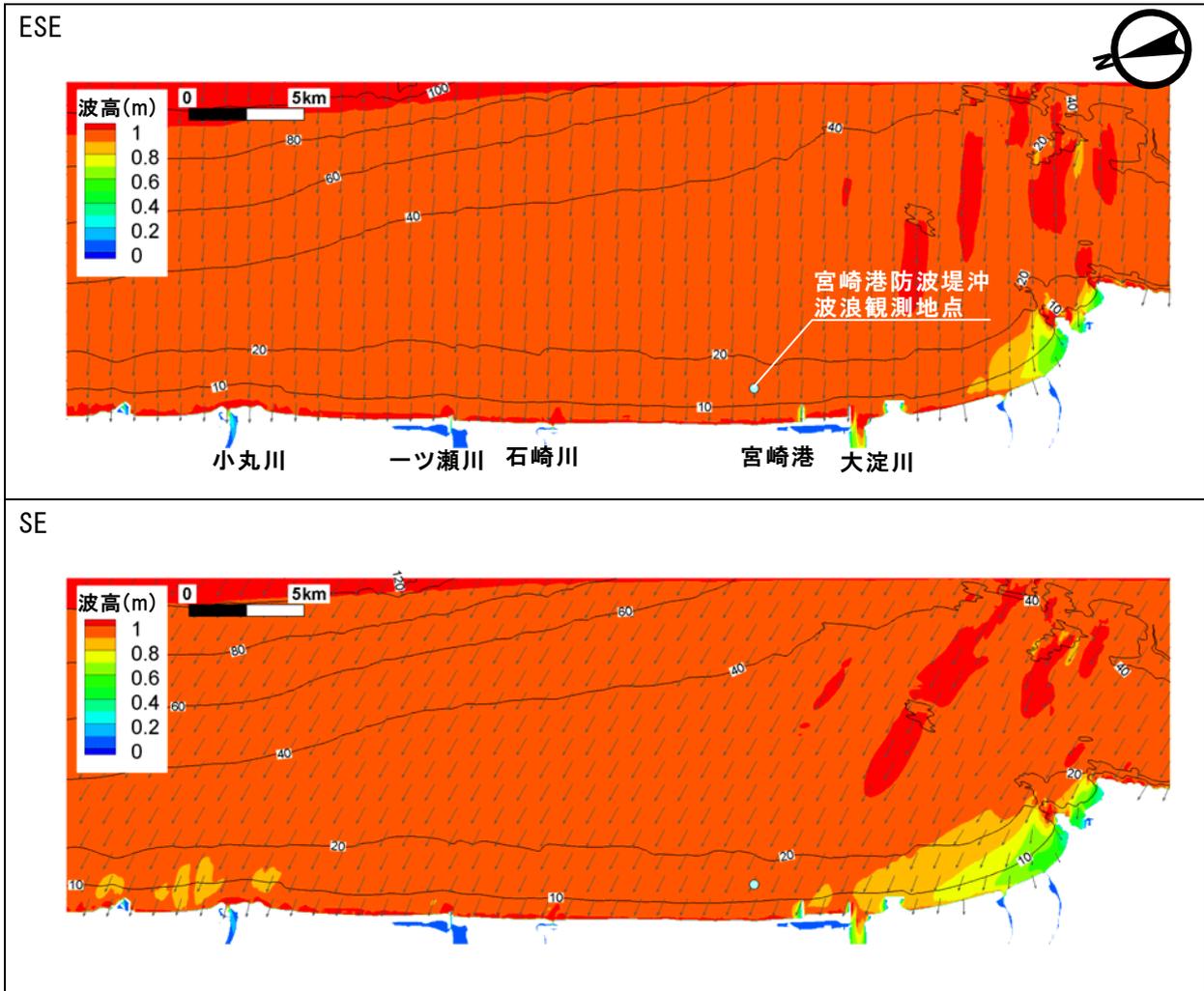
以上の条件より、1983～2004年の5時期に対して、NE～SEの5方位の沖波を入射させてそれぞれの二次元平面波浪場を算定した。

平面波浪場計算の結果を以下に示す。図－ 1.10は1983年、1988年、1993年、1998年と2003年の合計5時期の計算領域全体の波高分布を示したものである。宮崎港付近を除いては、2つの波高分布に大きな差は認められない。

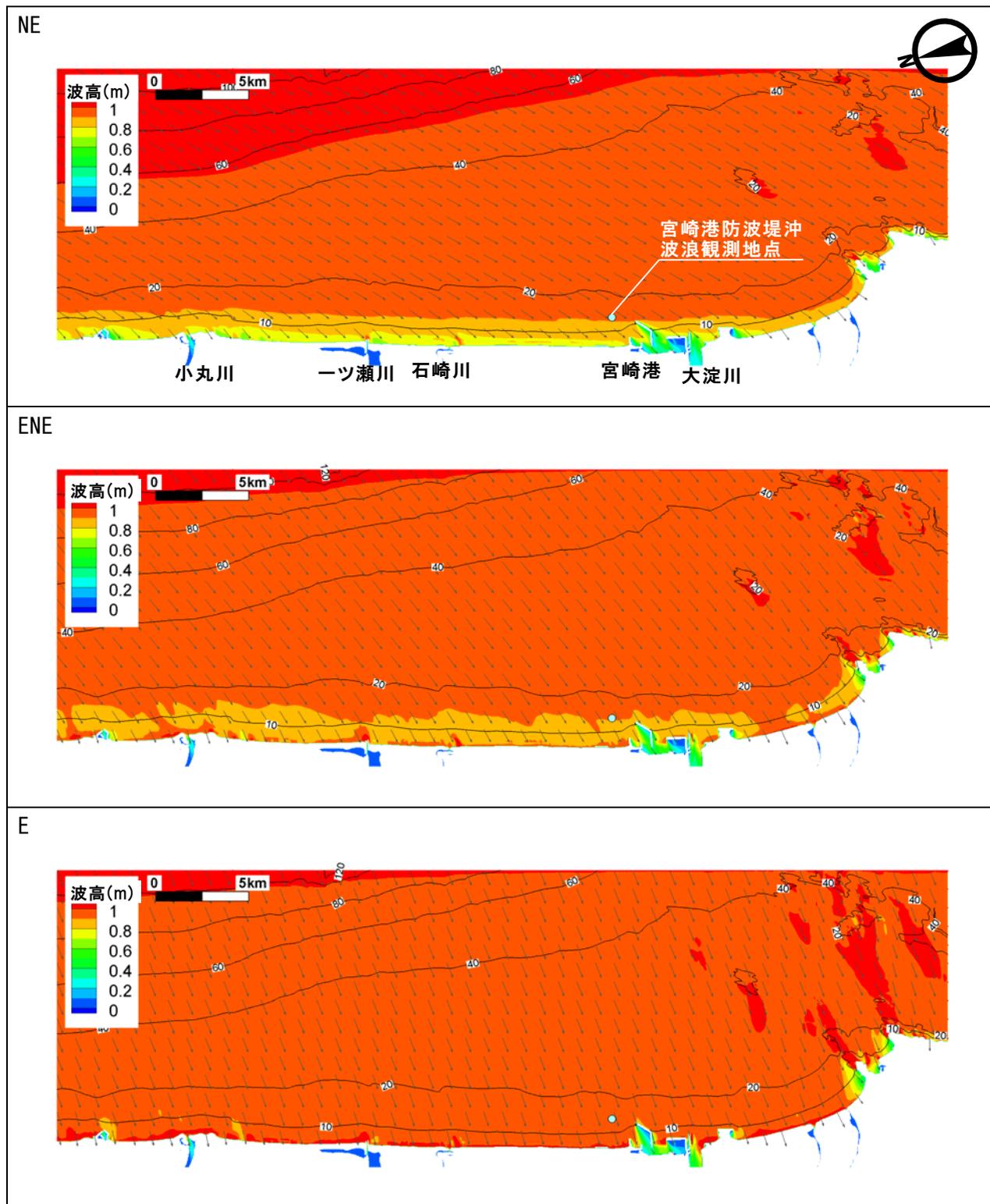
図－ 1.11は平面二次元波浪場の計算結果からT.P. -8.0mの波高および波向を抽出した図である。等深線変化モデルでは、この波高と波向を入力して計算を行う。



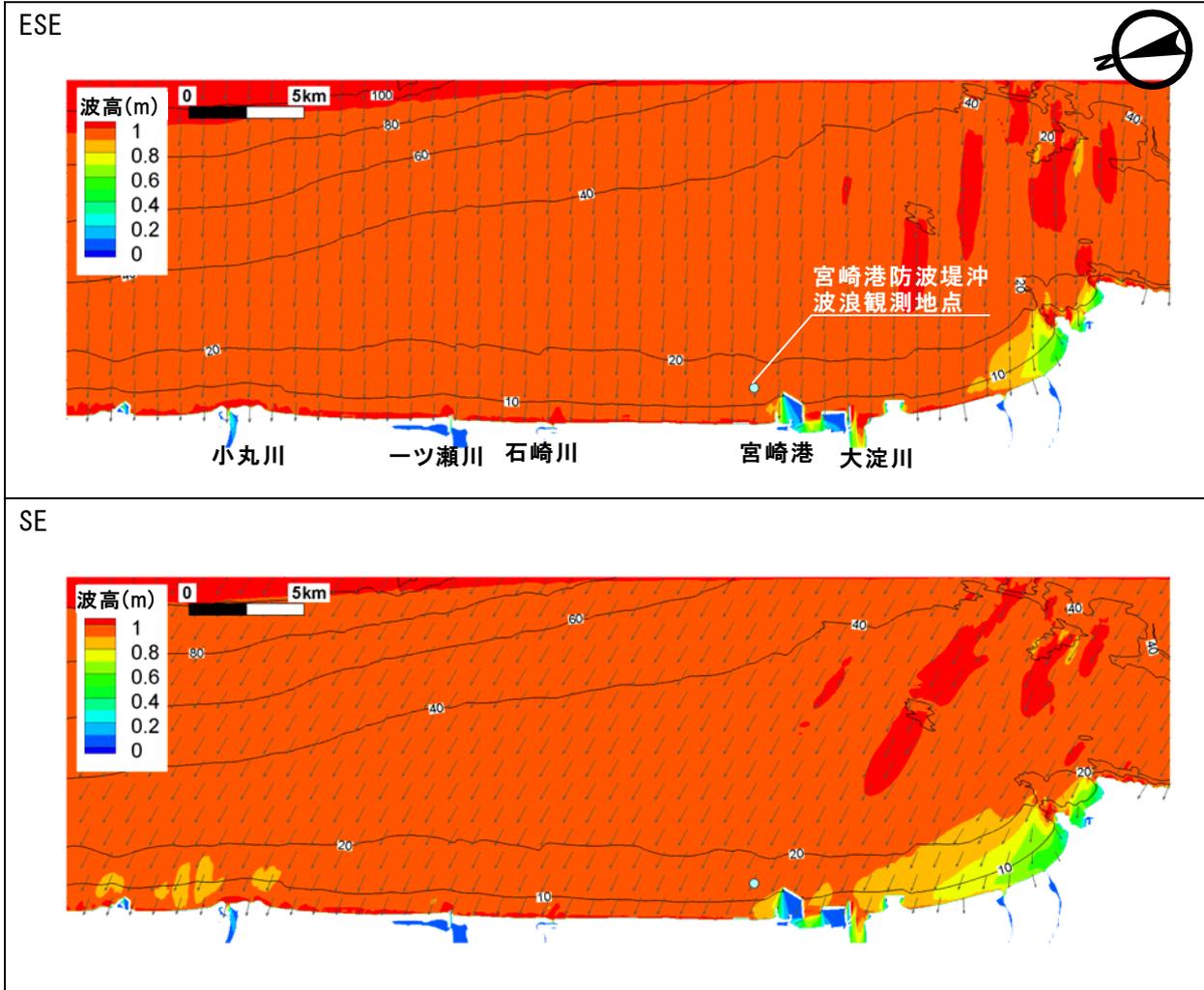
図一 1.10(1) 波浪場計算結果(1983年)(1) 波向: NE, ENE, E
 沖波波高を1mとしたときの波高分布



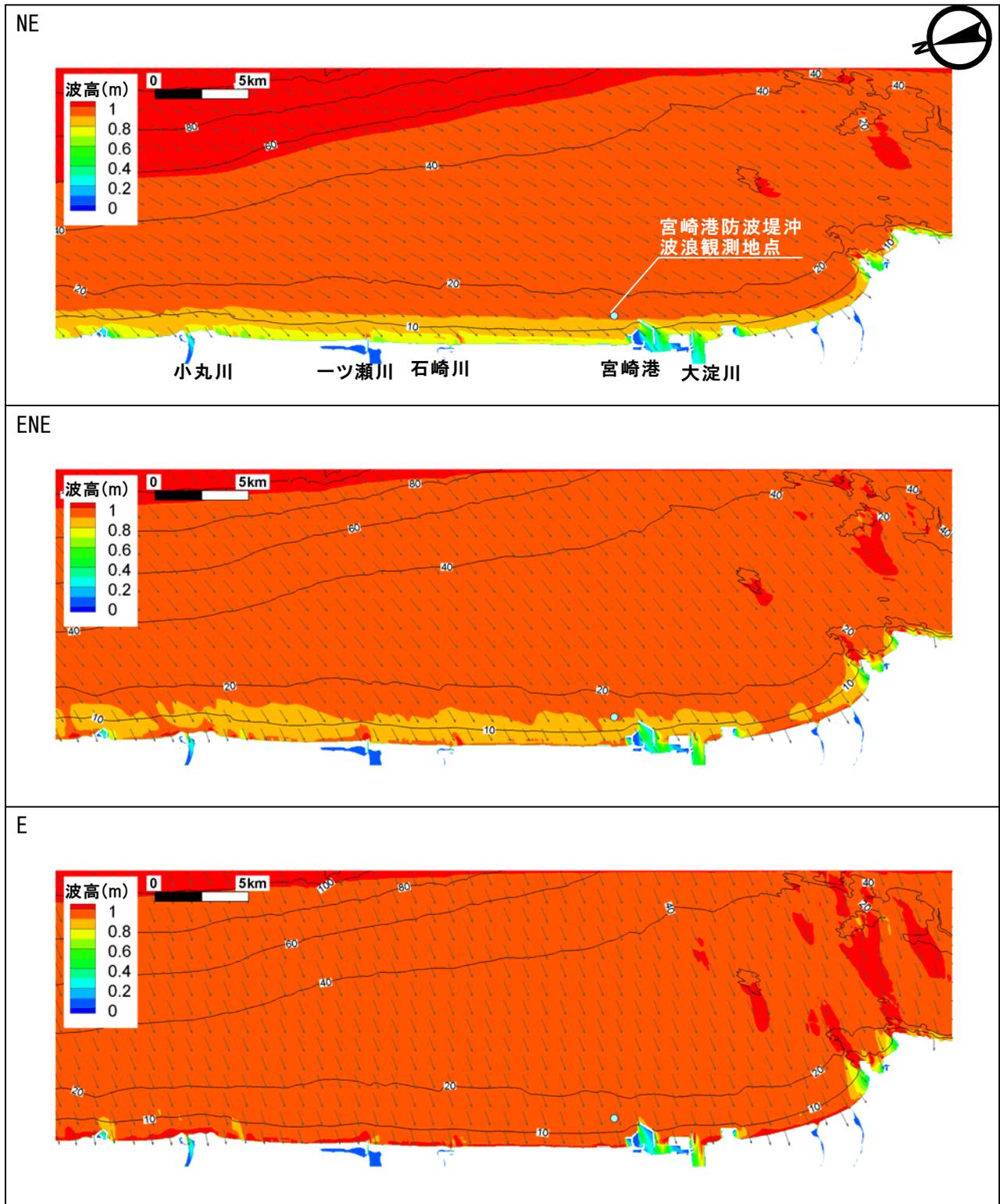
図一 1.10(2) 波浪場計算結果(1983年)(2) 波向：ESE, SE
 沖波波高を1mとしたときの波高分布



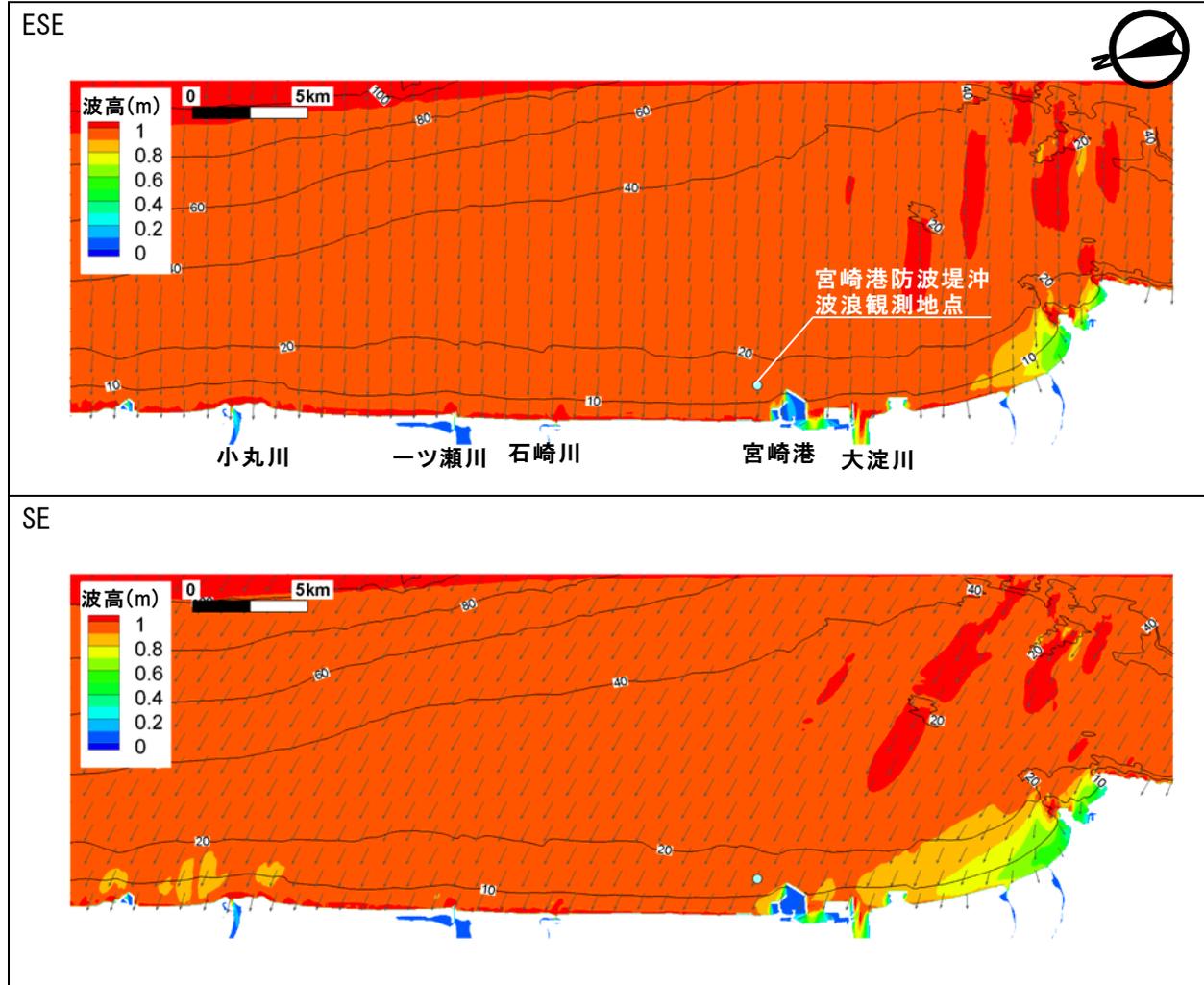
図一 1.10(3) 波浪場計算結果(1988年)(1) 波向：NE, ENE, E
沖波波高を1mとしたときの波高分布



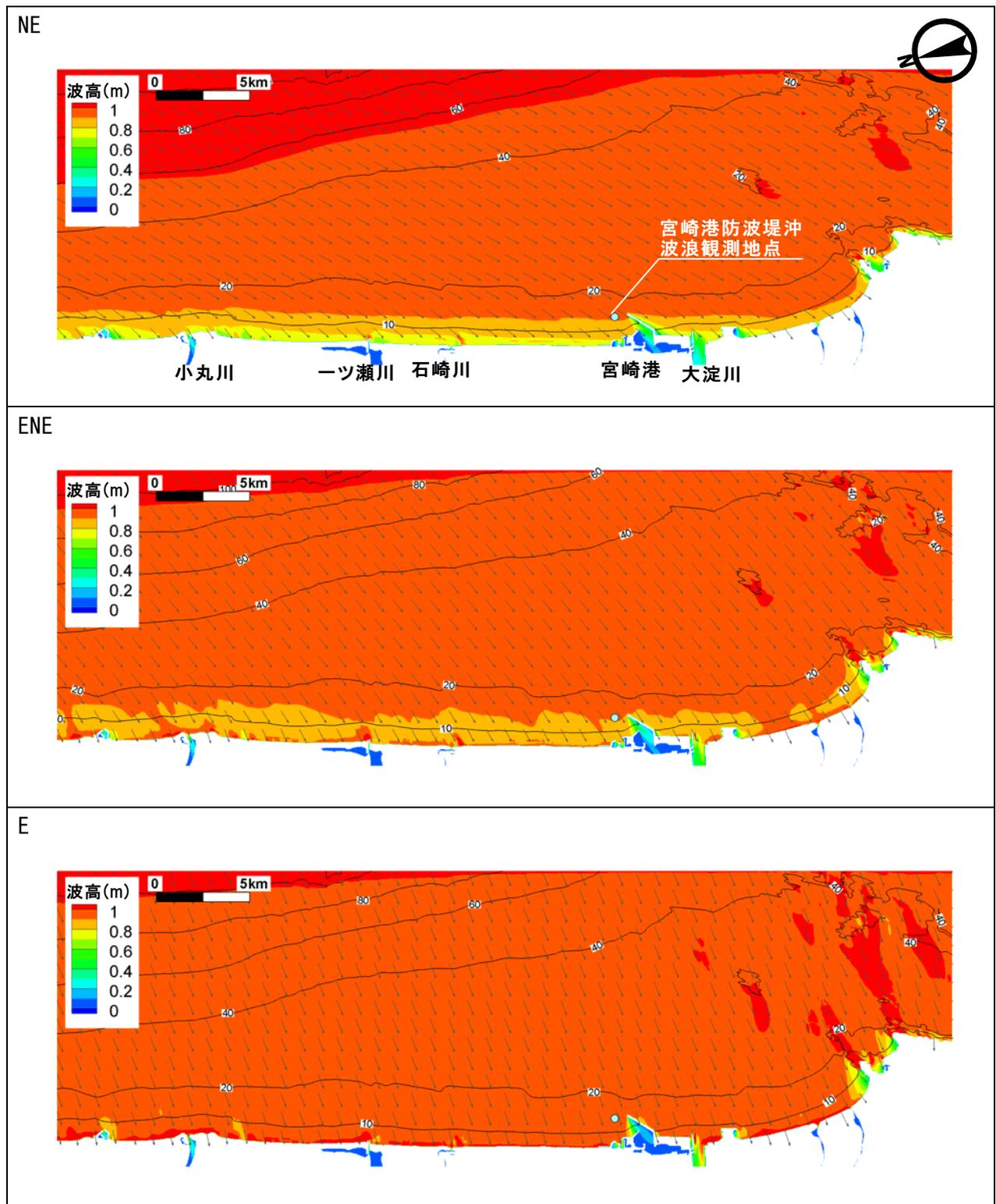
図一 1.10(4) 波浪場計算結果(1988年)(2) 波向：ESE, SE
沖波波高を1mとしたときの波高分布



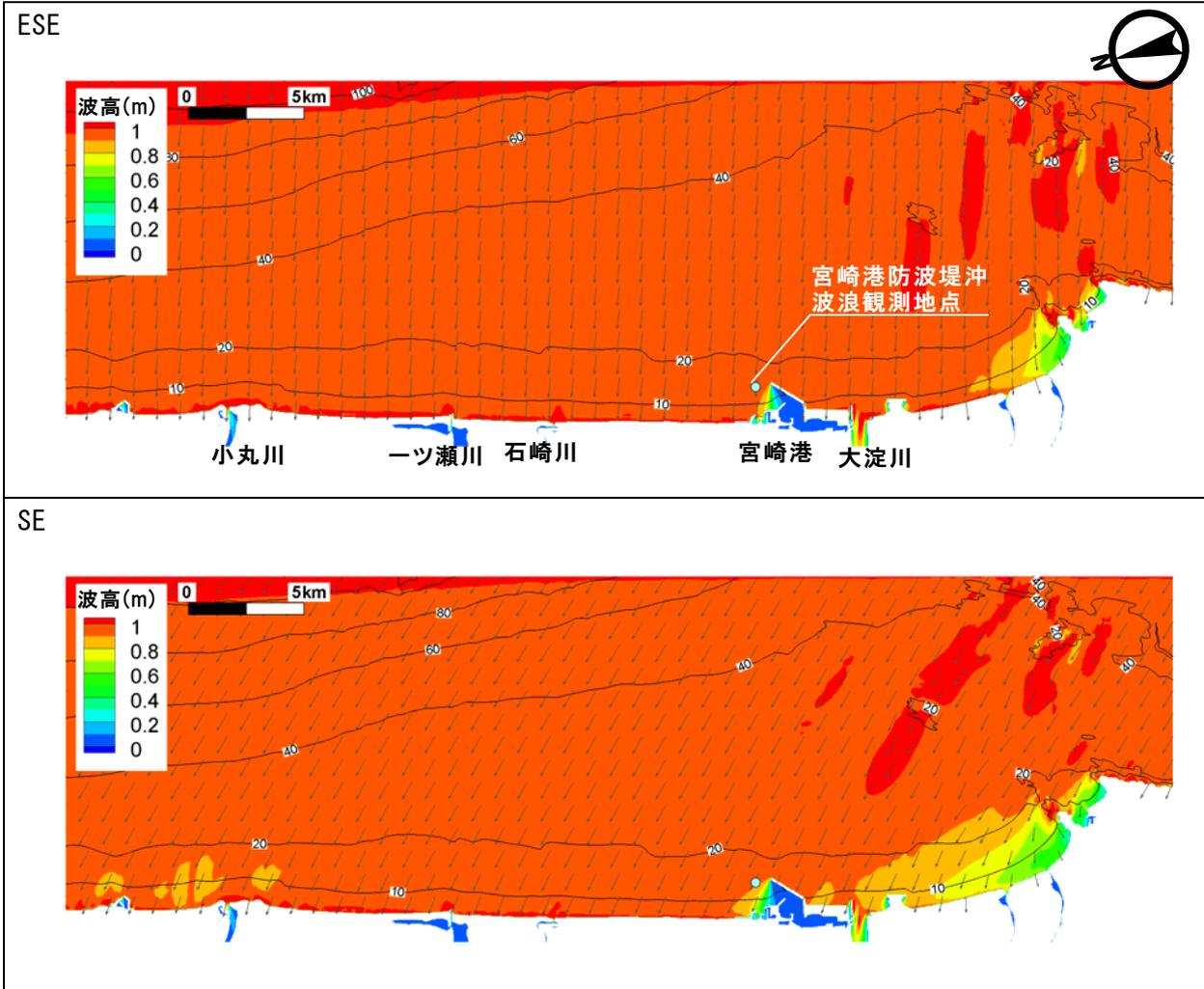
図一 1.10(5) 波浪場計算結果(1993年)(1) 波向: ENE, NE, E
沖波波高を1mとしたときの波高分布



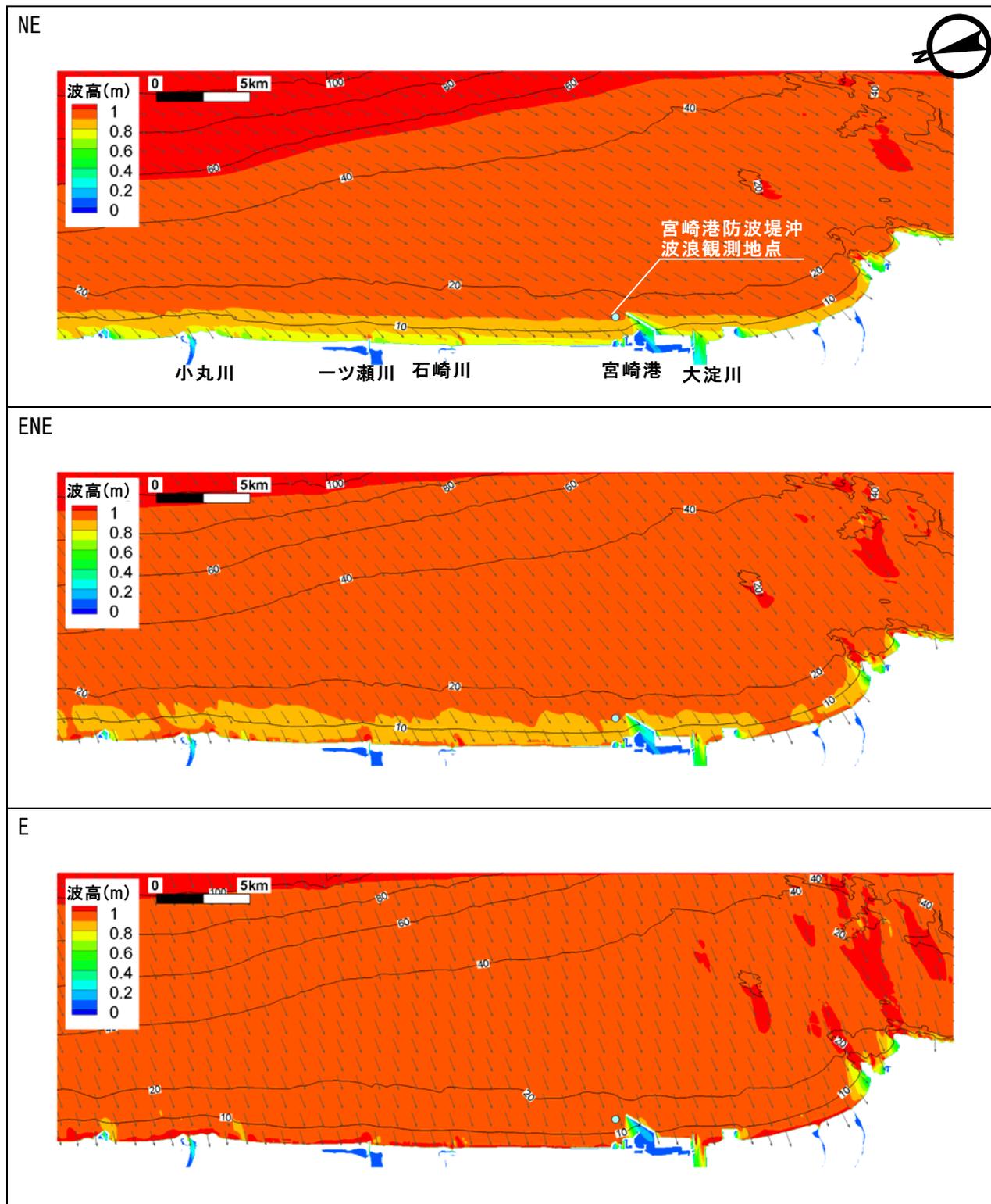
図一 1.10(6) 波浪場計算結果(1993年)(2) 波向：ESE, SE
 沖波波高を1mとしたときの波高分布



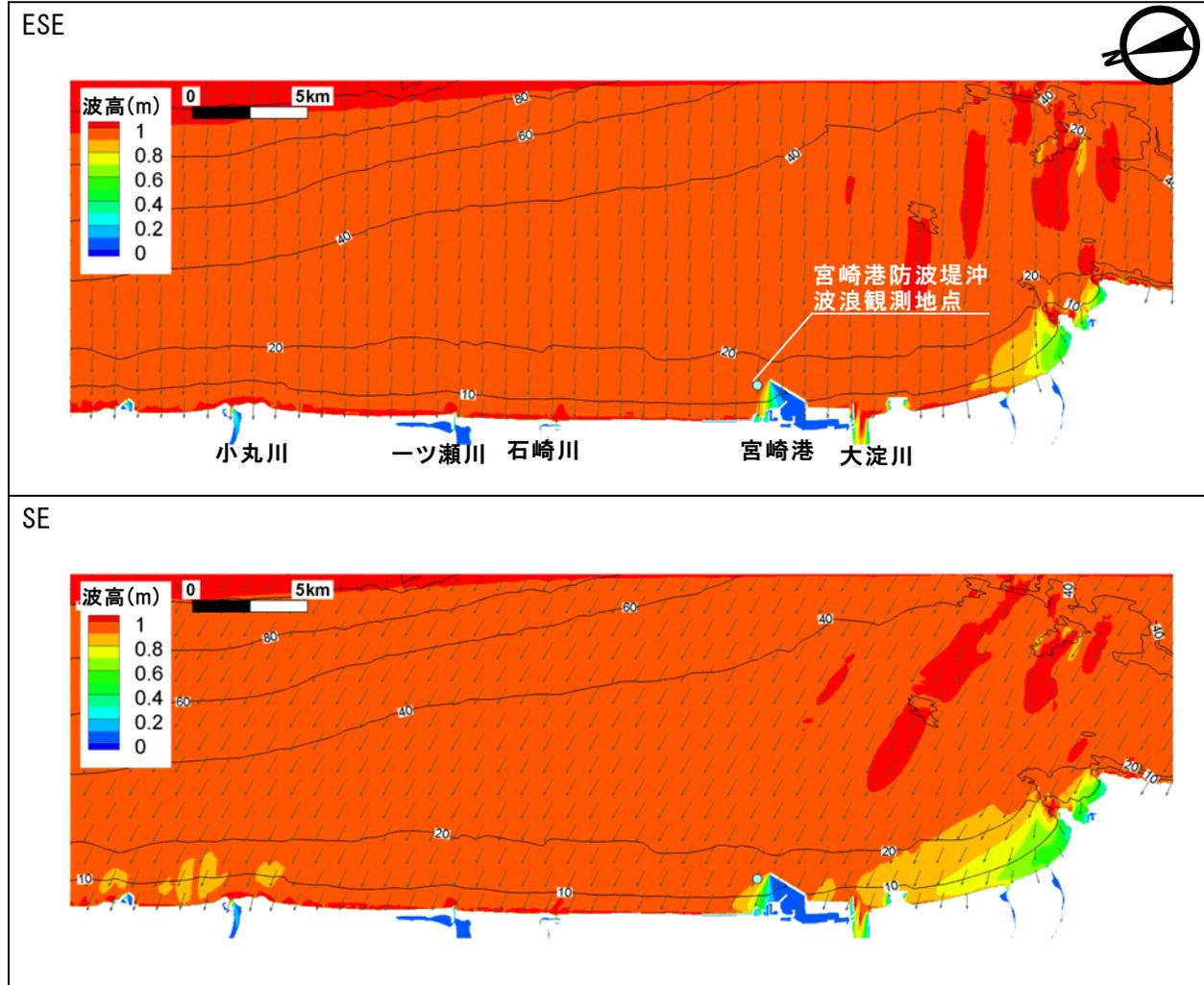
図一 1.10(7) 波浪場計算結果(1998年)(1) 波向：NE, ENE, E
 沖波波高を1mとしたときの波高分布



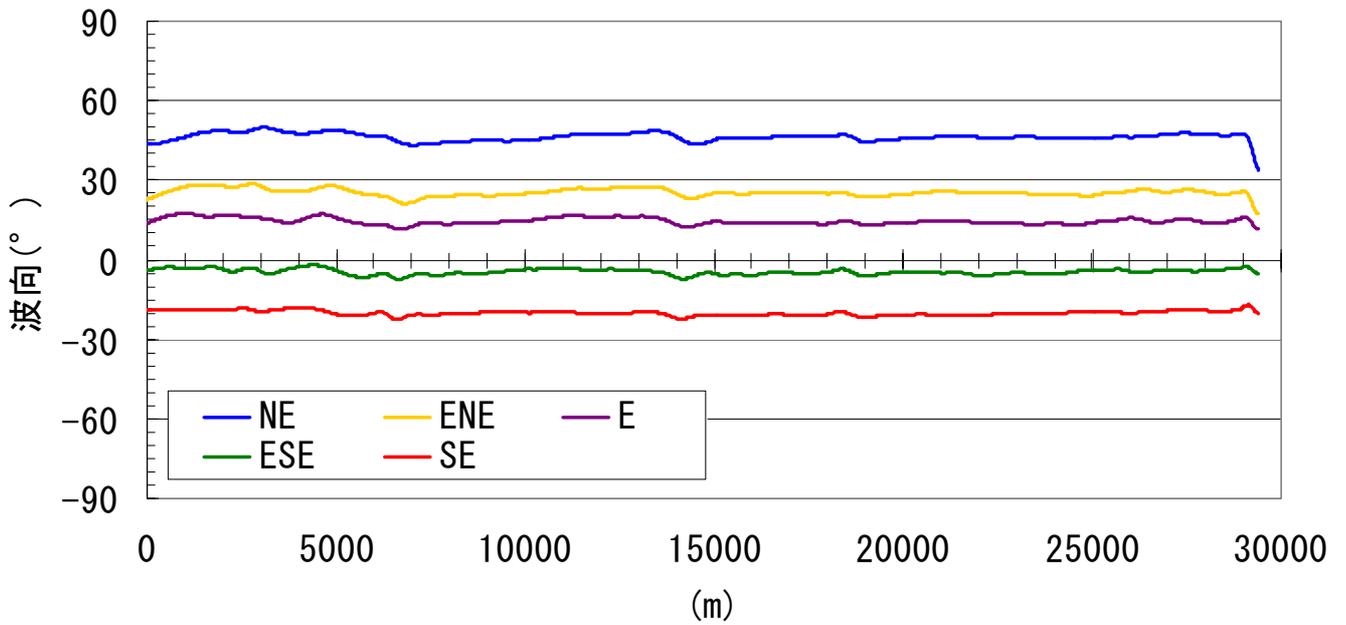
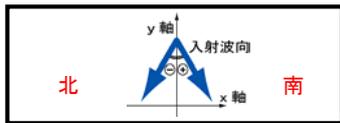
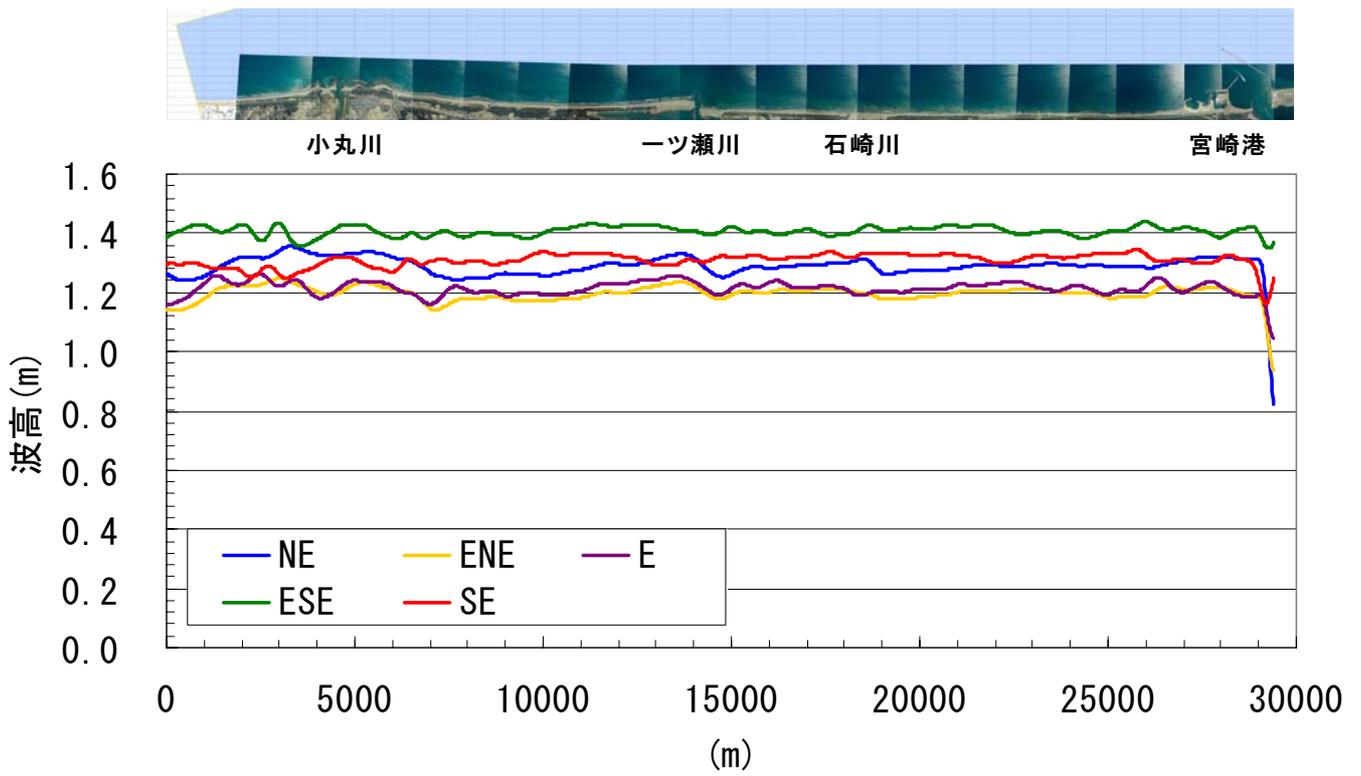
図一 1.10(8) 波浪場計算結果(1998年)(2) 波向：ESE, SE
 沖波波高を1mとしたときの波高分布



図一 1.10(9) 波浪場計算結果(2003年)(1) 波向: NE, ENE, E
沖波波高を1mとしたときの波高分布



図一 1.10(10) 波浪場計算結果(2003年)(2) 波向: ESE, SE
 沖波波高を1mとしたときの波高分布



図一 1.11(1) 沖波向別 T.P.-8.0m 地点の波高と波向(1983 年)

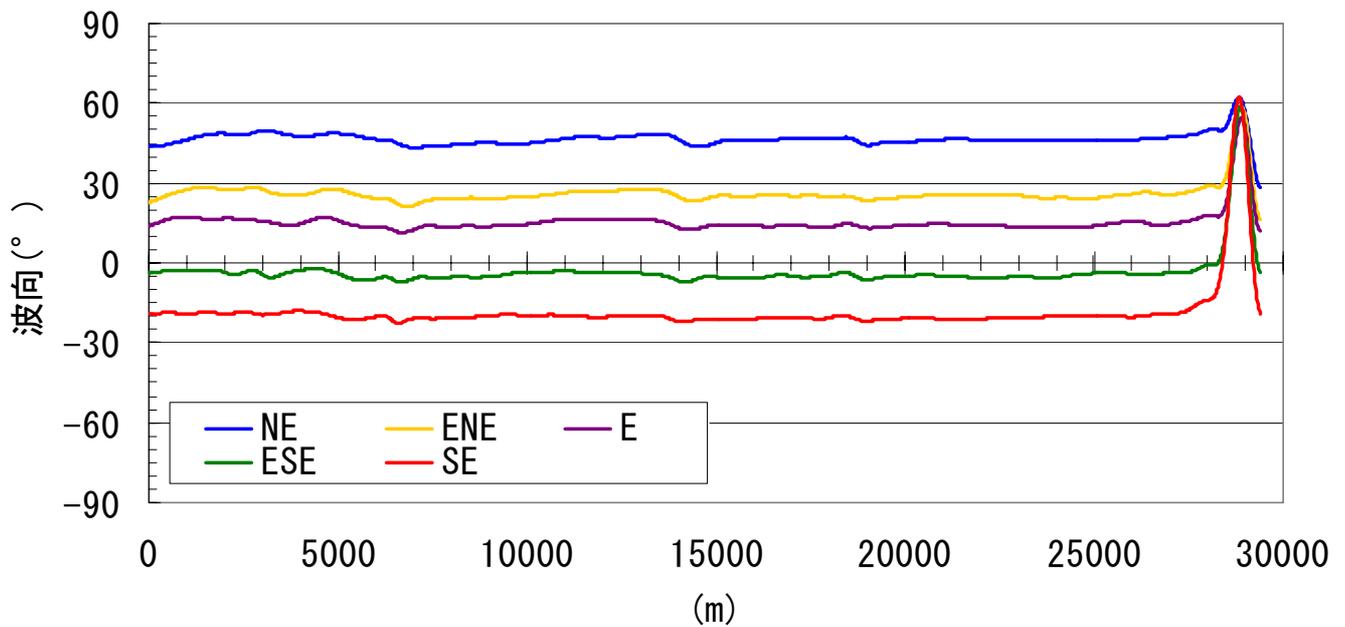
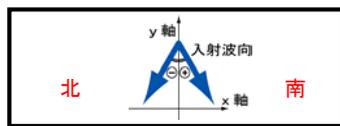
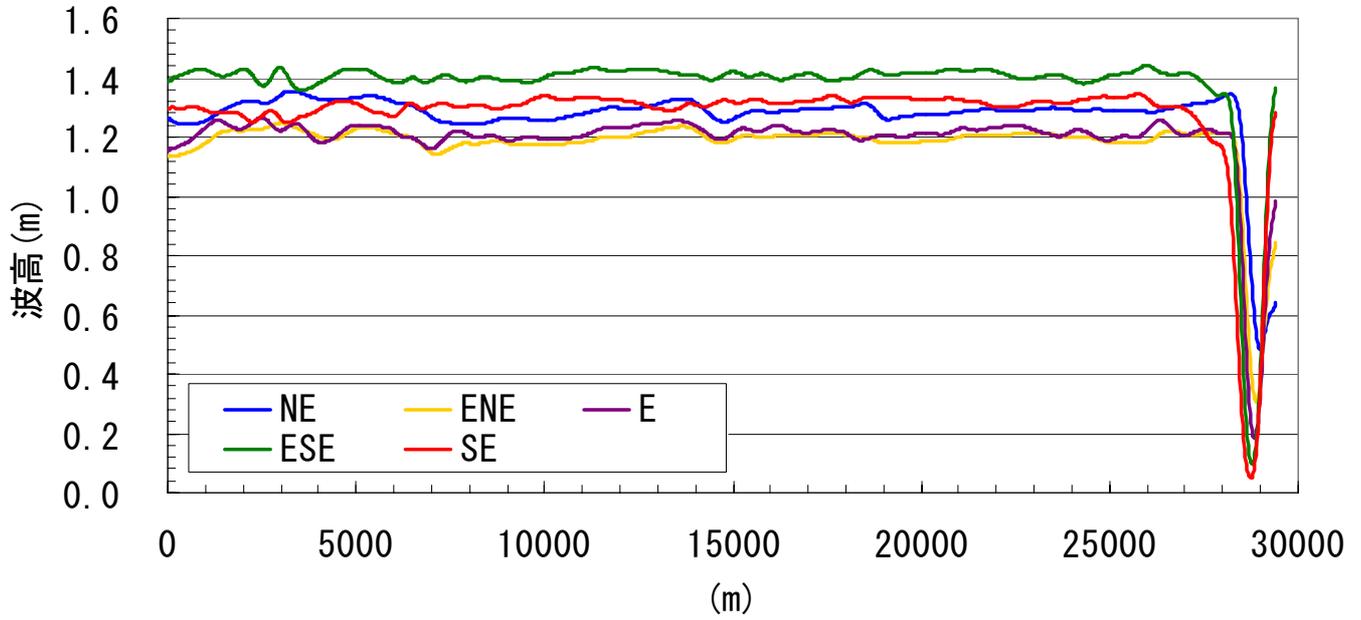


小丸川

一ツ瀬川

石崎川

宮崎港



図一 1.11 (2) 沖波向別 T.P. -8.0m 地点の波高と波向 (1988 年)



小丸川

一ツ瀬川

石崎川

宮崎港

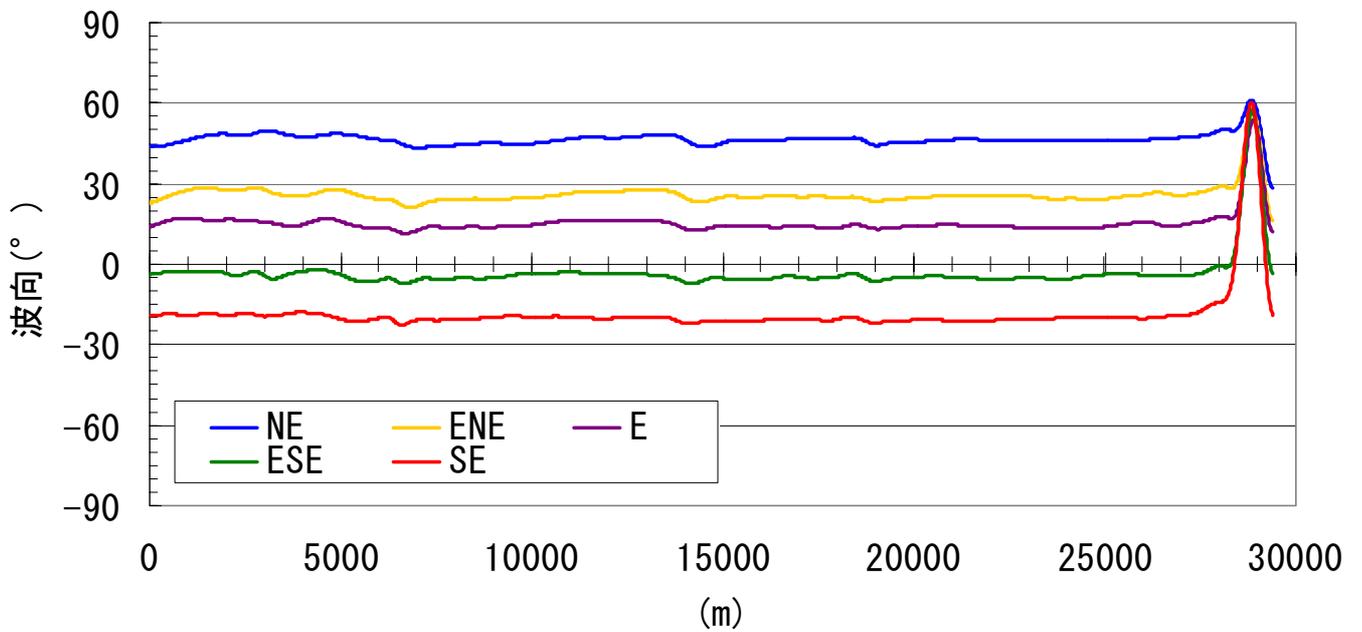
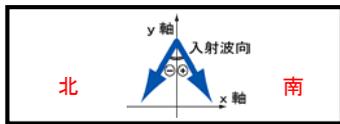
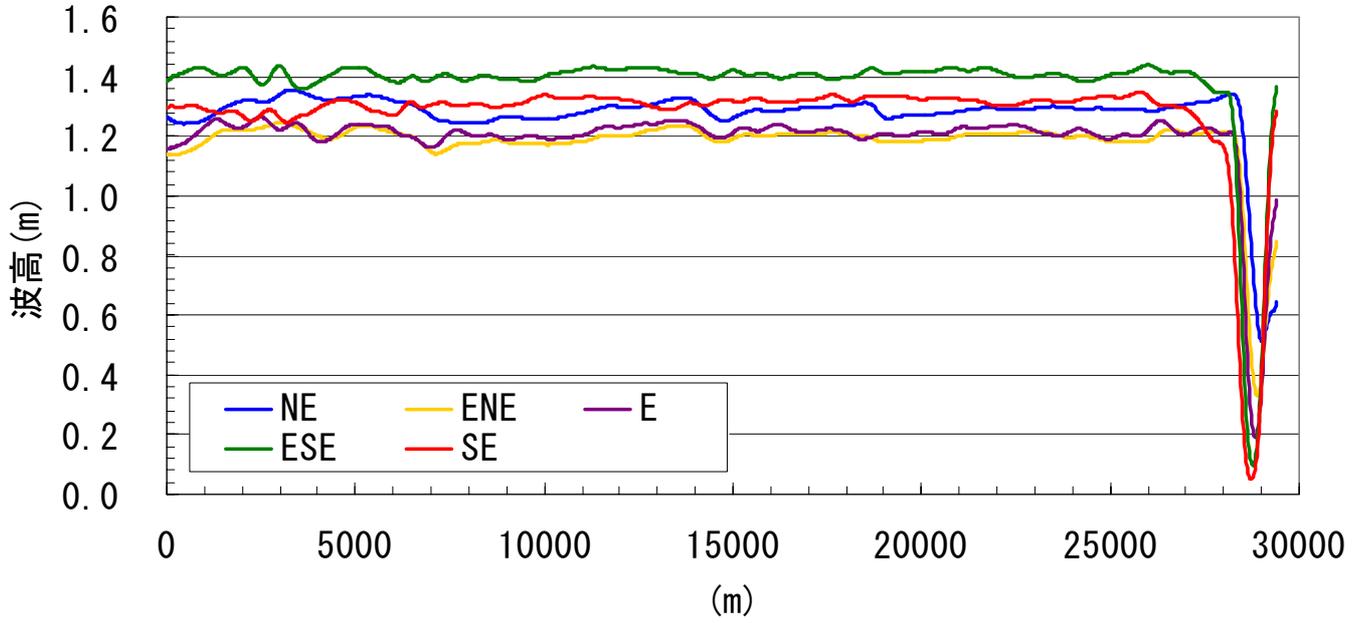
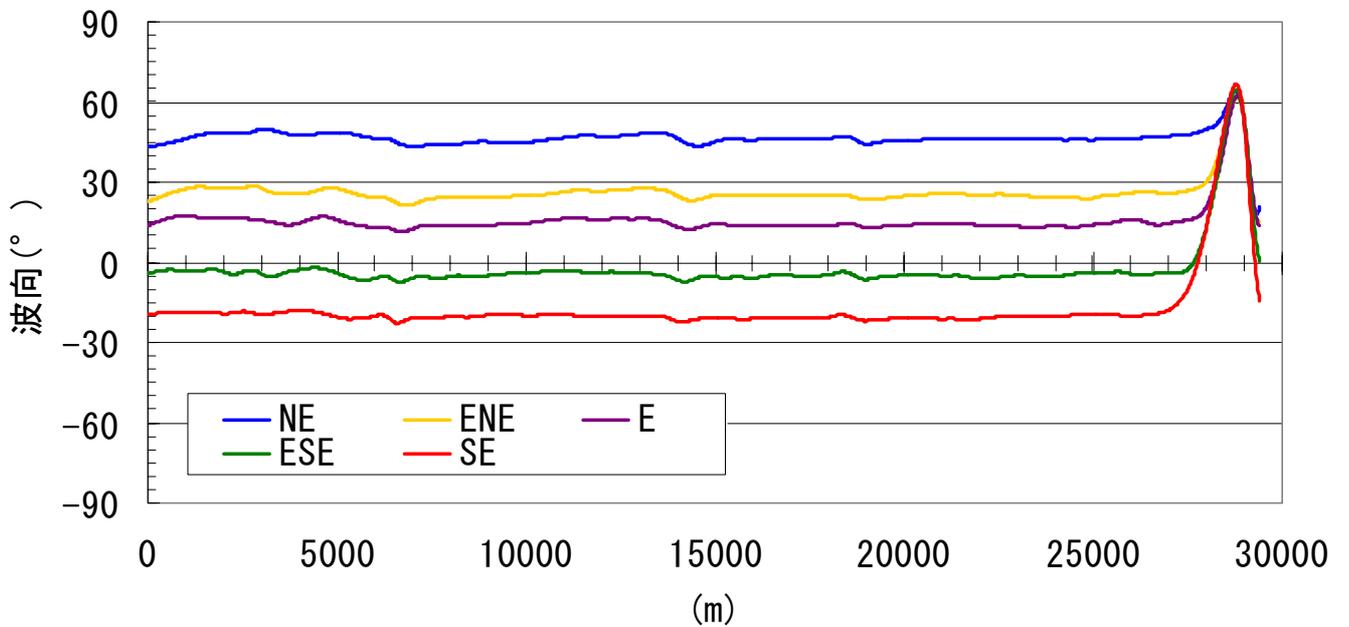
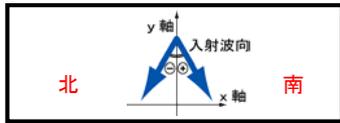
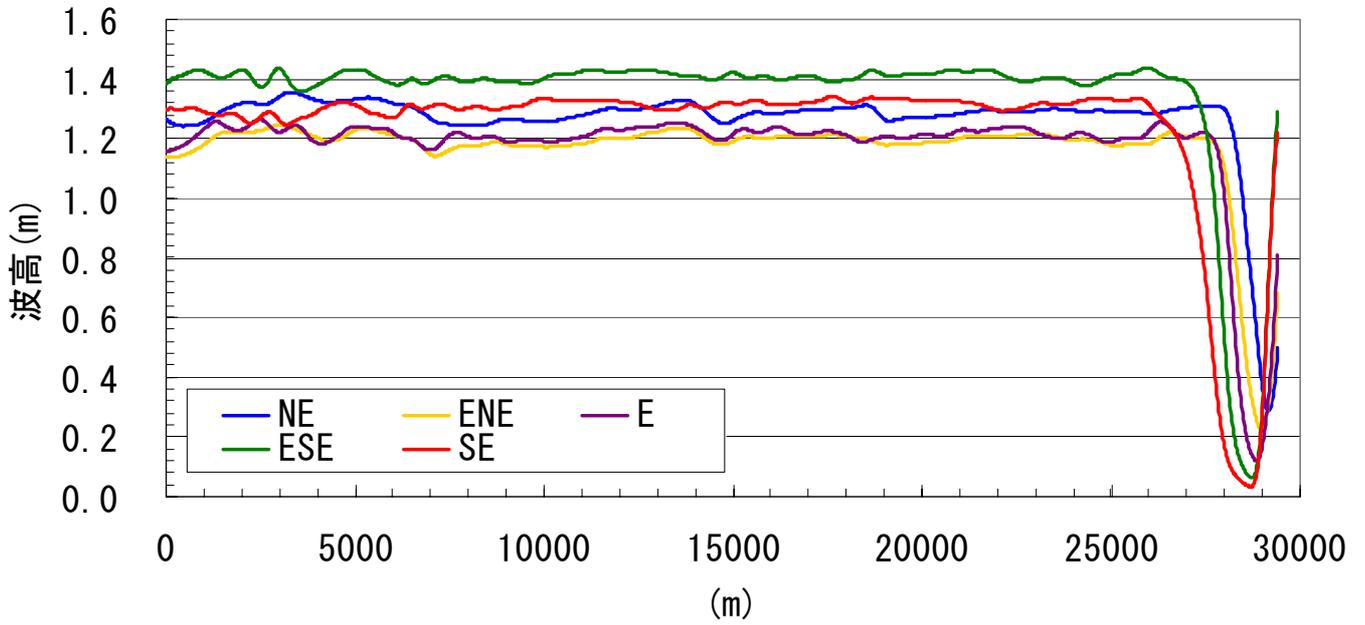
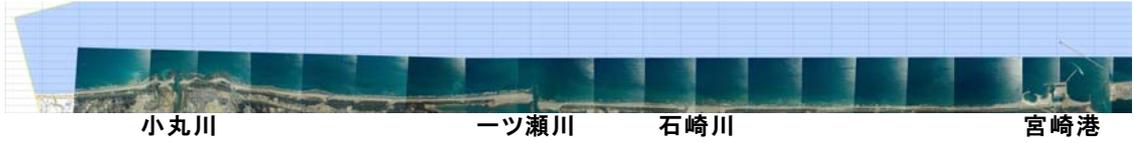
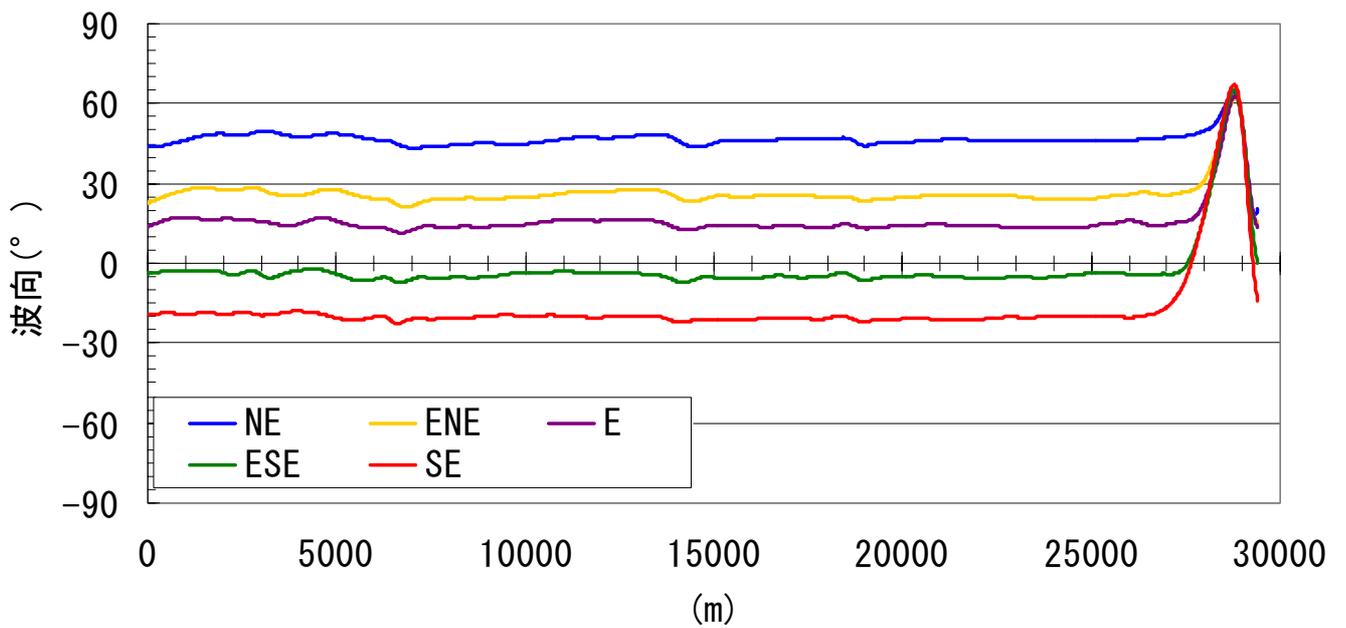
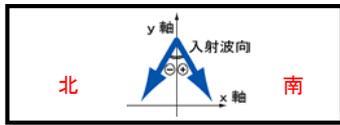
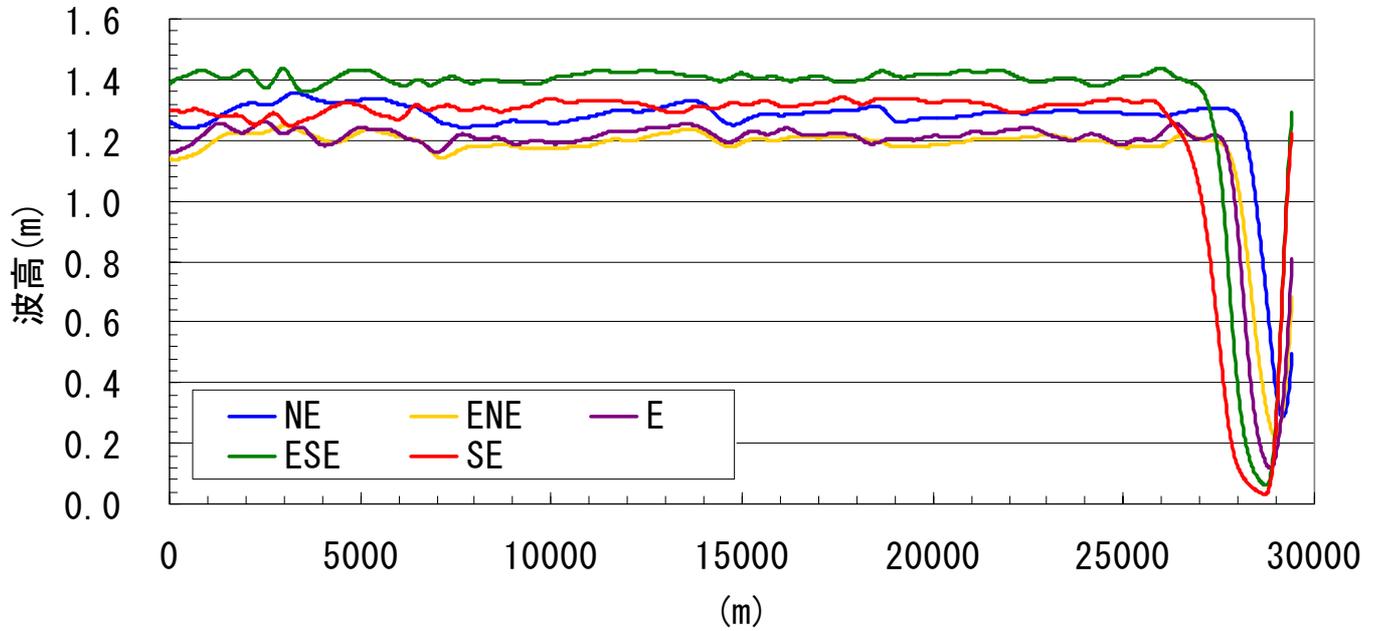


図- 1.11(3) 沖波向別 T.P. -8.0m 地点の波高と波向(1993 年)



図一 1.11 (4) 沖波向別 T.P. -8.0m 地点の波高と波向 (1998 年)



図一 1.11 (5) 沖波向別 T.P. -8.0m 地点の波高と波向 (2003 年)

(4) 境界条件

計算領域の北端は川南漁港、南端は宮崎港であり、両端とも領域外への土砂の流入はほとんどないと考えられる。よって、左右境界には漂砂量=0 の境界条件を与える。沖側境界については、【侵食メカニズム解明に向けた調査・検討編】で示したとおり水深 12m 以深への土砂の流出は無いと仮定した。

(5) 河川からの供給土砂

河川からの土砂供給量は河床変動計算から推定された値を用いるものとする。小丸川、一ツ瀬川それぞれの供給土砂量を表－ 1.6 に示す。

表－ 1.6 河川供給土砂量

河川	供給土砂量
一ツ瀬川	0.5 万 m ³ /年
小丸川	4.9 万 m ³ /年

(6) 沿岸漂砂量分布

1982年9月から2003年1月に実施された深浅測量成果より得られた平均的海浜断面の水深変化を標準偏差で表したものを図-1.12に示す。汀線付近からT.P.+5mに至る範囲で、最大約±2.5m程度の水深変化がある。ただし水面上の地形変化は砂丘侵食によるものも含まれると考えられる。ここでは波による地形変動を対象にしており、年数回波の遡上高に相当すると考えられる浜崖の基部高さはT.P.+4.0mである。また、T.P.-7.0m付近に最大±2m程度の変化が見られる。これは、宮崎海岸でバー（沿岸砂州）の形成が見られる水深帯であることから、バーの消長の現れと推定される。T.P.-7.0m付近から沖合に向かうにつれ、徐々に変化量は減少し、T.P.-12.0m付近ではほぼ一定値となる。このことから、顕著な地形変化量の沖側限界位置はT.P.-12.0m程度であると考えられる。

このような水深変化を考慮して、計算では岸側の移動限界高T.P.+4.0mから沖側の移動限界水深T.P.-12.0mまでを漂砂移動がある等深線として計算する。水深毎の漂砂量の割合は式(1.13)、(1.14)に示す宇多・河野(1996)の関数に従うとした(図-1.13)。

$$\varepsilon(z) = \begin{cases} \frac{2}{h_c^{*3}} \left(\frac{h_c^*}{2} - z^* \right) (z^* + h_c^*)^2 & -h_c \leq z \leq h_R \\ 0 & z \leq -h_c, z \geq h_R \end{cases} \quad (1.13)$$

ここで、

$$z^* = \frac{z}{H_b}, \quad h_c^* = \frac{h_c}{H_b} \quad (1.14)$$

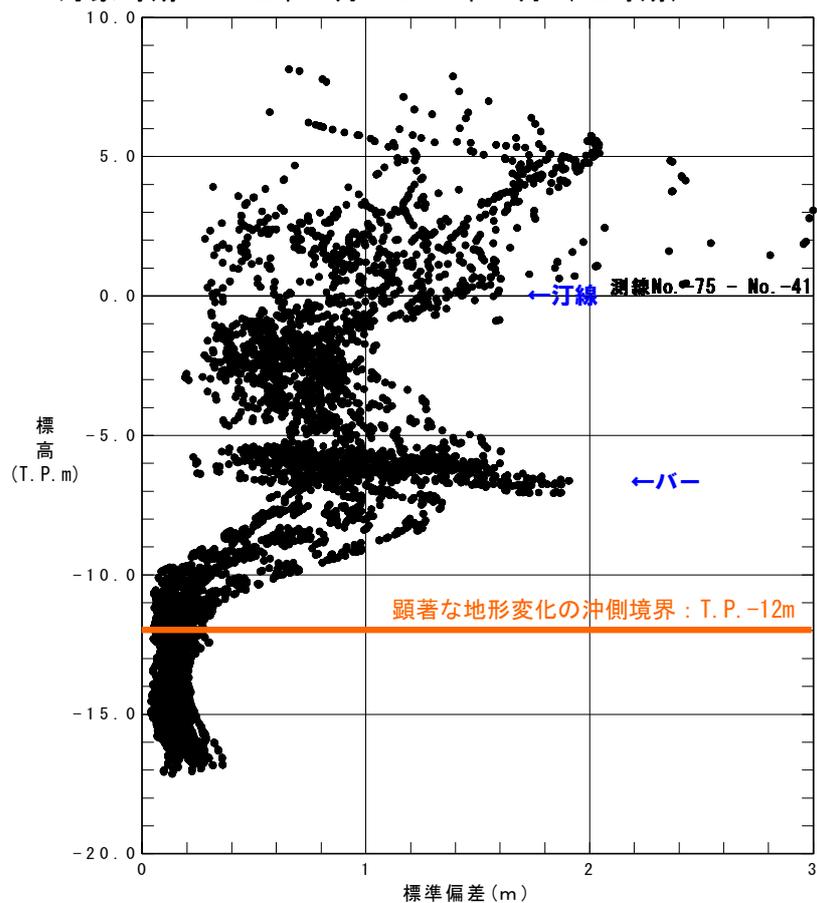
z : 水深

h_c : 移動限界水深(沖側)

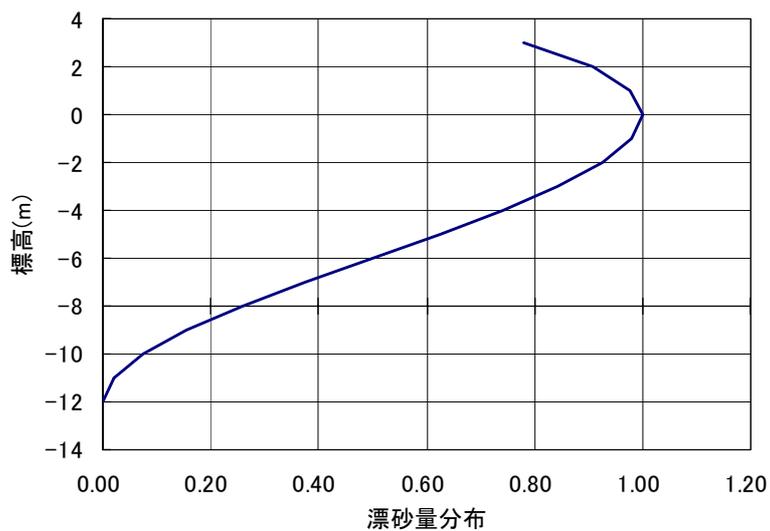
h_R : 移動限界水深(陸側)

H_b : 碎波波高

対象時期：1982年 9月～2003年 1月（12時期）



図一 1.12 住吉海岸における水深方向地形変化量分布



図一 1.13 宇多・河野の関数より算出した沿岸漂砂量分布

(7) 地形の限界勾配

砂面はある勾配より急になると安定しなくなり、沖方向への漂砂が生じる。ここでは、地形の限界勾配は、宇多・河野(1996)を参照して砂の安息角(陸側：1/1.7、海側：1/2.0)とした。

(8) 構造物の条件

宮崎海岸に配置されている構造物のうち、本検討で効果を考慮した施設を示す。

なお、護岸については今回考慮しておらず、等深線は護岸を割って後退し続ける計算となっている。護岸が無ければどこまで侵食するのかということも検討しなかったため、護岸を境界として設定していないが、今後予測計算を実施するに当たっては護岸を考慮したシミュレーションも必要である。

表－ 1.7 モデル化した構造物

離岸堤	川南漁港 2基
導流堤	一ツ瀬川左岸導流堤 一ツ瀬川中導流堤
防波堤	宮崎港北防波堤

(9) 卓越海浜流

宮崎港南防波堤の遮蔽域形成による外力場（波・海浜流）の変化は図－ 1.15 に示すように波浪変形計算だけでは再現できないため、海浜流計算により宮崎港に向かう流れ（卓越海浜流）を算定しこれを等深線変化モデルに組み込むこととした。

卓越海浜流による漂砂量は流速に比例するとし、ESE および SE 波について宮崎港建設前後での沿岸方向流速の差分 U を算出し、これに係数 a をかけて沿岸漂砂量式に付加することとする。拡張した沿岸漂砂量式は下式のとおりである。

$$q_x^{(K)} = \mu^{(K)} \cdot \varepsilon_x(z) \cdot K_x^{(K)} \cdot \frac{1}{8} H_b^2 c_{gb} \cdot \frac{1}{2} \sin 2\alpha_b + a \cdot U \quad (1.15)$$

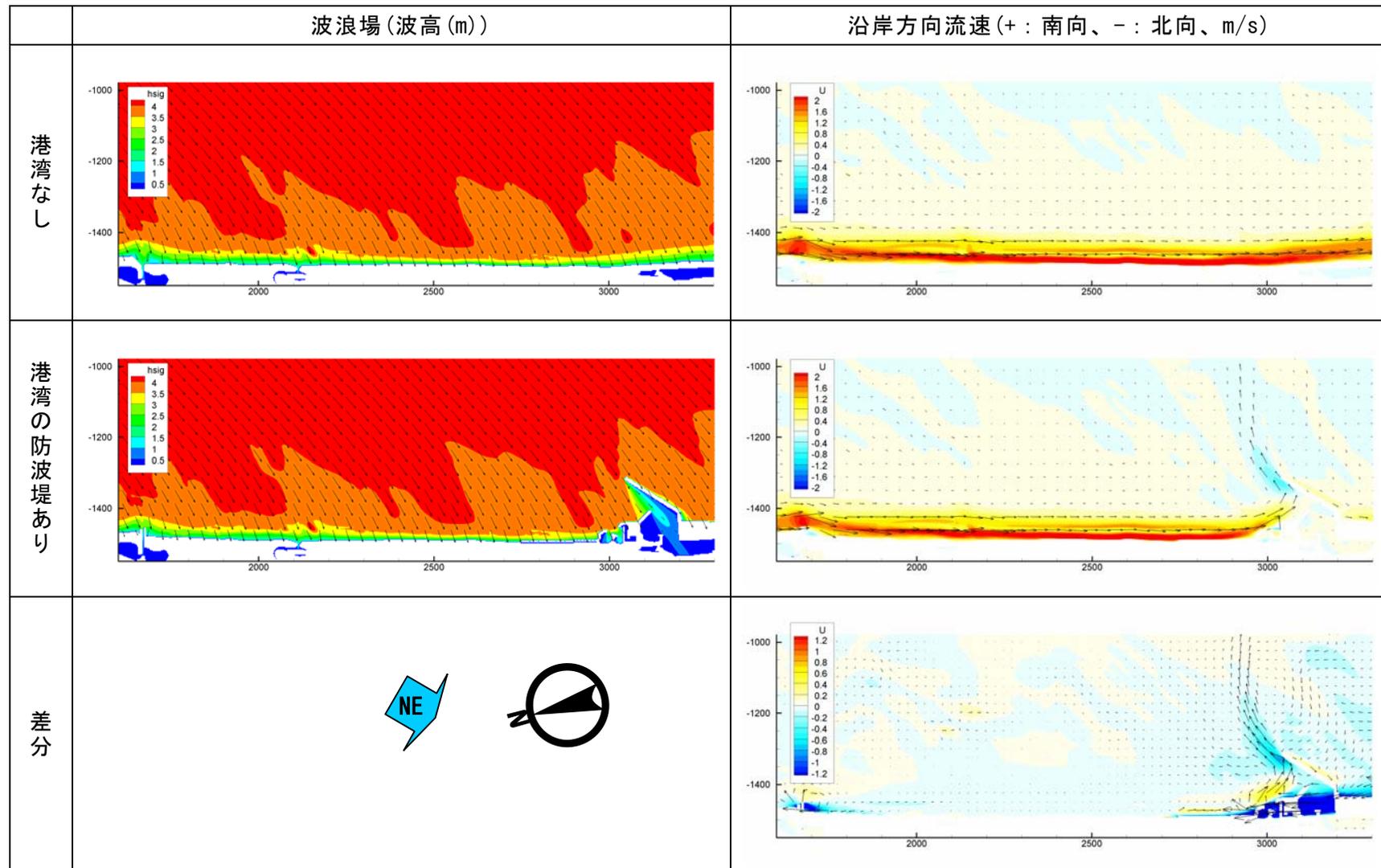
パラメータ a は漂砂量係数と同様に再現計算の中で調整するものとする。

流速の沿岸方向分布を図－ 1.16 に整理する。また、この結果のうち、ESE、SE 波について補間して作成したシミュレーション入力の流速 U の分布を図－ 1.17 に示す。

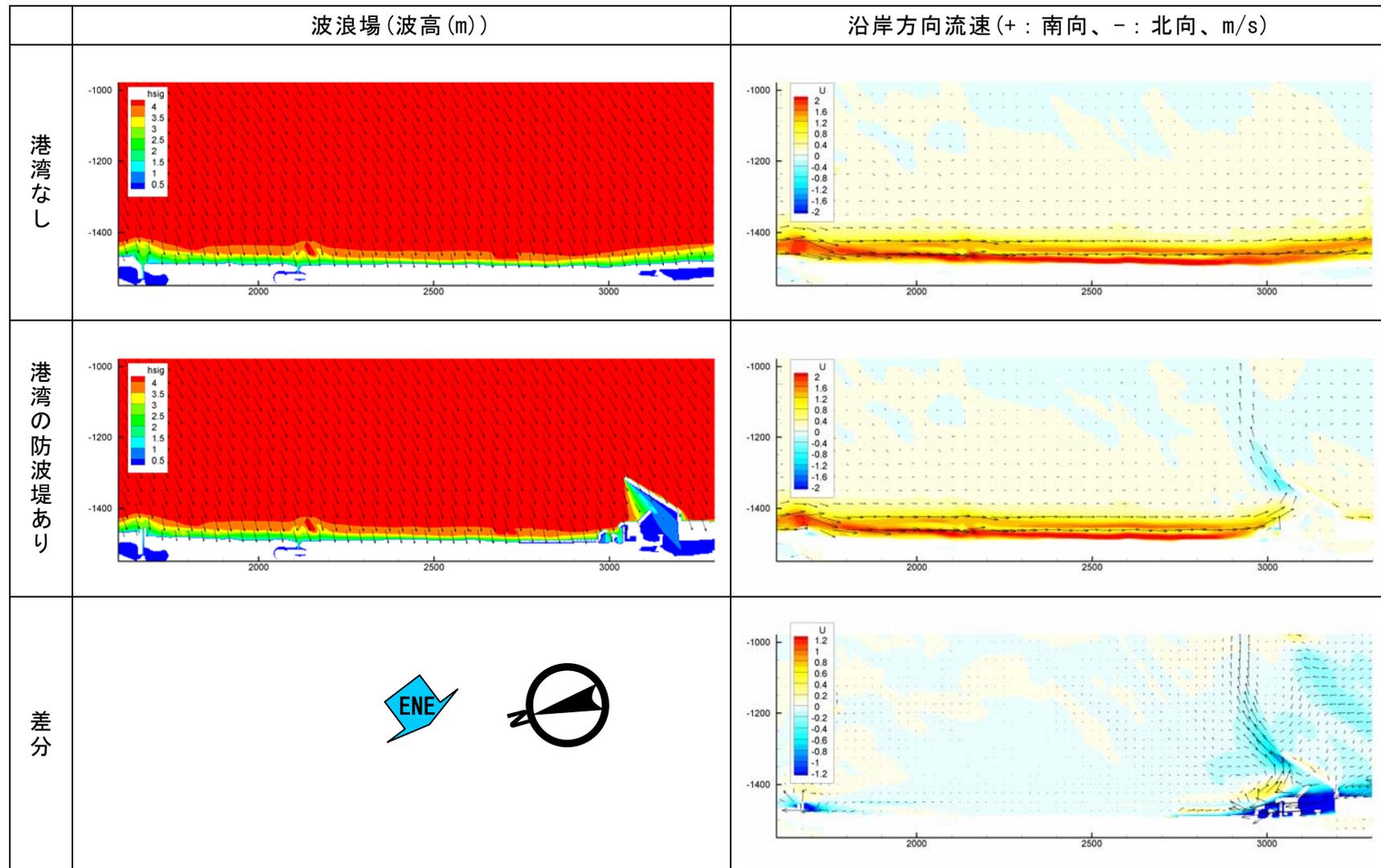
(参考)

図－ 1.14: 年数回波相当波(波高 5m、周期 11.4s)を外力としたときの海浜流計算の結果

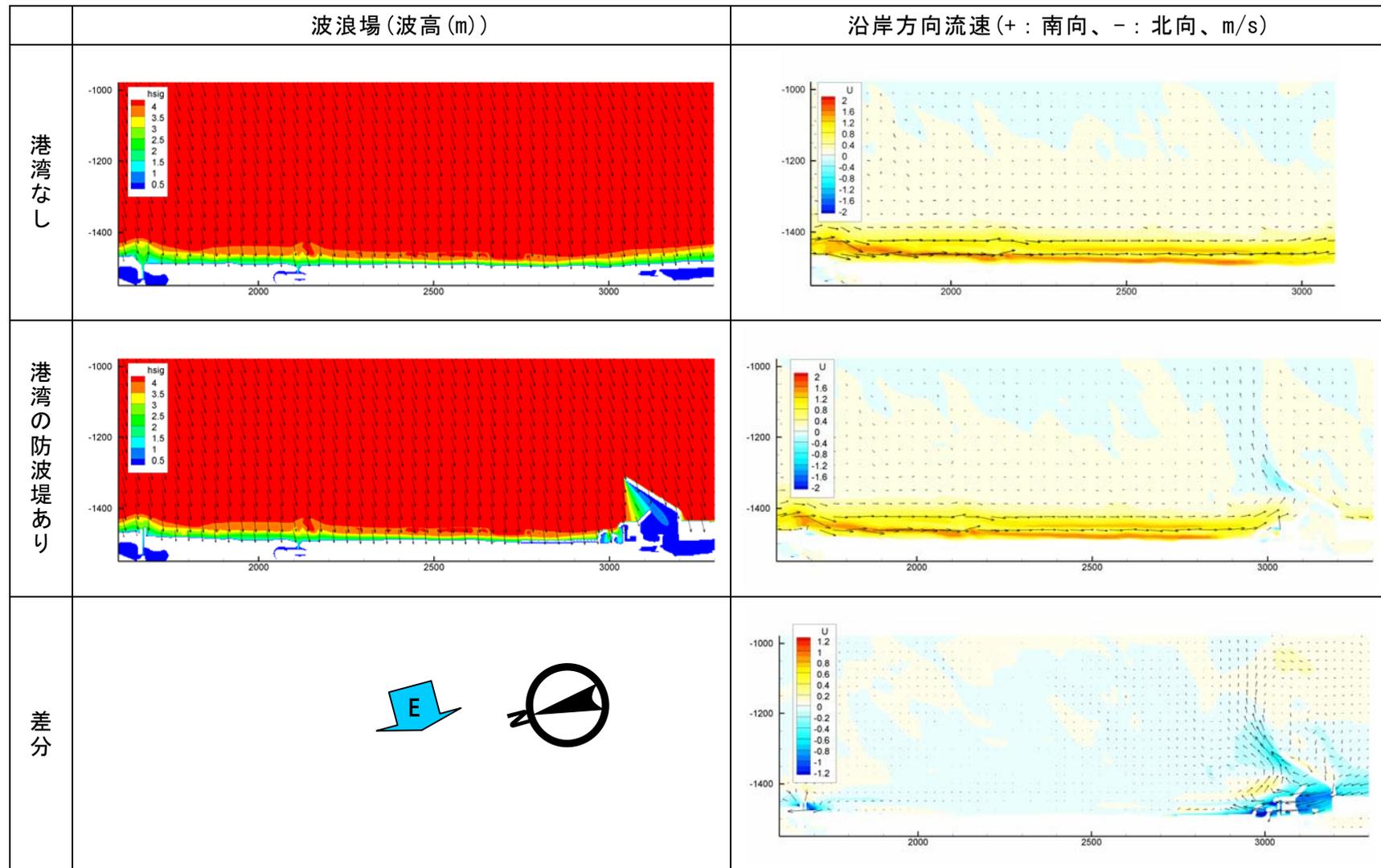
図－ 1.15: 波浪変形計算結果より算出した T. P. -8m 地点の波高分布と海浜流の差分図



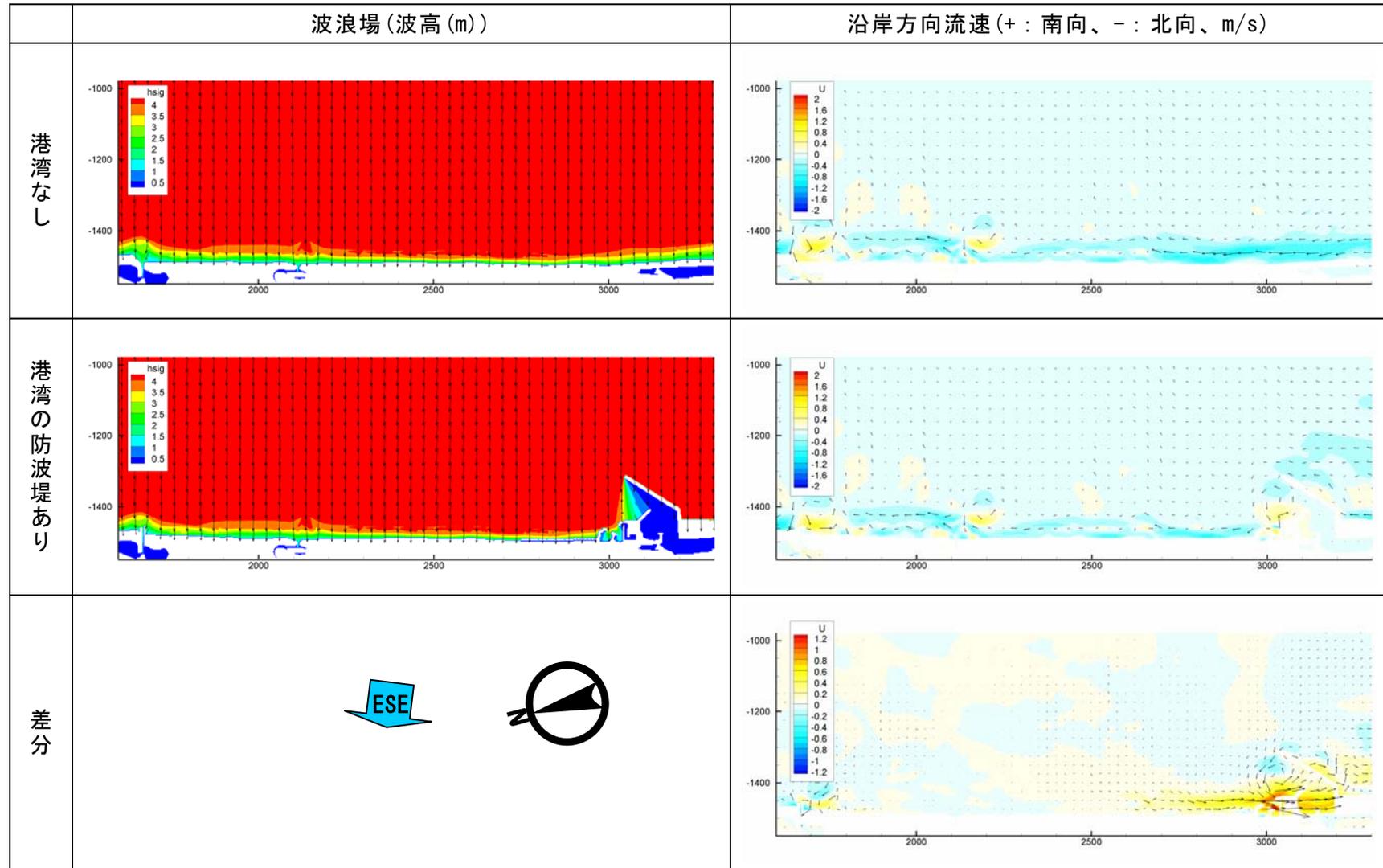
図－ 1.14(1) 卓越海浜流の検討結果 波向 NE (図中の目盛りは $\times 10\text{m}$)



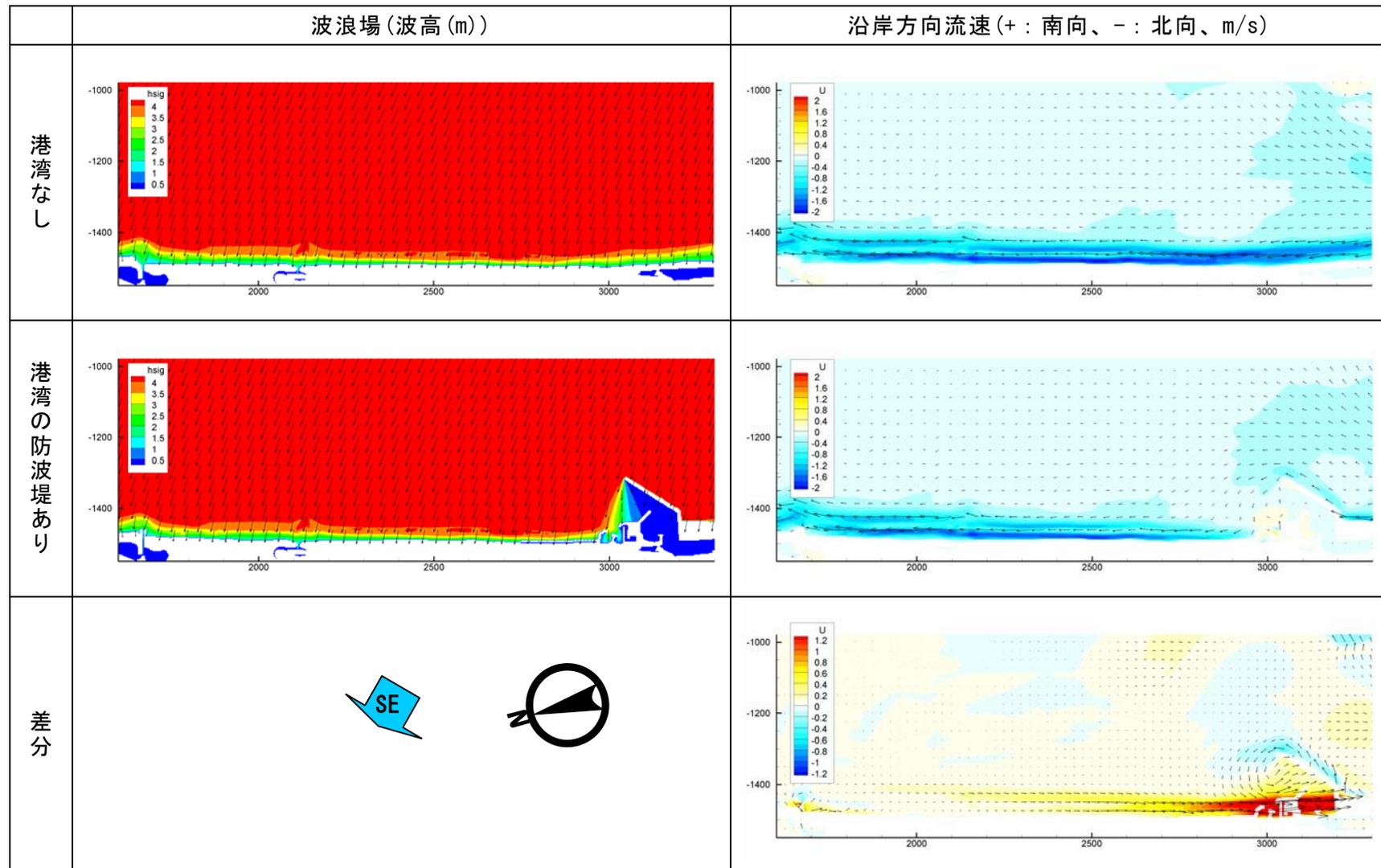
図－ 1.14 (2) 卓越海浜流の検討結果 波向 ENE (図中の目盛りは $\times 10\text{m}$)



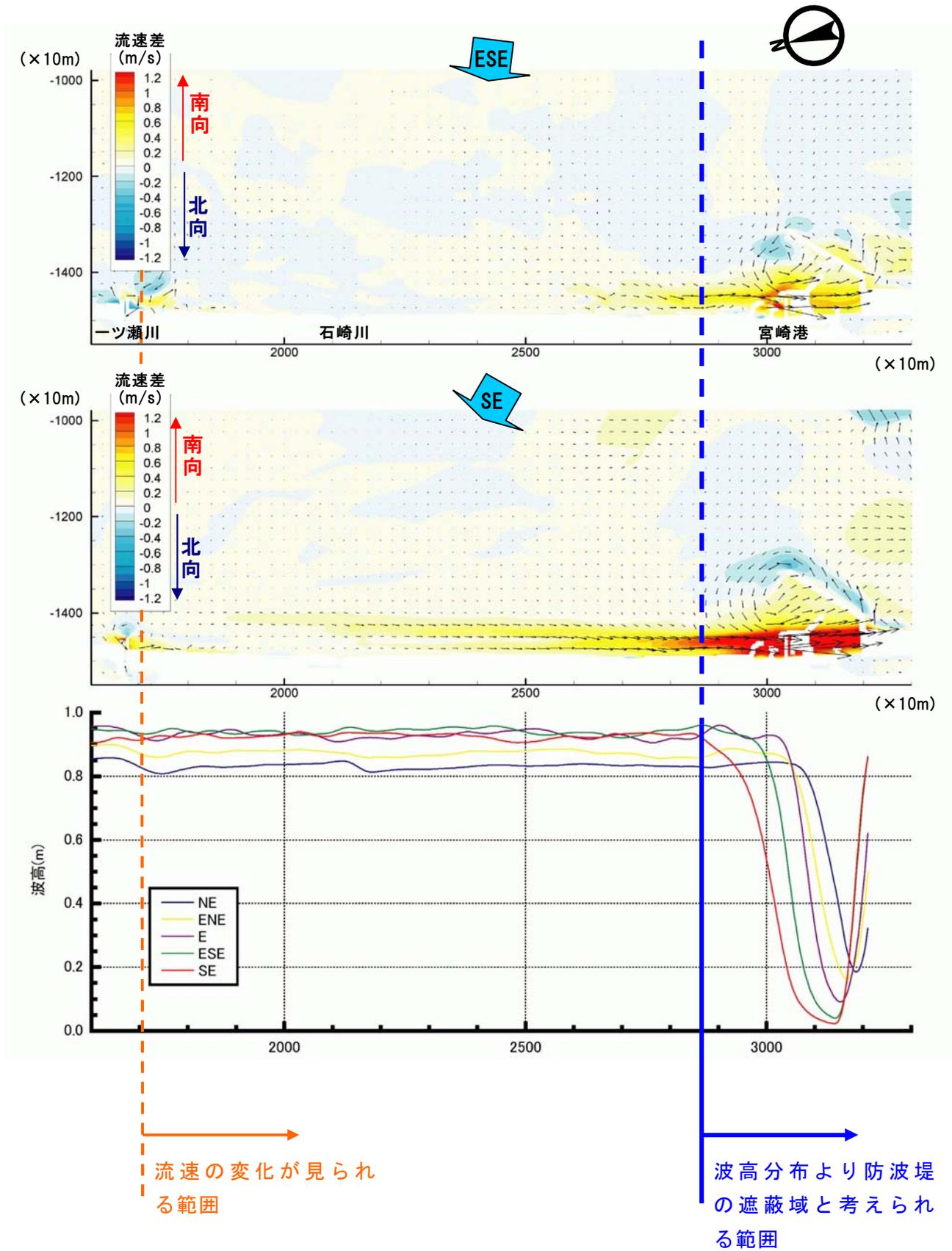
図－ 1.14(3) 卓越海浜流の検討結果 波向 E (図中の目盛りは×10m)



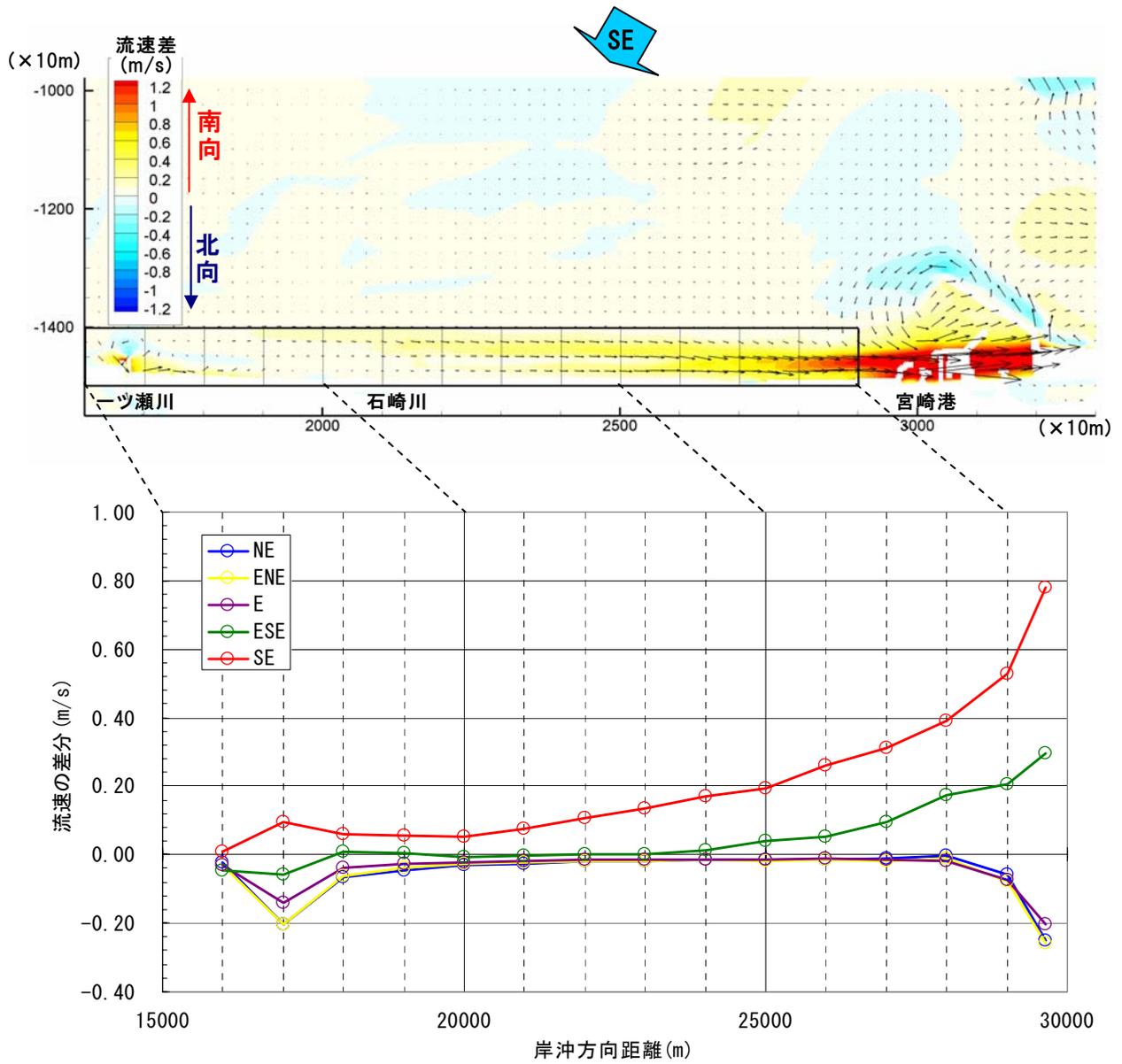
図－ 1.14(4) 卓越海浜流の検討結果 波向 ESE (図中の目盛りは×10m)



図－ 1.14(5) 卓越海浜流の検討結果 波向 SE (図中の目盛りは $\times 10\text{m}$)



図一 1.15 宮崎港の影響範囲の比較



図－ 1.16 流速分布の沿岸方向分布
各測線で岸沖方向の平均値をとっている

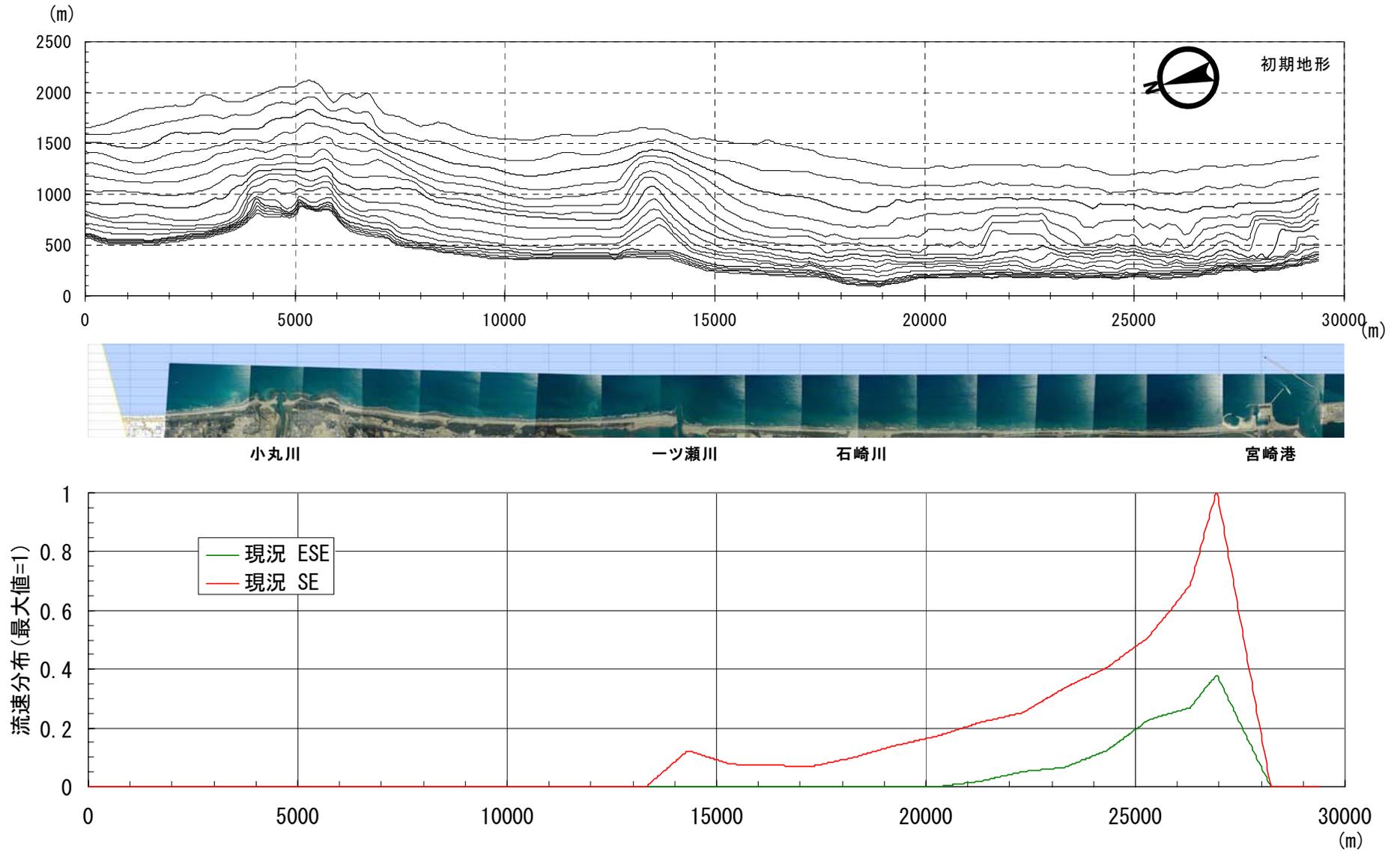


図- 1.17 シミュレーションに用いる流速分布

(10) 計算条件のまとめ

計算条件をまとめたものを表－ 1.8 に示す。

表－ 1.8 等深線変化モデルの計算条件

項目	条件
計算範囲	沿岸方向 29,400m(北：川南漁港～南：宮崎港)
対象等深線	T. P. -12.0m～T. P. +4.0m の 1.0m 毎の等深線
メッシュサイズ	25m
計算期間	1983 年 1 月～2004 年 12 月
初期地形条件	汀線：石崎川以北は空中写真、以南は 1983 年測量成果より作成 地形：それぞれ下記のデータに基づき作成 ・ 小丸川周辺：2005 年測量成果 ・ 一ツ瀬川周辺：2004 年測量成果 ・ 石崎川以南：1983 年測量成果 ・ その他の領域：海図
初期底質条件	・ 平成 17 年 1～2 月調査より水深毎に設定、沿岸方向一様とする ・ 小丸川河口部及び一ツ瀬川河口部は、岩礁の存在が予想されるため、沿岸漂砂量が 0 に近くなるような粒径を与える
波浪条件	沖波は宮崎港防波堤沖観測波浪卓越 5 方位(出現率 1%以上)のエネルギー平均波とする ① 波向：NE, 波高：1.42m, 周期：5.6s, 波向：61°, S_{max} ：25 ② 波向：ENE, 波高：1.56m, 周期：7.4s, 波向：39°, S_{max} ：25 ③ 波向：E, 波高：1.31m, 周期：7.9s, 波向：22°, S_{max} ：75 ④ 波向：ESE, 波高：1.32m, 周期：7.6s, 波向：-7°, S_{max} ：75 ⑤ 波向：SE, 波高：1.56m, 周期：8.0s, 波向：-31°, S_{max} ：75 二次元波浪平面計算で算出した碎波点沖側(T. P. -8.0m)の波浪を入力する月毎、波向毎の波浪エネルギーと等しくなる頻度で作用させる
境界条件	北側：流出入なし(川南漁港) 南側：流出入なし(宮崎港) 沖側：沖流出なし
河川からの土砂供給	小丸川：4.9 万 m ³ /年 一ツ瀬川：0.5 万 m ³ /年
沿岸漂砂量分布	宇多・河野の関数
地形の限界勾配	砂の安息角(陸側：1/1.7、海側：1/2.0、宇多ら 1996)
構造物	一ツ瀬川導流堤、宮崎港北防波堤、川南漁港離岸堤を考慮、護岸は未考慮
卓越海浜流	考慮する

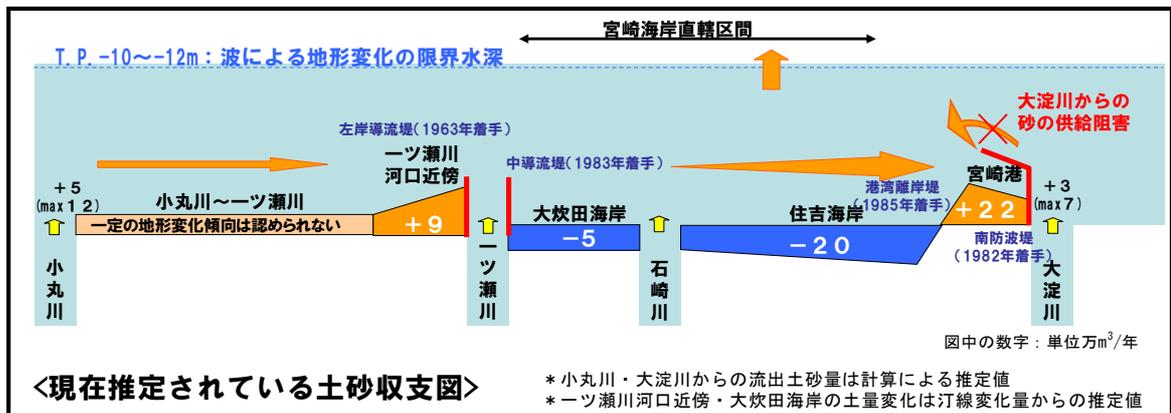
1.4 再現計算結果

(1) 再現対象

再現計算は1983年地形を初期地形として、沿岸漂砂量係数をパラメータとし、1988年、1993年および2004年の地形を再現する。また、深浅測量成果および空中写真解析より得られた土量変化図(1988年から2004年の土量変化の傾向値より作成、【侵食メカニズム解明に向けた調査・検討編】参照)と、シミュレーションより得られる土量変化の比較も行う。そのほか、宮崎海岸で実施している定点カメラによる流速観測結果より漂砂量を算定し、地形変化計算結果から得られた漂砂量と比較する。

1) 土砂収支図

一ツ瀬川周辺、大炊田海岸、住吉海岸および宮崎港の土砂収支図を図－1.18に示す。



図－1.18 宮崎港建設以降の土砂収支図(1988年-2004年)

2) 地形変化

石崎川以南では、再現時期においても1983年同様に深浅測量が行われているため、この範囲の地形変化を比較する。測量が行われていない石崎川以北については、空中写真より判読した汀線と比較する。ただし、再現時期のうち、1988年および1993年については同年に空中写真が撮影されていないため、それぞれ時期の近い1990年および1995年の空中写真を代用することとした。

住吉海岸から宮崎港付近の水深変化量分布図を図－1.19、空中写真より判読した汀線の変化図を図－1.20に示す。推進変化量分布図より、住吉海岸は、宮崎港側から石崎川側に向けて侵食が広がっているのが分かる。また、宮崎港付近には土砂の堆積が見られる。汀線変化図からは、一ツ瀬川左岸への堆積と右岸の侵食が見てとれる。

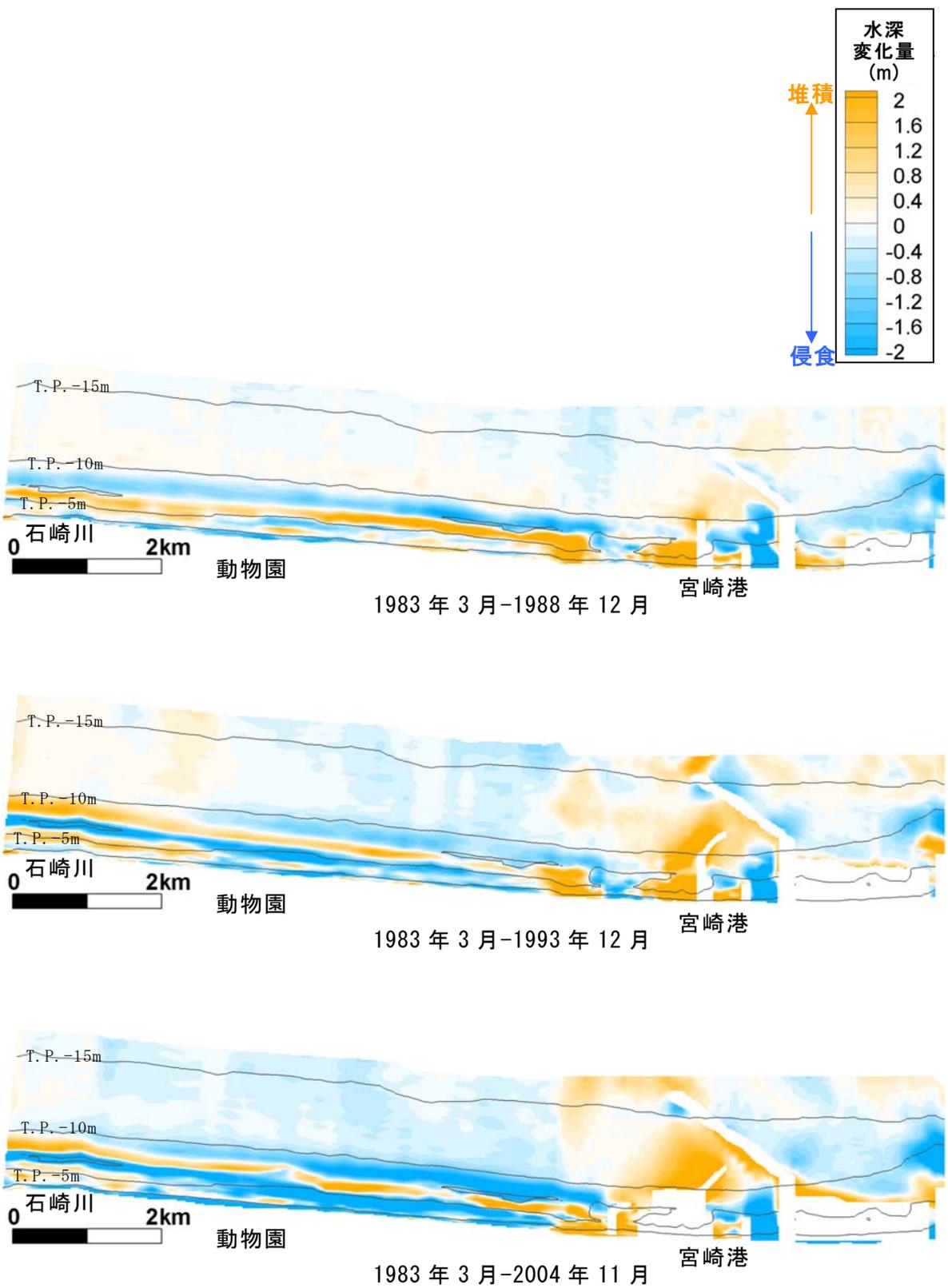
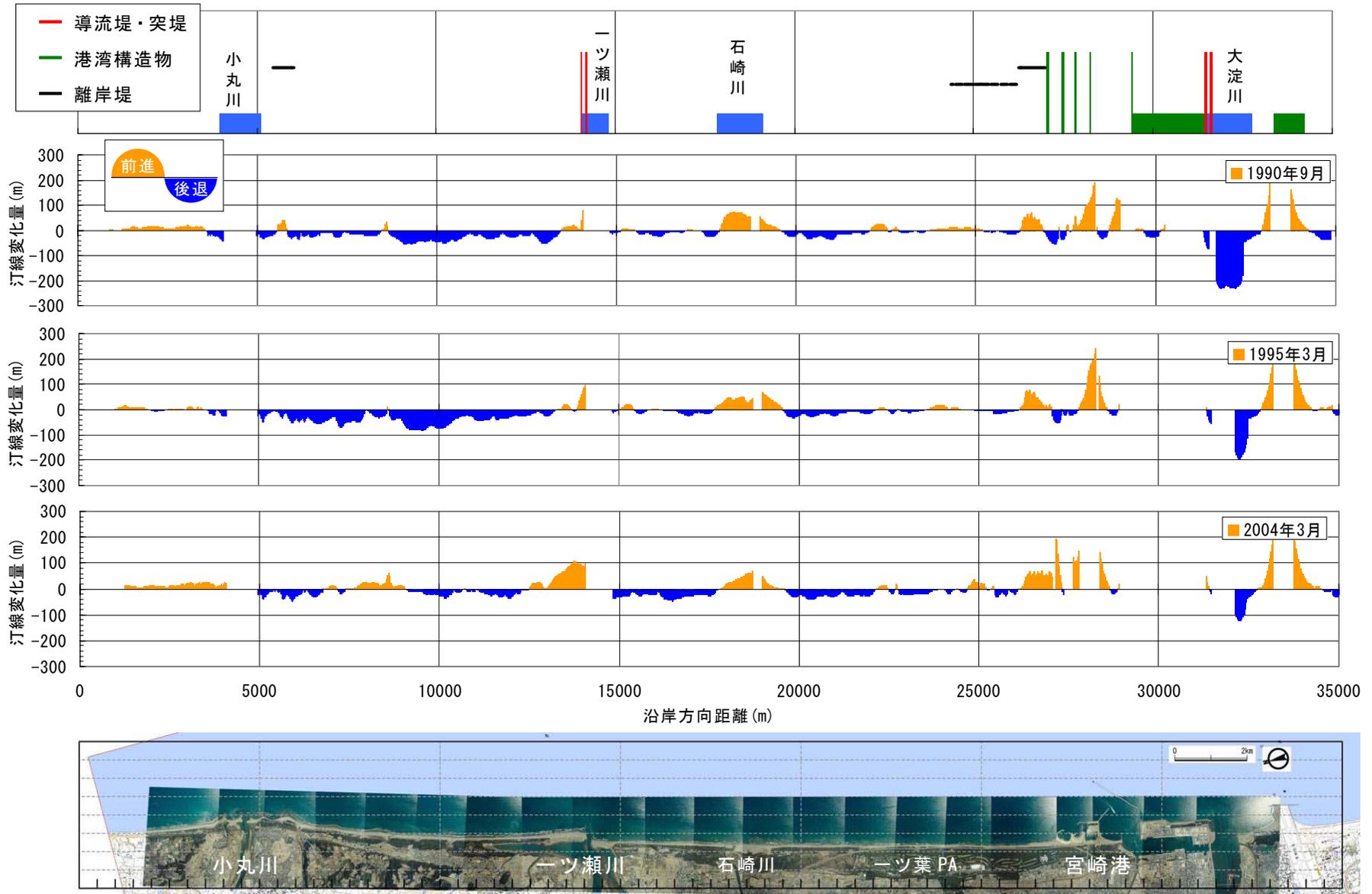


図- 1.19 水深変化量分布図 橙色：堆積、水色：侵食(単位；m)
コンターは1983年地形



図一 1.20 宮崎海岸汀線変化解析結果 (1983年基準、空中写真判読汀線より作成)

3) 沿岸漂砂量

宮崎海岸における定点カメラによる流速観測結果(2006年1月から2007年12月、
図-1.21)をもとに、以下の手順で漂砂量を算定した。

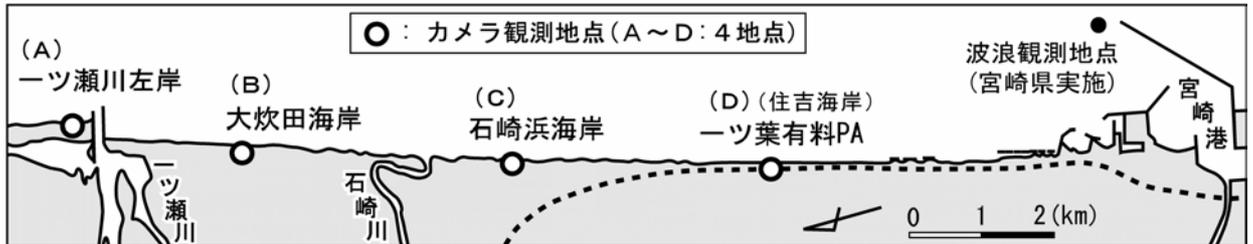


図-1.21 定点カメラ観測位置

流速 V と漂砂量 Q の関係は以下の Kraus の式により算出される(「海岸環境工学」
p. 184)。

$$Q = \frac{A}{\gamma_B \tan \beta} H_B^2 V$$

$$A = 3.8 \times 10^{-4}$$

ここで、 $\tan \beta = 1/30$ (砕波水深付近の海底勾配)、砕波指標 $\gamma_B = \frac{H_b}{h_b} = 0.78$ とする
と、

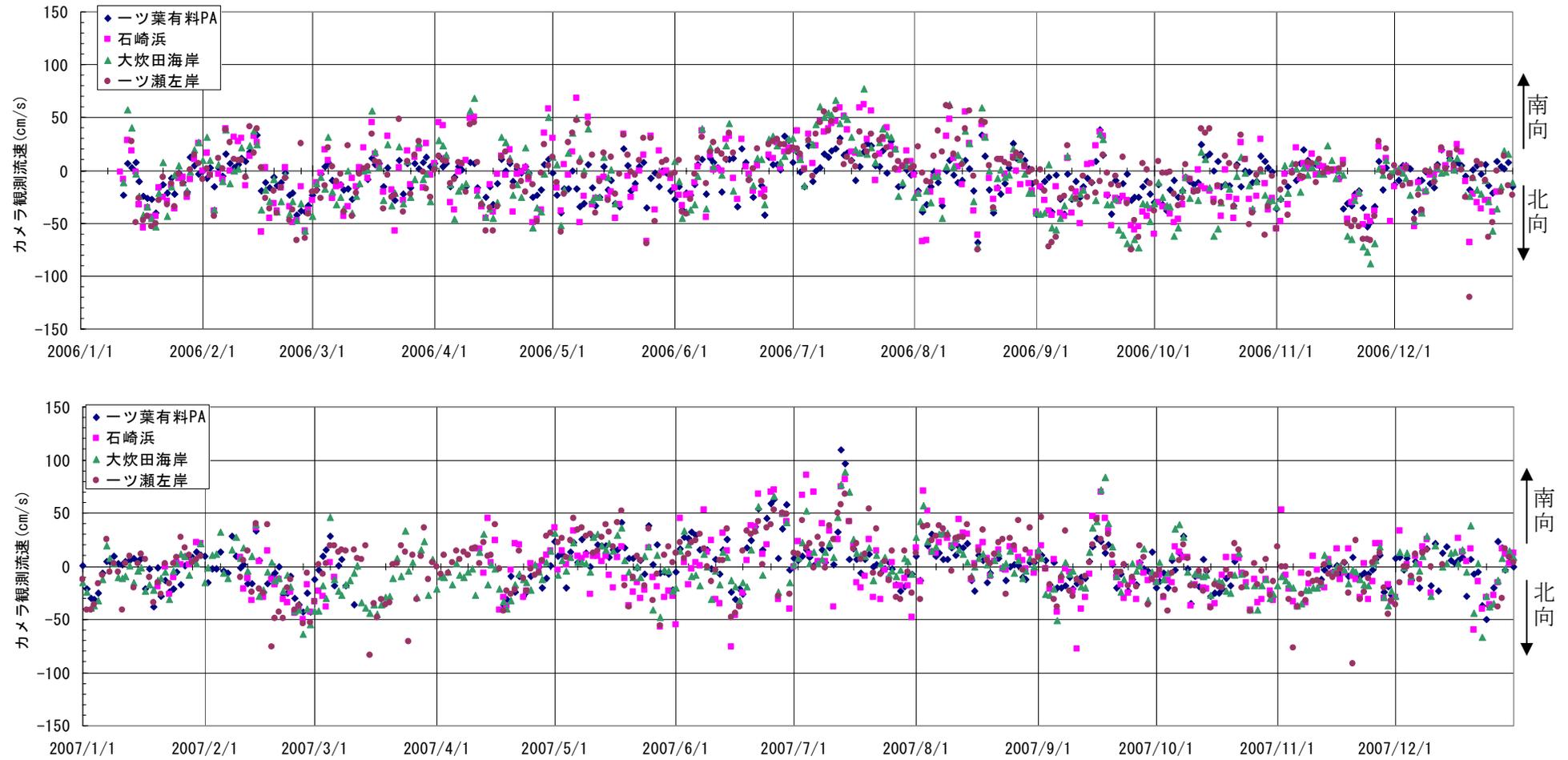
$$Q = 0.015 H_B^2 V$$

となる。

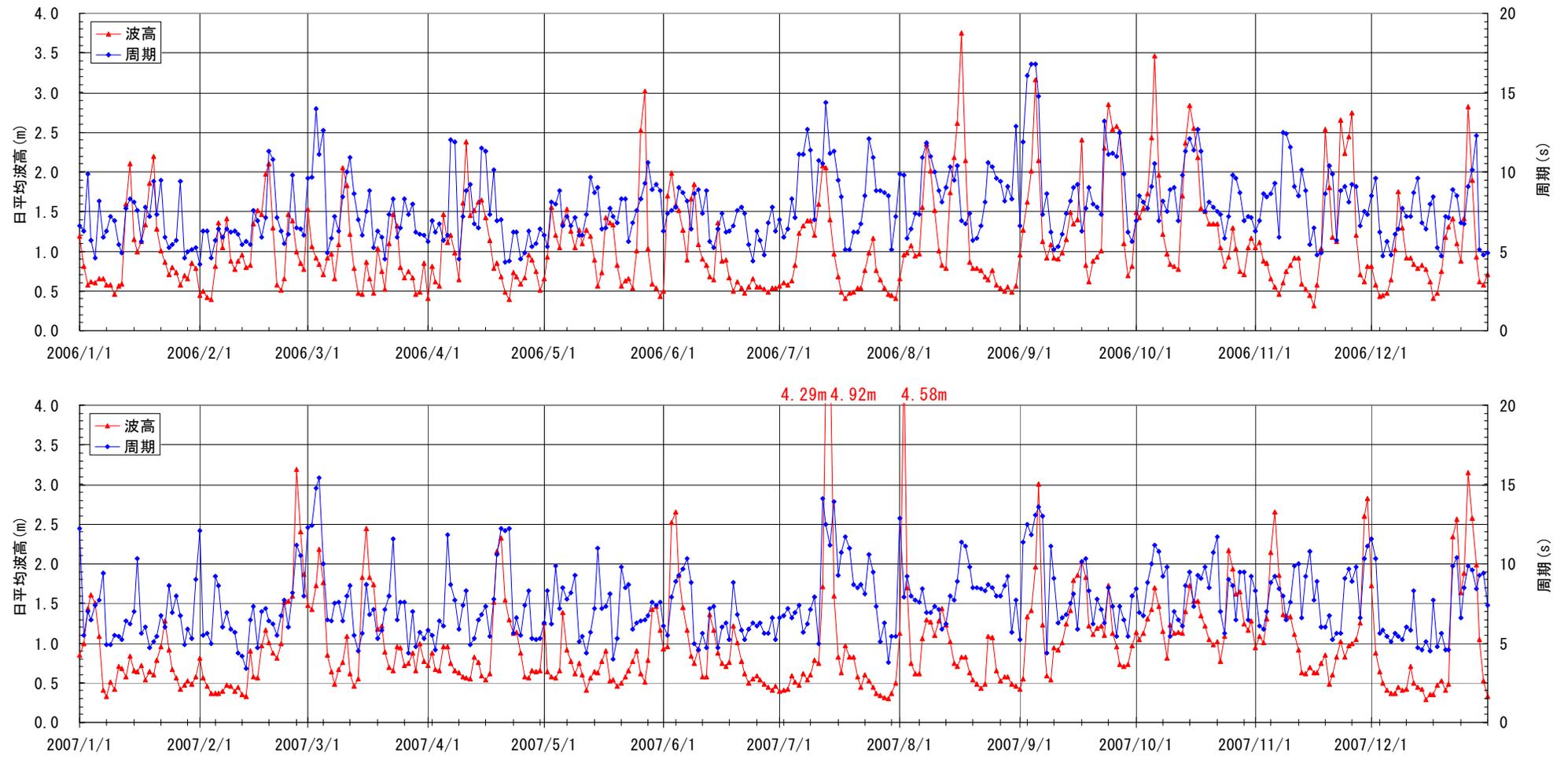
なお、砕波波高 H_B は、宮崎港防波堤沖における波高の観測データを下の Sunamura
の式により換算したものをを用いた。

$$\frac{H_B}{H_O} = (\tan \beta)^{0.2} \left(\frac{H_O}{L_O} \right)^{-0.25}$$

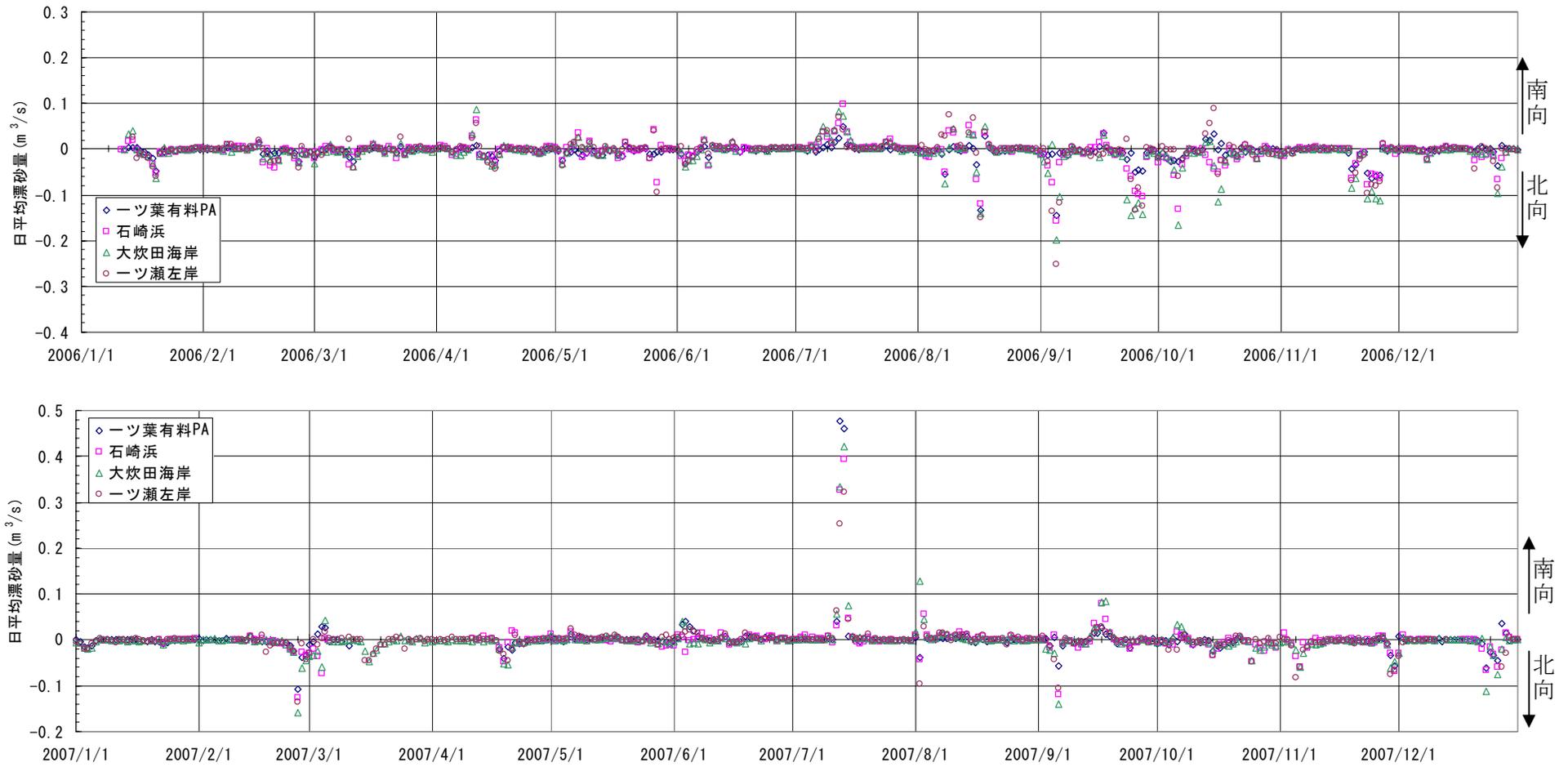
流速および波高の観測値を図-1.22 および図-1.23、漂砂量の算定結果を図-
1.24 および表-1.9 に示す。算出された年間の漂砂量は、地点によりややばらつき
があるものの、南北方向にそれぞれ 10~20 万 m^3 /年であることが分かる。



図－ 1.22 流速観測結果(定点カメラ)



图一 1.23 波浪観測結果(宮崎港沖)



図－ 1.24 漂砂量の算出結果

表 - 1.9 年間通過漂砂量

年度	漂砂量(万m ³)							
	一ツ瀬左岸		大炊田海岸		石崎浜		一ツ葉有料PA	
	南	北	南	北	南	北	南	北
2006年	27.96	13.05	34.31	10.79	29.68	10.44	18.74	4.60
2007年	16.47	13.26	18.68	16.09	15.91	13.91	10.06	14.24

南向き漂砂量平均 : 21.48 万 m³/年

北向き漂砂量平均 : 12.05 万 m³/年

(2) 再現計算結果

前項までで構築したモデルを用いて等深線変化シミュレーションを実施した。沿岸漂砂量係数 A (式(1.17))は、 $A=0.01$ (case0-1), 0.02 (case0-2), 0.03 (case0-3)の3ケースを用い、それぞれに対して流れの効果に関わる係数 a (式(1.16))を、住吉海岸の侵食量が -20 万 m^3 /年となるように設定した。

$$q_x^{(K)} = \mu^{(K)} \cdot \varepsilon_x(z) \cdot K_x^{(K)} \cdot \frac{1}{8} H_b^2 c_{gb} \cdot \frac{1}{2} \sin 2\alpha_b + a \cdot U \quad (1.16)$$

$$K_x^{(K)} = \frac{A}{\sqrt{d^{(K)}}} \quad (1.17)$$

表－ 1.11 に各ケースの土量変化量、図－ 1.25 に地形変化の平面分布を比較して示す。また、それぞれのケースについて土量変化量図、水深変化分布図、沿岸漂砂量分布図、汀線変化図、初期と2004年の等深線の比較図を整理した(表－ 1.10)。

表－ 1.10 再現計算結果

	case0-1	case0-2	case0-3
土量変化量図	図－ 1.26	図－ 1.31	図－ 1.36
水深変化量分布図	図－ 1.27	図－ 1.32	図－ 1.37
沿岸漂砂量分布図	図－ 1.28	図－ 1.33	図－ 1.38
汀線変化図	図－ 1.29	図－ 1.34	図－ 1.39
初期と2004年の等深線の比較図	図－ 1.30	図－ 1.35	図－ 1.40

いずれの結果も、定性的には(1)一ツ瀬川左岸への土砂の堆積、(2)一ツ瀬川右岸～大炊田海岸の侵食、(3)住吉海岸の侵食の広がり、(4)港湾区域への継続的な土砂の堆積が再現されている。

宮崎港の堆積土砂量を考えると、case0-1の再現性が最も良い。しかし、沿岸漂砂量の絶対値が5万 m^3 /年程度となっており、これはカメラ観測結果より得られた沿岸漂砂量と比較して小さな値である。また、一ツ瀬川左岸への堆積量も実際に得られている堆積量+9万 m^3 /年と比較して半分程度になっている。

case0-2は、宮崎港堆積土砂量が30.1万 m^3 /年と、実際の堆積土砂量と比較して30%程度大きい。沿岸漂砂量の絶対値は10万 m^3 /年となっており、カメラ観測結果と整合する。一ツ瀬川左岸への堆積量はやや過小である。

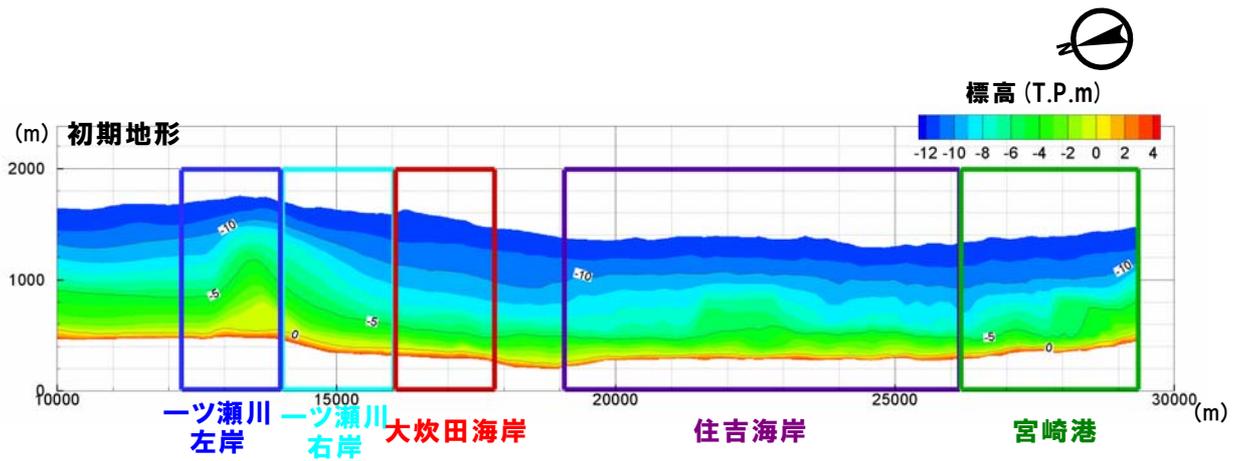
一ツ瀬川左岸への堆積量が+8.2万 m^3 /年と比較的精度のよいcase0-3では、宮崎港への堆積量が+35万 m^3 /年となり、平面図から堆積域が住吉海岸へ波及しているのが見てとれるが、実際には2004年時点でここまでの堆積は見られない。

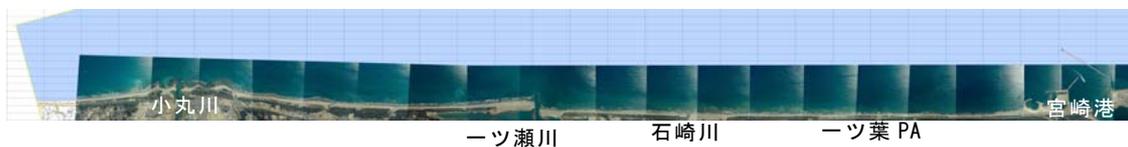
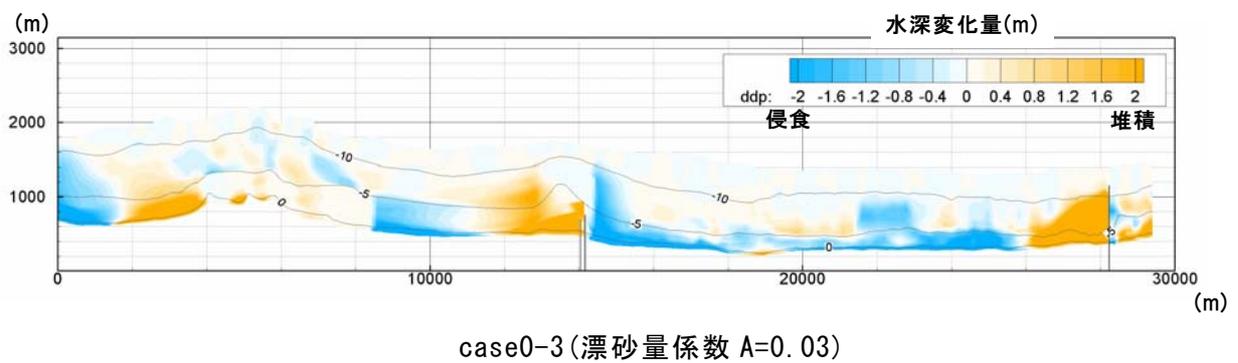
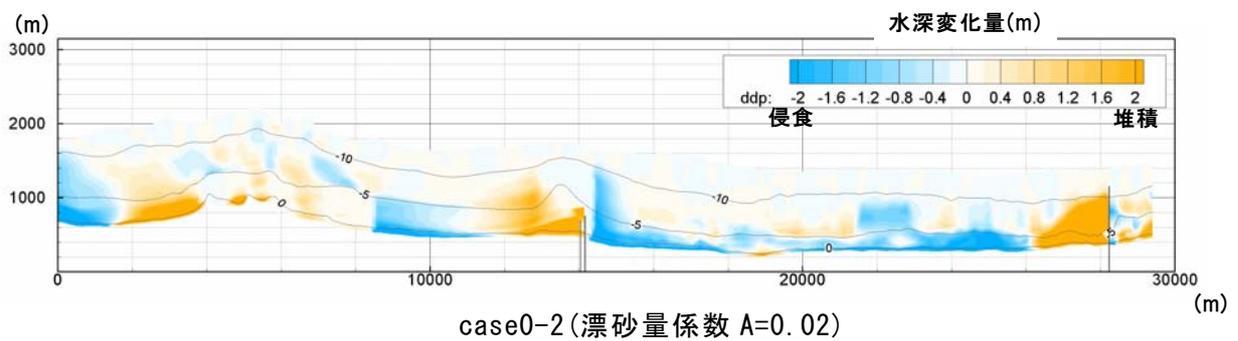
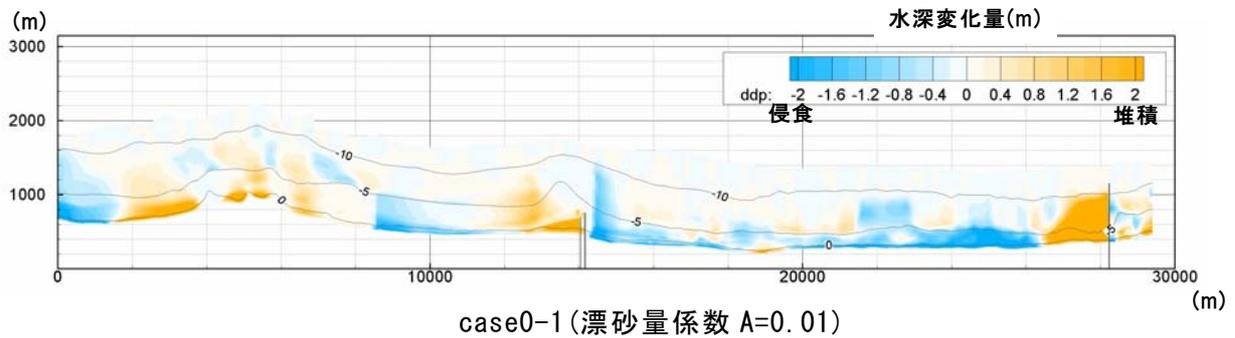
以上の結果に対して、一ツ瀬川左岸の堆積量は空中写真判読汀線から算出した精度の低いものであること、宮崎港防波堤内への土砂堆積量は不明であるため堆積量に誤差が生じている可能性があることも考慮して、case0-2を宮崎海岸等深線変化モデルとし、以降の検討を進めていくこととする。

※ いずれのケースも住吉海岸の汀線変化量が大きく出ているが、護岸を考慮していないため実際の護岸設置位置を割り込む結果となっている。

表- 1.11 土量変化量比較(単位 : 万 m³/年)

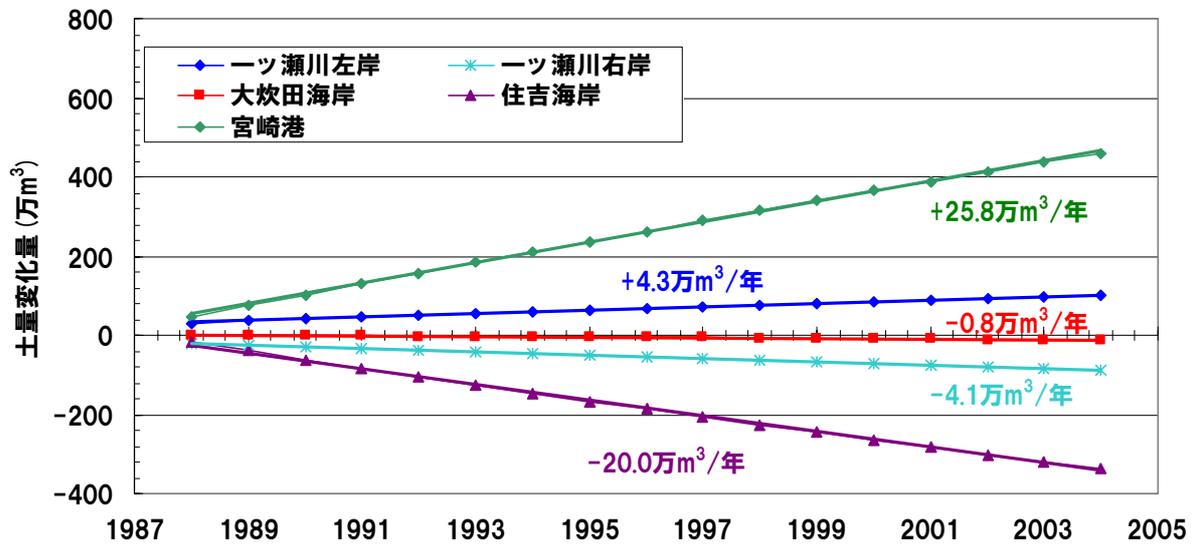
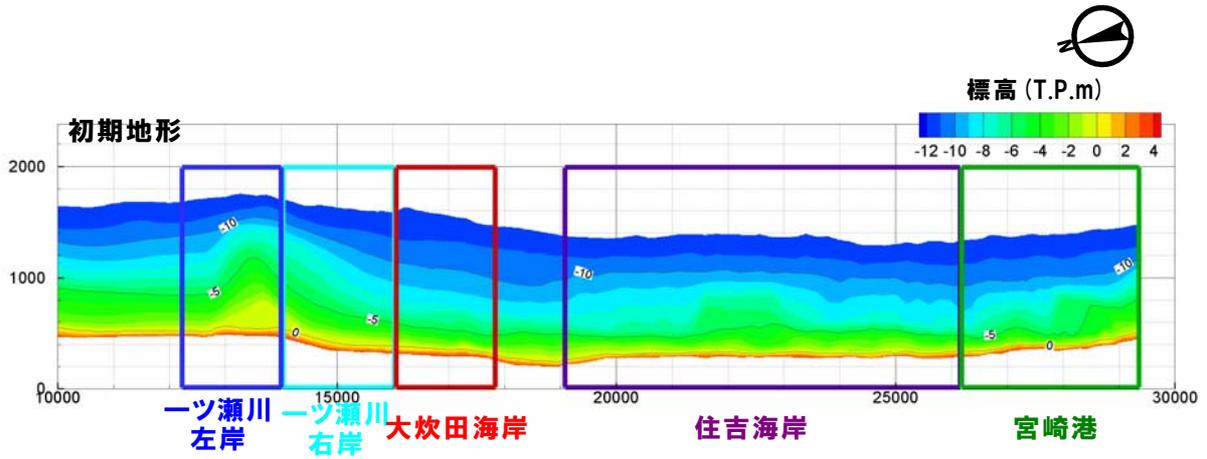
ケース名	一ツ瀬川左岸	一ツ瀬川右岸	大炊田海岸	住吉海岸	宮崎港
実測値	+9.0		-5.0	-20.0	+22.0
case0-1 漂砂量係数 0.01	+4.3	-4.1	-0.8	-20.0	+25.8
case0-2 漂砂量係数 0.02	+6.9	-6.9	-2.0	-20.0	+30.1
case0-3 漂砂量係数 0.03	+8.2	-8.7	-3.4	-20.5	+35.0



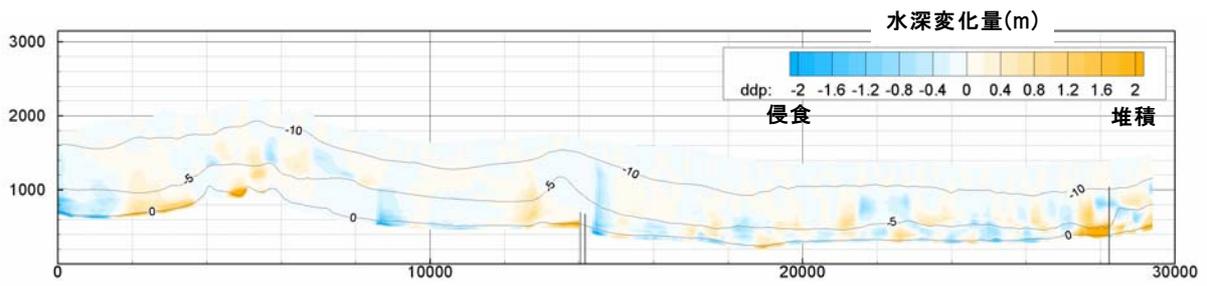


図一 1.25 水深変化量分布図の比較 橙色：堆積、水色：侵食(単位:m)
1983年基準, 2004年地形

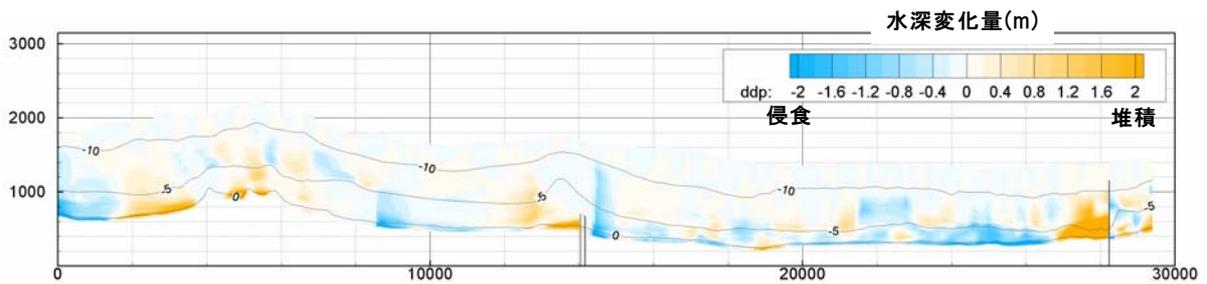
1) case0-1 漂砂量係数 $A = 0.01$



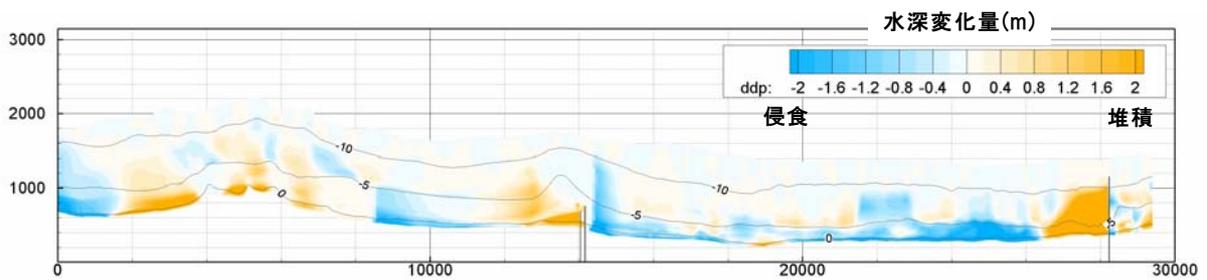
図一 1.26 土量変化量図 (case0-1) (1988年から2004年の傾向)



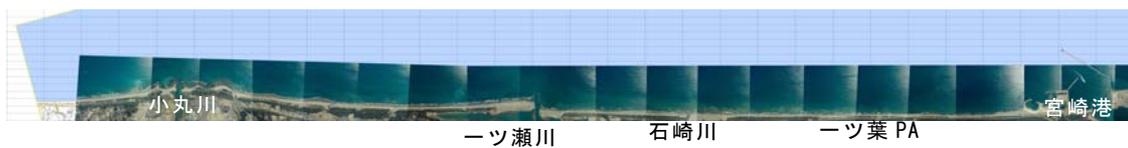
1983年-1988年



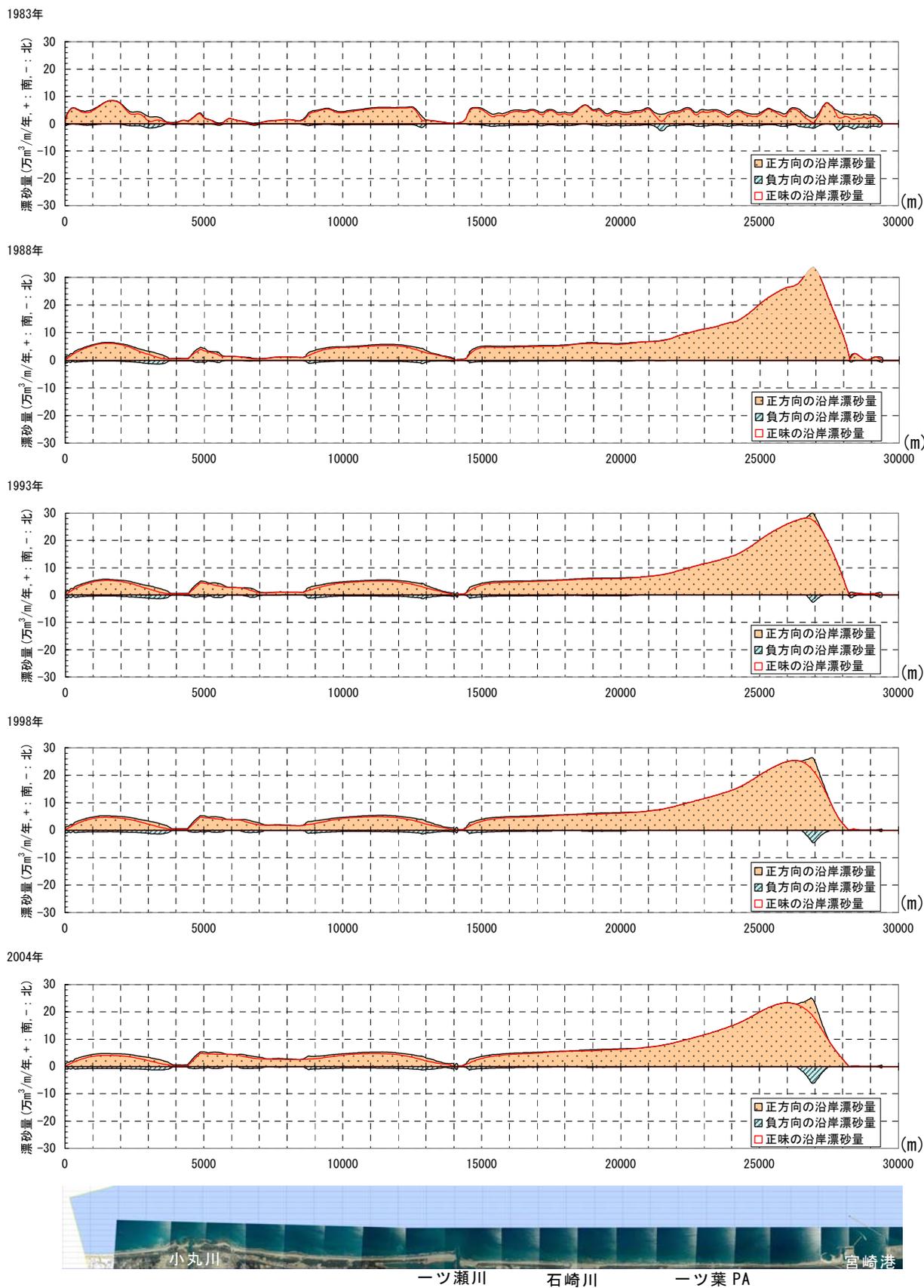
1983年-1993年



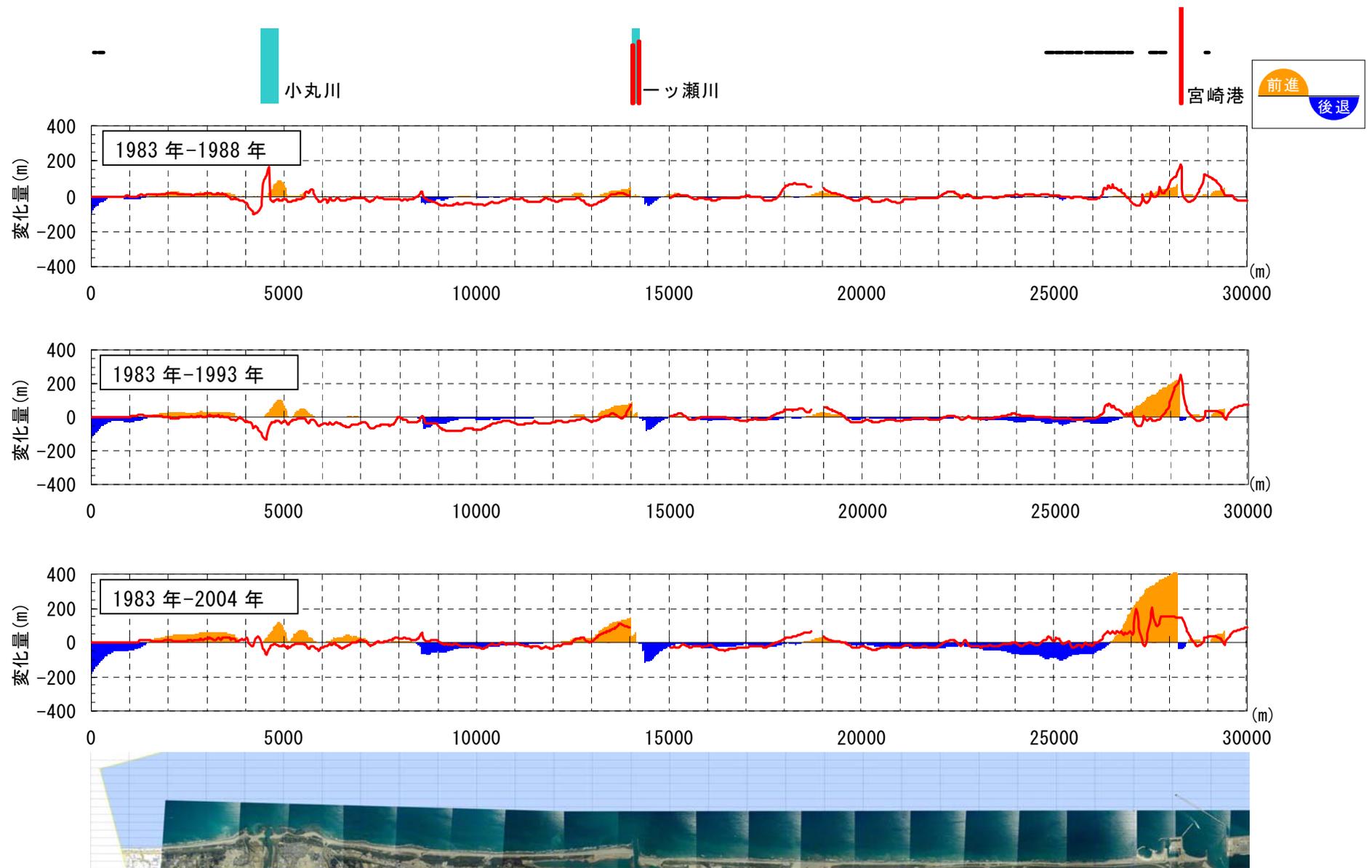
1983年-2004年



図一 1.27 水深変化量分布図(case0-1) 橙色：堆積、水色：侵食(単位:m)
コンターは1983年地形



図一 1.28 年間沿岸漂砂量分布図(case0-1)



図一 1.29 汀線変化量分布 (case0-1) (赤線は実測)

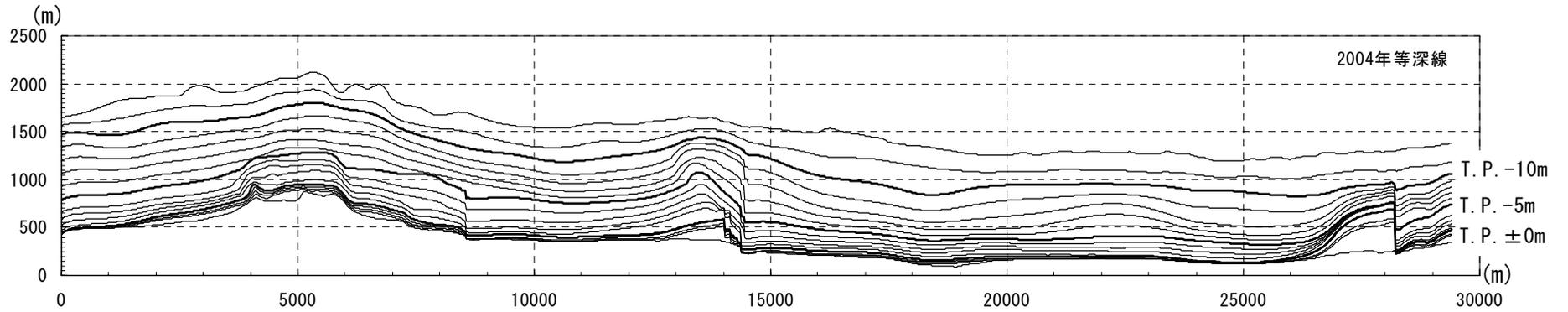
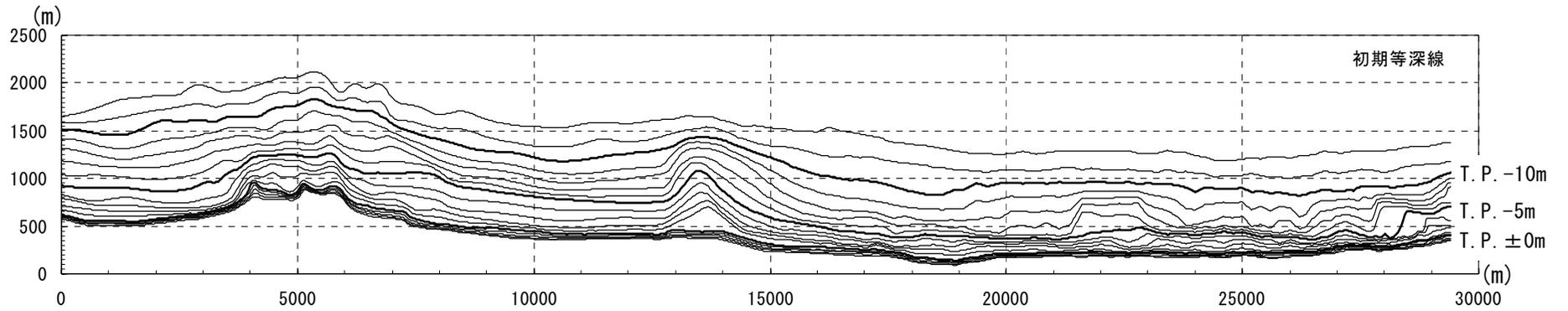
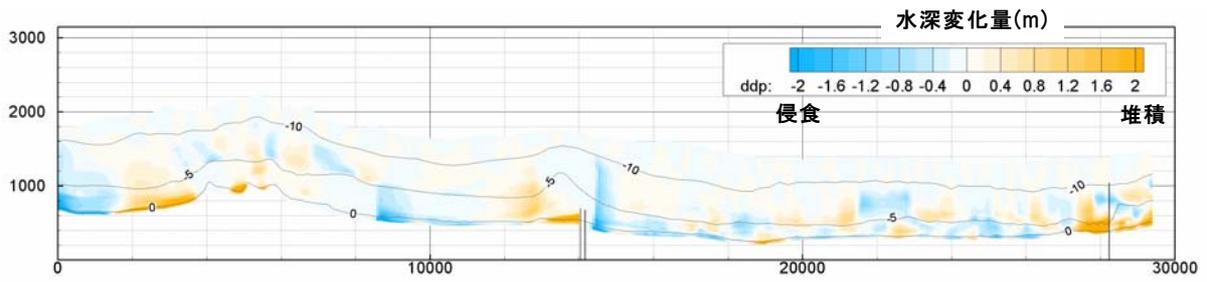
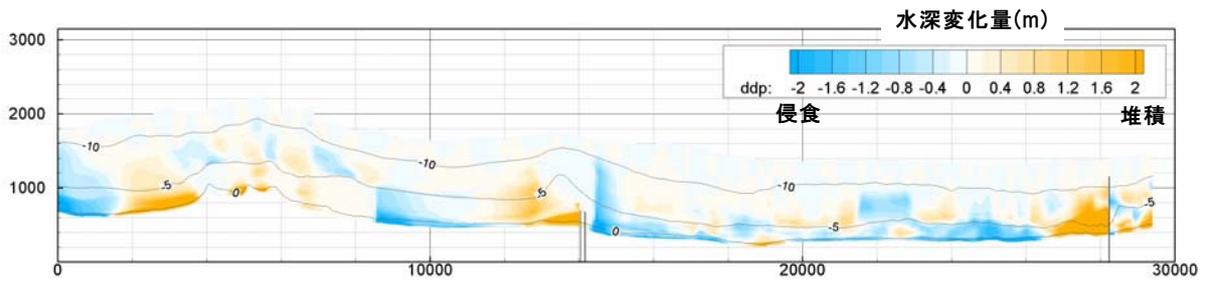


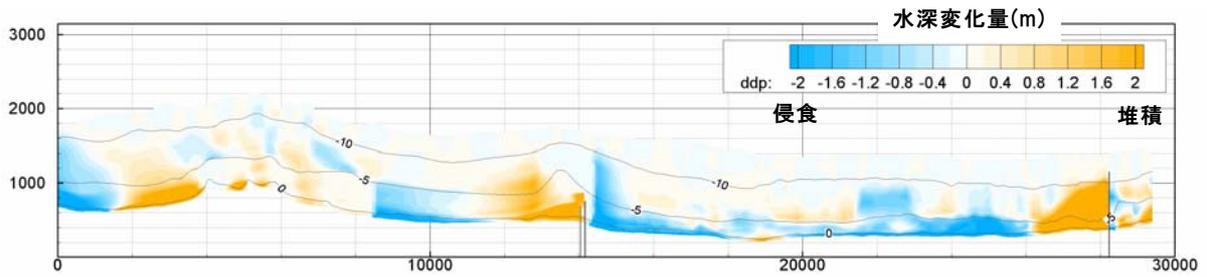
図- 1.30 等深線変化 (case0-1)



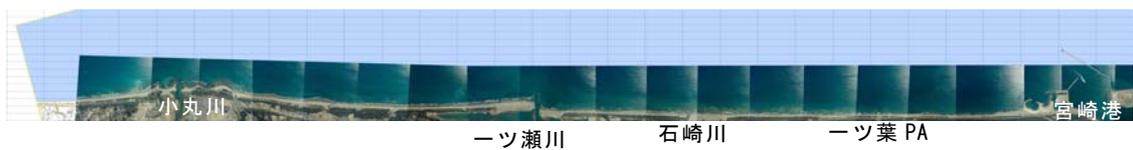
1983年-1988年



1983年-1993年

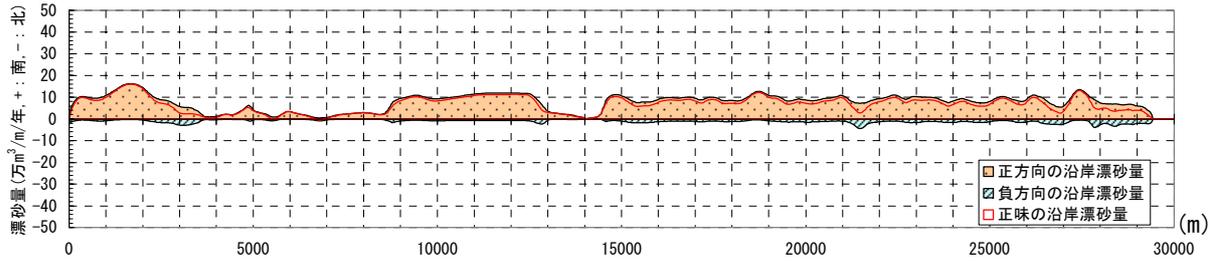


1983年-2004年

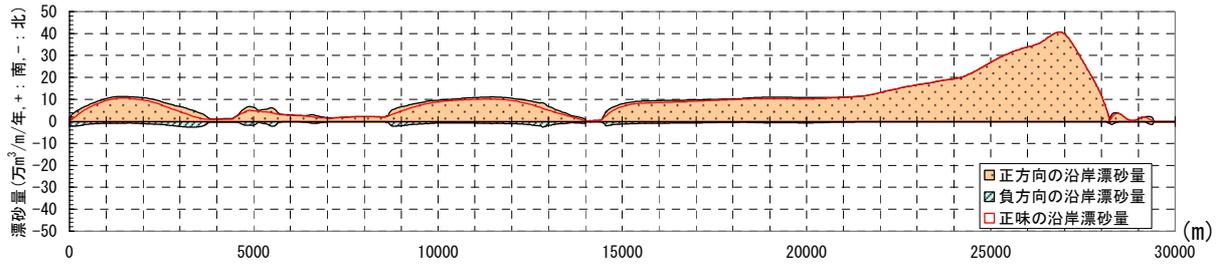


図一 1.32 水深変化量分布図(case0-2) 橙色：堆積、水色：侵食(単位:m)
コンターは1983年地形

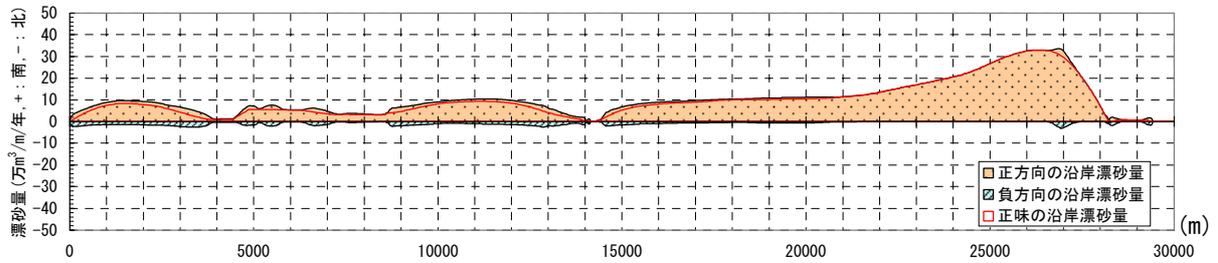
1983年



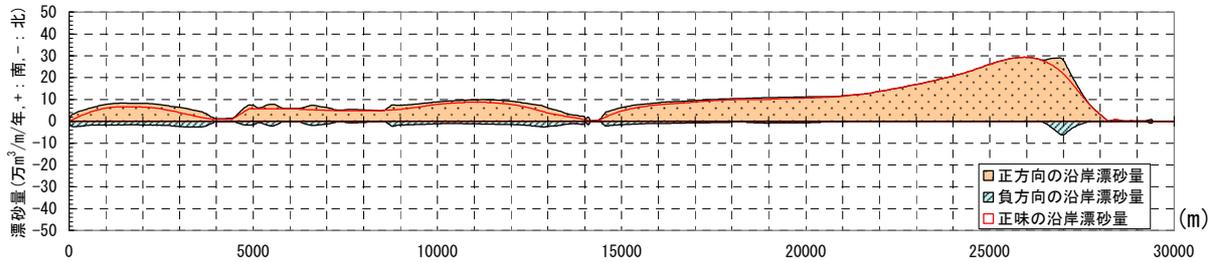
1988年



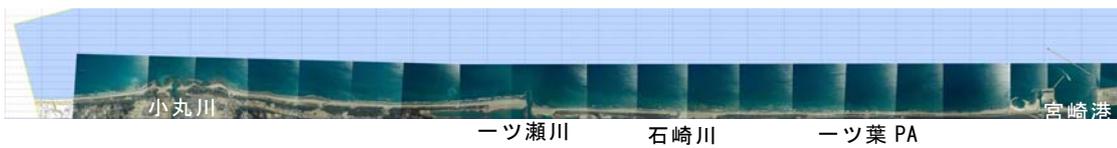
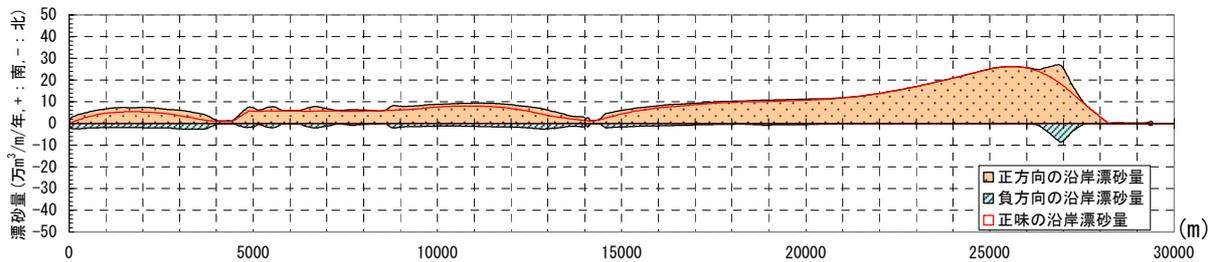
1993年



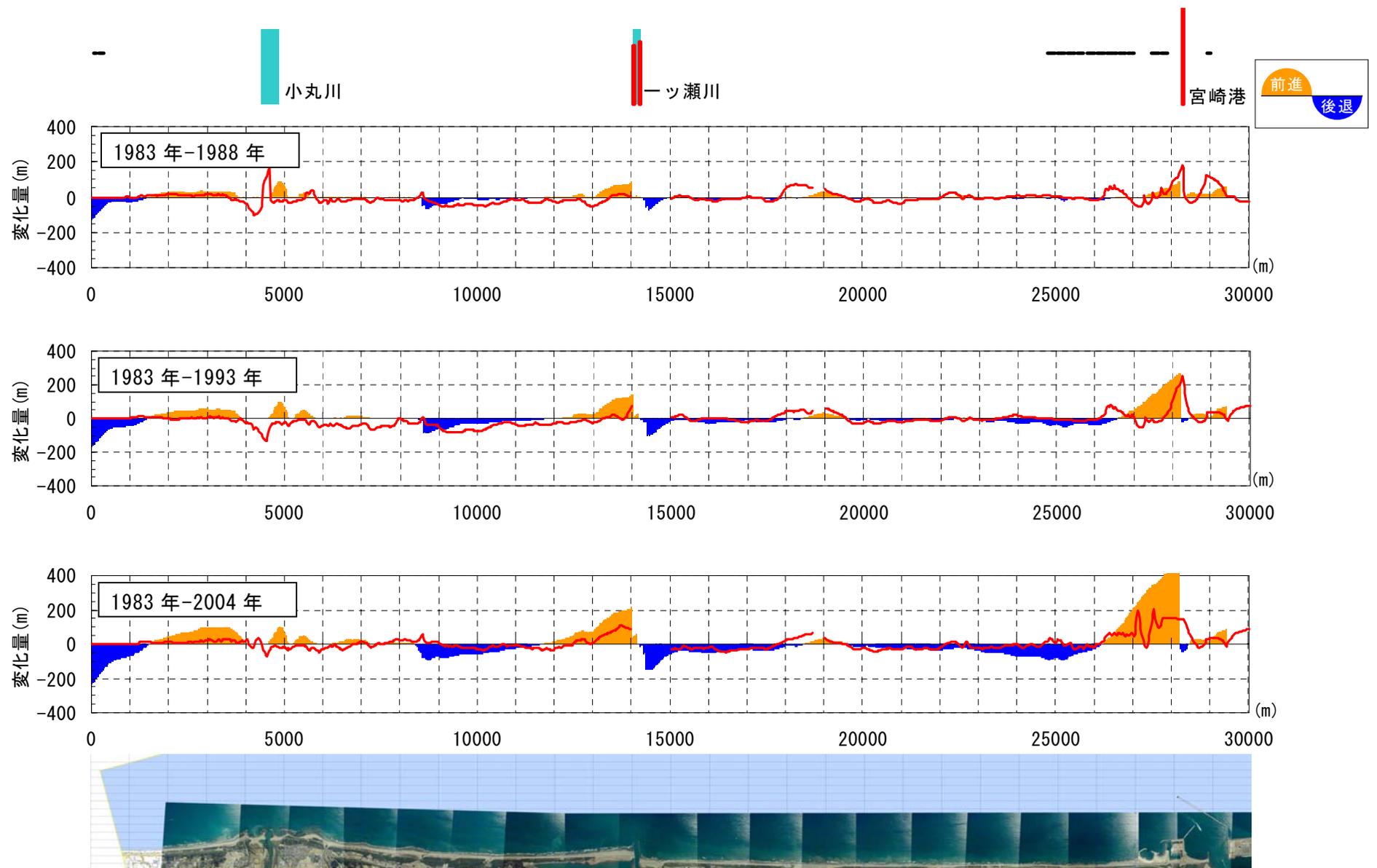
1998年



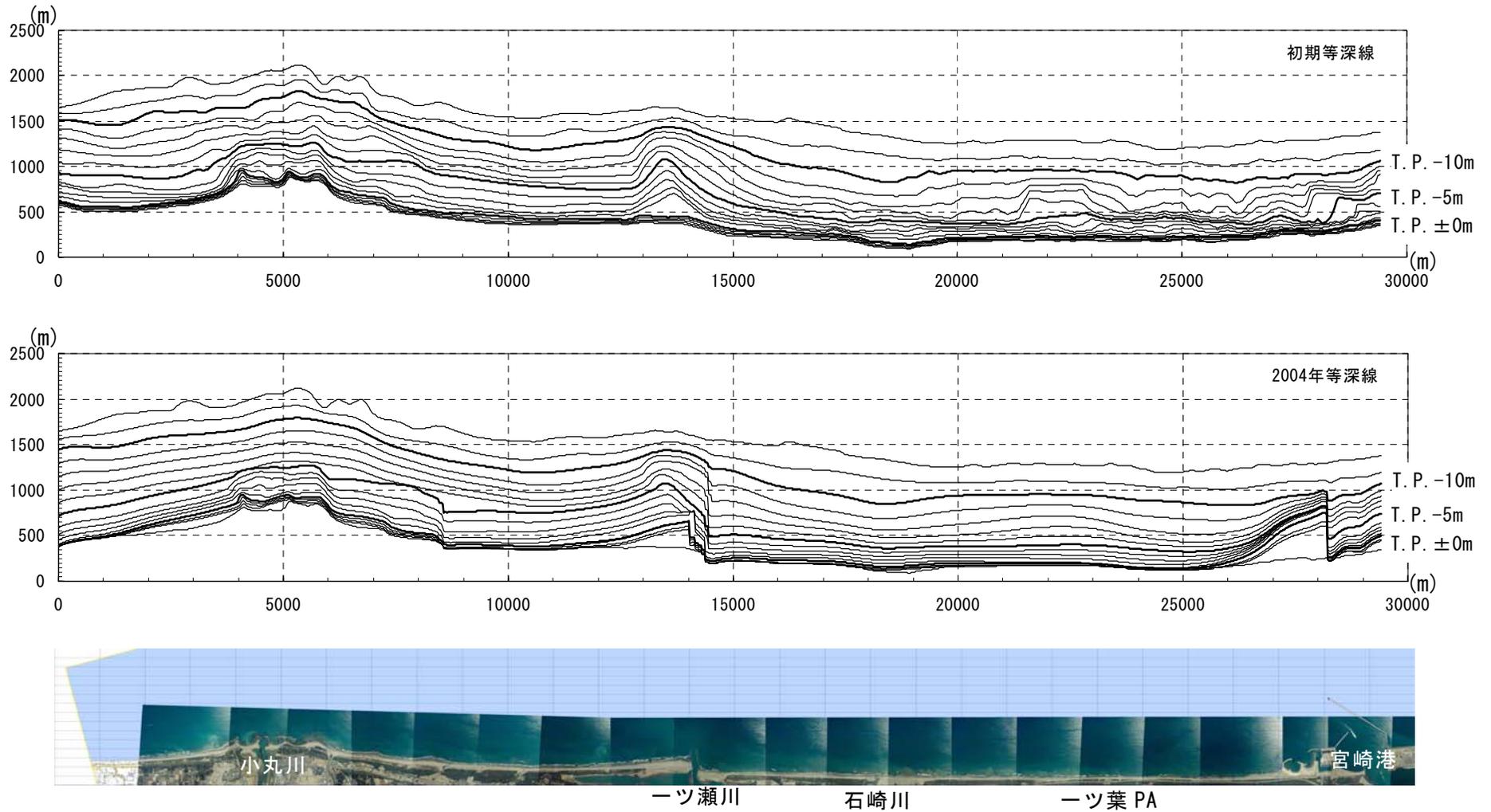
2004年



図一 1.33 年間沿岸漂砂量分布図 (case0-2)

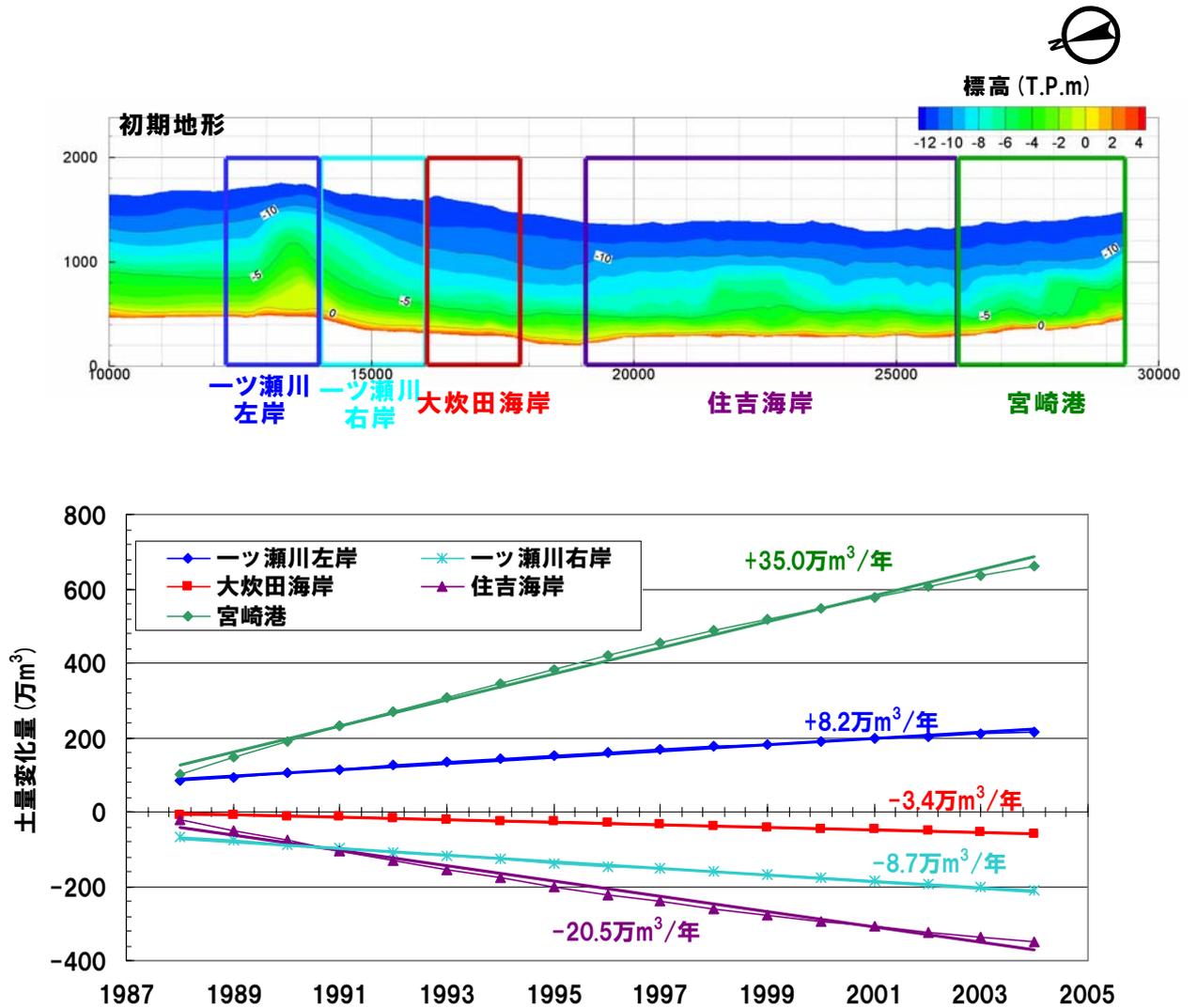


図一 1.34 汀線変化量分布 (case0-2) (赤線は実測)

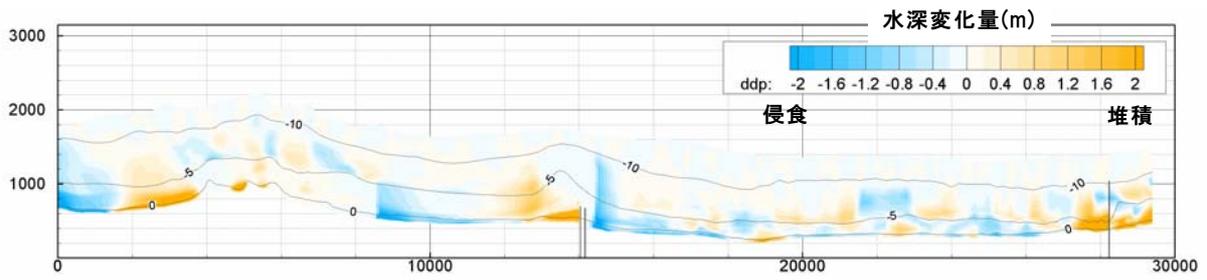


図－ 1.35 等深線変化 (case0-2)

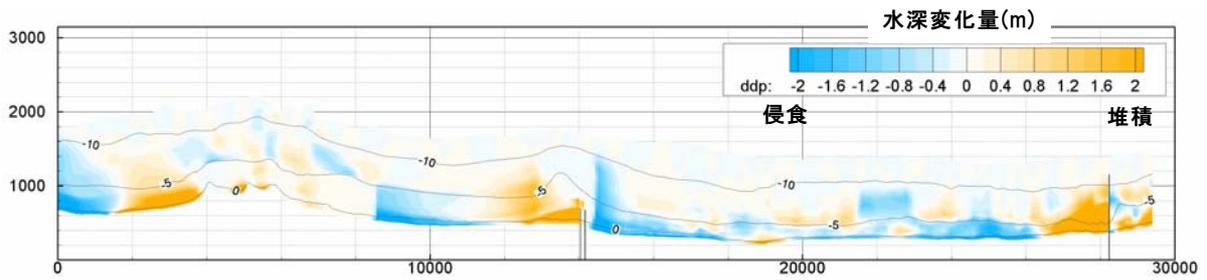
3) case0-3 漂砂量係数 $A = 0.03$



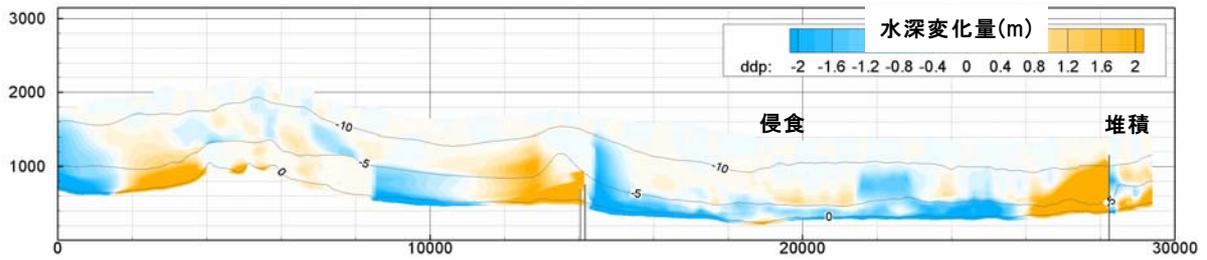
図一 1.36 土量変化量図 (case0-3) (1988年から2004年の傾向)



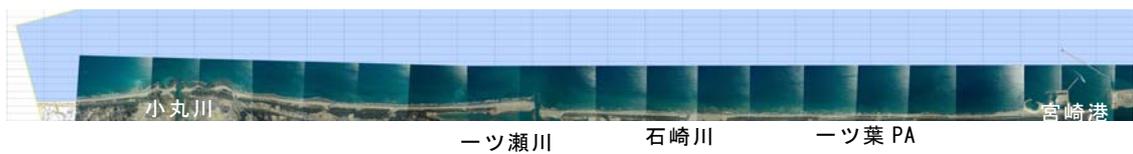
1983年-1988年



1983年-1993年

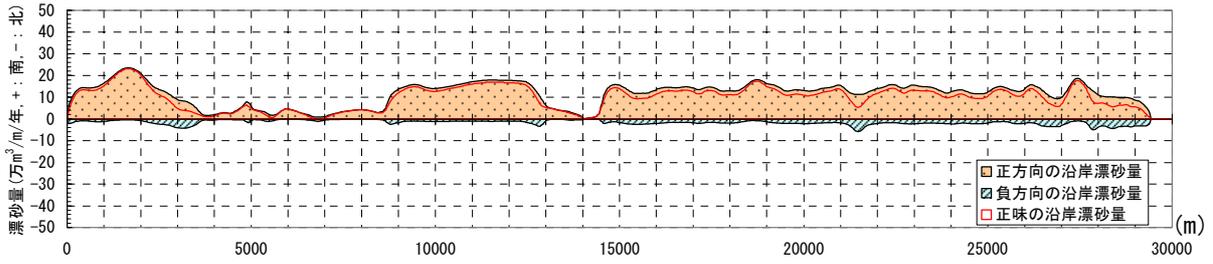


1983年-2004年

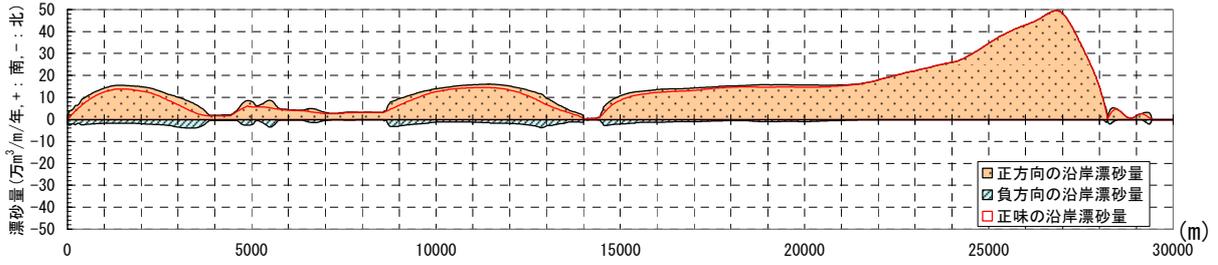


図一 1.37 水深変化量分布図(case0-3) 橙色：堆積、水色：侵食(単位:m)
コンターは1983年地形

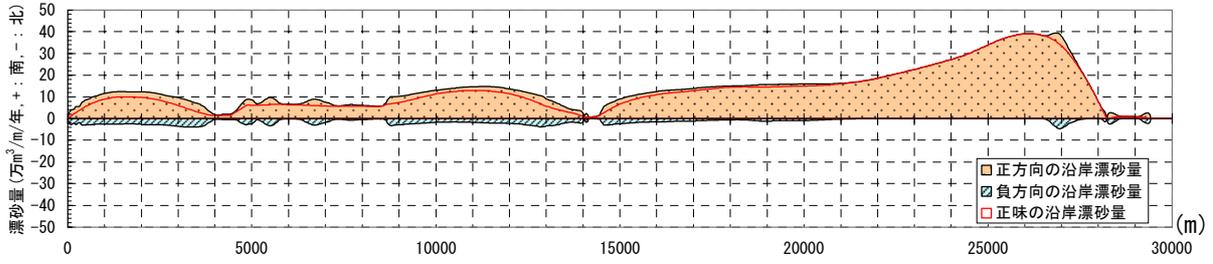
1983年



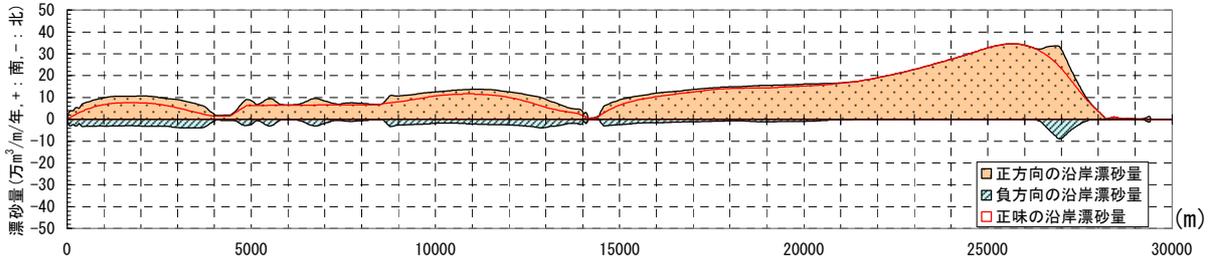
1988年



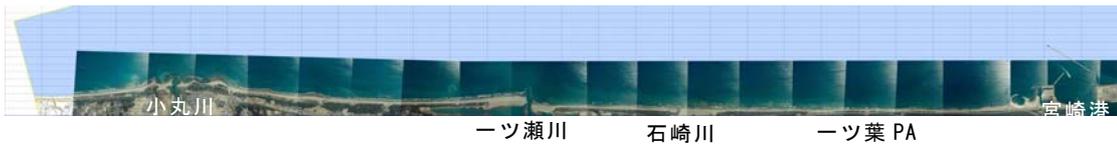
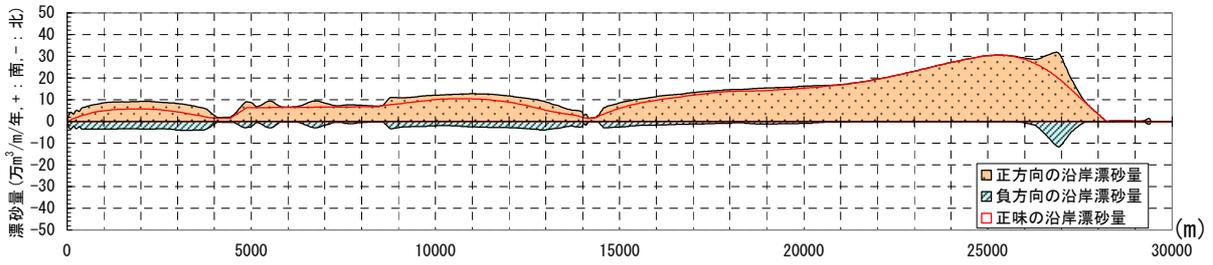
1993年



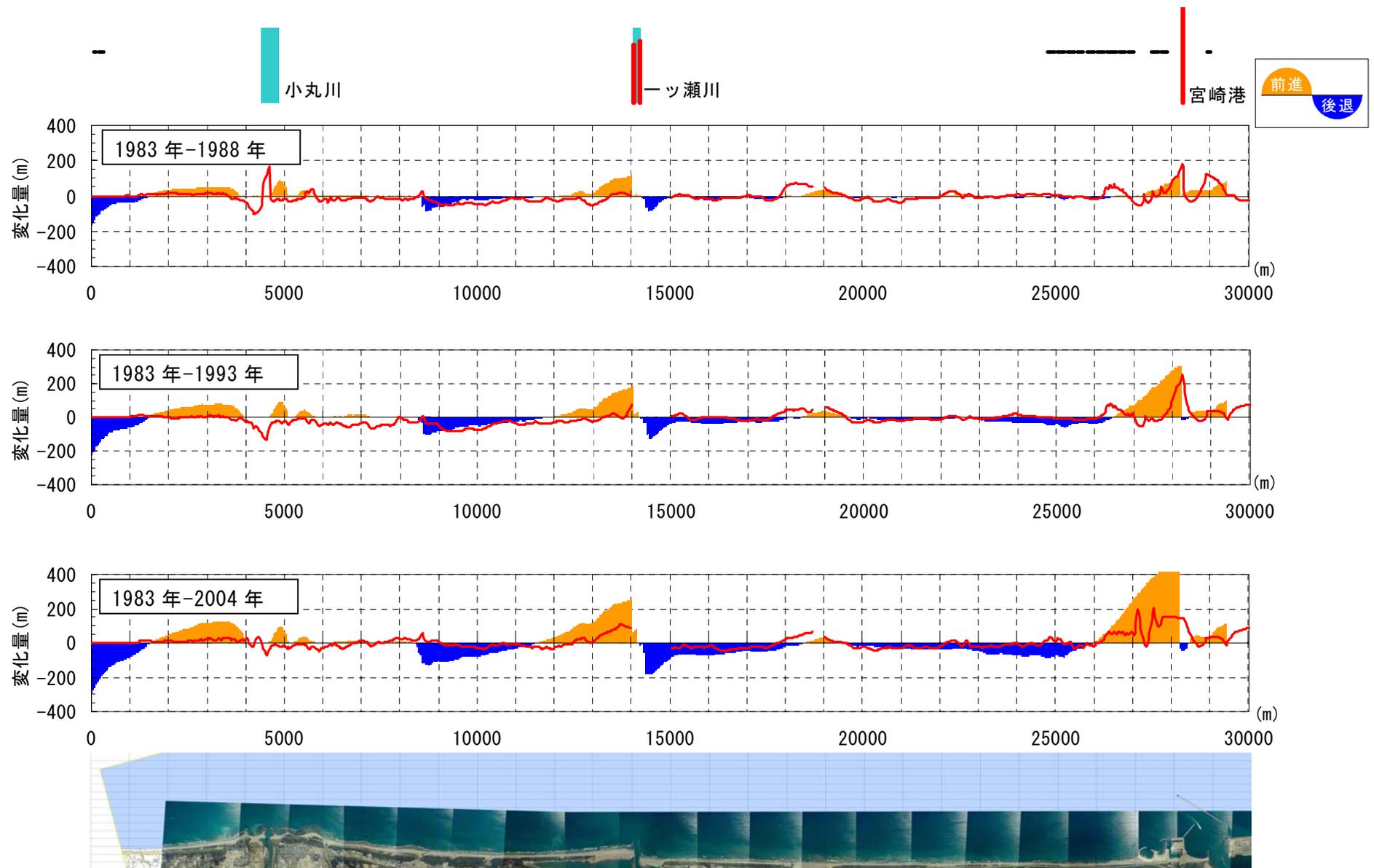
1998年



2004年



図一 1.38 年間沿岸漂砂量分布図 (case0-3)



図一 1.39 汀線変化量分布 (case0-3) (赤線は実測)

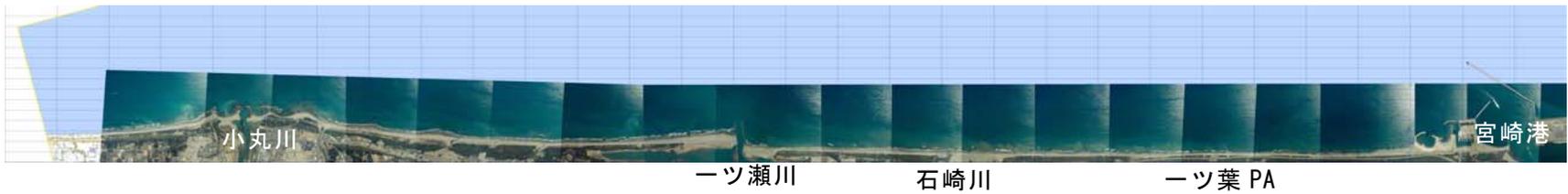
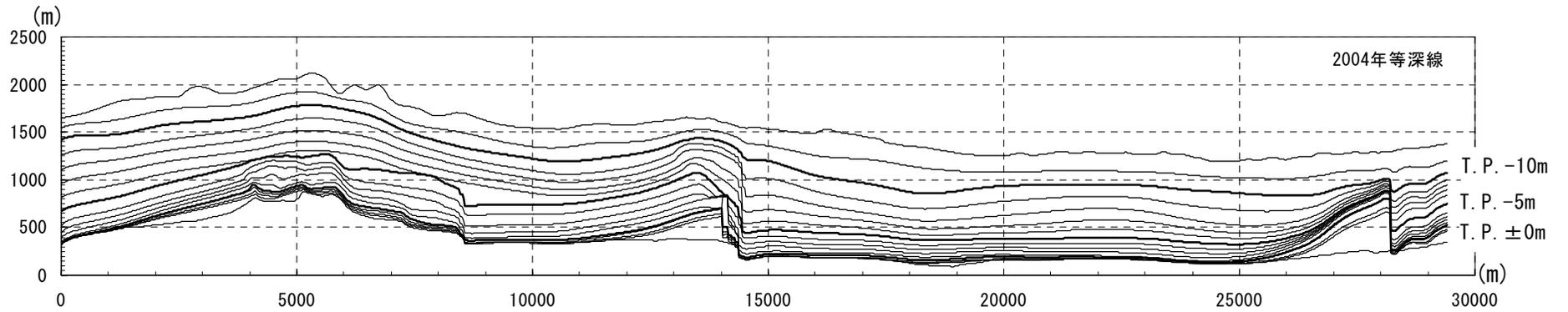
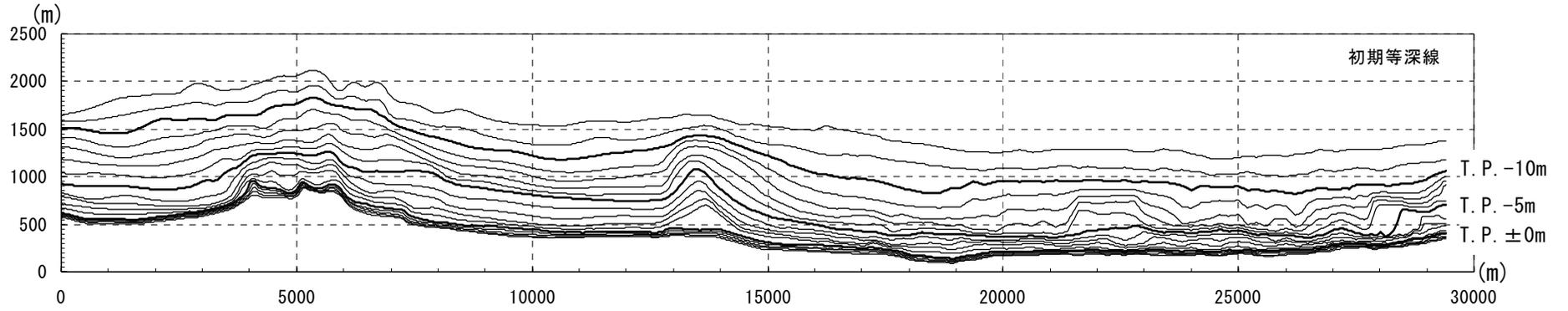
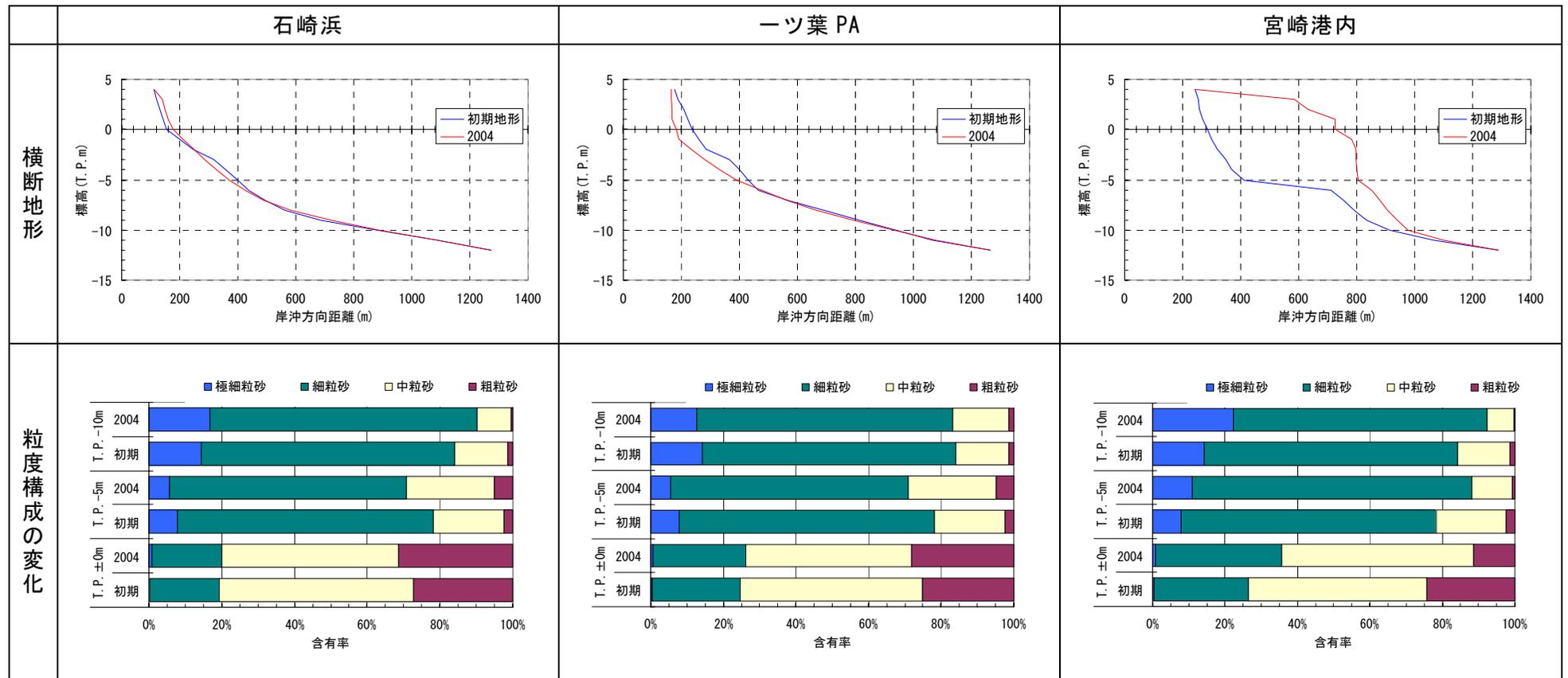


図 - 1.40 等深線変化 (case0-3)

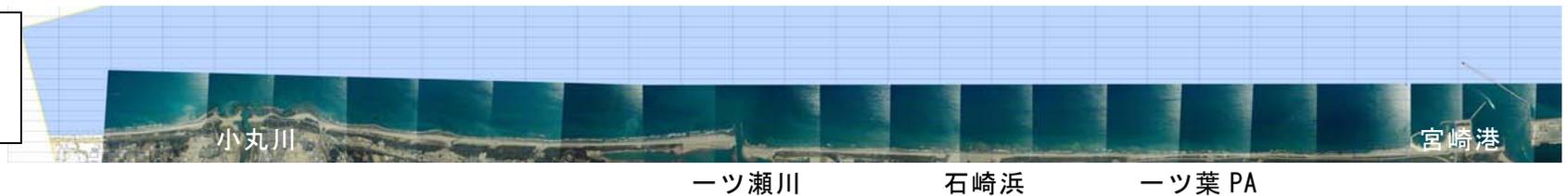
4) 粒径に関する検証

再現計算結果 case0-2 について、粒度構成の変化を確認した。図－ 1.41 に計算結果の横断面と粒度構成を比較して示す。

宮崎港内では細粒分の割合が増えており、一ツ葉 PA 前面では粗粒分の割合が増えている。石崎浜では、沖側が細粒化、岸側が粗粒化している。海岸侵食域では粗粒化が、堆積域では細粒化が進むことが一般的であり、計算結果より得られた粒度構成は妥当であるといえる。



極細粒砂 : 0.09mm
 細粒砂 : 0.18mm
 中粒砂 : 0.35mm
 粗粒砂 : 0.71mm

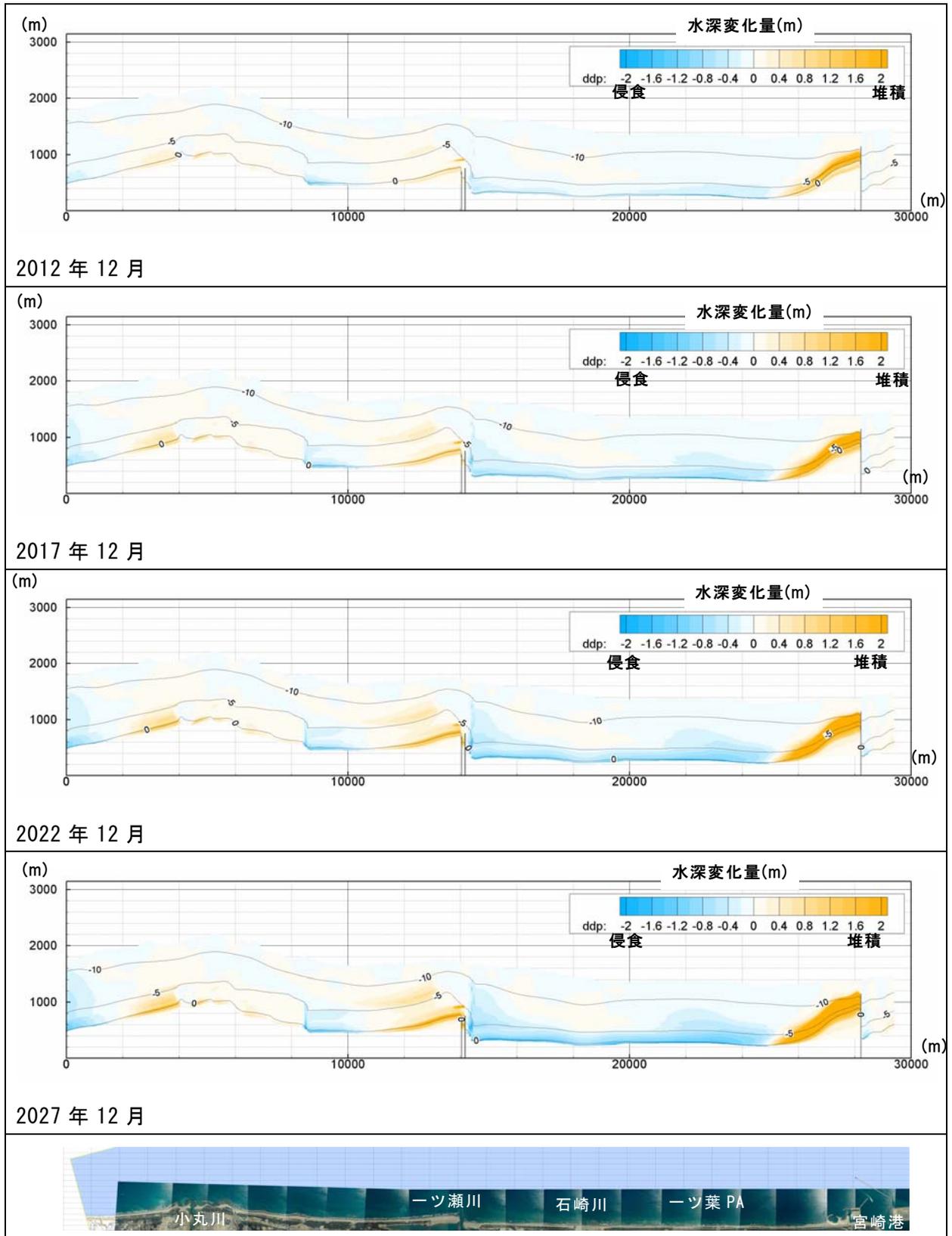


図－ 1.41 初期から 2004 年の粒度構成の変化 (計算結果)

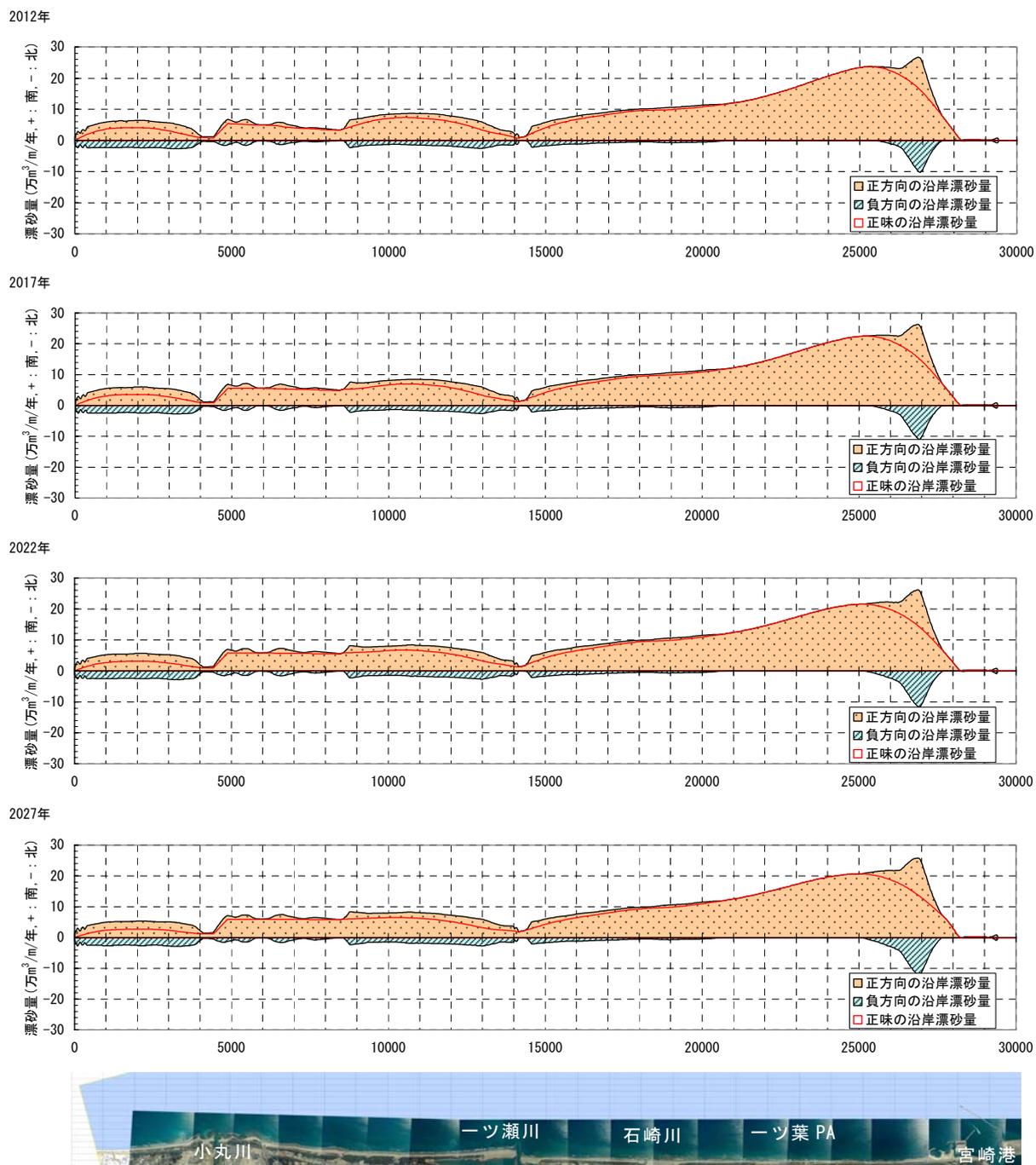
2. 地形変化モデルの検証

前章で構築したモデルが将来の予測にも有効なのか確認するために、2027 年までの予測計算を実施した。

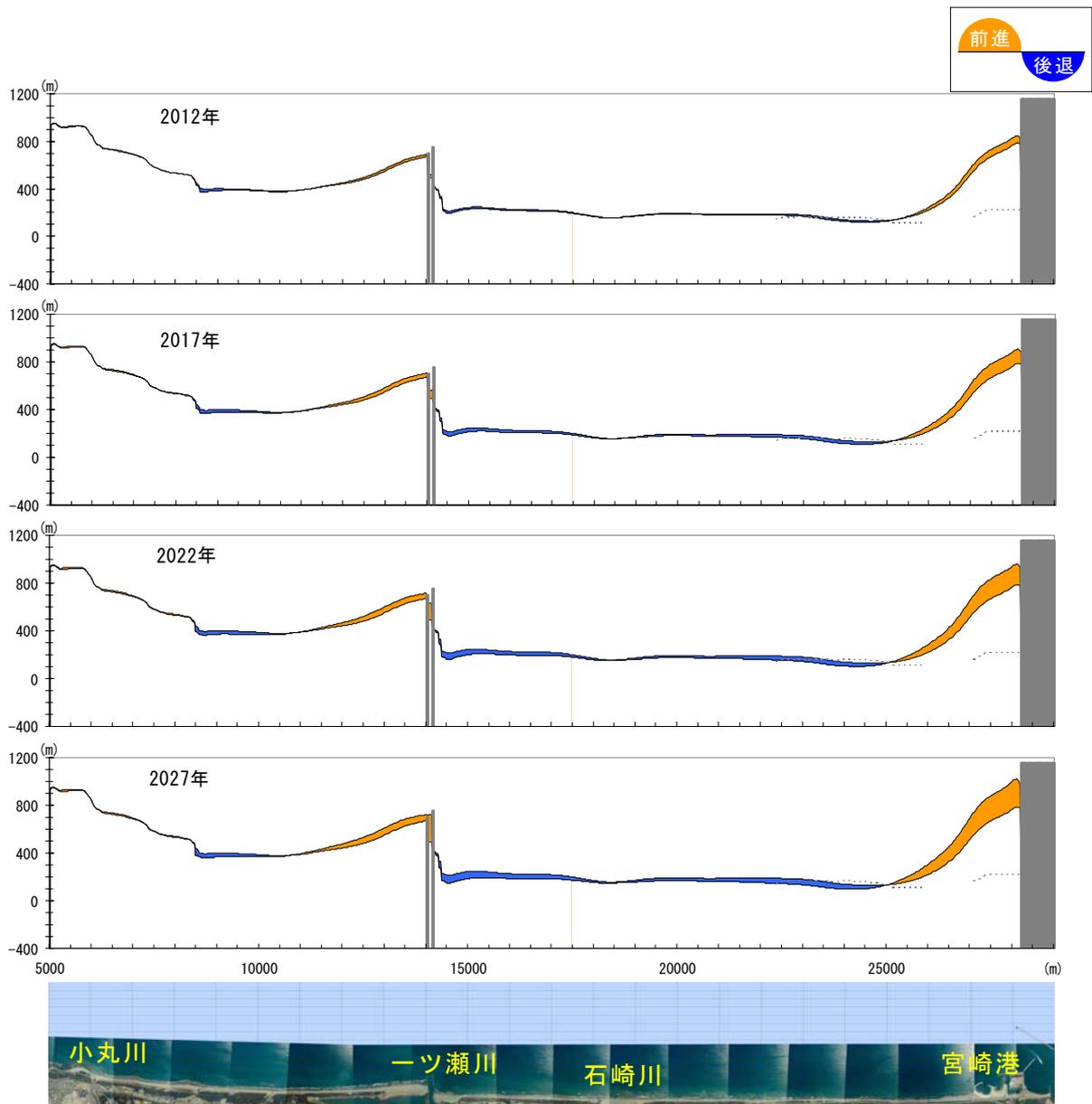
計算結果として水深変化量分布図(図－ 2.1)、沿岸漂砂量分布図(図－ 2.2)、汀線変化図(図－ 2.3)を示す。現況で見られる、一ツ瀬川左岸への堆積、住吉海岸の侵食、宮崎港付近の堆積が進行している。2022 年以降は大きな土量変化は見られない。



図一 2.1 水深変化量分布図 橙色：堆積、水色：侵食(単位:m) 2007年12月基準



図－ 2.2 沿岸漂砂量分布



図－ 2.3 汀線変化量図 グレー点線：護岸

《参考文献》

- 熊田貴之・小林昭男・宇多高明・芹沢真澄(2003)：沿岸・岸沖漂砂による粒径分級を考慮した等深線変化モデル，海岸工学論文集，50，pp.481-485
- 野志保仁・小林昭男・宇多高明・芹沢真澄・熊田貴之(2005)：局所勾配算定式の適用範囲と底質特性の新しい評価指標，海岸工学論文集，52，pp406-410
- 宇多高明・河野茂樹(1996)：海浜変形予測のための等深線変化モデルの開発，土木学会論文集 No.539／Ⅱ-35，pp121-139
- 宮崎県宮崎土木事務所・株式会社アイ・エヌ・エー(2005)：平成16年度 海岸侵食第1-I号 海岸侵食対策事業報告書