参考資料－４（２）

平成 19 年度

中城湾港泡瀬地区環境保全・創造検討委員会

第 2 回 委員会資料

［第 2 回 人工島環境整備専門部会 資料］

クビレミドロ生育干潟の整備に関する検討
（干潟地形の安定性に関する検討）

平成 20 年 3 月 7 日

内閣府沖縄総合事務局開発建設部
沖縄県土木建築部
沖縄市東部海浜開発局
（財）港湾空間高度化環境研究センター

目次

1.　干潟地形の安定性に関する検討.....1

1.1　生育域の外力条件の再整理諸条件の整理.....1

(1)　第 1 回専門部会における指摘事項.....1
(2)　クビレミドロの生育・非生育に関する外力指標の検討.....2
1)　生育エリアの抽出.....3
2)　生育域地盤高の範囲抽出.....4
3)　外力条件の特徴把握.....7
4)　統計的手法による判別分析.....13
(3)　クビレミドロ生育条件の整理.....17

1.2　人工干潟の配置検討.....19

(1)　計算方法と計算条件.....22
(2)　生育条件の確認.....23
(3)　地形の安定性に関する検討.....28
(4)　代替案の検討.....33
(5)　まとめ.....36

1.3　高波浪時の土砂流出の可能性検討.....37

2.　今後の検討課題.....40

2.1　本検討の位置づけ.....40

2.2　本検討における課題.....40

2.3　現地試験、監視調査　～生育条件の再整理と検討継続項目～.....41

1.　干潟地形の安定性に関する検討

1.1　生育域の外力条件の再整理

(1) 第 1 回専門部会における指摘事項

平成 19 年度第 1 回専門部会において、クビレミドロの生育条件を、Effective wave height、エネルギー平均波及び平均波の 3 種類の波浪条件および、底質粒径 0.2mm の細砂（泡瀬地区のクビレミドロ生育域の平均粒径）に対するシールズ数の範囲で表した。

クビレミドロ生育地のシールズ数

Effective Wave Height (H=5.2m、T=9.8s、θ=SE、H.W.L.) ： ψ ＜1.0

エネルギー平均波 (H=1.6m、T=7.4s、θ=ESE、M.W.L.) ： ψ = 0.05 ～ 0.25

平均波(H=1.2m、T=7.4s、θ=ESE、M.W.L.) ： ψ = 0.05 ～ 0.2

しかしながら、上記の範囲分けは、「現状のクビレミドロ生育地のみの条件をピックアップしており、非生育域となる条件が考慮されていない」といった指摘があり、生育地と非生育地の両者を考慮した外力条件の再整理をおこなう。

<シールズ数について>

シールズ数は、波作用下での底質の移動限界を支配するパラメータで、波浪の海底に作用するせん断力と砂粒の静的なせん断抵抗の比で表される無次元数である。

シールズ数：

$$\psi = \frac{\tau_{\max}}{(\rho_s - \rho_w)gD} \tag{1}$$

ここで、$\tau_{\max}$ は底面せん断応力、ρ_s は底質密度（=2650kg/m^3）、ρ_w は海水密度（=1025kg/m^3）、g は重力加速度（=9.8m/s^2）、D は底質粒径である。シールズ数の大小により、底質の移動形態が図 1-1 のように変化する。

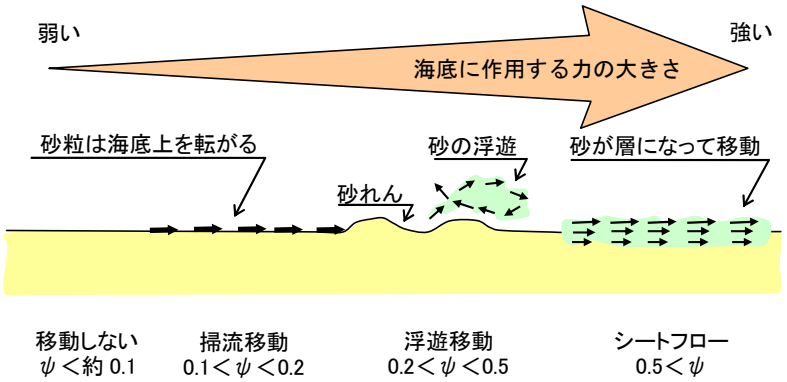


図 1-1　シールズ数と底質移動形態

(2) クビレミドロの生育・非生育に関する外力指標の検討

生育地と非生育地の両者を考慮した外力条件の再整理は、以下の手順で実施した。

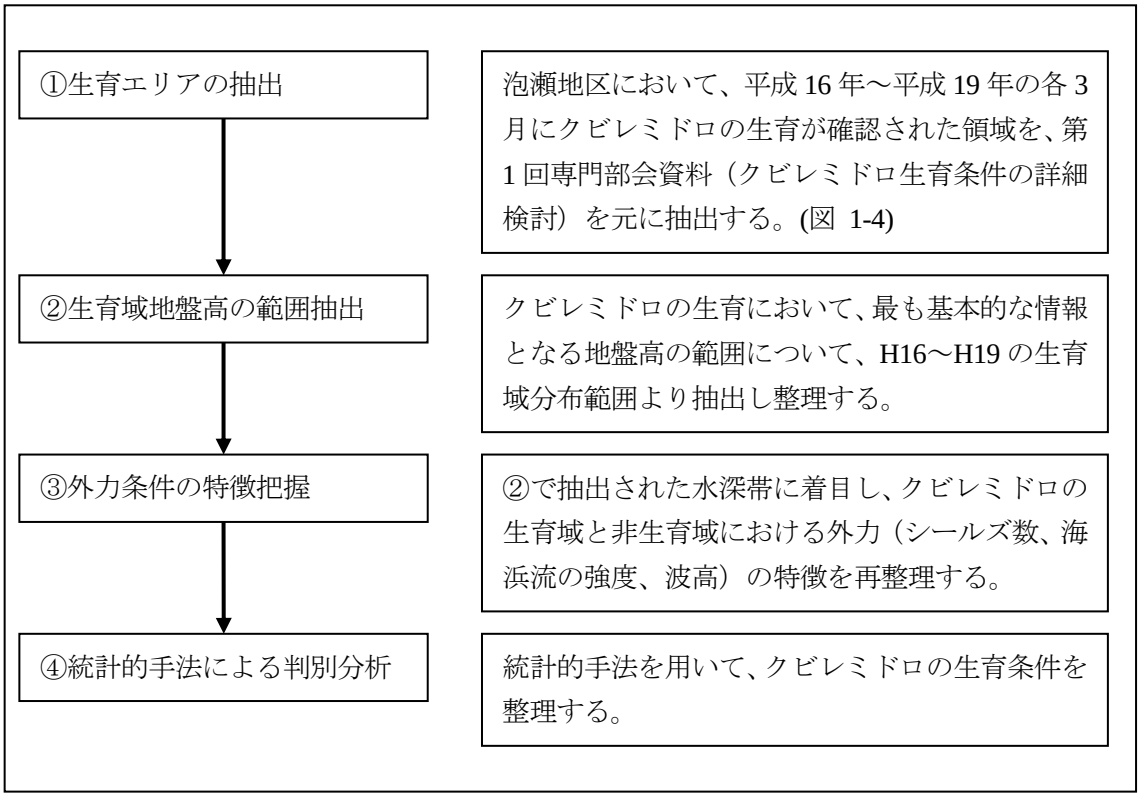


図 1-2　クビレミドロ生育地の外力条件の検討手順

なお、これまで外力条件の指標として、シールズ数を用いてきたが、本資料では**底面せん断力を指標に用いる**こととする。変更理由は、以下の 2 点による。

- シールズ数ψは、式（1）のように底面せん断応力τ_{max}を砂粒の静的なせん断抵抗を表す項で除しており、底質粒径の大きさにより変化する量である(図 1-3)。
- 底面せん断応力τ_{max}は底面に直接作用する外力であるため、クビレミドロ及びその卵に作用する外力の指標として、シールズ数より適切と考えられる。

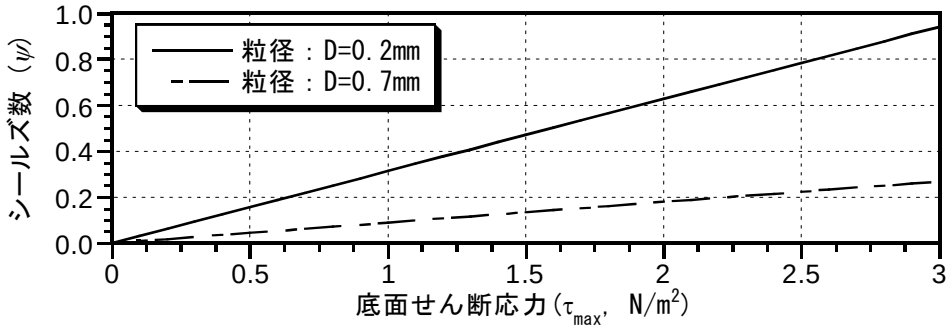
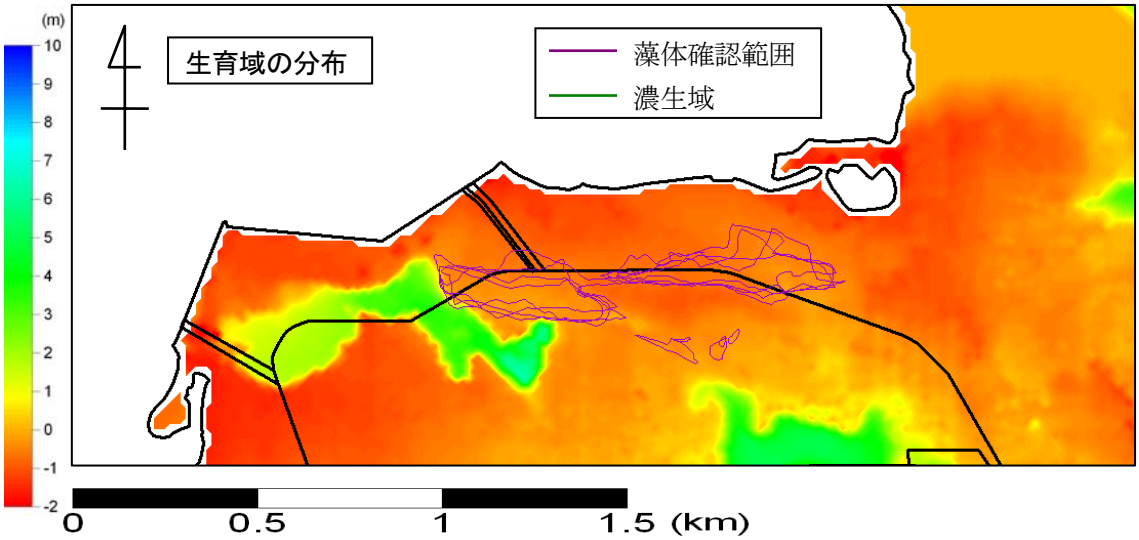


図 1-3　底面せん断応力とシールズ数の関係

1)　生育エリアの抽出

泡瀬地区において、平成 16 年～平成 19 年の各 3 月にクビレミドロの生育が確認された領域を、第 1 回専門部会資料（クビレミドロ生育条件の詳細検討）を元に抽出した。図 1-4 は、その結果を示したものであり、クビレミドロの生育範囲は、年により多少のバラツキは見られるものの、毎年ほぼ同じ場所であるといえる。



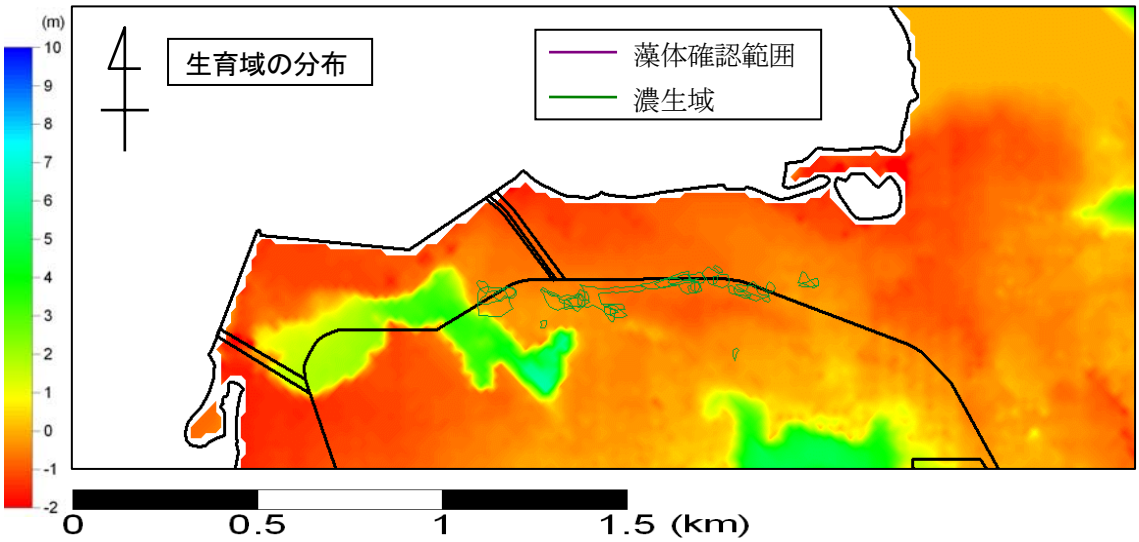


図 1-4　平成 16 年から平成 19 年の各 3 月におけるクビレミドロの生育が確認された範囲の重ね合わせ（上：藻体確認範囲、下：低密度濃生域、5～100 藻体／50cm×50cm）生育範囲は平成 19 年第 1 回専門部会資料（クビレミドロ生育条件の詳細検討）より抽出

2)　生育域地盤高の範囲抽出

クビレミドロの生育において、最も基本的な情報となる地盤高の範囲について、H16～H19の生育域分布範囲より抽出し整理した。図 1-5～図 1-8 は、年毎に、地盤高のランク別に生育面積を集計した結果であり、図 1-9 は、上記の 4 年間分を集計した結果である。

これらの図から、クビレミドロの生育が特に活発な地盤高の範囲は、**C.D.L.+0.2～0.8m** であることが確認される。

また、泡瀬地区の干潟上で上記の地盤高を満足する領域を抽出すると、図 1-10 中の黄色で塗りつぶした領域が抽出される。

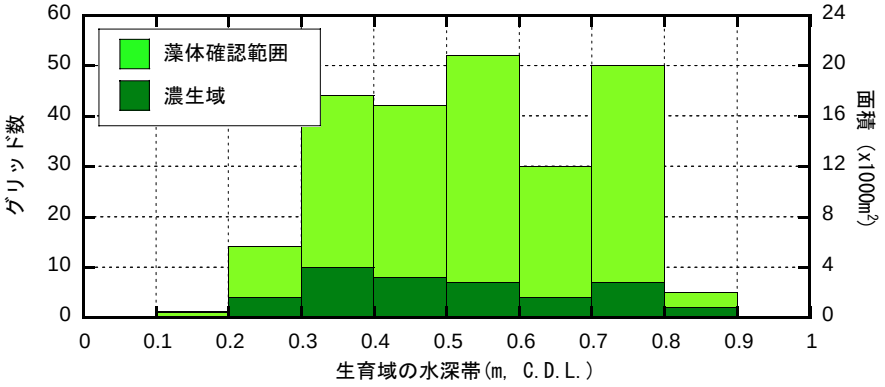


図 1-5　地盤高とクビレミドロ生育域の関係（平成 16 年 3 月）

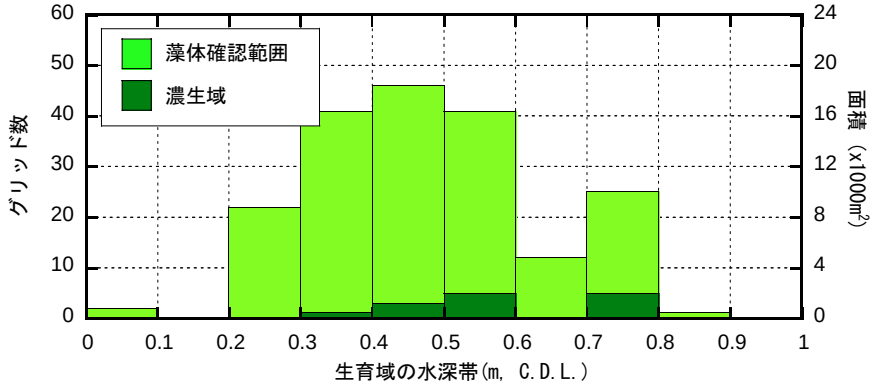


図 1-6　地盤高とクビレミドロ生育域の関係（平成 17 年 3 月）

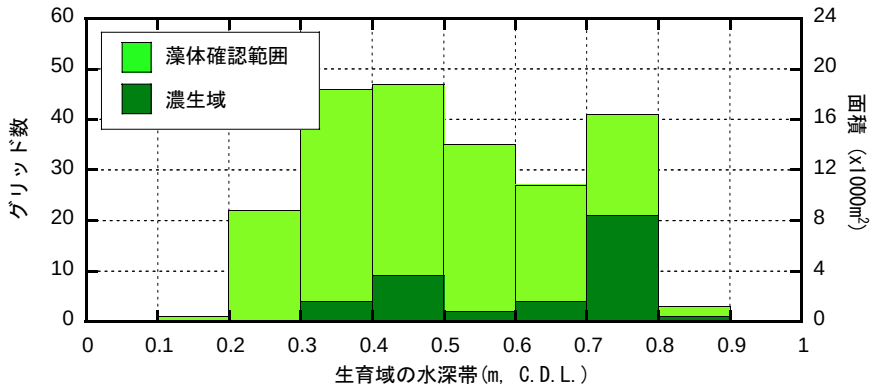


図 1-7　地盤高とクビレミドロ生育域の関係（平成 18 年 3 月）

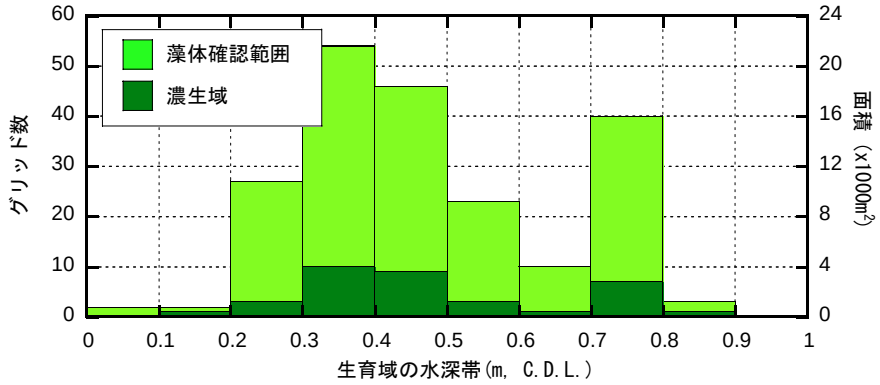


図 1-8　地盤高とクビレミドロ生育域の関係（平成 19 年 3 月）

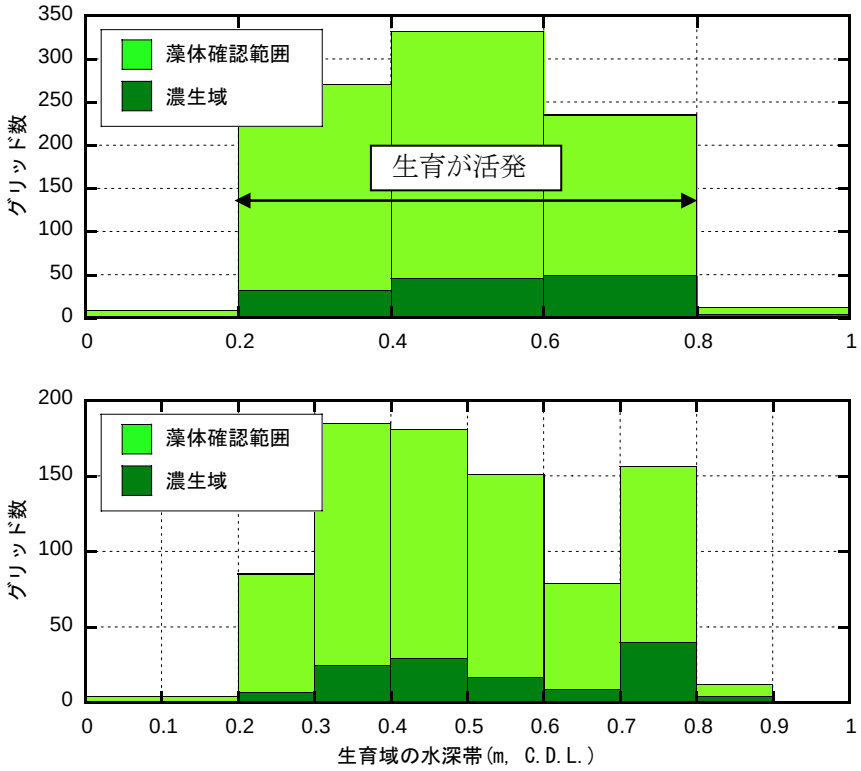


図 1-9　地盤高と生育域（H16～H19 集計）の関係（上：0.2m、下：0.1m 刻み）

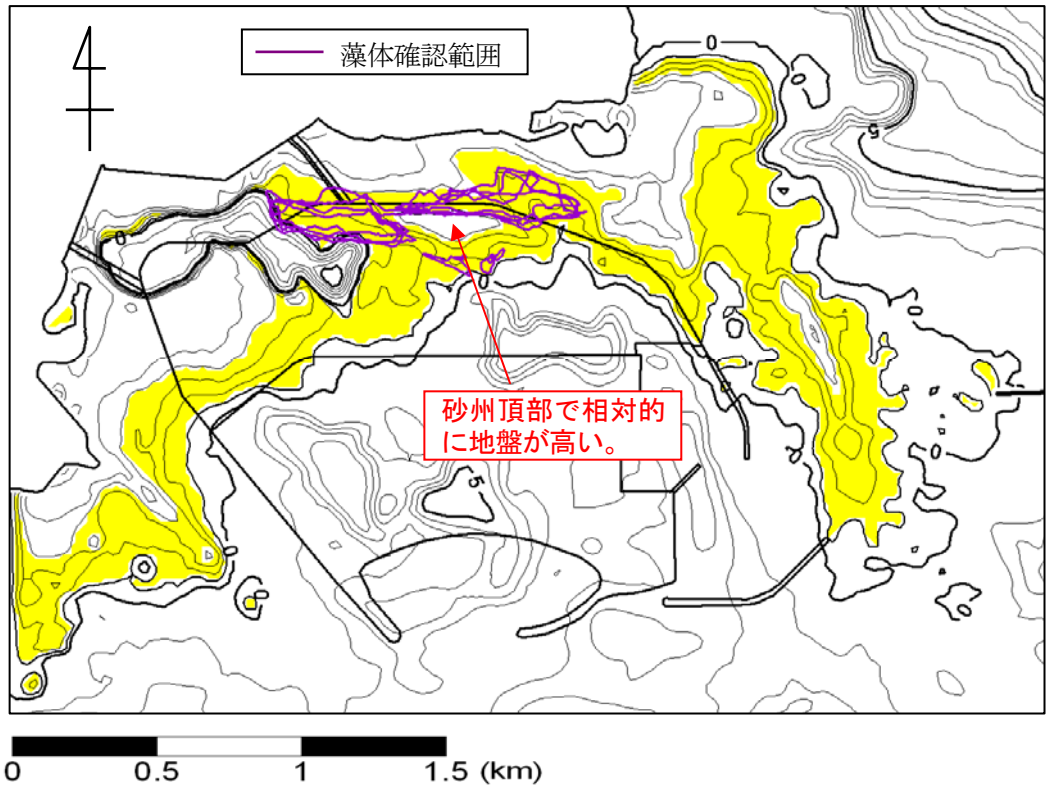


図 1-10　クビレミドロ生育域の地盤高の範囲（0.2~0.8m、 C.D.L.）の抽出

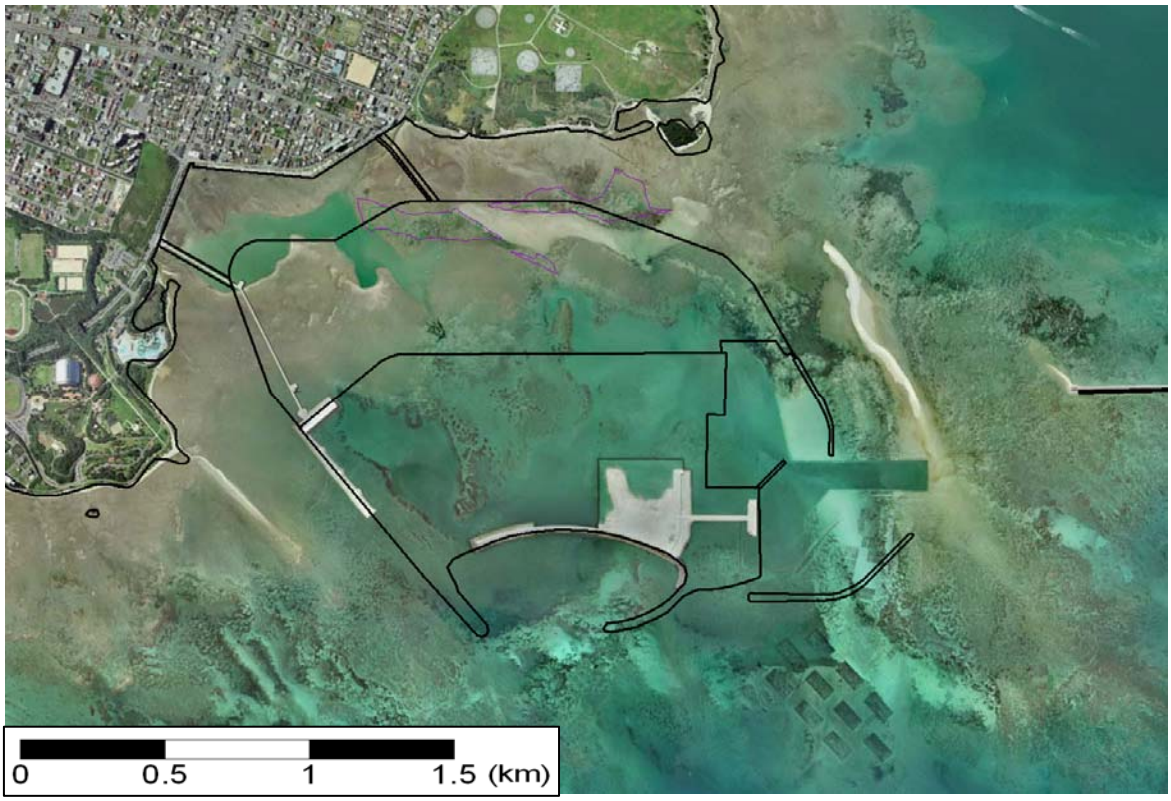


図 1-11　泡瀬地区の空中写真（2007 年 6 月撮影）

3)　外力条件の特徴把握

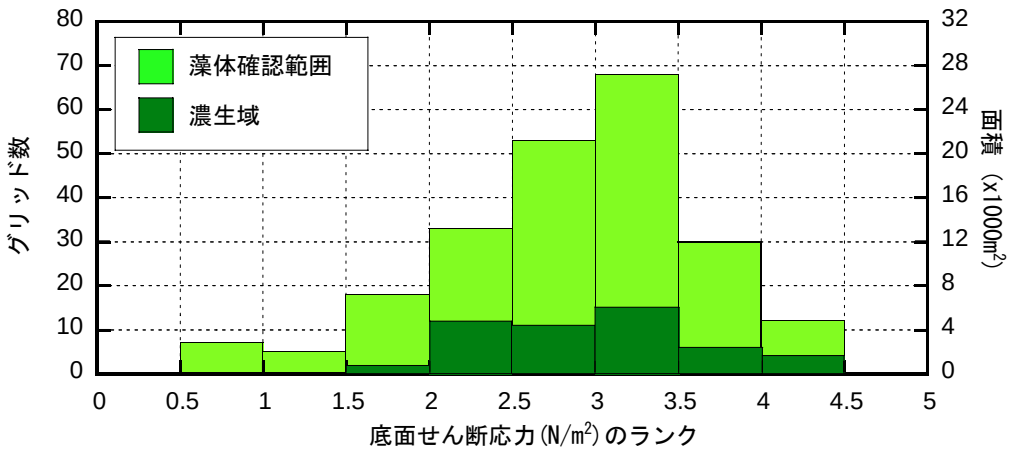
次に、**2)**で抽出された地盤高の範囲（0.2～0.8m、C.D.L.）に着目し、クビレミドロの生育域と非生育域における外力の特徴を再整理する。

図 1-10 に示す領域は、クビレミドロが生育可能な地盤高条件（0.2～0.8m、C.D.L.）により、抽出されたものである。この領域の地盤高はクビレミドロが生育可能な条件であるが、実際には、このうちの特定の領域（図中、紫の線で囲まれる範囲）にしか生育していない。そこで、この領域について、生育域と非生育域を分ける条件を探ることで、クビレミドロの生育条件を整理することを試みる。

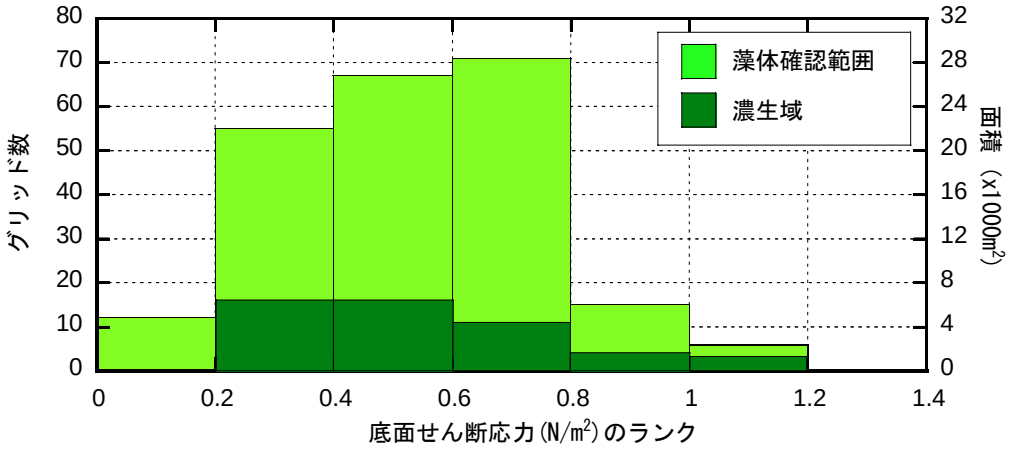
第 1 回専門部会において示した 3 種類の波（Effective wave height、エネルギー平均波、平均波）に対する底面せん断応力と生育面積の関係を図 1-12 に示す。
図 1-12 の内、クビレミドロの生育条件を比較的良く分類すると考えられる「エネルギー平均波に対する底面せん断応力」を用いると、生育条件は以下のようになると考えられる。

エネルギー平均波に対する底面せん断応力　$< 0.8\ N/m^2$

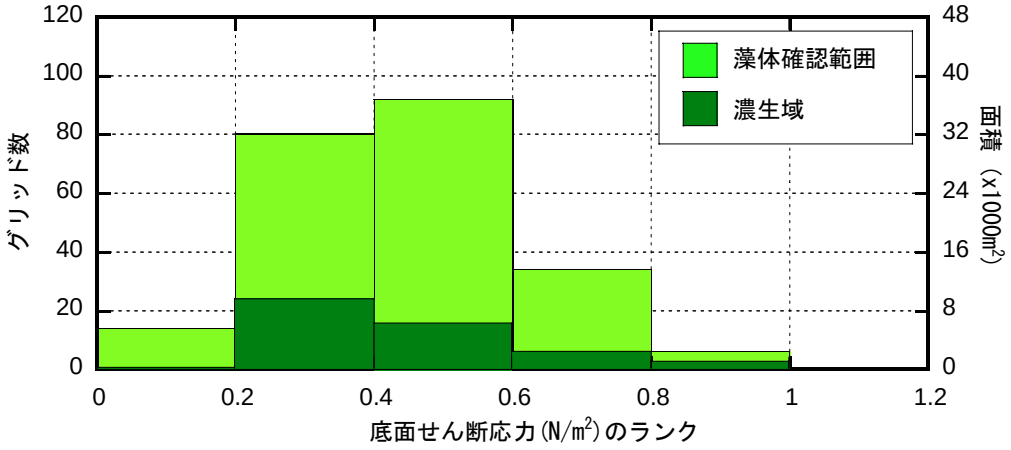
この条件をもとに、図 1-10 の範囲（地盤高 0.2～0.8m）を底面せん断応力のランク別に色分けすると図 1-13 のようになる。



(a)　Effective Wave Height (H=5.2m、T=9.8s、θ=SE、H.W.L)



(b)　エネルギー平均波 (H=1.6m、T=7.4s、θ=ESE、M.W.L.)



(c)　平均波(H=1.2m、T=7.4s、θ=ESE、M.W.L.)

図 1-12　クビレミドロ生育面積と底面せん断応力の関係

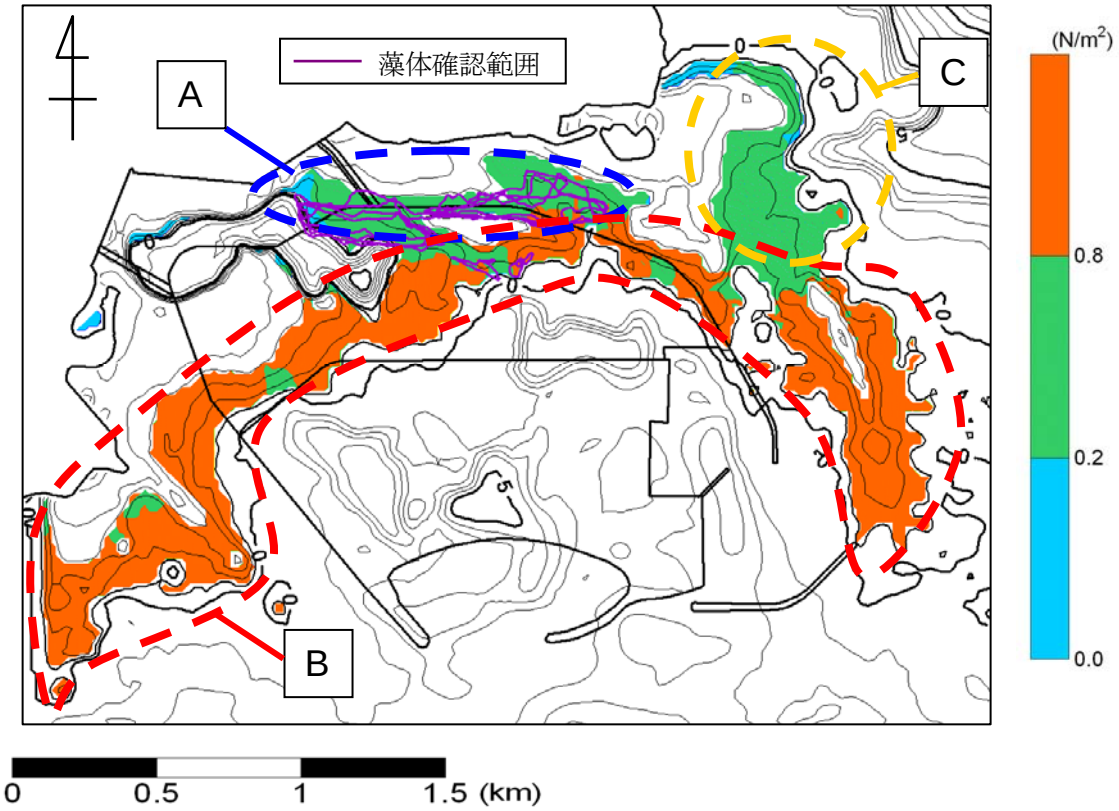


図 1-13　底面せん断応力の範囲による領域分け

表 1-1　領域 A~C の特徴

領域	分類
A	現状のクビレミドロ生育域。底面せん断応力（エネルギー平均波）条件（＜0.8 N/m^2）を満足する。
B	非生育域。底面せん断応力（エネルギー平均波）条件（＜0.8 N/m^2）を満足しない。
C	非生育域。底面せん断応力（エネルギー平均波）条件（＜0.8 N/m^2）を満足する。（※底面せん断応力のみからは、非生育域となっている理由がわからない。）

図 1-13 より、生育域と非生育域を底面せん断応力の範囲で分類すると、その特徴から図中に示すように A~C の 3 領域に分類される。分類の根拠は表 1-1 に示すとおりである。

表より、まず、領域 B が非生育域となる理由は、底面せん断応力が大きいことにより、通常波浪時における底面の撹乱作用が大きいためと考えられる。

しかしながら、領域 C については、領域 A と同じ地盤高の範囲でありかつ底面せん断応力も同程度であるため、領域 C が非生育域となる理由については、通常波浪時の底面せん断応力のみでは評価できない。

そこで、高波浪時（Effective Wave Height 作用時）の底面せん断応力、波高及び海浜流の分布図を図 1-14、図 1-15 に示す。また、図より読み取られる特徴を表 1-2 にまとめた。表 1-2 では、図 1-14 より底面せん断応力と波高はほぼ同様の分布形状であるため、波高についての特徴をまとめた。

表 1-2　Effective Wave 作用時の領域 A~C の特徴

領域	分類
A	・現状のクビレミドロ生育域 ・波高は 0.3～0.8m の範囲 ・海浜流速は、0.1m/s 以下
B	・非生育域 ・波高は 0.8m 以上 ・海浜流速の範囲は広い
C	・非生育域 ・波高は 0.3～0.8m の範囲 ・海浜流速は 0.1m/s 以上 （※海浜流速が領域 A に比べ大きいことが、領域 C が非生育域となる理由である可能性が高い。）

領域 C と領域 A に着目して、波高と海浜流速の特徴を比較すると、

- 波高の範囲は、領域 A と領域 C は同程度である。
- 海浜流速の範囲は、領域 C は領域 A に比べ大きい。

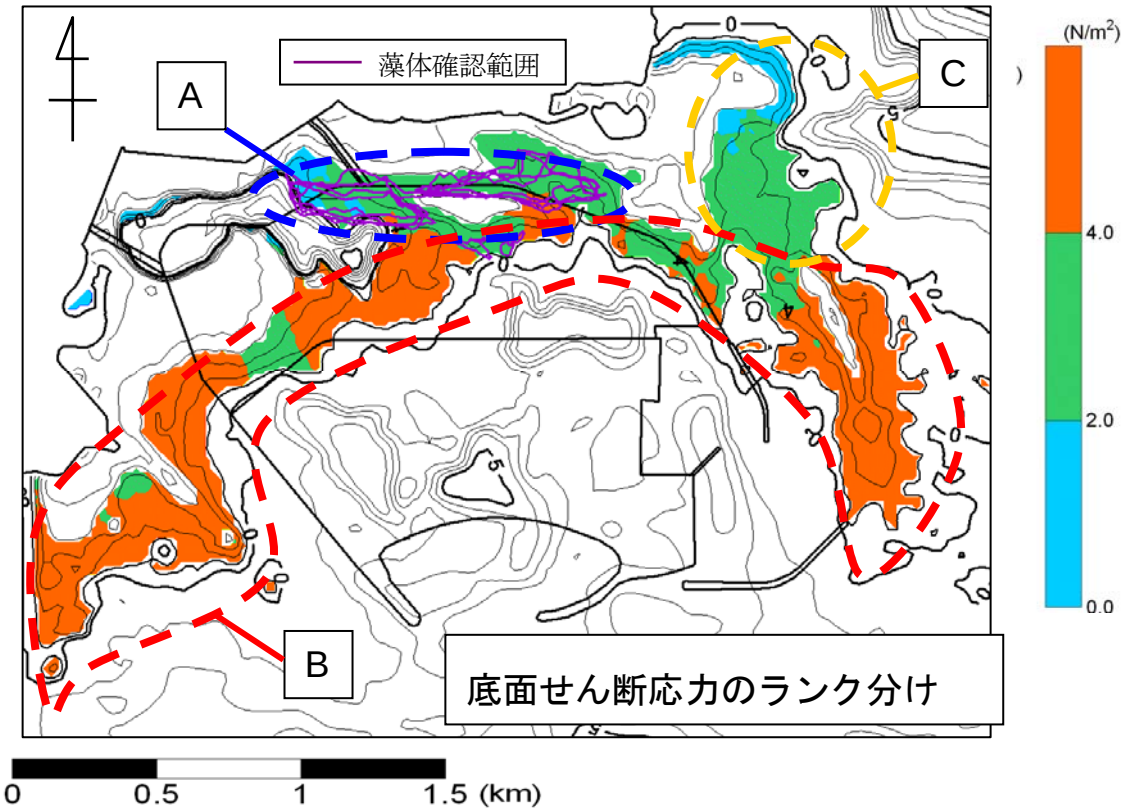
といった特徴が得られた。

以上より、生育域となる条件について考察すると、

① 通常波浪（エネルギー平均波）時の底面せん断応力が 0.8 N/m^2 以下の範囲である。
② 高波浪時（Effective wave height）においても、海浜流が 0.1 m/s 以下の範囲である。

の２つの条件が外力による生育条件として抽出される。

上の②の条件については、今回新たに得られた特徴であり、以下では判別分析などの統計的手法を用いて、より詳細に検討を加えていく。



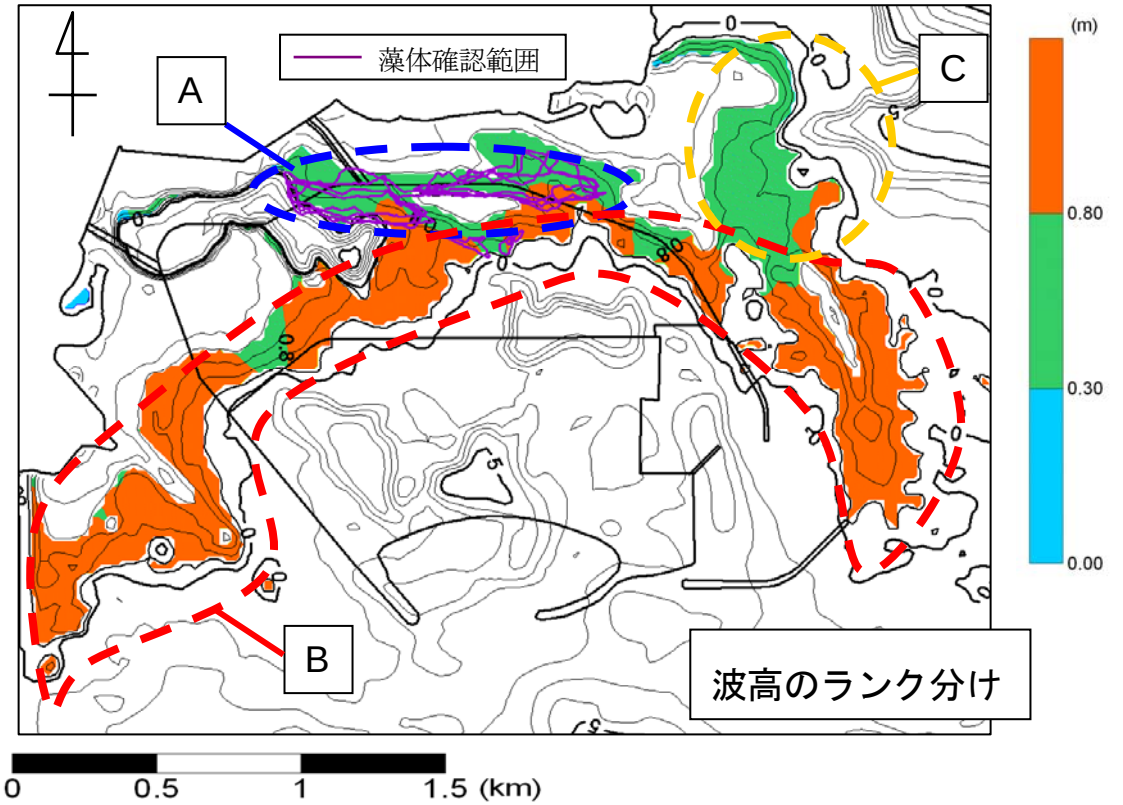


図 1-14　Effective wave height 作用時の底面せん断応力（上）と波高（下）

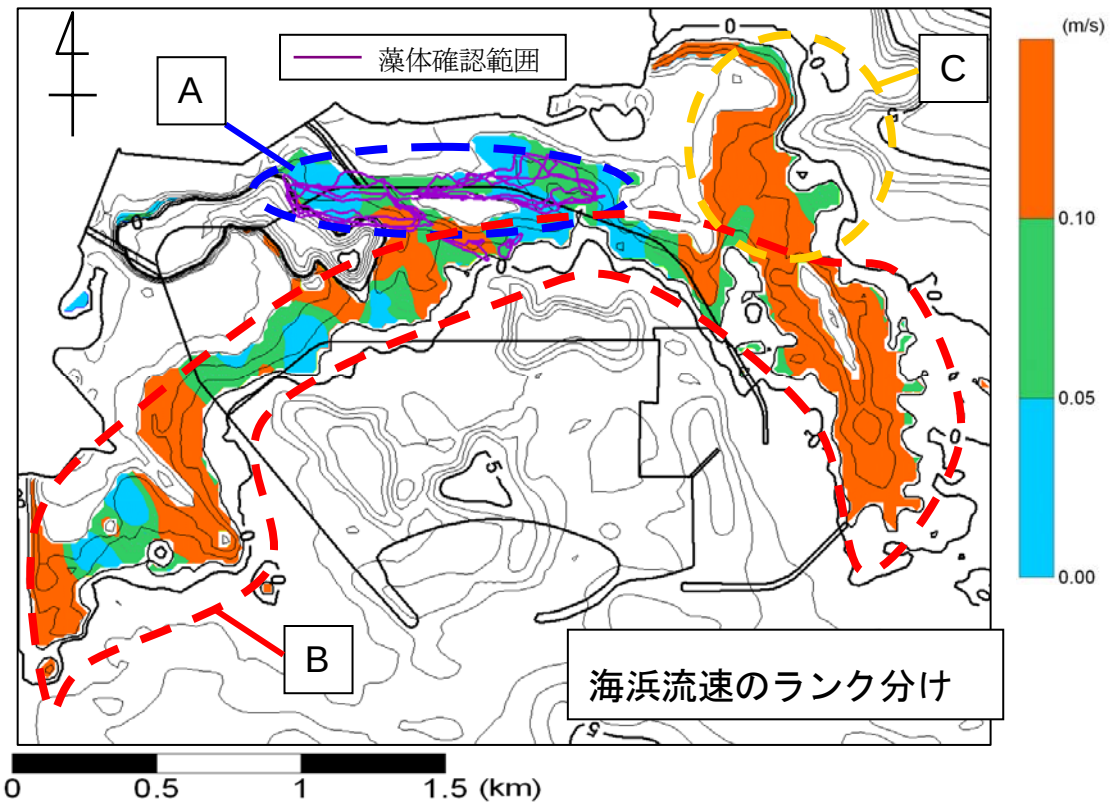


図 1-15　Effective wave height 作用時の海浜流の流速

4)　統計的手法による判別分析

クビレミドロの生育・非生育を判別する外力条件を明らかにするため、統計的手法を用いた分析（線形判別分析）をおこなった。

判別分析は、事前に与えられているデータが異なるグループに分かれることが明らかな場合（本調査の場合、クビレミドロの生育・非生育の２つのグループ）、どちらのグループに入るのかを判別するための基準（判別関数）を得るための統計的手法である。線形判別分析では、判別関数に一次式を用い、図 1-16 のように 2 つの群を最も良好に判別する関数 f を求める。

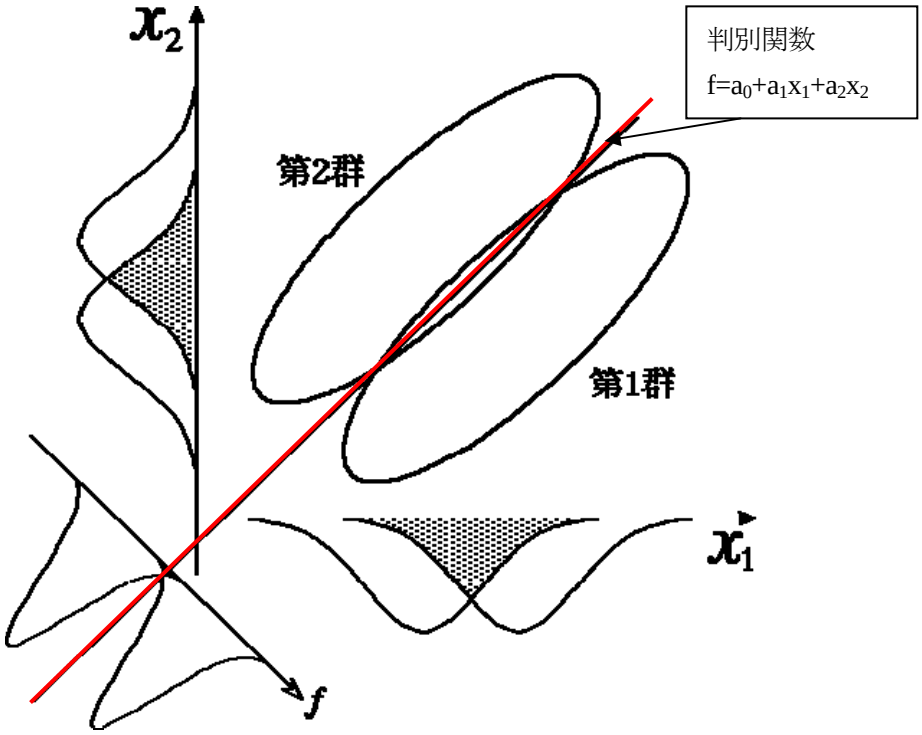


図 1-16　判別分析の概念図

以下では、クビレミドロの生育・非生育の２つの群を最も良好に判別する外力条件について検討する。なお、分析の前提条件は、以下の通りである。

- 分析に用いるデータの地盤高条件は、C.D.L.+0.2～0.8m（図 1-10 のエリア）とする。
- 海底面の摩擦係数については、図 1-10 のエリア全域で同じとする。

まず、検討する外力条件として、Effective wave height、エネルギー平均波、平均波の 3 種類の波に対する底面せん断応力、海浜流流速、波高の計 9 種類の説明変数により、ステップワイズ法[1]による変数選択を行いつつ、判別分析をおこなった。表 1-3 に各変数の平均値と単回帰分析時の決定係数を、表 1-4 に変数間の相関係数を示す。

表 1-5～表 1-6 にステップワイズ法による判別分析の結果を示す。表 1-5 の判別係数に対する説明変数は、ステップワイズ法の変数の選択順に表記されており、上位に位置するほど、判別に対する寄与が高いことを示す。表 1-5 より、上位に選択された変数は、エネルギー平均波に対する底面せん断応力（tau2）と Effective wave height 作用時の海浜流速（uu1）であり、これは、**3)外力条件の特徴把握**で抽出された項目と同様の変数が選択されたことが確認される。

一方、表 1-5 の下位に選択されている変数(tau3、wh1、tau1、wh2、wh3)は、上記の tau2 と相関が高く、判別係数の符号が一致していないことから、選択された変数全てを用いる判別関数は多重共線性の可能性が高いと判断される。

そこで、上位２つの変数（tau2 と uu1）のみを用いた判別分析をおこなった。その結果を表 1-7、表 1-8 及び、図 1-17、図 1-18 に示す。表 1-7 より、判別関数は、

$$f = -2.08 + 1.29\tau + 10.2U \tag{2}$$

ここで、τ はエネルギー平均波に対する底面せん断応力（=tau2）、U は Effective wave height 作用時の海浜流速（=uu1）であり、 f=0 となる判別線を図 1-18 中に示した。図 1-18 より、クビレミドロの生育条件は、通常時波浪（エネルギー平均波）に対するシールズ数および高波浪時（Effective wave height）の海浜流速がともに小さい範囲に集中していることが確認される。また、表 1-8 より、この判別関数の正判別率（判別的中率）は 70％であり、クビレミドロの生育・非生育条件を比較的よく判別しているといえる。ただし、(2)式による判別は、表 1-8 及び図 1-17、図 1-18 より、生育の群についてはよく判別しているが、非生育の群については、誤判別となるケースを比較的多く含む傾向がある。

[1]回帰分析、判別分析の変数選択手法の一つであり、独立変数を徐々に加えて最適な式を導き出す方法。一般に、個々の説明変数に対する単回帰分析の結果がよい変数から順に選択される。

表 1-3　項目別データの平均値と単回帰分析時の決定係数

		全データ	群1(非生育)	群2(生育)	決定係数(単回帰)	R^2の大きい順序
	ケース数	4070	3106	964	R^2	
底面せん断応力 (N/m^2)	tau1	3.853	4.156	2.876	0.15004	4
	tau2	1.027	1.181	0.533	0.16538	1
	tau3	0.828	0.950	0.437	0.15604	3
海浜流速 (m/s)	uu1	0.115	0.133	0.058	0.15674	2
	uu2	0.054	0.063	0.025	0.13023	7
	uu3	0.045	0.053	0.021	0.12801	8
波高 (m)	wh1	0.846	0.892	0.700	0.12400	9
	wh2	0.242	0.266	0.167	0.14538	5
	wh3	0.213	0.233	0.148	0.14089	6

注)各項目中、1 は Effective wave height、2 はエネルギー平均波、3 は平均波作用時のデータであることを示す

表 1-4　相関行列

tau1	1.000								
tau2	0.849	1.000							
tau3	0.826	0.991	1.000						
uu1	0.286	0.335	0.386	1.000					
uu2	0.449	0.503	0.546	0.850	1.000				
uu3	0.440	0.487	0.528	0.852	0.998	1.000			
wh1	0.963	0.874	0.853	0.290	0.471	0.460	1.000		
wh2	0.887	0.943	0.931	0.271	0.462	0.444	0.945	1.000	
wh3	0.884	0.945	0.939	0.302	0.491	0.472	0.942	0.998	1.000
	tau1	tau2	tau3	uu1	uu2	uu3	wh1	wh2	wh3

表 1-5　判別係数と標準化判別係数

	判別係数	標準化判別係数
tau2	1.85	1.25
uu1	19.08	1.52
tau3	−2.55	−1.41
wh1	−17.75	−4.11
tau1	1.87	2.62
wh2	160.76	17.71
wh3	−159.23	−15.32
定数項	1.46	

表 1-6　判別結果と正判別率

実際の群	判別された群		合計
	群1(非生育)	群2(生育)	
群1(非生育)	2411	695	3106
%	(77.6)	(22.4)	(100.0)
群2(生育)	60	904	964
%	(6.2)	(93.8)	(100.0)
		正判別率:	81.50%

表 1-7　判別係数と標準化判別係数（tau2 と uu1 のみを説明変数とした分析による）

	判別係数	標準化判別係数
tau2	1.29	0.87
uu1	10.20	0.81
定数項	−2.08	

表 1-8　判別結果と正判別率（tau2 と uu1 のみを説明変数とした分析による）

実際の群	判別された群		合計
	群1(非生育)	群2(生育)	
群1(非生育)	1925	1181	3106
%	(62.0)	(38.0)	(100.0)
群2(生育)	38	926	964
%	(3.9)	(96.1)	(100.0)
		正判別率:	70.05%

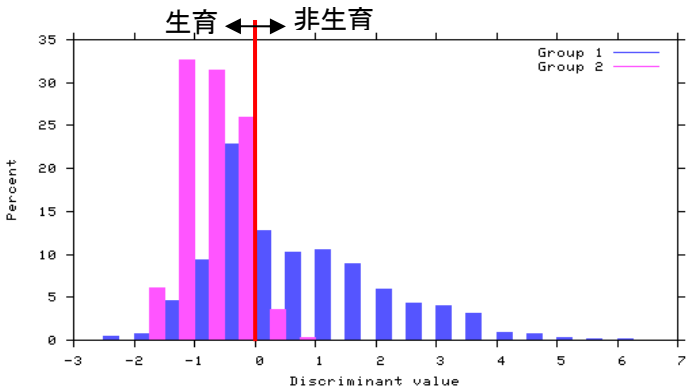


図 1-17　判別結果のヒストグラム（横軸=マハラノビスの距離、縦軸=頻度(%)）

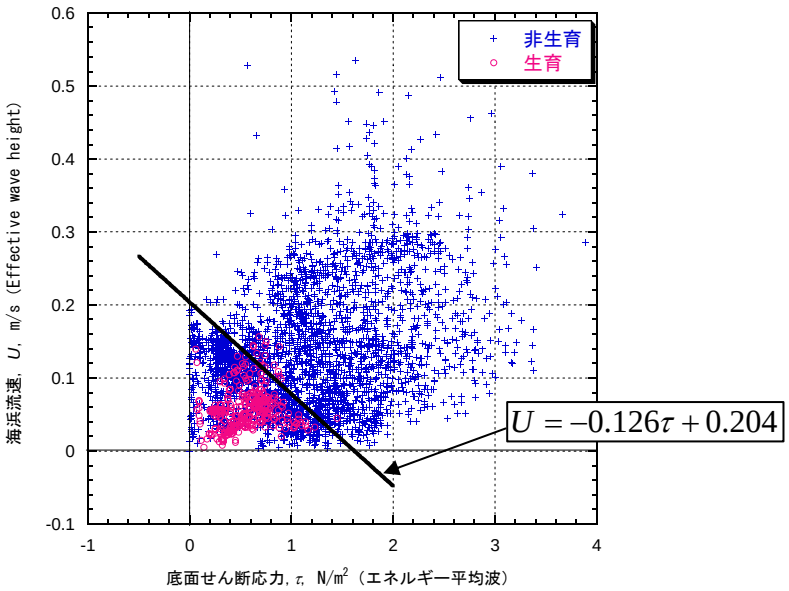


図 1-18　判別式

(3) クビレミドロ生育条件の整理

(2)の検討結果を踏まえ、クビレミドロ人工干潟造成時の外力条件について検討する。判別分析において、クビレミドロの生育・非生育を判定する主パラメータとして、

- 通常時波浪（エネルギー平均波）に対する底面せん断応力
- 高波浪時（Effective wave height）に対する海浜流速

の２つが抽出された。この２つのパラメータは、外力条件の特徴把握においても同様の傾向が認められており、クビレミドロの生育・非生育の判別に重要であるといえる。これらの 2 つのパラメータの物理的意味合いについては、

- クビレミドロの生育には、通常時波浪に対する底面せん断応力が小さく、通常時は底面が乱されない。
- 高波浪時においても海浜流速が十分小さく、高波浪時に底面せん断応力が増大し、底面のかく乱により卵が浮遊状態となっても、あまり遠くまで運ばれない。

といったことが考察される。

次に、クビレミドロ人工干潟の造成に用いる指標について考えると、(2)式による判別式は、実際には非生育のところを生育と誤判別するケースが比較的多い傾向があるため、図 1-19 に示すように、より安全側となるよう判別条件を修正すべきと考えられる。そのため、人工干潟の造成に用いる判別条件を以下の通りとすることを提案する。

通常時波浪（エネルギー平均波）に対する底面せん断応力	：	$\tau < 0.8$ (N/m^2)
高波浪時（Effective wave height）に対する海浜流速	：	$U < 0.1$ (m/s)

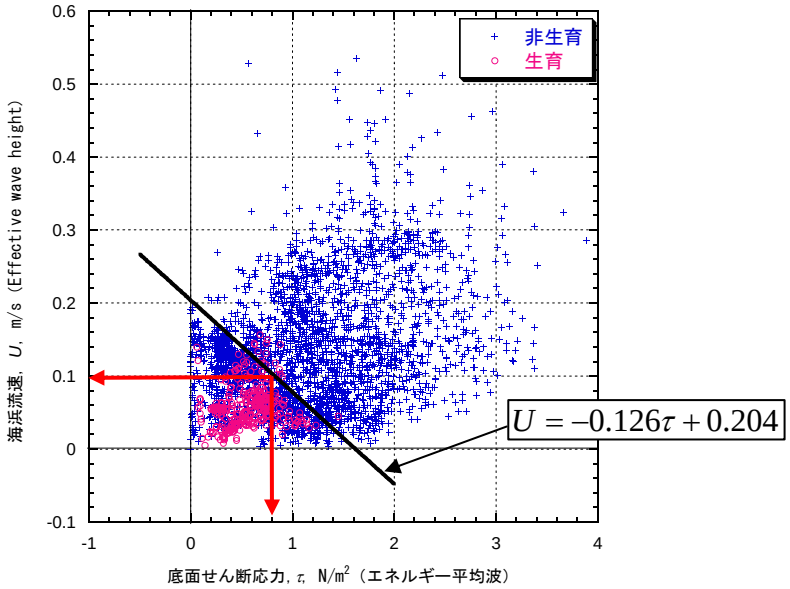


図 1-19　判別条件の修正

図 1-20 は平成 5 年 9 月 14 日から 17 日に調べられた泡瀬地区の底質による干潟分類を示したものである。やや情報が古いため、図 1-21 に 2007 年 6 月に撮影された泡瀬地区の空中写真に干潟分類とクビレミドロの藻体確認範囲を示す。図 1-21 からクビレミドロの藻体確認範囲は砂質干潟(細砂、粗砂)に限定されていることが確認され、礫質干潟と分類されている範囲は、底面せん断力や海浜流速が大きい範囲とよく対応している。

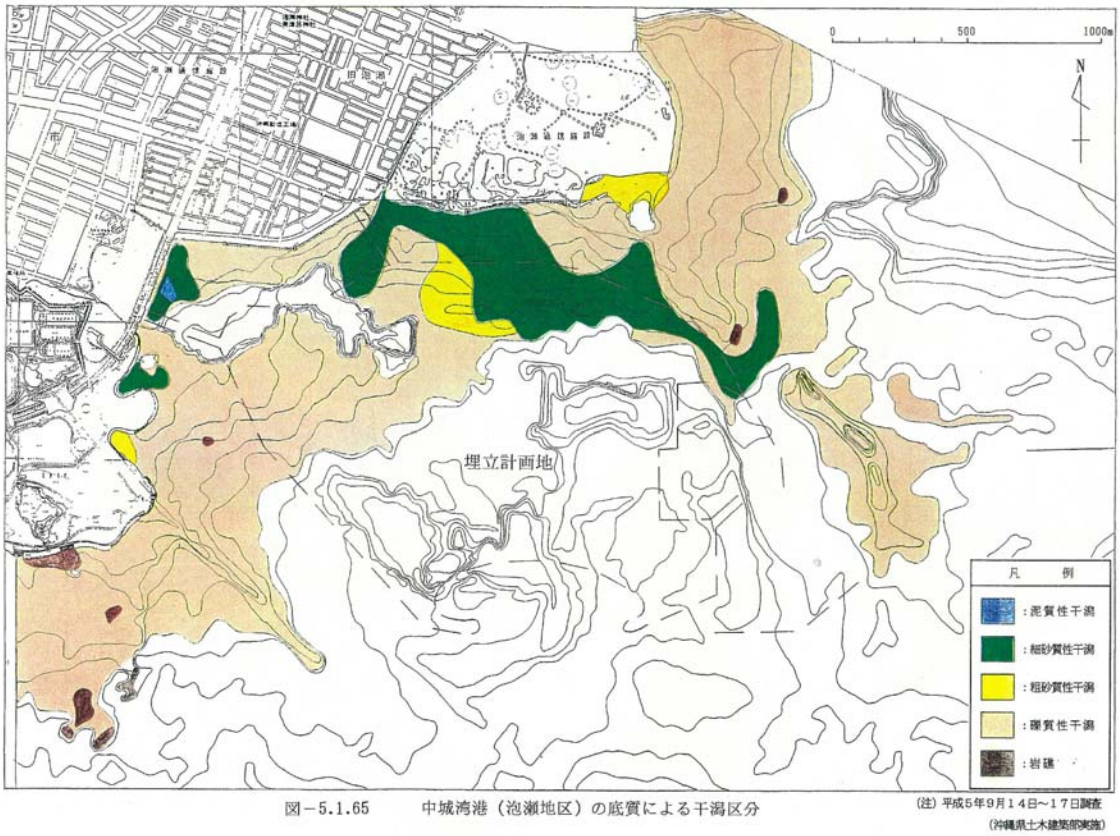


図 1-20　泡瀬地区干潟の底質による区分

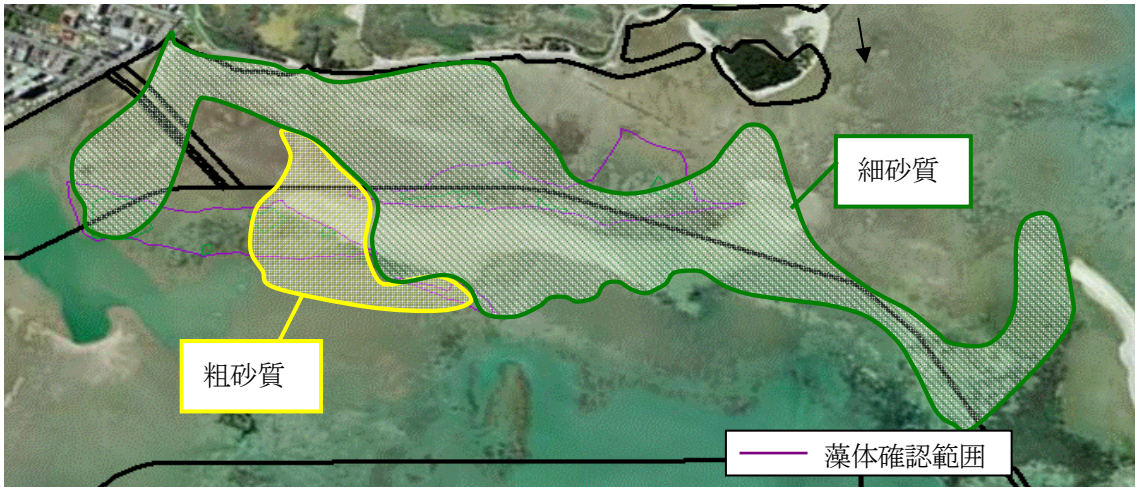


図 1-21　クビレミドロの生育域と底質分布の比較

1.2　人工干潟の配置検討

第 1 回専門部会において、クビレミドロ人工干潟検討の基本となる配置案を 4 案（図 1-23～図 1-26）挙げるとともに、図 1-22 に示す方針で検討をすすめていくことが確認された。

基本的な検討の流れは図 1-22 に示す通りであり、各案について、①生育条件の確認、②高波浪時に対する干潟地形の安定性検討、③周辺地形への影響の確認をおこなって評価する。

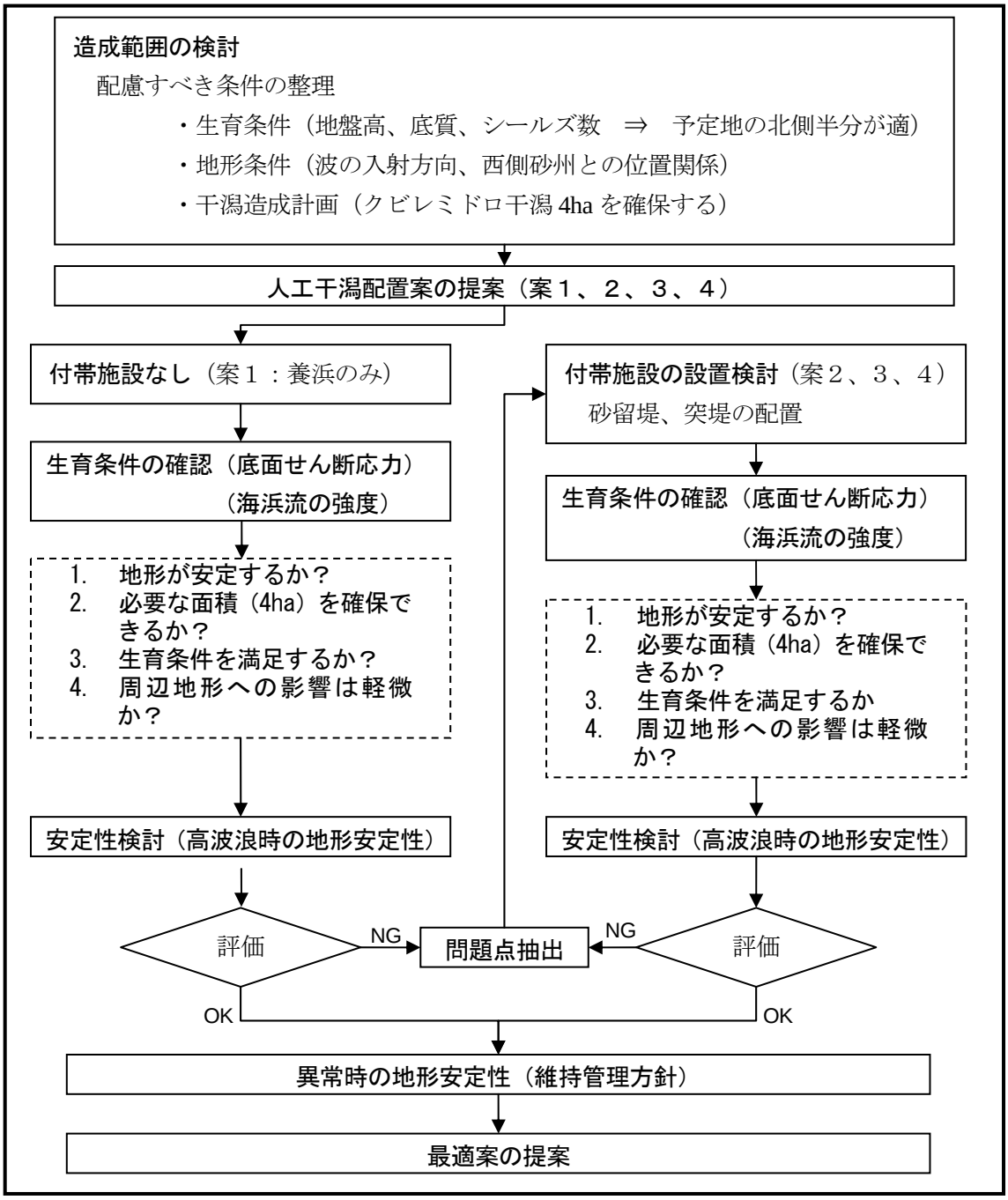


図 1-22　干潟の安定性検討の基本方針

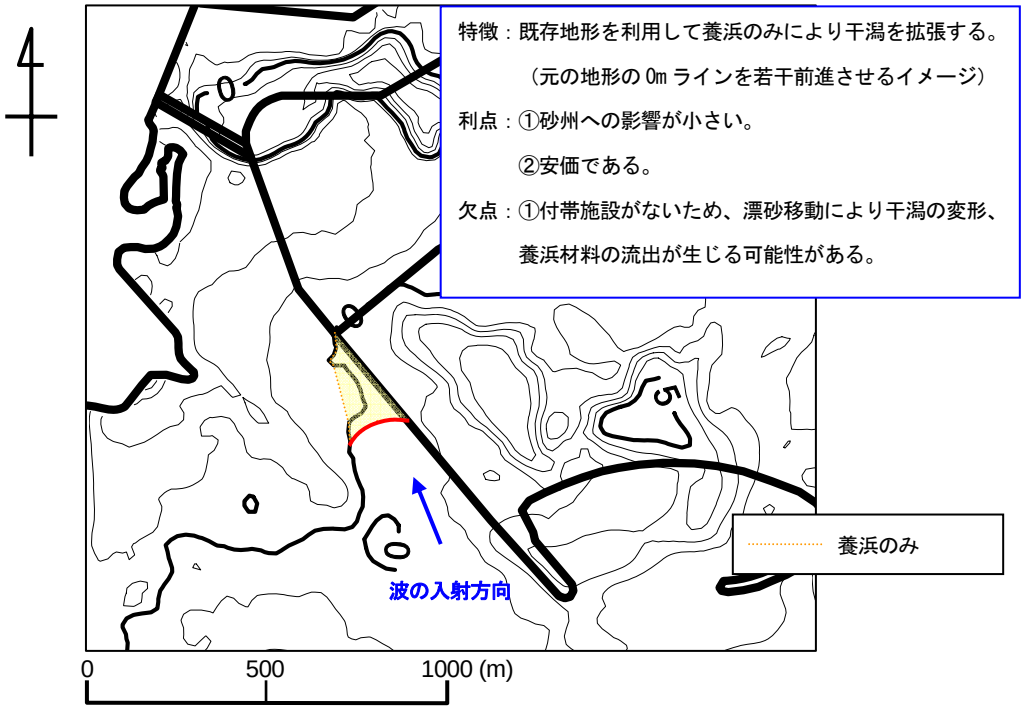


図 1-23：案１：養浜のみ（付帯施設なし）

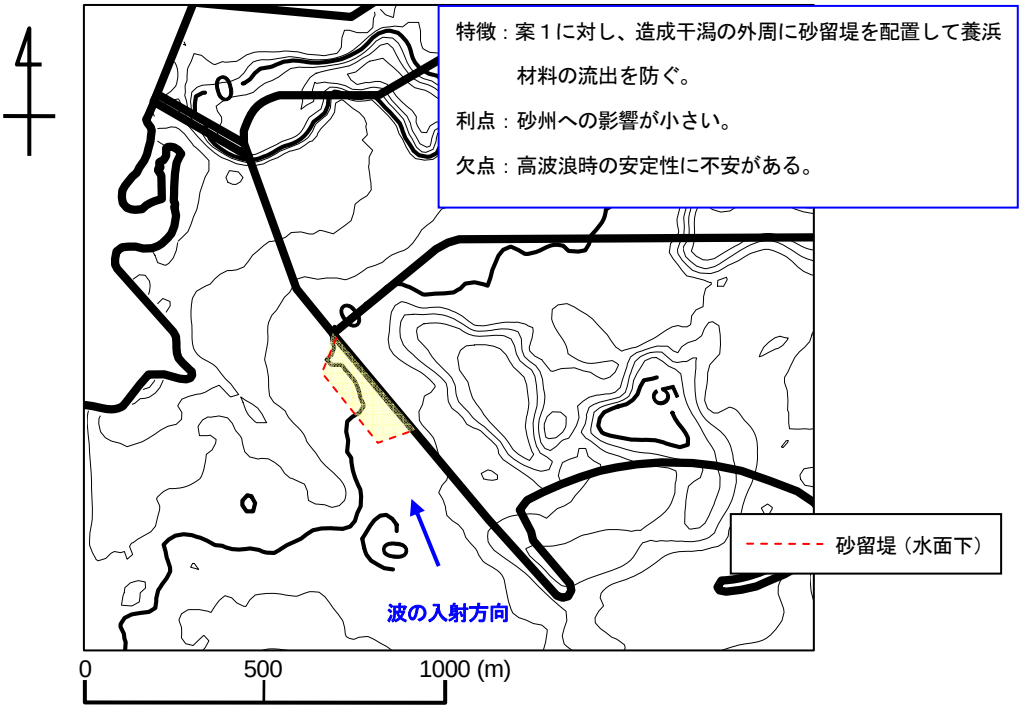


図 1-24：案２：養浜＋砂留堤のみ

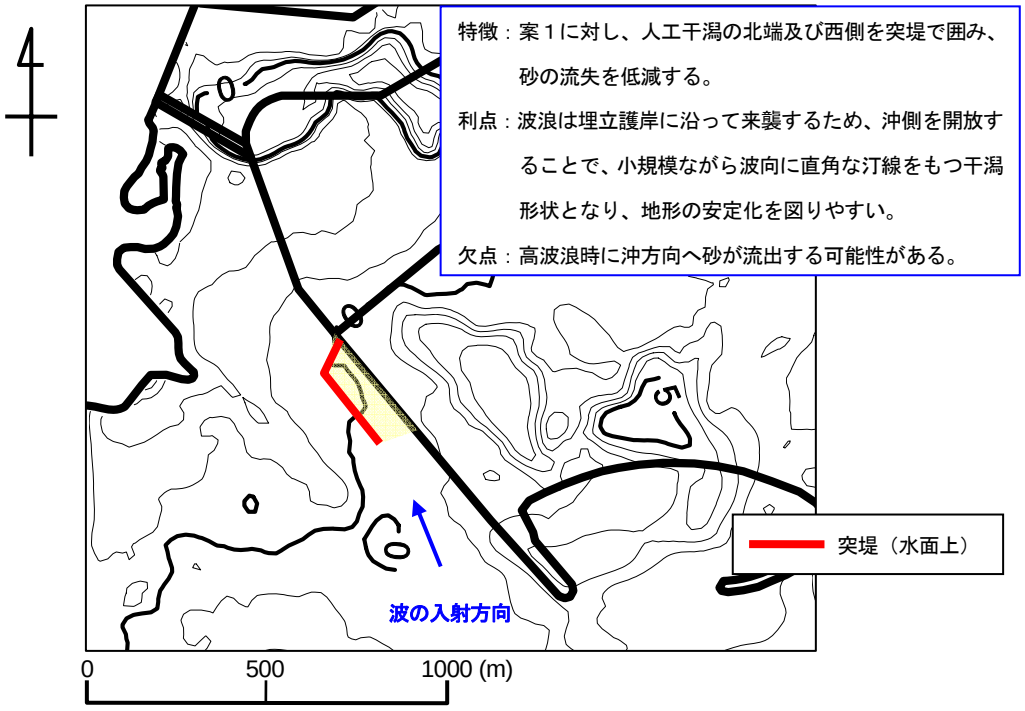


図 1-25：案３：養浜＋L 型突堤①

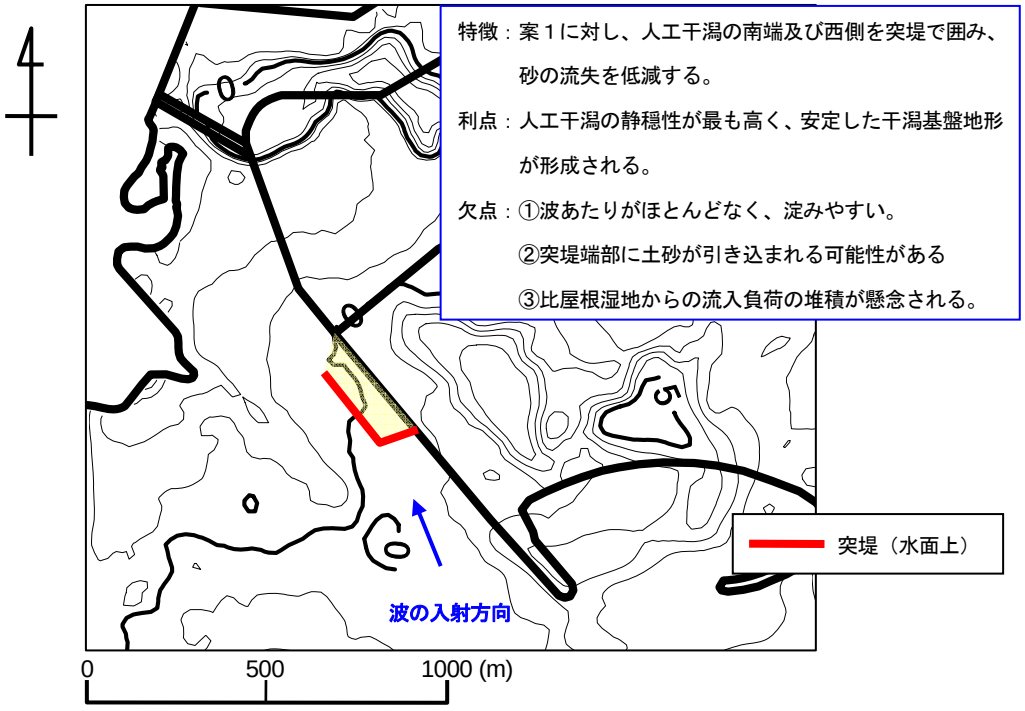


図 1-26：案４：養浜＋L 型突堤②

(1) 計算方法と計算条件

人工干潟の配置検討は、地形変化シミュレーションにより検討する。地形変化計算のフローは、図 1-27 に示すとおりであり、まず、エネルギー平衡方程式による波浪変形を計算し、radiation stress を介して海浜流を算定して波と流れの場を評価する。計算された波・流れの条件を用いて漂砂量を算定し、漂砂の連続式により地形変化を計算する。漂砂量の算定には、広い適用実績のある渡辺公式（渡辺ら、1984）を用いる。なお、本検討に使用する地形変化シミュレーション法は、「平成 18 年度　中城湾港泡瀬地区地形変化予測検討業務、沿岸センター」において、妥当性が検証されたモデルを用いる。

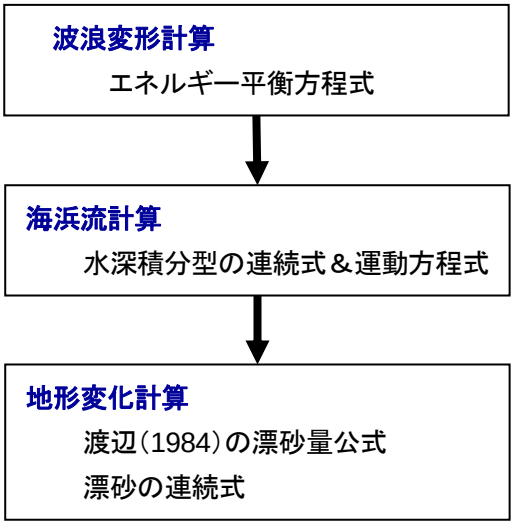


図 1-27：地形変化計算のフロー

計算条件は、以下に示すとおりとする。

- 人工干潟の地盤高＝C.D.L.+0.5m　(泡瀬地区のクビレミドロ生育域の平均地盤高)
- 人工干潟の底質＝中央粒径 0.2mm　(泡瀬地区のクビレミドロ生育域の中央粒径)

表 1-9　入射波と潮位の設定条件

代表波	波高 (m)	周期 (s)	波向 (16 方位)	潮位 (m、C.D.L)	検討内容
Effective Wave Height	5.2	9.8	SE	+2.11	配置案に対する地形安定性の検討 (地形変化計算による安定検討)
エネルギー平均波	1.6	7.4	ESE	+1.22	最適案に対してクビレミドロ生育条件の確認
平均波	1.2	7.4	ESE	+1.22	
大型台風（0423 or 0704）	11.9	13.6	SE	+2.57	最適案に対する安定性の確認 (維持管理の方針検討の基礎資料)

(2) 生育条件の確認

１～４の人工干潟配置案について、クビレミドロ生育の外力条件を満足するかどうかを検討した。クビレミドロが生育可能な外力条件は、1.1(3)において以下の２つの指標が提案された。ここでは、以下の指標を用いて干潟配置案の検討をおこなった。

通常時波浪（エネルギー平均波）に対する底面せん断応力　：$\tau_{max} < 0.8$ (N/m^2)

高波浪時（Effective wave height）に対する海浜流速　：$U < 0.1$ (m/s)

図 1-28～図 1-31 に人工干潟造成域周辺の通常時波浪（エネルギー平均波）に対する底面せん断応力の分布を示し、図 1-32～図 1-35 に高波浪時（Effective wave height）の海浜流速の分布を示す。また、これらの計算結果より、生育条件に対する評価結果を表 1-10 に示す。表 1-10 より、2 つの指標に対する条件を共に満足するのは、配置案４のみであった。

配置案 1、2 については通常時の底面せん断応力が人工干潟全域で条件を満たさない。配置案 3 については人工干潟奥部で僅かに条件を満たすものの開口部から波が直接侵入するため、生育条件を満たすまでには至らない。

海浜流は人工干潟造成地付近では、運動公園前面の砂州周辺を除いて、概ね 10cm/s 以下になるため、どの配置案でも海浜流条件を満たす結果となる。

表 1-10　各配置案の生育条件に対する評価

干潟配置案	底面せん断応力条件 τ_{max}＜0.8(N/m^2)	海浜流条件 U＜0.1 (m/s)	備考
案 1（養浜のみ）	×	○	
案 2（養浜＋砂留潜堤）	×	○	
案 3（養浜+Ｌ突堤①）	×	○	
案 4（養浜+Ｌ突堤②）	○	○	

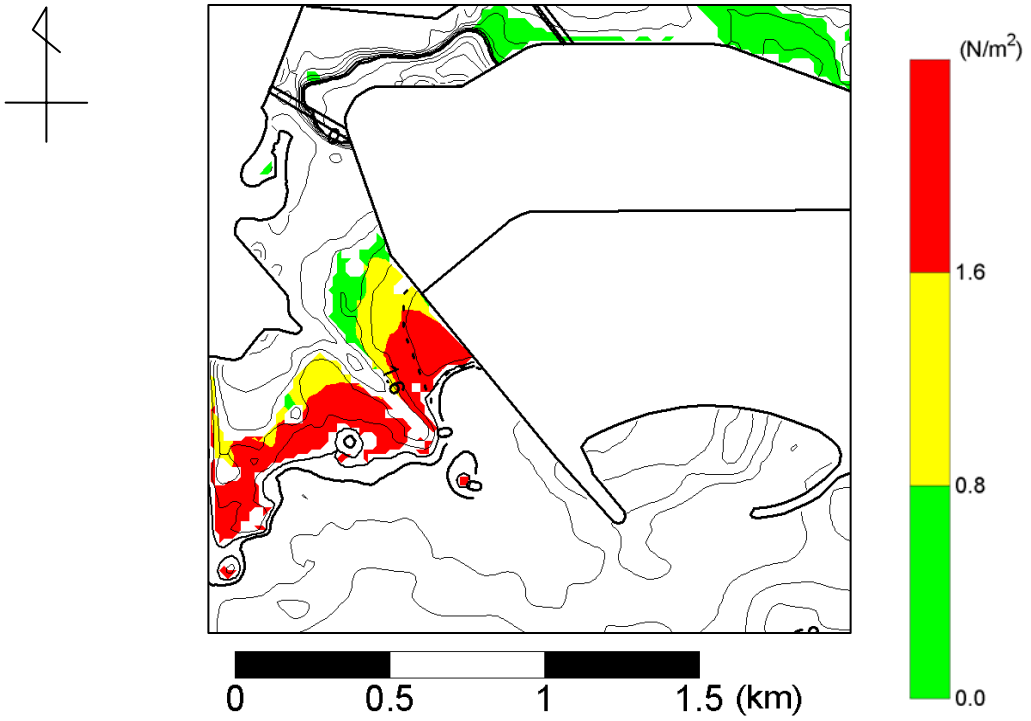


図 1-28：底面せん断力分布（エネルギー平均波、粒径 0.2mm） 配置案１:養浜のみ

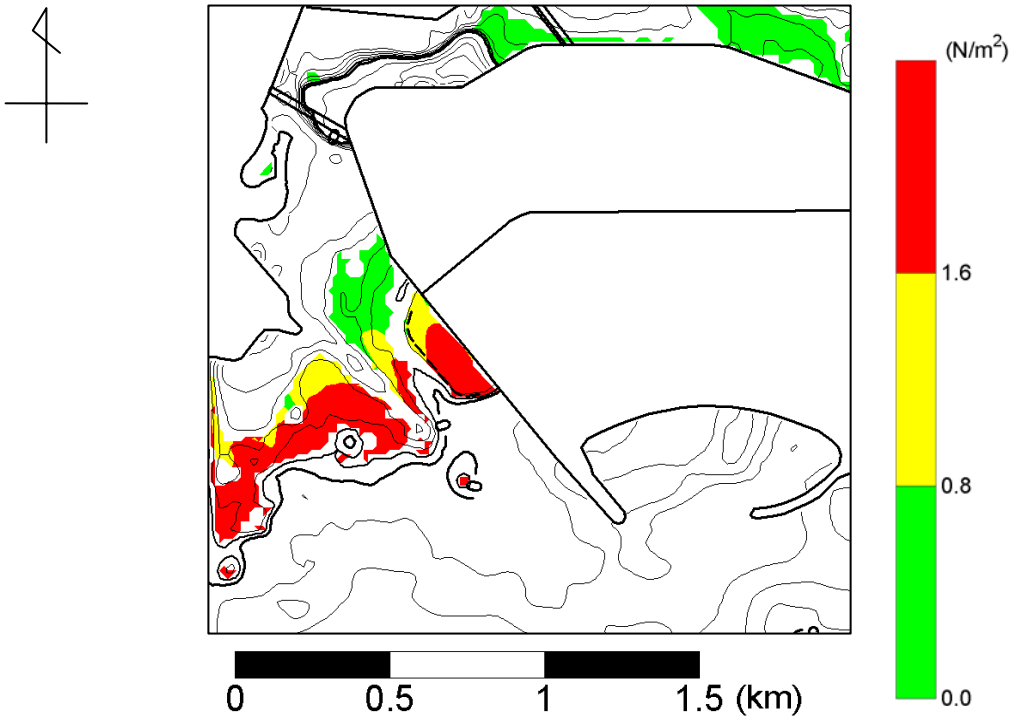


図 1-29：底面せん断力分布（エネルギー平均波、粒径 0.2mm） 配置案２:養浜＋砂留堤

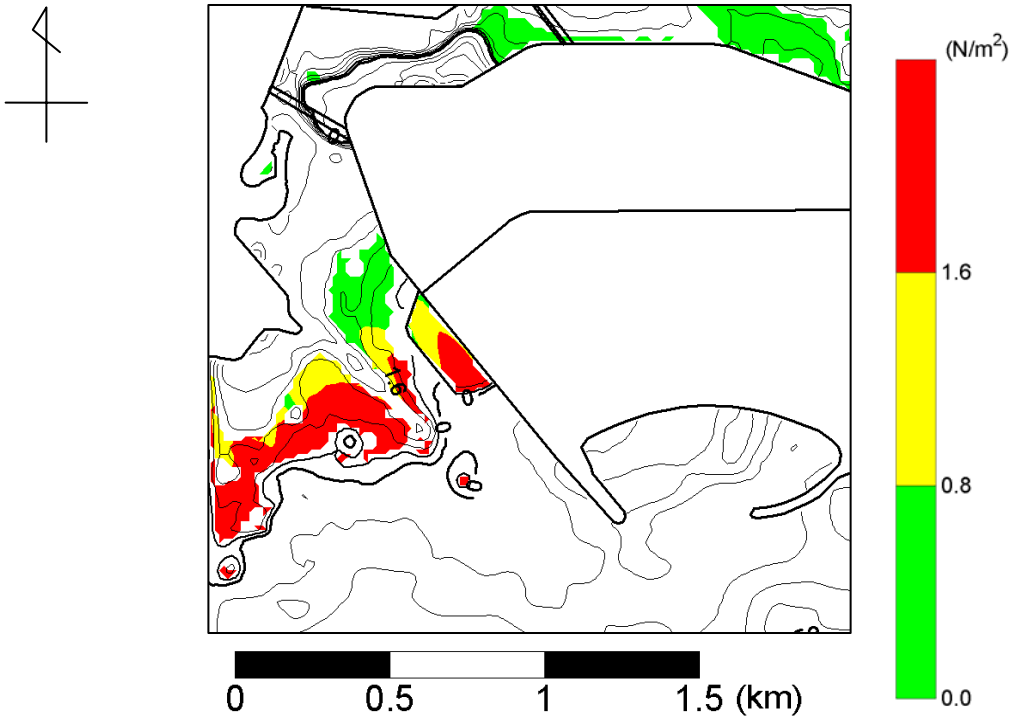


図 1-30：底面せん断力分布（エネルギー平均波、粒径 0.2mm） 配置案３:養浜＋Ｌ突堤①

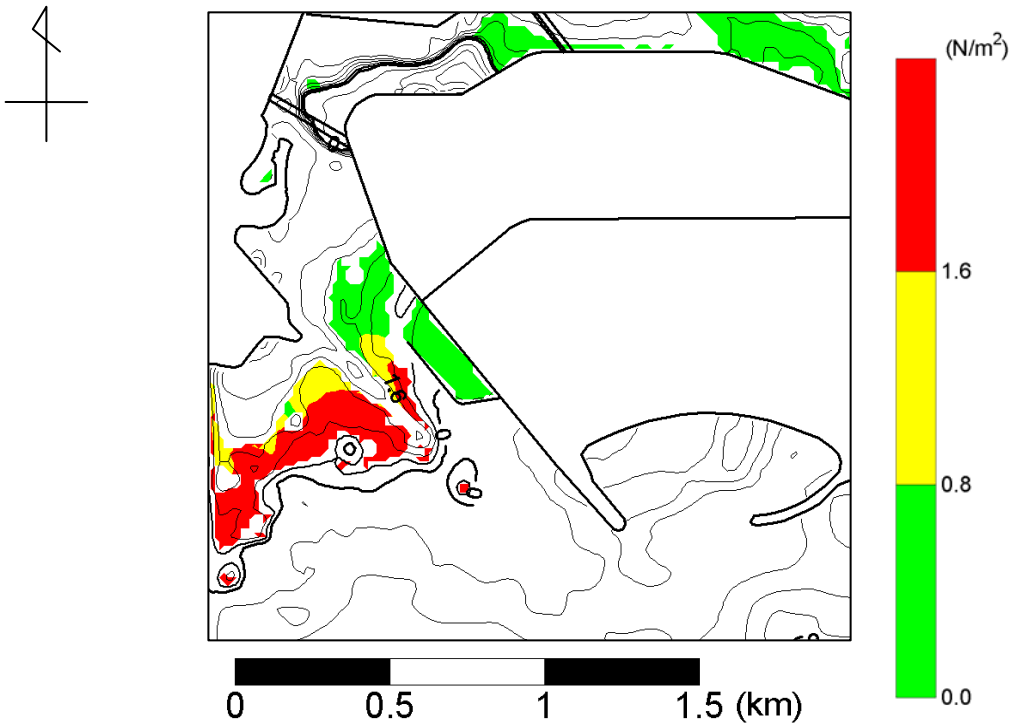


図 1-31：底面せん断力分布(エネルギー平均波、粒径 0.2mm) 配置案４:養浜＋Ｌ突堤②

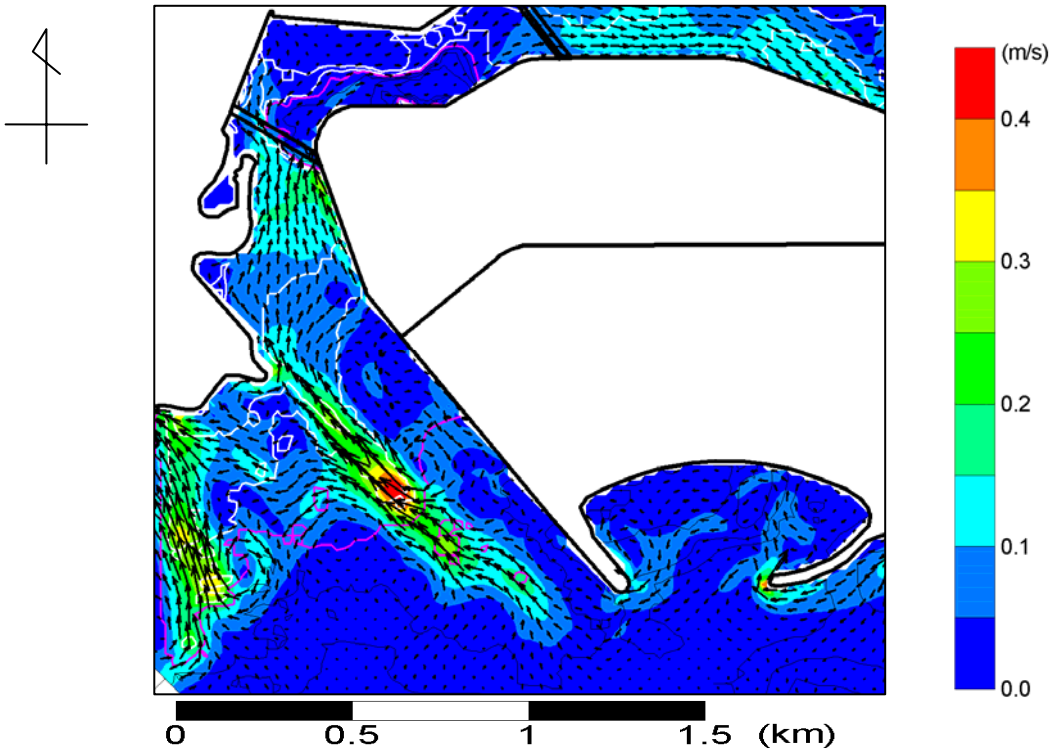


図 1-32：海浜流速の分布（Effective wave height） 配置案１:養浜のみ

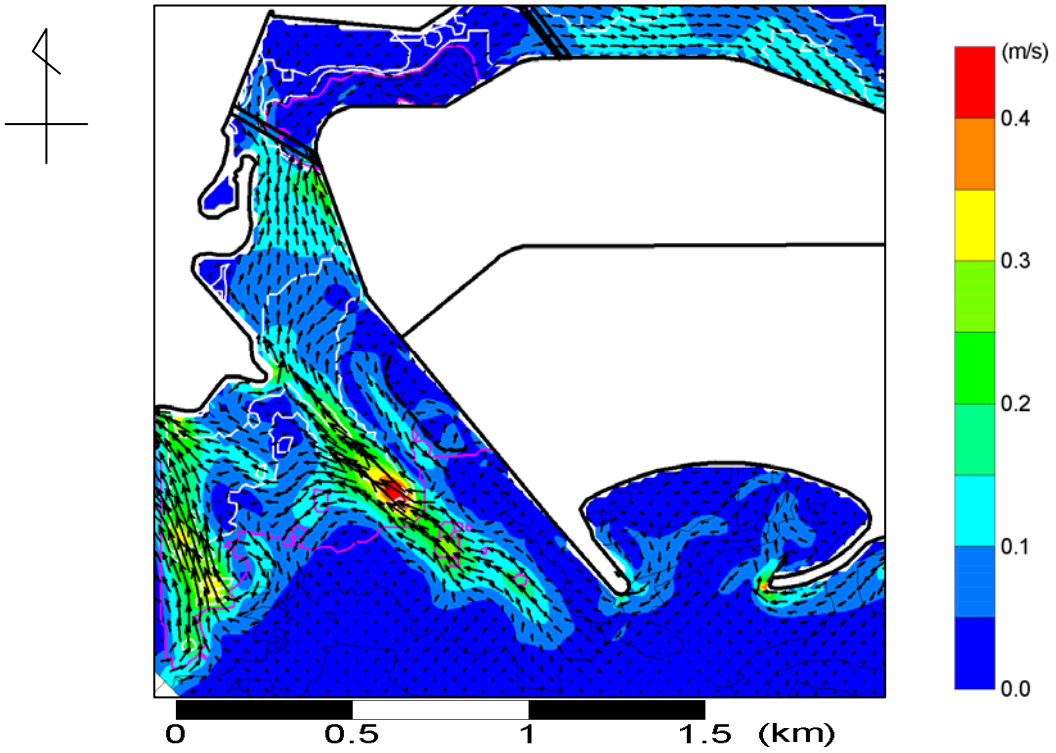


図 1-33：海浜流速の分布（Effective wave height） 配置案２:養浜＋砂留堤

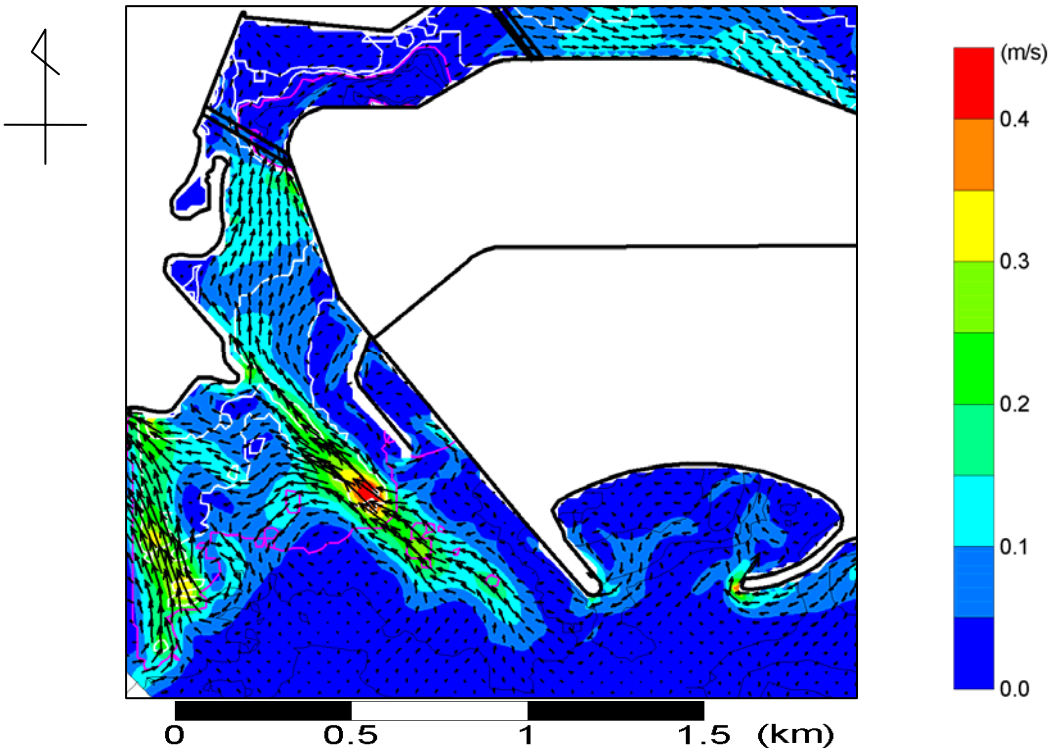


図 1-34：海浜流速の分布（Effective wave height） 配置案３:養浜＋Ｌ突堤①

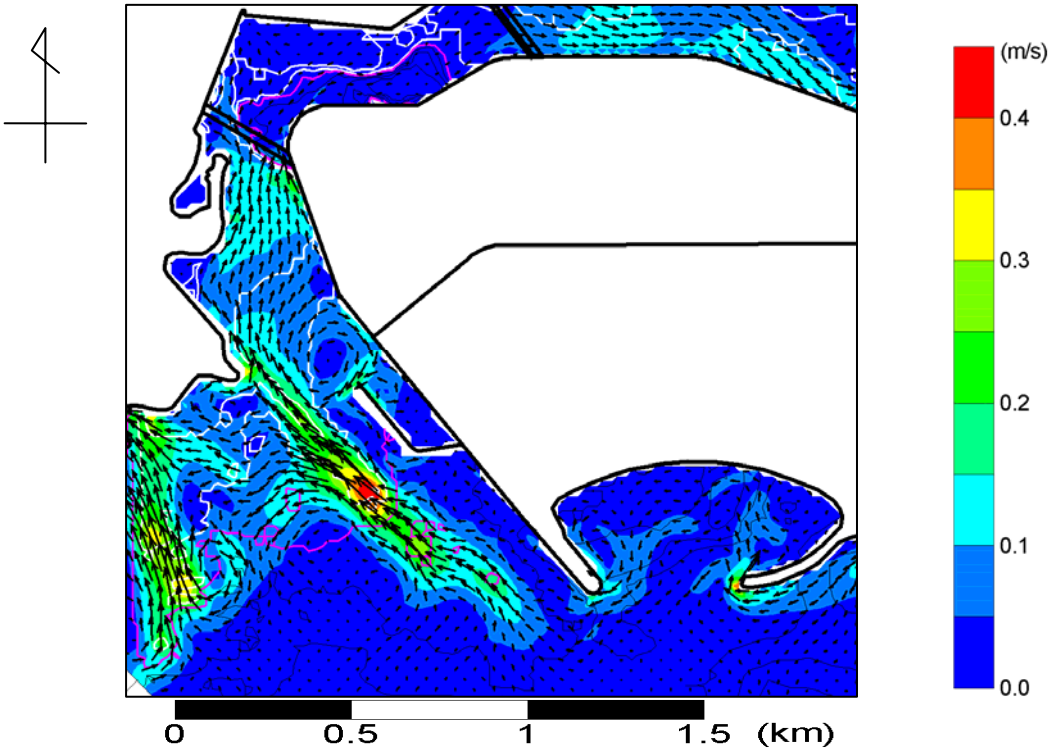


図 1-35：海浜流速の分布（Effective wave height） 配置案４:養浜＋Ｌ突堤②

(3) 地形の安定性に関する検討

クビレミドロの生育条件を満たす配置は配置案 4 のみであった。配置案 4 については静穏になりすぎることによる懸念材料もあるため､配置案 4 の代替案を検討に資する目的で、地形の安定性についても 4 配置案について検討する。

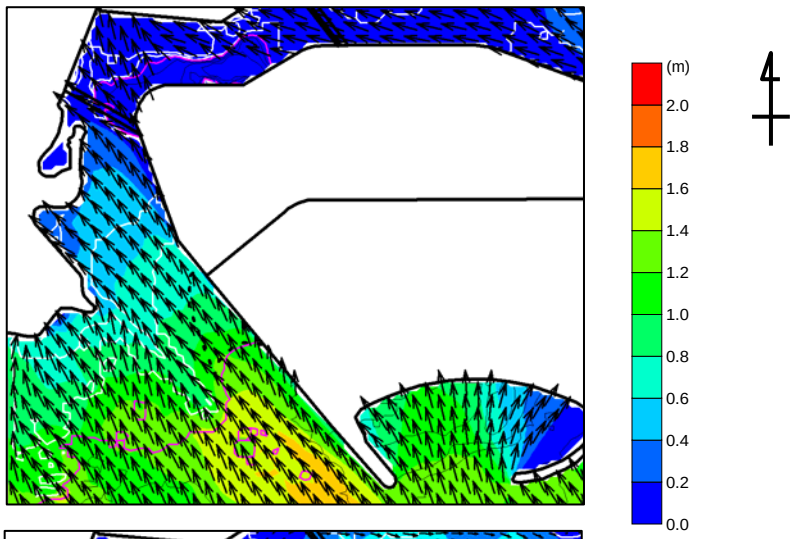
人工干潟造成後の地形の安定性は、高波浪（Effective wave height）条件について、地形変化計算行い検討した。計算条件は、以下の通りである。

入射波条件＝Effective Wave Height（H=5.2m、T=9.8s、波向=SE）
潮位条件＝＋2.11m、C.D.L.（H.W.L）
人工干潟の地盤高＝＋0.5m（泡瀬地区のクビレミドロ生育域の平均地盤高）
人工干潟の底質粒径＝0.2mm（泡瀬地区のクビレミドロ生育域の中央粒径）
配置案＝４ケース（案１、２、３、４）

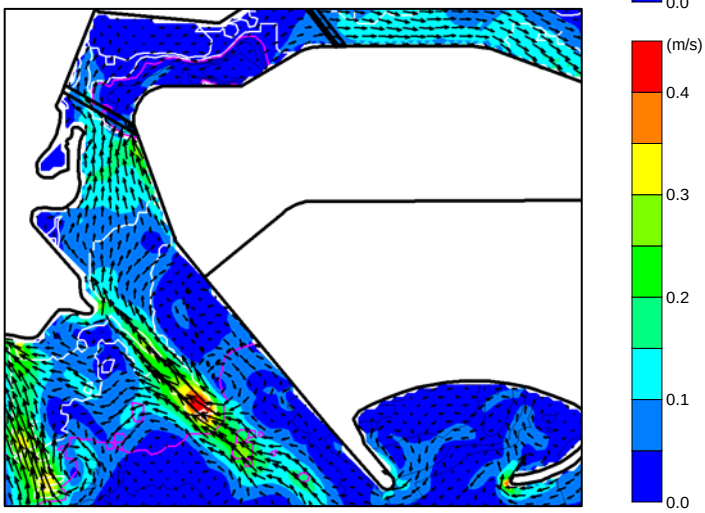
図 1-36～図 1-39 に、配置案１～4 について上記条件にて波浪変形計算、海浜流計算、地形変化計算をおこなった結果を示す。

上記条件においては、全ての配置案について人工干潟の造成領域の地形変化は非常に軽微であり、地形の安定性上には大きな問題はないと考えられる。

波浪変形計算



海浜流計算



地形変化計算

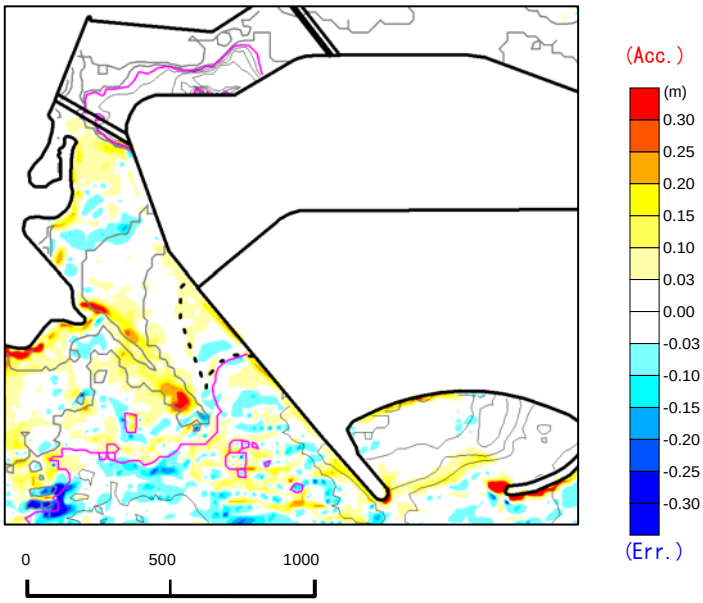
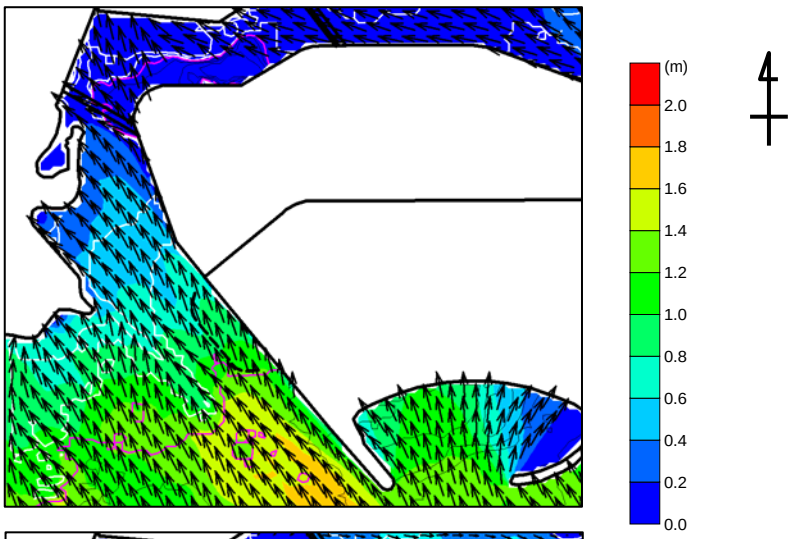
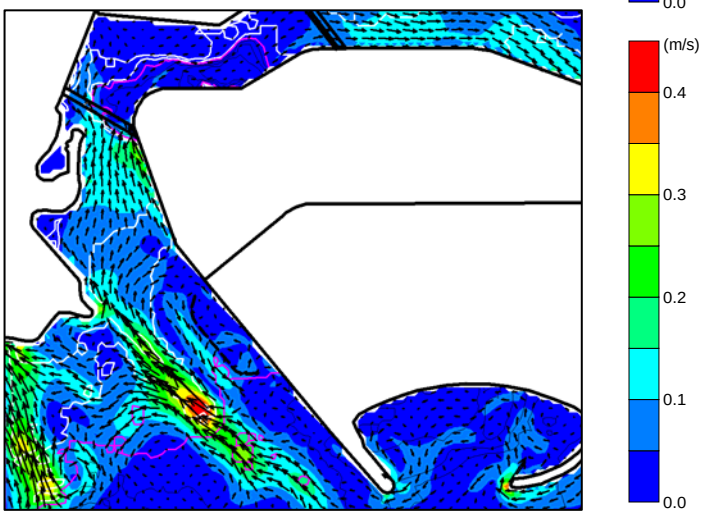


図 1-36：配置案１：養浜のみ（付帯施設なし）

波浪変形計算



海浜流計算



地形変化計算

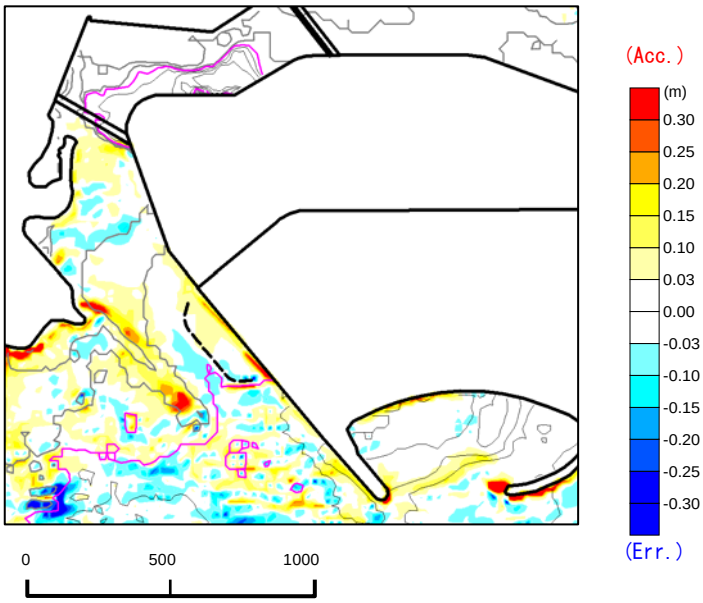
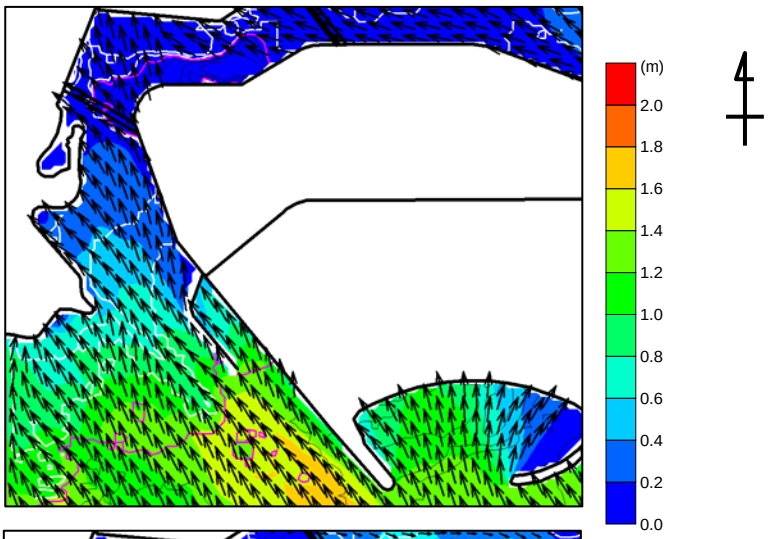
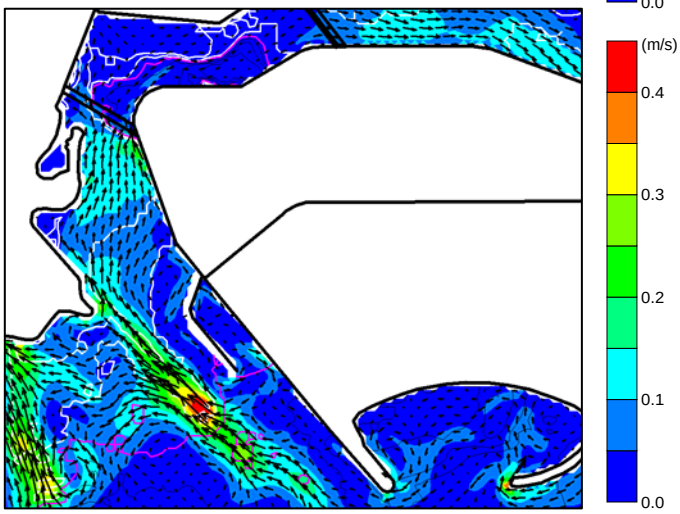


図 1-37：配置案２：養浜＋砂留堤のみ

波浪変形計算



海浜流計算



地形変化計算

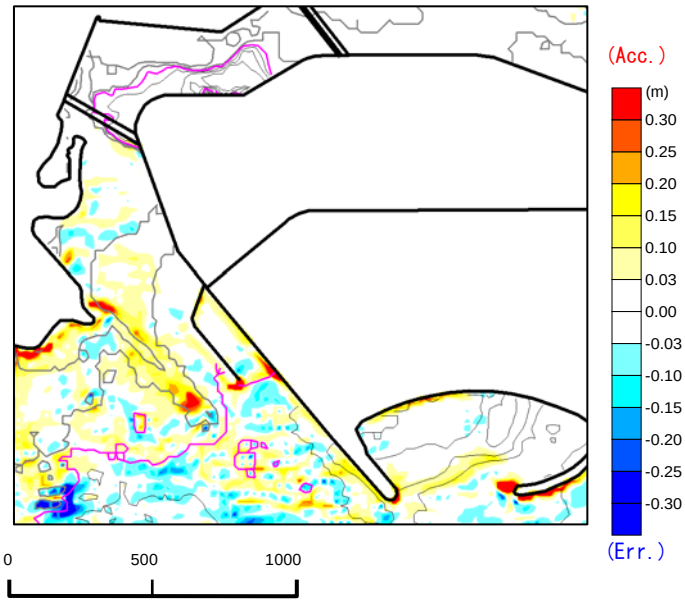


図 1-38：配置案３：養浜＋L 型突堤①

波浪変形計算

海浜流計算

地形変化計算

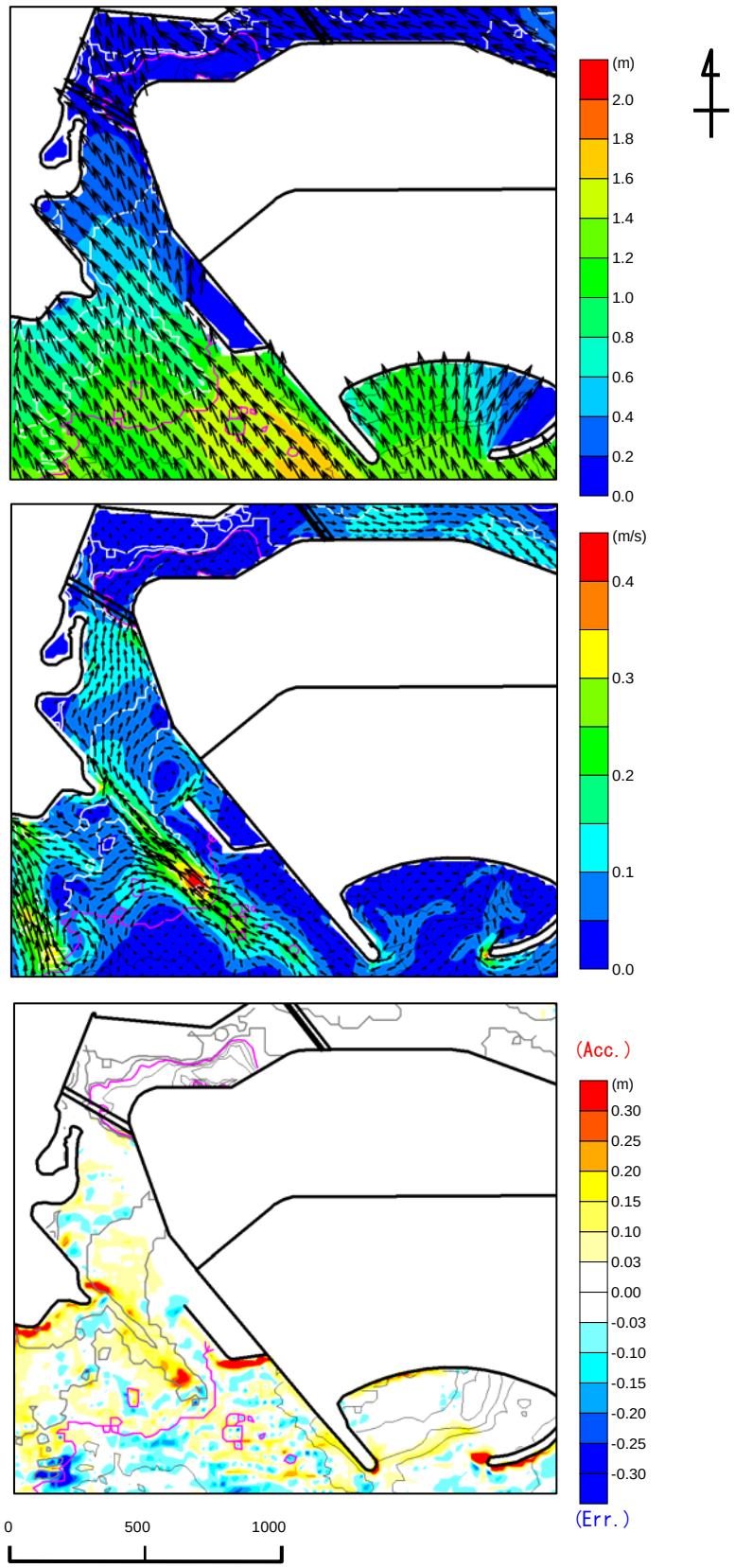


図 1-39：配置案４：養浜＋L 型突堤②

(4) 代替案の検討

以上の検討結果より、干潟地形が安定し、クビレミドロの生育条件を満たす配置は、配置案 4 であると考えられる。配置案 4 は非常に静穏となるため、水質の悪化、比屋根湿地などからの流入負荷による粘土･シルトの堆積などが問題になると考えられる。このうち、水質悪化に対しては、干潟の地盤高が C.D.L.+0.5 であるから、干潮時には干出し、十分な海水交換がなされるため、問題ないと考えられる。一方、比屋根湿地からの流入負荷による粘土・シルトが堆積する可能性については今後の検討課題となる。

配置案 4 は干潟に粘土･シルトが堆積すると砂質干潟を長期的に維持することが難しく、クビレミドロの生育条件を満たさなくなる可能性があるため、現段階では代替案を視野に入れ配置案を検討することが望まれる。

代替案としては人工干潟の基盤地形の安定性が比較的良い配置案 3 を修正して生育条件を満たす配置を再検討することとする。配置案 3 を基本として、通常時の底面せん断応力が生育条件を満たすために図 1-40 に示す修正配置案 3(代替案)を提案する。

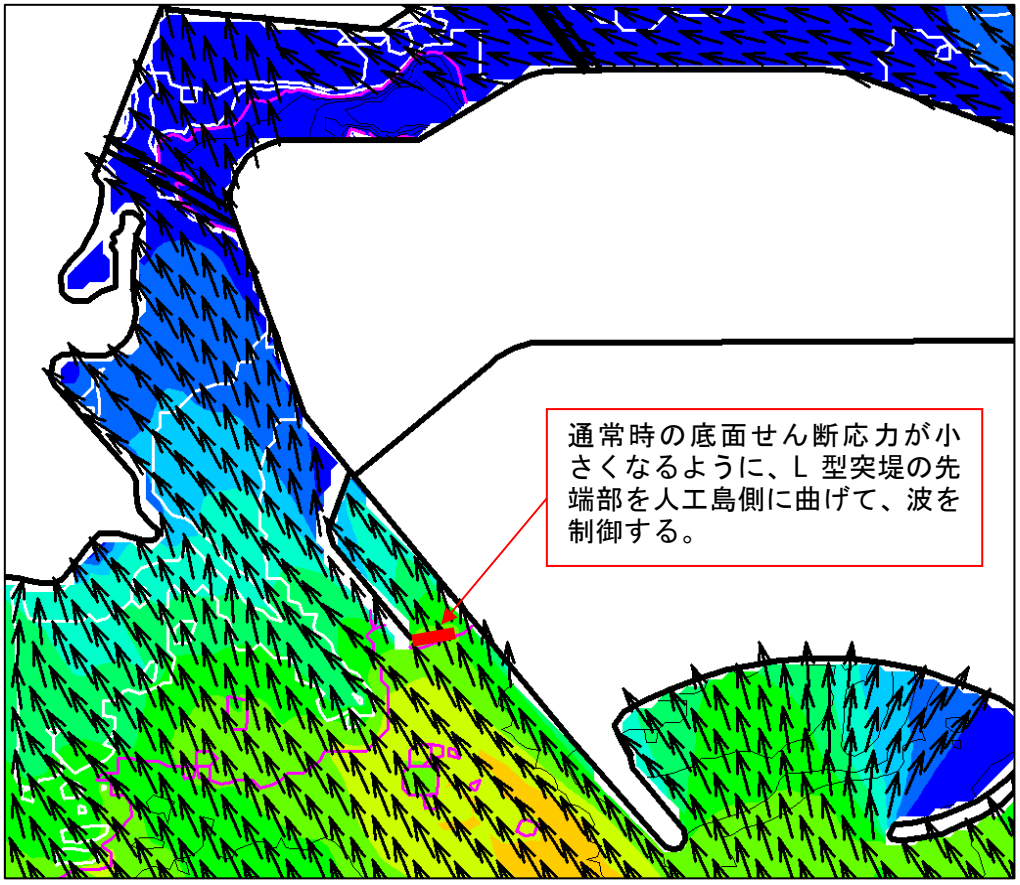


図 1-40　修正配置案 3（代替案）

修正配置案 3 に対して、通常時の底面せん断応力が生育条件を満たすことを確認する。図 1-41 は修正配置案 3 に対する通常時の底面せん断応力分布を示したものである。修正配置案3に対する底面せん断応力は僅かに0.8N/m^{2}以上(黄色領域)になる領域があるものの、概ね生育条件を満たすことが確認される。また、海浜流条件についても図 1-42 に示す海浜流の平面分布より 0.1m/s 以下になることが確認され、修正配置案 3 はクビレミドロの生育条件を満足することが確認された。

修正配置案 3 の地形変化は開口部で若干の地形変化が生じるものの、全体としては地形変化が少なく、人工干潟の基盤地形は保たれると考えられる。

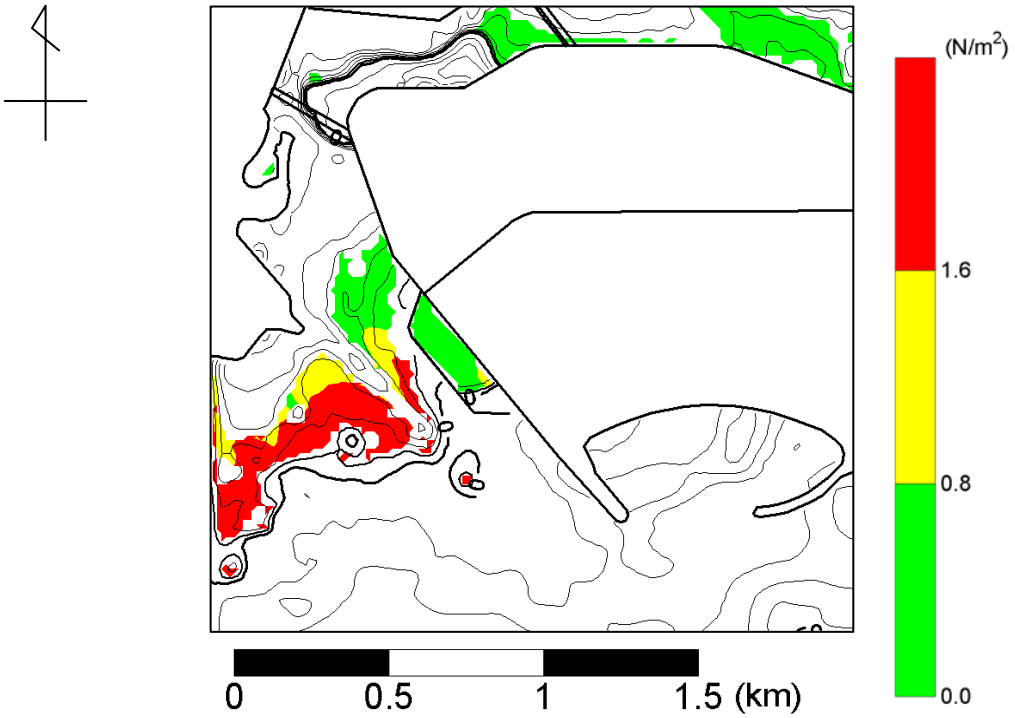
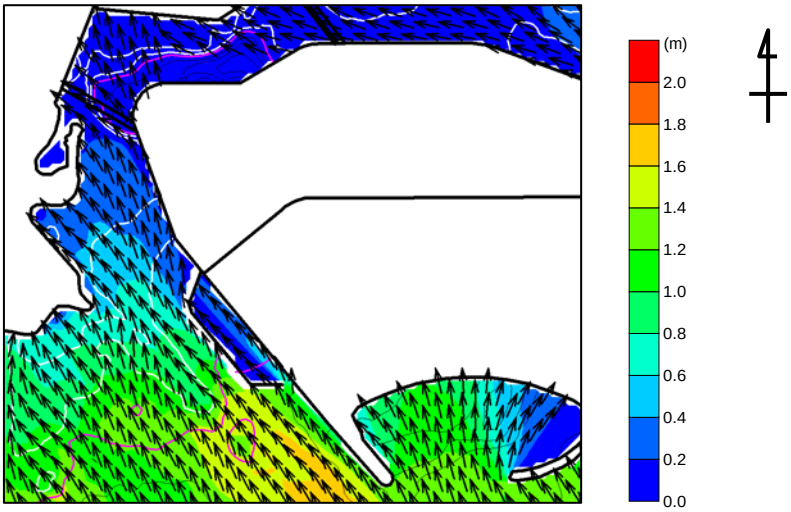
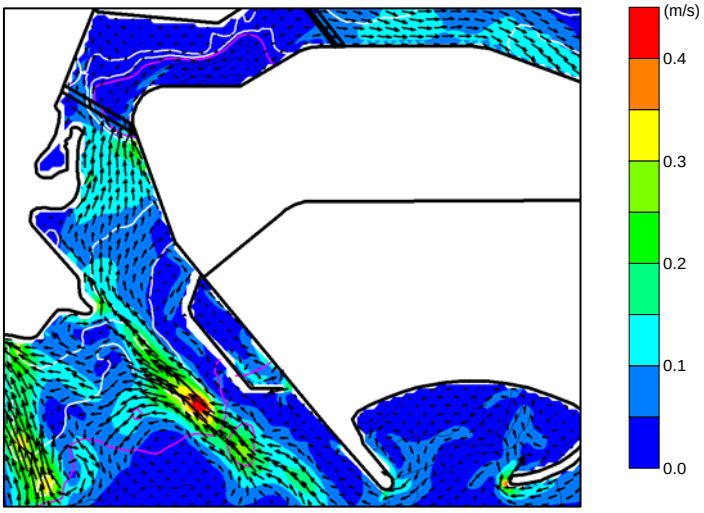


図 1-41　修正配置案 3(代替案)の底面せん断応力分布

波浪変形計算



海浜流計算



地形変化計算

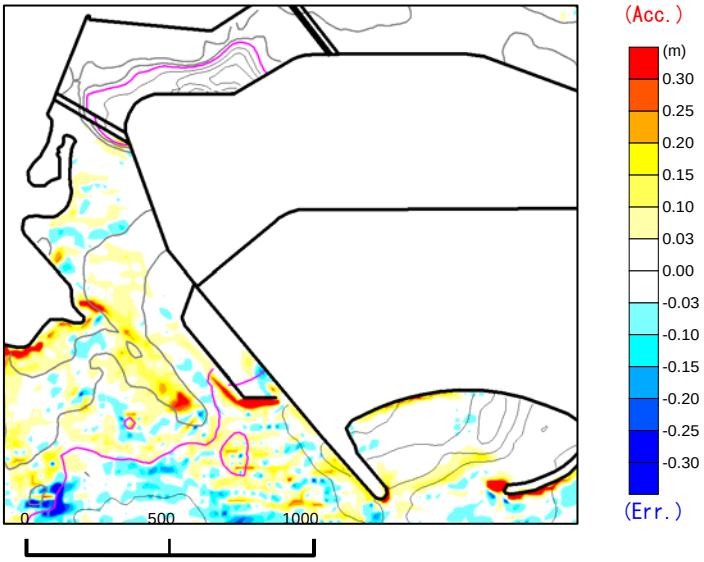
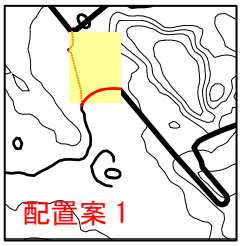


図 1-42　修正配置案 3 に対する地形変化予測

(5) まとめ

以上に 4 配置案、及び修正配置案に対する生育条件、地形の安定性について検討した。表 1-11 に配置検討のまとめを示す。生育条件を満足し、地形が安定する配置は、配置案 4、修正配置案 3 である。

表 1-11　配置検討のまとめ

配置案	底面せん断応力	海浜流	地形の安定性	備　　考
	全域で 1.6N/m^2 以上となり、生育条件の 2 倍以上となる。	人工干潟周辺で海浜流は 0.1 m/s 以下であり、人工干潟でも条件を満足する。	地形変化は 10cm 未満であり概ね安定する。	
	人工干潟の 7 割程度の領域で 1.6N/m^2 以上となる。	人工干潟周辺で海浜流は 0.1 m/s 以下であり、人工干潟でも条件を満足する。	地形変化は 10cm 未満であり概ね安定する。	
	人工干潟の 5 割程度の領域で 1.6N/m^2 以上となる。奥部では僅かな領域ではあるが条件を満足する。	人工干潟周辺で海浜流は 0.1 m/s 以下であり、人工干潟でも条件を満足する。	地形変化は 10cm 未満であり概ね安定する。地形変化が 3cm 未満の領域が 5 割程度を占める。	
	全域で 0.8N/m^2 以下となり、生育条件を満足する。	人工干潟周辺で海浜流は 0.1 m/s 以下であり、人工干潟でも条件を満足する。	波が作用しないため地形はほとんど変化しない。	人工干潟基盤地形の安定性最も良い。 しかし、静穏性が高いため、粘土・シルトの堆積が懸念される。
	ほぼ全域で生育条件(0.8N/m^2 以下)を満足する。	人工干潟周辺で海浜流は 0.1 m/s 以下であり、人工干潟でも条件を満足する。	地形はほとんど変化しないものの、開口部で僅かに地形変化が生じる。堆積傾向の変化であり問題は少ない。	

1.3　高波浪時の土砂流出の可能性検討

干潟地形の安定性を検討するための代表波浪条件は、Effective Wave Height(年数回波相当)を用いている。中城湾では数年から 5 年に 1 度は台風が直撃し、Effective Wave Height の 2 倍程度の波浪が来襲することがある。このような高波浪により土砂が流出した場合に、自然に干潟形状が回復することは期待できないと考えられ、維持養浜を実施するなどの対応が必要になる。そこで、数年から 5 年に 1 回程度来襲する高波浪条件に対する人工干潟の安定性について検討し、付帯施設の必要性について検討する。

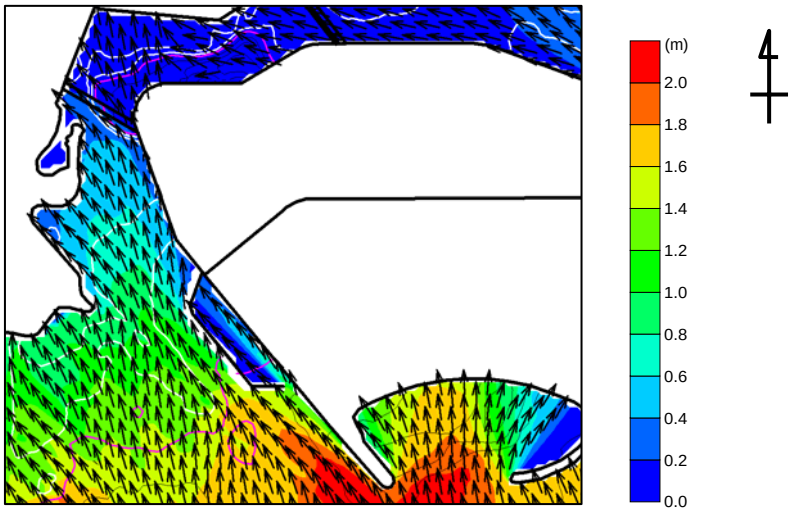
ここでは、津堅島での波浪観測データが欠測せずに測得されており、有義波高で 10m 以上となった 2004 年の台風 23 号時の波浪諸元(表 1-11 参照)に対して、地形の安定性を検討する。

修正配置案 3 と配置案 4 に対して、直撃型台風による地形変化を検討した結果を図 1-43 および図 1-44 に示す。地形変化量は Effective Wave Height(年数回波程度)に比べて大きくなるが、人工干潟部ではほとんど変化しないと予測される。L 型突堤の波浪制御、漂砂制御機能により直撃型台風時にも地形変化は少ないと評価された。

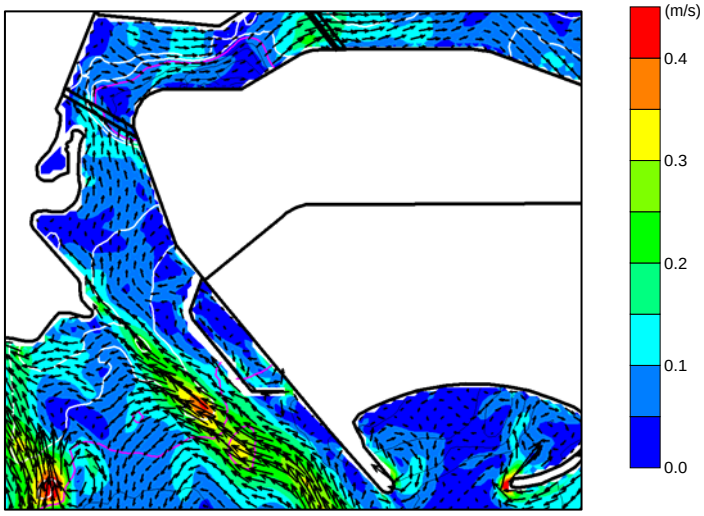
表 1-12　直撃型台風時の地形の安定性を検討する条件

起　時	$H_{1/3}$（m）	$T_{1/3}$（s）	波向	潮位 (C.D.L.;m)	風速 (m/s)	風向
2004 年 10 月 19 日 12:00	11.93	13.6	135°	2.57	17.7	SE

波浪変形計算



海浜流計算



地形変化計算

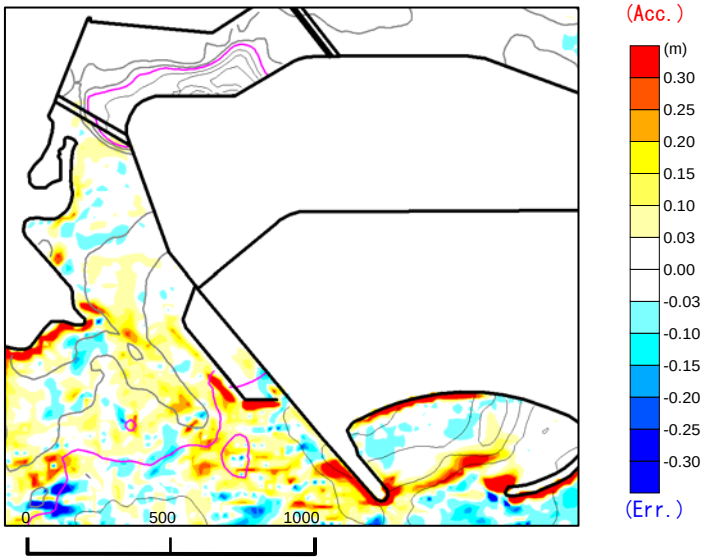


図 1-43　修正配置案 3：2004 年台風 23 号の波浪条件

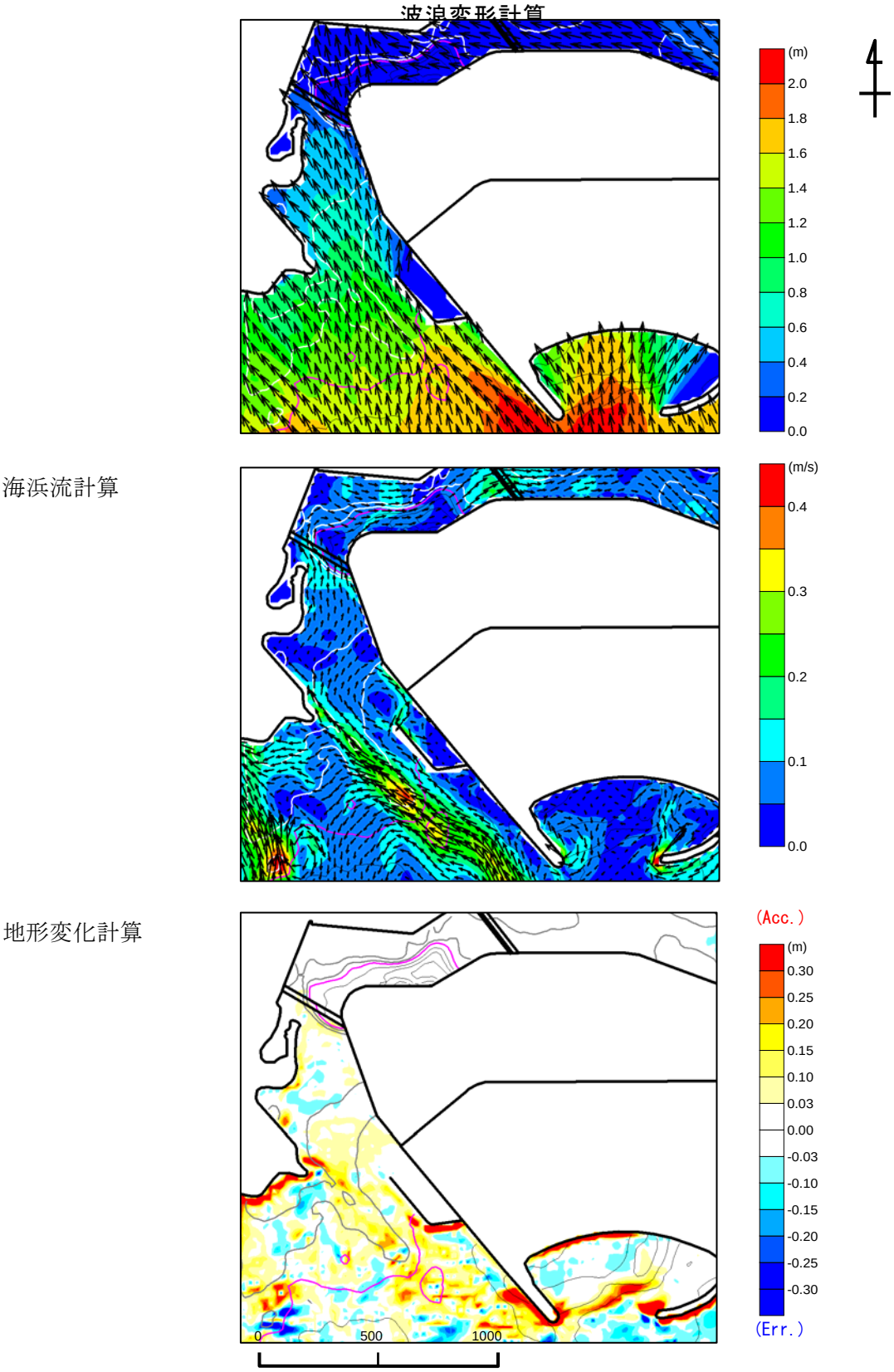


図 1-44　配置案 4：2004 年　台風 23 号 2004 年台風 23 号の波浪条件

2.　今後の検討課題

2.1　本検討の位置づけ

以上にクビレミドロ生育干潟の安定性、および生育条件(外力条件)を満たす人工干潟の配置を検討した。本検討は、人工干潟地形の安定性を検討することと、外力に対する生育条件を満足することを検討、確認したものであり、以下の①、②の項目対応している。

①　人工干潟地形が安定すること　（干潟の基盤地形の形成）
②　干潟地形がクビレミドロの生育条件を満足すること　（基盤としての条件）
③　クビレミドロの生活環において生育可能な条件を満足すること
④　現地試験、順応的管理など現場での検討

2.2　本検討における課題

人工干潟の配置として適当であると考えられる配置は､修正配置案-3 と配置案-4 である。干潟の基本諸元は次の通りである。

地盤高　：C.D.L.+0.5　(泡瀬地区濃生域の平均地盤高)
底質粒径：中央粒径 0.2mm　(泡瀬地区濃生息の中央粒径)

ここで、クビレミドロ生育条件を再確認すると、地盤高については C.D.L.+0.2m～0.8m の範囲で濃生域分布し、年により濃生域が確認される地盤高に変動がある。濃生域の地盤高が変動する要因は十分に解明されていないため、現存干潟を模倣することが望ましく、生育可能な地盤高である C.D.L.+0.2m～C.D.L.+0.8m の範囲で、地盤高に幅を持たせて人工干潟を造成することが望まれる。

底質粒径は泡瀬地区の濃生域の中央粒径である 0.2mm に対して検討したが､細粒成分や粗粒成分が 10%前後含まれていることが、クビレミドロの生育条件として必要な条件であるか否かについて課題として残されている。細粒成分は保水性、粗粒成分底質の安定性などに寄与している可能性が指摘されている。粘土・シルト粘土と砂が混合した状態に対する数値シミュレーションについては、片寄(2007)[2]らの方法により、ある程度の検討は可能であると考えられるが、粘土・シルトの供給量などの条件設定、泡瀬地区での再現性の確認などが必要になる。

[2]片寄 誠・村上敏幸・山田貴裕・原信彦(2007)：八戸港内の埋没実態と予測モデルの構築、海岸工学論文集、第 54 巻、PP.431-435

人工干潟造成区域における課題は、比屋根湿地から流入する負荷による水質悪化、粘土・シルトの堆積などが挙げられる。水質については干潮時には完全に干出する領域(地盤高)であるため、問題としては小さいと考えられる。しかし、比屋根湿地の将来計画にもよるが、配置案-4 では粘土・シルトが堆積し、クビレミドロ生育条件を満足しなくなることが懸念される。

2.3　現地試験、監視調査　～生育条件の再整理と検討継続項目～

現地試験、監視調査により明らかにすべき事項などを整理し、現地試験内容や監視調査内容を吟味する必要がある。そこで、クビレミドロの生育条件に対して以下の項目に対して再吟味する必要があると考える。

- 生育条件を抽出した根拠、その他の条件があり得る可能性について整理
- 生育条件に対する検討内容と結果、各生育条件の関連性
- 各結果の自信度(◎、○、△、×)

表 2.3-1　生育条件と人工干潟の造成に向けた検討事項

		人工干潟造成に配慮すべき事項	基盤造成に対する既検討	基盤造成に対する検討課題
水質	濁り	新港地区と同様に水路部では相対的に濁ることが予測される．低潮位では干出するためある程度の光量は確保されると思われる．	未検討	海域での濁り拡散計算による濁りの濃度の予測する． 人工干潟部への粘土シルトの堆積量の予測する．
	栄養塩			
	塩分			
地盤高		干潮時に干出する地盤高が良く，近隣の泡瀬地区ではC.D.L.0.2m～0.8mで生育が確認される．	地盤高をC.D.L.+0.5m(クビレミドロの生育する平均地盤高)として検討した．	地形の安定性を検討する数値計算で，地盤高一定だけでなく，C.D.L.0.2m～0.8mの範囲で地盤高が変化する条件(勾配)で検討する．
底質	粒度組成	直近の泡瀬地区でd_{50}=0.2mm，屋慶名，太田でd_{50}=0.4～0.7mmである． 粒度の条件の解明不能である． 粘土・シルト：保水性 礫：微地形の形成	中央粒径0.2mmとして検討した．	粒度分布を数値計算により予測することは困難である． 現地試験により確認することが望まれる．検討した配置では地形変化が生じないため礫は残留すると考えられる．粘土・シルトは移流・拡散するため別途検討が必要である．
	鉱物組成	制限要因ではない．	－	―
小型海草		共生関係にあるわけではない． 現地では小型海草が多い場所にクビレミドロが多い傾向がある．	未検討	小型海草による砂移動抑制効果については，底面せん断応力に対する耐性を把握できれば，ある程度の検討は可能である．
撹乱	地盤高の変化		干潟の基盤地形は地盤高の変化量が少なくなる配置を検討した．	地盤高，底質条件に対応した検討が必要となる．
	砂の移動			
	風，波の影響			
	酸化還元電位	監視の指標になりうる．	－	―
外力条件（シールズ数）		エネルギー平均波 τ_{max}=0.8N/m^{2}以下 Effective Wave Height U=0.1m/s以下	修正配置案3，配置案4で条件を満足する．	―