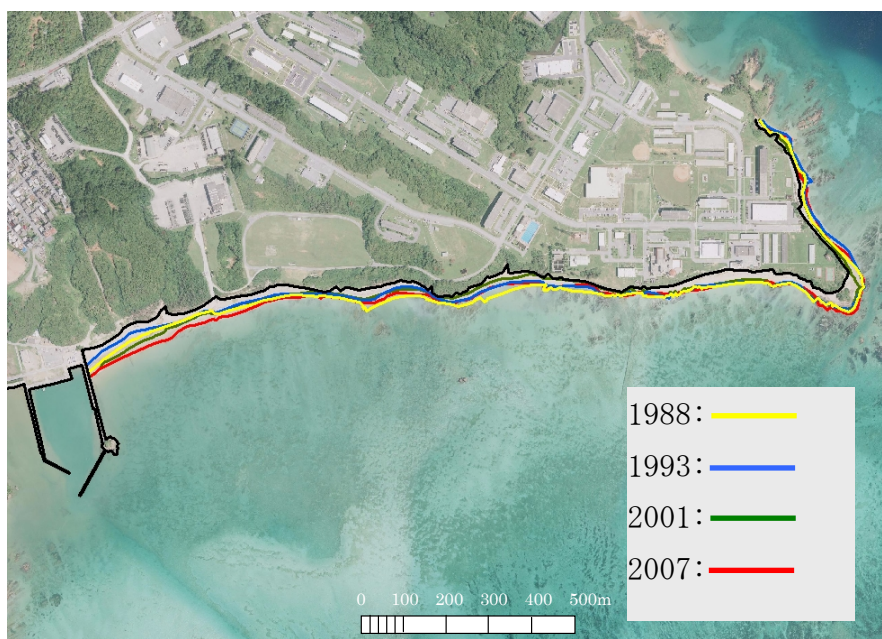


(写真は2007年8月，黒太線は現況の護岸・植生境界)

図-6.10.1.83(3) 1984年10月と2007年8月の汀線の比較



(写真は2007年8月，黒太線は現況の護岸・植生境界)

図-6.10.1.83(4) 1988年以降（辺野古漁港外郭施設完成後）の汀線の比較

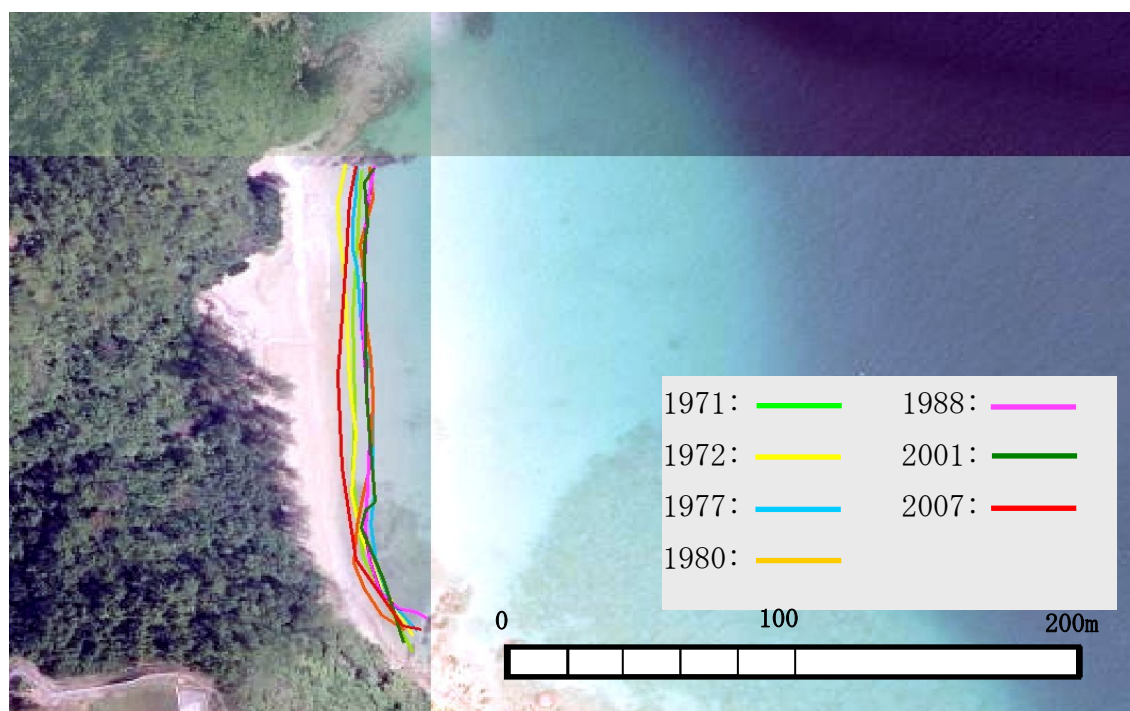
(イ) 辺野古弾薬庫付近のポケットビーチ

表-6.10.1.28に示す1971～2007年の空中写真(7回分)をもとに辺野古弾薬庫付近のポケットビーチの水際線を読み取り、過去の汀線変化を把握しました。汀線の読み取り結果を図-6.10.1.84に示します。

表-6.10.1.28 空中写真一覧

	撮影年月日	備考	撮影
1	1971年5月16日		国土地理院
2	1972年2月10日		〃
3	1977年12月7日		〃
4	1980年11月10日		〃
5	1988年11月21日		〃
6	2001年01月12日		〃
7	2007年08月31日	オルソ幾何補正, 比較的直前に高波浪あり ^{注1}	沖縄防衛局 ^{注2}

注) 1. 台風0704号によって中城湾で既往最大有義波高13.61mを観測(7月13日)
 2. 資料:「シュワブ(H18)環境現況調査(その3)」(平成20年12月、沖縄防衛局)



(写真は2007年8月, 位置は図-6.10.1.81参照)

図-6.10.1.84 1971年5月以降の汀線

個別の空中写真の比較などは省略しますが、当該範囲の汀線変化を考察した結果は以下のとおりです。

- ・ポケットビーチでは、汀線に多少の経年変動はあるものの、その変動は37年間で幅20mの中に収まっており、概ね海浜は安定しています。
- ・2007年8月の汀線は、比較的大きく後退しています。1か月半前に発生した高波浪（表-6.10.1.28参照）の影響による可能性が考えられます。ただし、2008年4月～12月に行われた横断測量結果（法線13）によれば、既にその影響は残っていません。

(ウ) 瀬嵩の鼻から汀間漁港側に分布する砂浜

表-6.10.1.29に示す1971～2007年の空中写真(8回分)をもとに、瀬嵩の鼻から汀間漁港側に分布する砂浜の水際線を読み取り、過去の汀線変化を把握しました。汀間地区全体図を図-6.10.1.85に、汀線の読み取り結果を図-6.10.1.86に示します。

汀間漁港の東防波堤と汀間離岸堤の築造前後に注目し、汀線の経年変化を解析しました。解析の整理期間は、以下のとおりです。

- ア) 1971年～1977年：汀間漁港東防波堤、汀間離岸堤の築造前
- イ) 1977年～1993年：汀間漁港東防波堤、汀間離岸堤の築造時(瀬嵩川河道変更)
- ウ) 1993年～2007年：汀間漁港東防波堤、汀間離岸堤の築造後

ここでも個別の比較などは省略しますが、汀間漁港の東防波堤、汀間離岸堤の築造及び瀬嵩川河道の変更による地形変化の影響は見られませんでした。

表-6.10.1.29 空中写真一覧

	撮影年月日	備考	撮影
1	1971年5月16日		国土地理院
2	1972年2月10日		〃
3	1977年12月7日	汀間離岸堤築造開始時期	〃
4	1980年11月10日	汀間離岸堤完成済 瀬嵩川河道変更後	〃
5	1988年11月21日	汀間漁港築造開始時期	〃
6	1993年09月10日	汀間漁港築造中 (東防波堤はほぼ完成済) 直前に高波浪あり ^{注1}	〃
7	2001年01月12日	汀間漁港完成済	〃
8	2007年08月31日	オルソ幾何補正, 比較的直前に高波浪あり ^{注2}	沖縄防衛局 ^{注3}

注) 1. 台風9313号によって中城湾で有義波高6.76mを観測(9月2日)

2. 台風0704号によって中城湾で既往最大有義波高13.61mを観測(7月13日)

3. 資料:「シュワブ(H18)環境現況調査(その3)」(平成20年12月、沖縄防衛局)

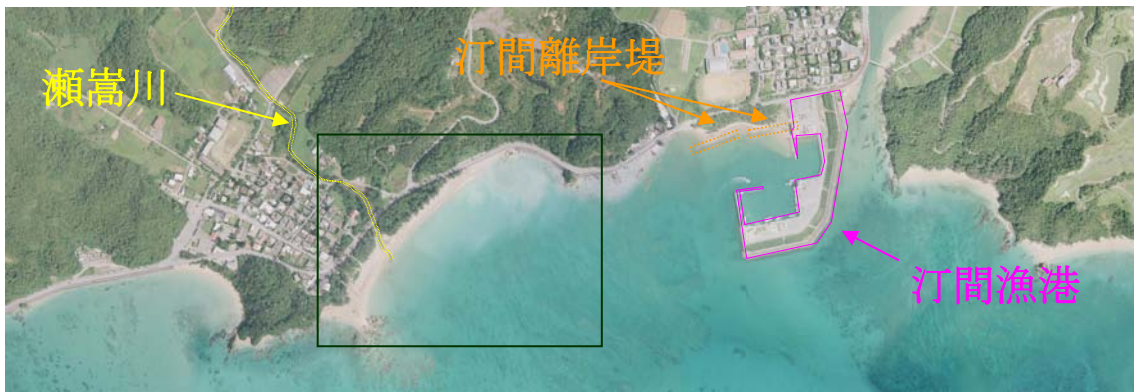


図-6.10.1.85 Iwama地区全体図 (写真は2007年8月31日撮影)

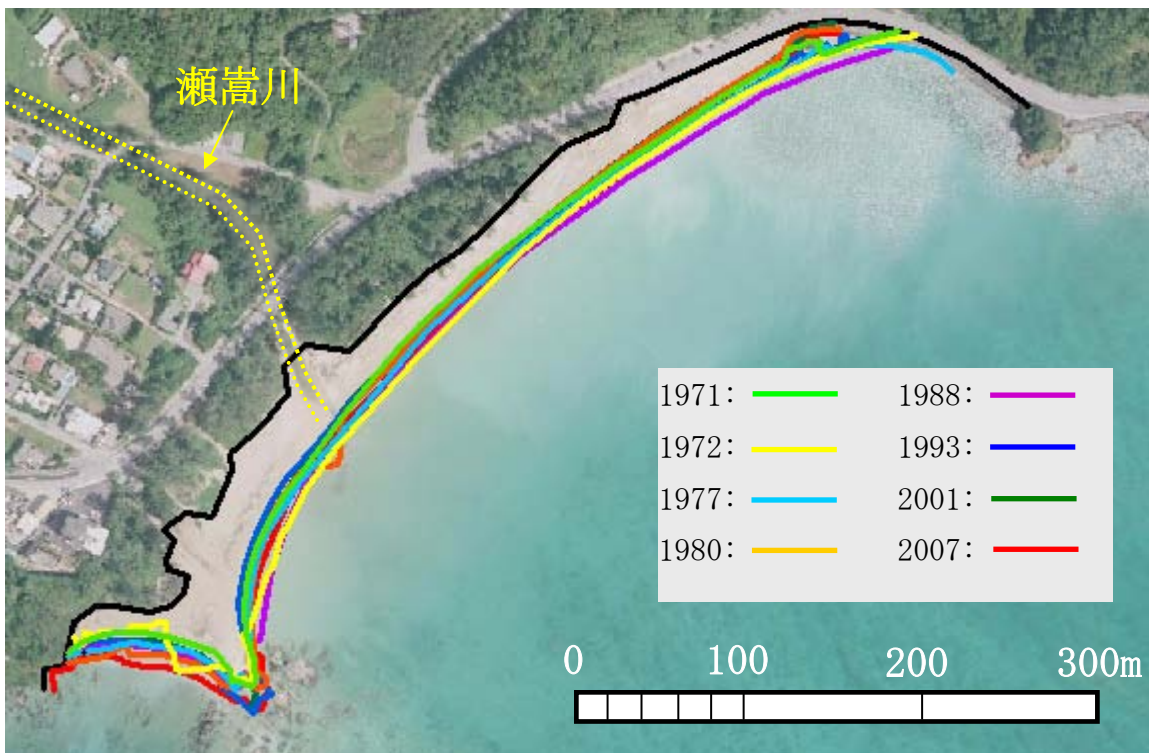


図-6.10.1.86 1971年5月以降のIwama線 (写真は2007年8月31日撮影)

6.10.2 予測

6.10.2.1 工事の実施

(1) 予測の概要

予測の概要は表-6.10.2.1.1に示すとおり、工事の実施に伴う海岸域における重要な地形・地質の分布及び海岸線の改変の程度を予測しました。

表-6.10.2.1.1 海岸域における重要な地形・地質

項目	内容
予測項目	工事の実施による海岸域における重要な地形・地質の分布及び成立環境の改変の程度
影響要因	<ul style="list-style-type: none">・護岸の工事 代替施設本体の護岸工事 辺野古地先水面作業ヤードの工事 海上ヤードの工事 工事用仮設道路の工事・埋立工事 代替施設本体の埋立工事 埋立土砂発生区域における土砂の採取 工事用仮設道路の工事 美謝川の切替え工事
予測地点・予測範囲	海岸域における重要な地形・地質に係る環境影響を受けるおそれがあると認められる地域として、事業実施区域及びその周辺の海岸域としました。
予測対象時期	工事の実施による地形・地質の改変範囲が最大となる工事終了時としました。
予測の手法	事業実施区域及びその周辺の海岸域における重要な地形・地質の分布域を示す図面に、工事による改変区域を重ね合わせ、工事の実施による影響の程度を定性的に予測しました。

(2) 予測方法

現地調査により把握した事業実施区域及びその周辺の海岸域における重要な地形・地質の分布域を示す図面に、工事の実施による改変区域を重ね合わせ、工事による改変の程度を定性的に予測しました。また、成立環境の改変の程度については、工事の実施により改変される海岸線の延長を求めました。なお、対象とした工事は、海岸域の改変を伴う代替施設本体及び辺野古地先水面作業ヤードとしました。

(3) 予測結果

1) 重要な地形・地質の分布の改変の程度

海岸域における重要な地形・地質については、学術上又は希少性の観点から重要と判断されるとともに、地殻の変動や波、海水等の作用により形成された特徴的な地形・地質であることにより当該地域の自然景観を構成する重要な要素となっているものを抽出し、その分布状況を調査しました。なお、調査区域については、工事により消失する地形・地質の種類、箇所数を明らかにすることを目的として、主務省令の参考手法を勘案するとともに、沖縄県技術指針の標準手法を基本として、名護市豊原から安部までの海岸域に設定しました。

事業実施区域及びその周辺の海岸域における分布域と改変区域を重ね合わせることにより、改変の程度を整理した結果を表-6.10.2.1.2に示します。

改変区域内で分布が確認された重要な地形・地質は、嘉陽層の露頭（互層、褶曲、ずれ(断層)）、不整合面の露頭、湧水・浸み出し、波蝕棚、海蝕洞・石灰洞、ノッチ、ポッドホール、トンボロ及びカस्पであり、改変区域内のこれらの地形・地質は工事の実施により消失することとなります。海蝕崖、ビーチロック様固結物及び礫浜海岸は、改変区域内には分布していないため、工事による影響はありません。

カस्पについては、調査区域内に2箇所が分布しており、工事により改変区域内の1箇所がやむを得ず消失することとなりますが、改変区域外の1箇所は、大浦湾奥部の瀬嵩に分布しており、「6.9 水象」に示したとおり、施設の存在に伴う波高の変化は大浦湾奥部には及ばないと予測されることから、カस्पの成立要因である波浪の作用は施設の存在後も維持されると考えられます。さらに、本調査の対象範囲外である嘉陽集落前及び豊原集落前の砂浜に存在するカस्पについても同様に、施設の存在後もその成立要因である波浪の作用は維持されると考えられます。

なお、改変区域外の海岸域における波高の変化は、代替施設本体の北側傾斜堤護岸前面の遮蔽域となる区域において局所的に減少すると予測されますが、この区域に分布する嘉陽層の露頭（褶曲）、波蝕棚及び海蝕洞・石灰洞については、地殻の変動や波の侵食作用によって形成されたものであることから、施設の存在後もこれらの地形・地質は維持されると考えられます。

以上の予測結果をまとめ、表-6.10.2.1.3に示します。

表-6. 10. 2. 1. 2 海岸域における重要な地形・地質の分布確認箇所数

重要な地形・地質の区分	改変区域内			改変区域外	合計
	代替施設本体	辺野古地先水面作業ヤード	計		
嘉陽層の露頭（互層）	1	0	1	13	14
嘉陽層の露頭（褶曲）	5	1	6	24	30
嘉陽層の露頭（ずれ(断層)）	2	0	2	32	34
不整合面の露頭	0	1	1	14	15
湧水・浸み出し	2	0	2	17	19
海蝕崖	0	0	0	10	10
波蝕棚	20	4	24	99	123
海蝕洞・石灰洞	7	3	10	36	46
ノッチ	0	4	4	44	48
ポッドホール	3	0	3	11	14
ビーチロック様固結物	0	0	0	18	18
礫浜海岸	0	0	0	4	4
トンボロ	1	2	3	5	8
カスプ	1	0	1	1	2

表-6. 10. 2. 1. 3 海岸域における重要な地形・地質に対する工事の影響の予測結果

重要な地形・地質の区分	予測結果
嘉陽層の露頭（互層、褶曲、ずれ(断層)）、不整合面の露頭、湧水・浸み出し、波蝕棚、海蝕洞・石灰洞、ノッチ、ポッドホール、トンボロ	<ul style="list-style-type: none"> ・工事の実施により改変区域内の分布域は消失します。 ・改変区域外に分布する地形・地質は、施設の存在後も維持されると考えられます。
カスプ	<ul style="list-style-type: none"> ・調査対象範囲内に2箇所が分布しており、工事により改変区域内の1箇所がやむを得ず消失することとなります。 ・改変区域外の1箇所は、大浦湾奥部の瀬嵩に分布していますが、施設の存在に伴う波高の変化は大浦湾奥部には及ばないと予測されることから、カスプの成立要因である波浪の作用は施設の存在後も維持されると考えられます。 ・本調査の対象範囲外である嘉陽集落前及び豊原集落前の砂浜に存在するカスプについても、施設の存在後も波浪の作用は維持されると考えられます。
海蝕崖、ビーチロック様固結物、礫浜海岸	<ul style="list-style-type: none"> ・改変区域内には分布していないため、工事による影響はありません。

2) 海岸線や成立環境の改変の程度

第3章(3.1.4 地形・地質の状況(1)地形)に示しました環境省による自然環境保全基礎調査の結果に基づく「自然環境情報 GIS」を用いて、工事の実施により改変される海岸の延長を計測した結果を表-6.10.2.1.4に示します。

これによれば、美謝川河口部は「自然海岸」に区分されており、代替施設本体により改変される美謝川河口部の海岸延長も「自然海岸」の中に含まれているため、改変される「河口部」はないものと見なされます(表-6.10.2.1.4では、改変される河口部の海岸の延長は「—」で示しています)。また、参考欄には、海岸線の改変の程度を代替施設が建設される地域レベルのスケール及び全島のスケールで比較検討するため、辺野古地域、名護市東海岸、名護市及び沖縄島の海岸線延長についても同調査の結果から計測した値を記載しました。なお、これらの計数は端数処理をしているため、内訳の和が必ずしも合計の値にはなりません。

この結果によれば、事業実施区域内の海岸約4.1kmが改変されます。このうち大部分は自然海岸で延長3.5km、全体の85%を占めており、半自然海岸は0.5km改変されると予測されます。自然海岸は、代替施設本体の工事で3.0km、辺野古地先水面作業ヤードの工事で0.5kmが改変されると予測されます。

自然海岸と半自然海岸をあわせた改変される海岸の延長は4.0kmであり、人工海岸も含めた合計は、辺野古地域の52.6%、名護市東海岸の9.9%、名護市の4.1%、沖縄島の0.6%に相当します。

表-6.10.2.1.4 工事の実施により改変される海岸の延長

(単位: km)

海岸の区分	改変される海岸の延長			参 考			
	代替施設 本体	辺野古地先水 面作業ヤード	計	辺野古 地域	名護市 東海岸	名護市	沖縄島
自然海岸	3.0	0.5	3.5	6.8	31.3	52.5	317.8
半自然海岸	0.5	0.1	0.5	0.5	6.7	28.2	135.6
人工海岸	—	0.1	0.1	0.5	3.0	17.4	223.5
河口部	—	—	—	0.0	0.3	0.8	5.2
計	3.4	0.7	4.1	7.8	41.4	99.0	682.0

- 注) 1. 海岸線の区分別延長は、「第5回自然環境保全基礎調査 海辺調査」(平成10年3月、環境省自然環境局)及び同調査の「自然環境情報 GIS」(<http://www.biodic.go.jp/kiso/gisddl/gisddl.html>)から計測した値を示しました。なお、計数は端数処理をしているため、内訳の和が必ずしも合計の値にはなりません。
2. 参考欄には、海岸の改変の程度を代替施設が建設される地域レベルのスケール及び全島のスケールで比較検討するため、辺野古地域、名護市東海岸、名護市及び沖縄島の海岸線延長を記載しました。
3. 辺野古地域の範囲は、総務省統計局による「政府統計の総合窓口」における「地図で見る統計(統計GIS)」(<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/eStatTopPortal.do>)から得られる名護市字辺野古の範囲としました。また、沖縄島については、沖縄島にある市町村の海岸線の合計を示しました。
4. 上記の調査における海岸の区分は以下のとおりです。
- 自然海岸：海岸が人工によって改変されないで自然の状態を保持している海岸
 半自然海岸：道路、護岸、テラポット等の人工構築物で海岸の一部に人工が加えられているが、潮間帯においては、自然の状態を保持している海岸
 人工海岸：港湾・埋立・浚渫・干拓等により著しく人工的につくられた海岸島、潮間帯に人工構築物がある海岸

3) 海上ヤードの存在による影響

後述する施設等の供用時における予測結果を考慮して、波によるシールズ数の変化から海上ヤードの存在による影響を考察します。

(a) 施設等の供用時における予測結果の概要

図-6.10.2.1.1は、施設等の供用による台風期4ヶ月程度の短期的な海底地形変化の影響予測結果です（後述の6.10.2.2に詳細を示します）。一方、図-6.10.2.1.2は、年最大波浪時（毎年少なくとも1回発生する程度の高波浪）のシールズ数（砂を動かそうとする力とそれに抵抗する力との比）の変化予測結果を示したものです（後述の6.10.2.2に詳細を示します）。

比較的顕著な海底地形変化の影響が見られる局所的な箇所は、シールズ数の顕著な変化域と対応しています（図-6.10.2.1.1、図-6.10.2.1.2の①及び②参照）。詳細を見ると、代替施設北側及び長島の北端に見られる5cm以上の堆積の増加（侵食の減少）域では、年最大波浪のシールズ数が0.08以上減少しています。一方、代替施設南側傾斜堤護岸沿いでは、0.02程度のシールズの増加によって10cm以上の侵食の増加が予測されます。両範囲ともに、現況におけるシールズ数の絶対値が比較的大きい箇所（図-6.10.2.1.3の①及び②参照）での変化により侵食の減少と増加が予測されます。

(b) 海上ヤードの存在による影響

図-6.10.2.1.4は、海上ヤード（ケーソン仮置マウンド）の使用面積最大時の状況を示したものです。また、この時の施工進捗図は、図-6.10.2.1.5に示したとおりです。図-6.10.2.1.6は、海上作業ヤード使用面積最大時（工事中2年次3ヶ月目：1ヶ月間）におけるシールズ数の変化を示したものです。ケーソンが仮置きされる海上ヤードと瀬嵩の間（図-6.10.2.1.6の③参照）で、シールズ数が減少することが予測されます。

海上ヤードと瀬嵩の間は、現況において比較的シールズが大きい値を示しています（図-6.10.2.1.3の③参照）。仮置ケーソンの存在によってシールズ数が減少することから、前述の①の範囲と同様な海底地形変化が予測されます（範囲②の長島北端の変化は浚渫工事の影響です）。ただし、シールズ数の減少は最大でも0.06程度です。よって、堆積傾向（侵食の減少）にはなりますが、顕著な海底地形変化は起こらず、極めて軽微な変化に収まるものと考えられます。

底質変化に関しては、後述の図-6.10.2.2.27に示すようにシールズ数と中央粒径との間には正の相関がみられることから、シールズ数の減少に伴い中央粒径が小さくなる（細粒化する）傾向になると予測されます。しかし、シールズ数の変化の程度が小さいので、顕著な底質変化は起こらないものと考えられます。

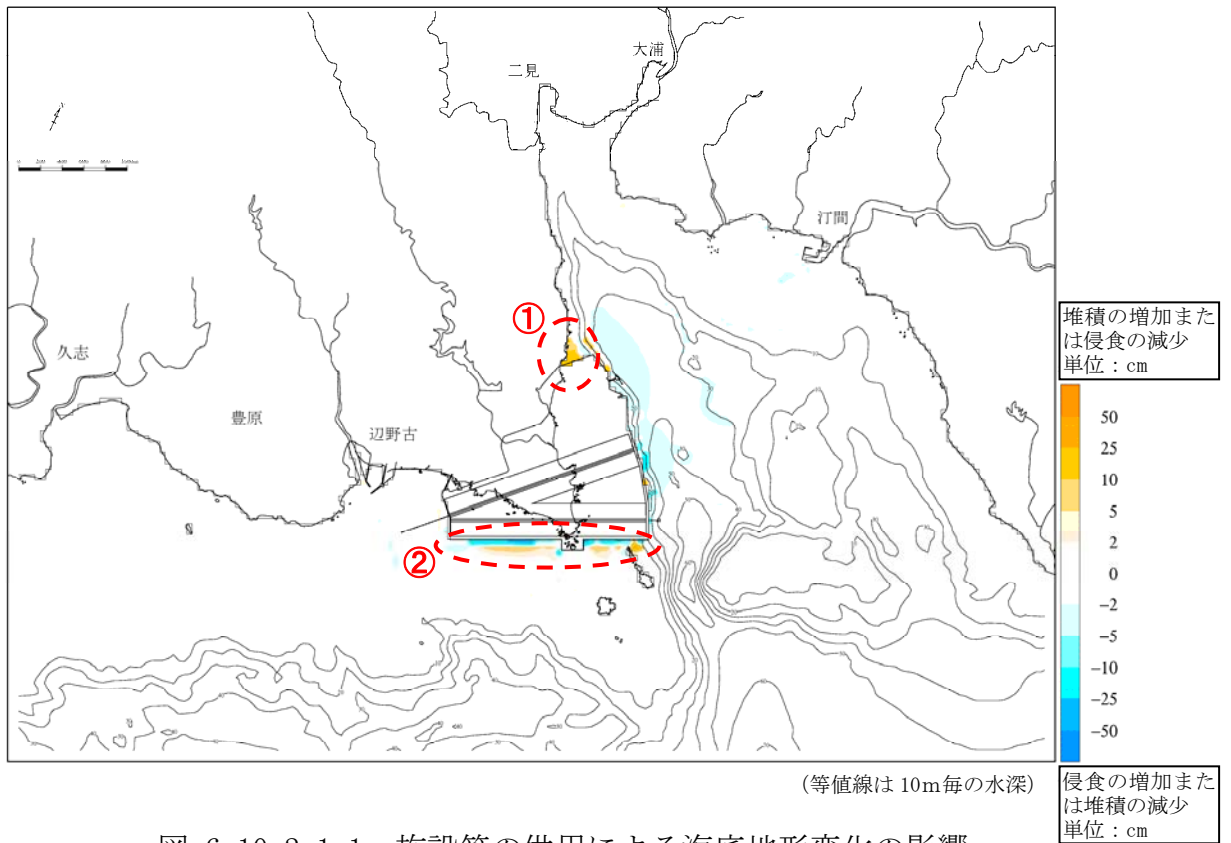


図-6.10.2.1.1 施設等の供用による海底地形変化の影響

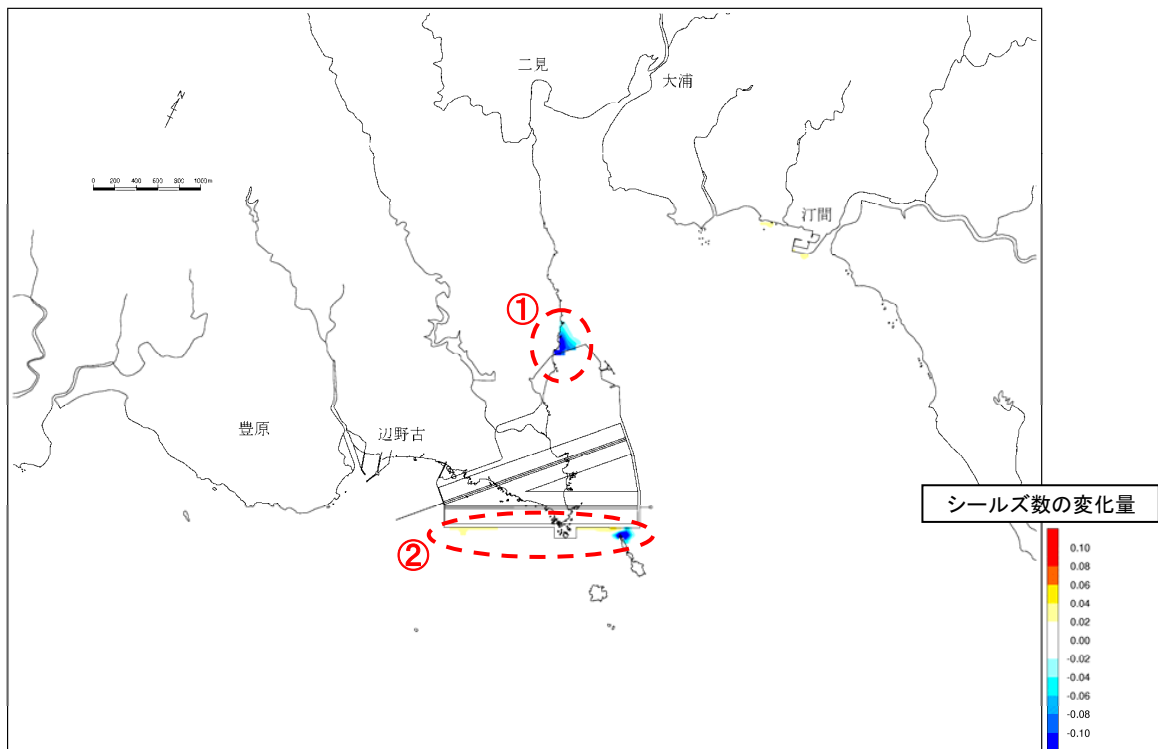


図-6.10.2.1.2 施設等の供用時のシールズ数の変化域（年最大波浪）

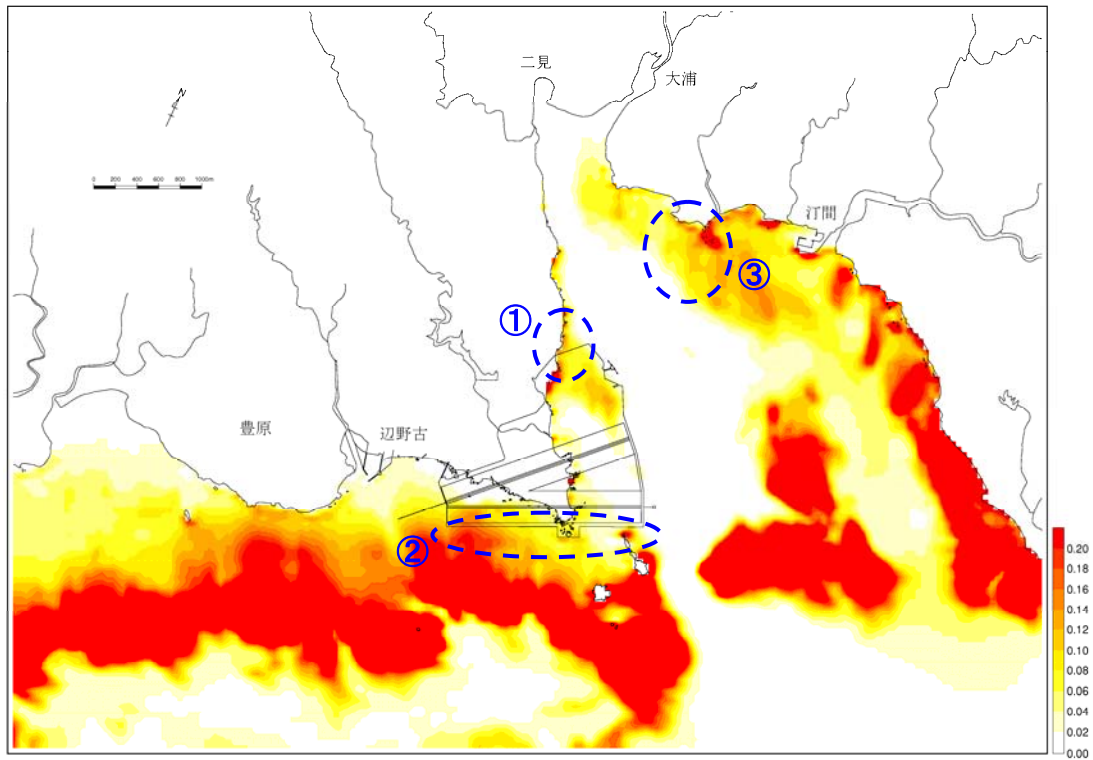


図-6.10.2.1.3 現況のシールズ数（年最大波浪）

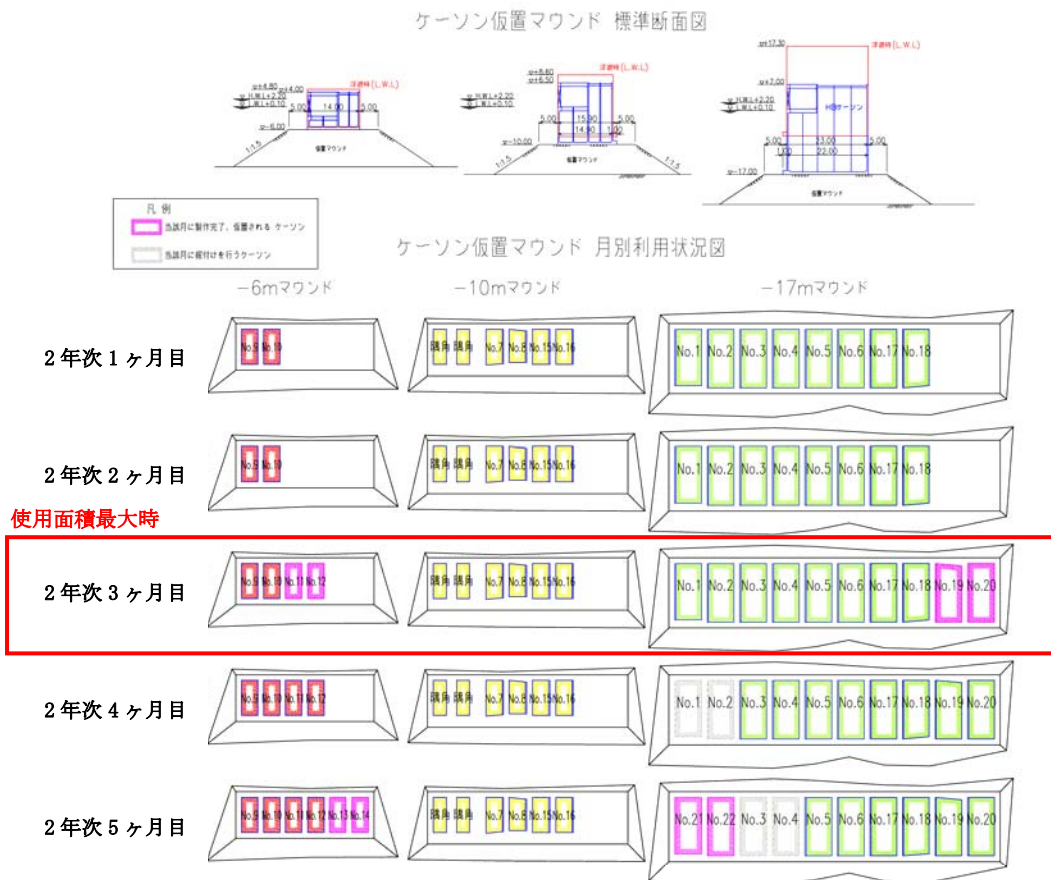


図-6.10.2.1.4 海上ヤード（ケーソン仮置マウンド）月別使用状況図

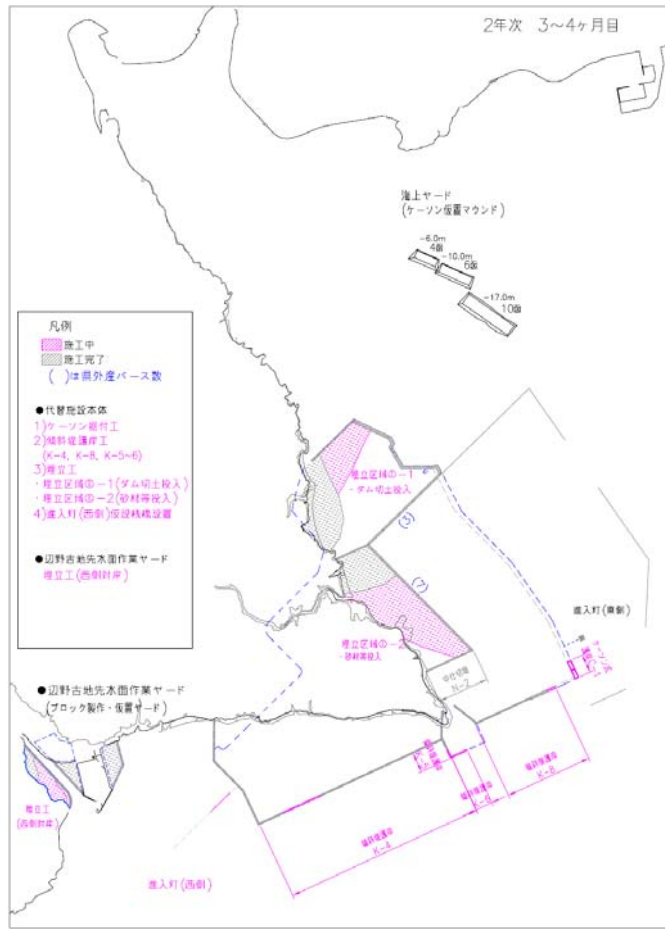


図-6.10.2.1.5 施工進捗図 (2年次 3~4ヶ月目)

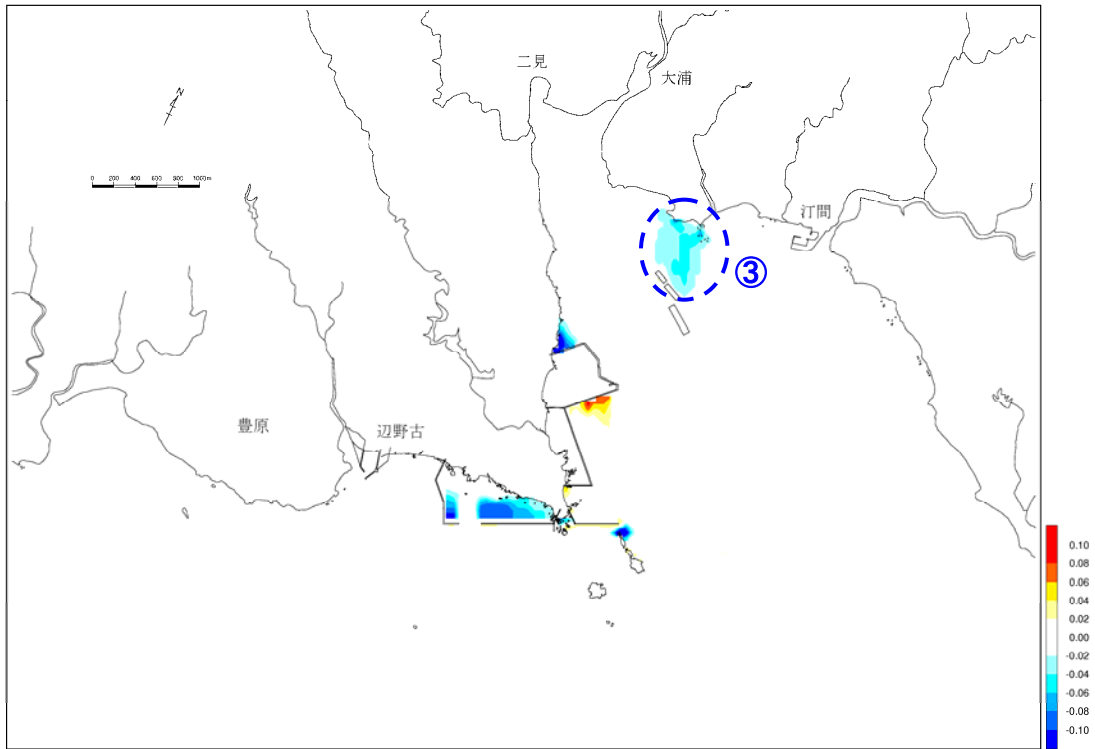


図-6.10.2.1.6 海上ヤード使用面積最大時のシールズ数の変化域 (年最大波浪)

6.10.2.2 施設等の存在及び供用

(1) 予測の概要

施設等の存在及び供用時における影響の予測について、地形・地質に係る予測の概要を表-6.10.2.2.1～表-6.10.2.2.5に整理しました。

1) 海岸線の変化

表-6.10.2.2.1 海岸線の変化の予測概要

項目	内容
予測項目	施設等の供用時における海岸線（汀線）の平均的位置
影響要因	埋立地の存在
予測地点・予測範囲	地形・地質に係る環境影響を受けるおそれがあると認められる地域として、事業実施区域を含む周辺域の代表的な砂浜を対象としました。
予測対象時期	埋立地完成後、地形が概ね安定するまでの期間として供用後10年程度を目安とし、変化の収束状況を確認して予測期間を決定しました。
予測の手法	数値シミュレーションの手法として、1-lineモデルを用いました。

2) 海底地形の変化

表-6.10.2.2.2 海底地形の変化の予測概要

項目	内容
予測項目	施設等の存在時及び供用時における一時的（季節的）変化
影響要因	埋立地の存在
予測地点・予測範囲	地形・地質に係る環境影響を受けるおそれがあると認められる地域として事業実施区域を含む周辺域としました。
予測対象時期	施設等の存在時及び供用時における台風期（4ヶ月程度）を対象としました。
予測の手法	数値シミュレーションの手法として、浮遊砂の移流・拡散を考慮したフラックスモデル（海底地形変化モデル）を用いました。

3) 底質（粒度組成）の変化

表-6. 10. 2. 2. 3 底質（粒度組成）の予測概要

項目	内容
予測項目	施設等の存在時及び供用時における一時的（季節的）変化及び埋立地完成後の長期的な変化
影響要因	埋立地の存在
予測地点・予測範囲	地形・地質に係る環境影響を受けるおそれがあると認められる地域として事業実施区域を含む周辺域としました。
予測対象時期	施設等の存在時及び供用時における台風期（4ヶ月程度）及び埋立地完成後の環境が安定した時点までを対象としました。
予測の手法	海底地形の予測結果及び底面摩擦応力（シールズ数）の変化予測により定性的に予測を行いました。

4) 埋立土砂発生区域の存在による陸域地形の変化

表-6. 10. 2. 2. 4 埋立土砂発生区域の存在による陸域地形の変化の予測概要

項目	内容
予測項目	埋立土砂発生区域の存在による陸域地形の変化 （地形及び地質の価値区分の程度）
影響要因	埋立土砂発生区域の存在
予測地点・予測範囲	地形・地質に係る環境影響を受けるおそれがあると認められる地域として事業実施区域を含む周辺域としました。
予測対象時期	変更後の地形・地質に係る環境影響を的確に把握できる時期として、当該施設の存在時としました。
予測の手法	埋立土砂発生区域及び周辺域における特異な地形・地質・自然現象の有無及びその価値区分に与える影響を定性的に予測しました。

5) 代替施設等の存在に伴う特異な構造地形への影響

表-6. 10. 2. 2. 5 代替施設等の存在に伴う特異な構造地形への影響の予測概要

項目	内容
予測項目	代替施設等の存在による特異な構造地形への影響 （断層の影響により成立した地形構造に対する影響）
影響要因	代替施設等の存在
予測地点・予測範囲	大浦湾口部の長島と中干瀬との間で、断層の影響により成立したと考えられる構造地形（北西から南東方向に伸びる落ち込み）
予測対象時期	変更後の地形に係る環境影響を的確に把握できる時期として、当該施設の存在時としました。
予測の手法	代替施設等の設置位置を踏まえ、特異な構造地形に対する影響を定性的に予測しました。

(2) 予測方法

1) 海岸線の変化

(a) 予測内容

a) 予測項目

汀線測量結果と空中写真の解析結果から、事業実施区域周辺の現在の砂浜形状は、（台風の来襲頻度等によって毎年異なる）季節変化を伴いながらも長期的にはほぼ安定していると考えられます。海岸線の変化として懸念される現象は、図-6.10.2.2.1の破線に示すような長期的な変化傾向であると考えられます。

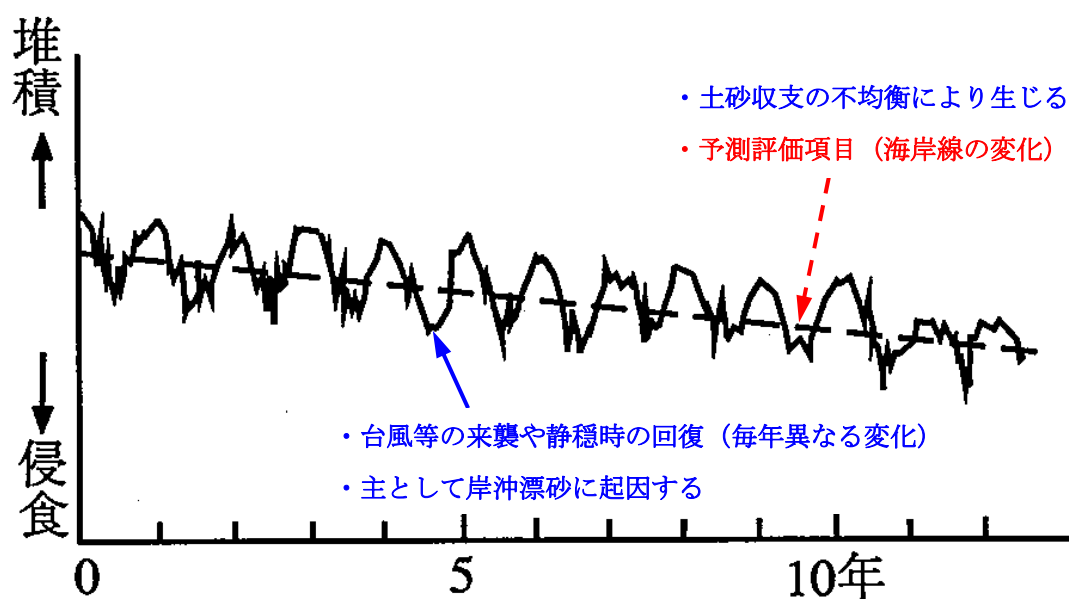


図-6.10.2.2.1 海浜地形の時間変化を示す模式図（長期的な侵食性海岸の例）※

「海岸線の変化」の予測項目は、施設等の供用時における海岸線（汀線）の平均的位置、すなわち、図-6.10.2.2.1の破線の変化とします。また、予測期間は地形が概ね安定するまでの期間とします。辺野古漁港工事前後の海岸線の変化の実態から10年程度を目安とし、変化の収束状況を確認します。

空中写真の解析結果を総合的に判断して、表-6.10.2.2.6に示す方針で現況再現計算及び予測計算を行うものとします。施設等の供用時における海岸線の変化としては、表中の①と②の計算結果の差異をもって評価します。

空中写真解析範囲：

- (1) 辺野古漁港から辺野古崎に至る海岸
- (2) 辺野古弾薬庫付近のポケットビーチ
- (3) 瀬嵩の鼻から汀間漁港側に分布する砂浜

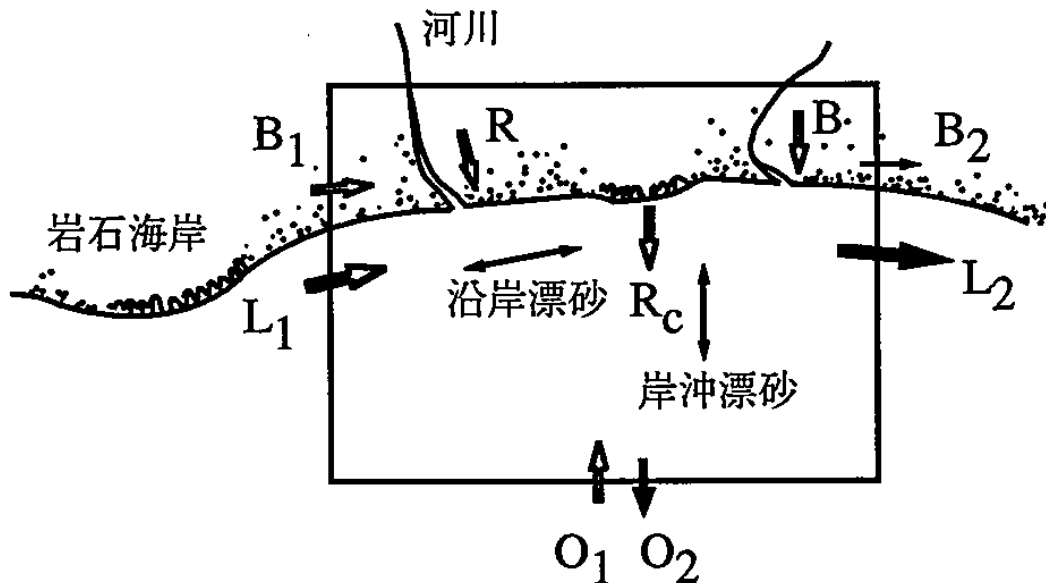
※ 土木学会：漂砂環境の創造に向けて，平成10年7月，171p.

表-6. 10. 2. 2. 6 空中写真解析結果と現況再現計算・予測計算の方針

空中写真解析範囲	(1)	(2)	(3)
砂浜の現況（過去数年）	ほぼ安定	ほぼ安定	ほぼ安定
過去における海岸構造物築造による影響	あり	なし	なし
海岸線変化の現況再現計算	実施 (1977～1984年)	—	—
現状の安定性の確認-① (埋立事業実施前の地形条件での予測計算)	実施	実施	—
施設等の存在及び供用による波浪場の変化	あり	あり（小さい）	なし
施設等の供用時の予測計算-②	実施	実施	—

b) 予測の前提

海岸線の変化に影響を与える土砂収支としては、図-6. 10. 2. 2. 2に示す要因が考えられます。事業実施区域周辺の現地調査結果を踏まえて、海岸線の変化に及ぼす影響についての考え方を表-6. 10. 2. 2. 7に示します。



L_1, L_2 : 沿岸漂砂 B_1, B_2 : 飛砂 R : 河川からの供給
 R_c : 海蝕崖からの供給 O_1, O_2 : 岸沖漂砂

図-6. 10. 2. 2. 2 海岸線の変化に影響を与える土砂収支の模式図*

* 土木学会：漂砂環境の創造に向けて，平成10年7月，171p.

表-6.10.2.2.7 海岸線の変化に影響を与える各要因について

要因	考え方
沿岸漂砂	埋立地等の存在による波浪及びそれに伴う海浜流の恒常的な変化、漂砂系の断絶による影響が考えられ、長期的な海岸線変化の主たる要因であると考えられます。
飛砂	陸域からの飛砂の影響はないものと仮定します（「海蝕崖からの供給」と同様の考え方です）。
河川からの供給	代替施設本体等の埋立地が海域に存在することによる供給量の変化はないものと考えられます。また、長期的な海岸線の変化としては、現在の海岸線の安定した状況を踏まえると、岸沖漂砂などと平衡状態が保たれていると考えられます。
海蝕崖からの供給	リーフ内のほとんどの地点において、貝殻やサンゴ片を起源とする炭酸カルシウムが9割以上を占める底質となっています。よって、代替施設本体等の埋立地が海域に存在することによる海蝕崖・波蝕崖からの供給量の変化が、海岸線の変化に与える影響は小さいものと考えられます。
岸沖漂砂	台風の来襲等による季節変化を及ぼす岸沖漂砂とは別に、長期的な変化の観点で貝殻やサンゴ片の供給も考えられます。しかし、現在の海岸線の安定した状況を踏まえると、台風等の来襲や静穏時の回復に関連する岸沖漂砂と平衡状態が保たれていると考えられます。また、貝殻やサンゴの断片化は、主として碎波の影響であると考えられますが、リーフエッジなどの碎波点付近での波浪変化は予測されないため、代替施設本体等の埋立地が海域に存在することによる影響はないものと考えられます。

c) 予測内容

以上を踏まえ、沿岸漂砂による海岸線（汀線）の長期的な変化を予測します。よって、一時的な「施設等の存在」は対象ではなく、「施設等の供用時」の条件で予測を行います。汀線変化予測の検討フローを図-6.10.2.2.3に示します。

なお、図-6.10.2.2.1の模式図に含まれる季節変化に対する検討（岸沖漂砂を含めた検討）として、広域の海底地形変化の予測・評価を別途行います。

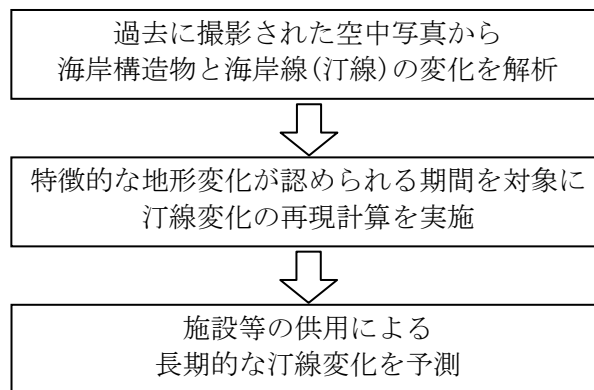


図-6.10.2.2.3 汀線変化予測の検討フロー

(b) 予測の手法

沿岸漂砂による海岸線の変化を予測する手法として広く用いられている汀線変化モデル (1-line モデル) を適用しました。境界条件としては、岸沖漂砂等によるリーフ内への土砂の流出入は絶えずあり季節変動や年変動が生じていると考えられますが、長期的な観点からは、図-6.10.1.71 で示したリーフ内の土砂量は限定されていて概ね飽和状態 (平衡状態) でほぼ安定しているものと仮定します。すなわち、沿岸漂砂以外の岸沖漂砂等 (表-6.10.2.2.7参照) による土砂の流出入は基本的に考慮しないものとします。

a) 基礎式

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + D_s \frac{\partial y}{\partial t} = 0 \quad (\text{式-6.10.2.2.1})$$

ここに、 Q は空隙を含む沿岸漂砂量、 x と y は汀線と岸沖方向の座標 (y は図-6.10.2.2.4に示すように沖側を正とします)、 D_s は海浜変形の代表的深さ (漂砂移動高さ : 図-6.10.2.2.5参照)、 t は時間です。

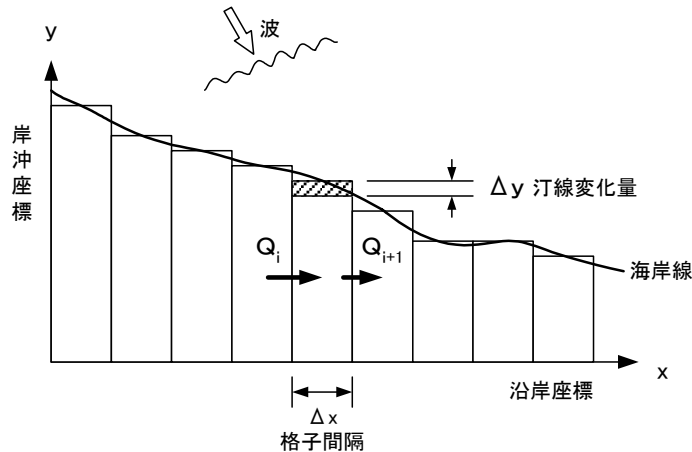


図-6.10.2.2.4 汀線変化モデルの座標系

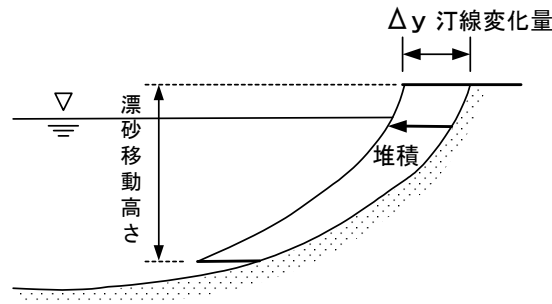


図-6.10.2.2.5 汀線変化モデルにおける海浜変形の概念図

b) 沿岸漂砂量の算定式

沿岸漂砂量は、次式に示す砕波点の波浪エネルギーフラックスの沿岸方向成分をパラメータとした沿岸漂砂量式により算定します。

$$Q = \frac{\rho g H_B^2 C_{gB}}{8(\rho_s - \rho)g(1 - \lambda)} \left(k_1 \sin \alpha_{Bs} \cos \alpha_{Bs} - \frac{k_2}{\tan \beta} \cos \alpha_{Bs} \frac{\partial H_B}{\partial x} \right) \quad (\text{式-6.10.2.2.2})$$

ここに、 H_B は砕波波高、 C_{gB} は群速度、 α_{Bs} は砕波時の波峯線が汀線となす角、 $\tan \beta$ は海底勾配、 ρ_s と ρ はそれぞれ砂と海水の密度、 g は重力加速度、 λ は砂の空隙率 (=0.4)、 k_1 及び k_2 は無次元係数です。

なお、ここで扱う漂砂は、その移動方向に対してのみ規定するもので、移動形態（掃流砂、浮遊砂及びシートフローなど）を区別するものではありません。しかしながら、対象海岸における平均的な波高や流れの大きさから判断して、通常時の汀線付近の沿岸漂砂としては、掃流砂が卓越しているものと考えられます。

c) 波浪条件

(ア) 波浪変形計算

エネルギー平衡方程式法（砕波、海底摩擦、反射を考慮したモデル）を適用し、対象海浜のスケールを考慮して10m計算格子として計算を行いました。波浪計算の方法については、「6.9 水象」の予測で述べています。

(イ) 対象波浪

エネルギー平衡方程式法により代表波浪の平面分布を算定し、汀線付近の波浪を整理しました。代表波浪については、現地波浪観測の最沖地点（K24 地点）の統計結果をもとに、以下の6ケース（2×3 ケース）を設定しました。

ア) 波高・周期：2 ケース

①波高 1m, 周期 7 秒

②波高 3m, 周期 9 秒

イ) 波向：3 ケース

①ENE（北からの方位角 79°）

②E（北からの方位角 90°）

③ESE（北からの方位角 122°）

波浪の時系列データについては、国土交通省 港湾局 全国港湾海洋波浪情報網（NOWPHAS）の中城湾地点における観測波浪を収集し、大浦湾沖の波浪に換算しました。換算方法については、現地調査における最沖地点（K24 地点）との

比較検討結果を用いています。また、波向の推定及び中城湾地点での波高の欠測補てんについては、名護（気象庁）における風向・風速観測結果を参考としました。さらに、日平均の波高・周期・波向を算定し、前述の代表波浪6ケースに対して内挿あるいは外挿して汀線付近の波浪分布を1日単位で算定しています。

d) 計算条件

1-line モデルの計算条件は、現況再現計算を行って最適なパラメータ等を決めます。

e) 計算方法

基礎式を離散化した差分方程式を解きます。タイムステップは、十分に安定して計算できる条件とします。また、海岸線の変化に応じて、海岸線に作用する波の方向（波向）を順次補正します。

(c) 現況再現計算

a) 再現目標

空中写真の解析結果をもとに、対象範囲は辺野古地区の海浜としました。初期汀線及び再現目標汀線は、1977年12月7日及び1984年10月31日に撮影された空中写真から読み取って設定しました。1977～1984年の辺野古地区全体の汀線を図-6.10.2.2.6に、汀線変化量を図-6.10.2.2.7に示します。汀線変化の着目点は、以下のとおりです。

- ・ 80～1550mの範囲は、汀線変化量が概ね10m未満であり、この期間の汀線は安定しているといえます。
- ・ 辺野古地区の西端においては、1977～1984年にかけて辺野古漁港が築造されており、1650～1790mの範囲で10m以上の汀線の前進、特に辺野古漁港近傍では55m程度の変化が認められます。

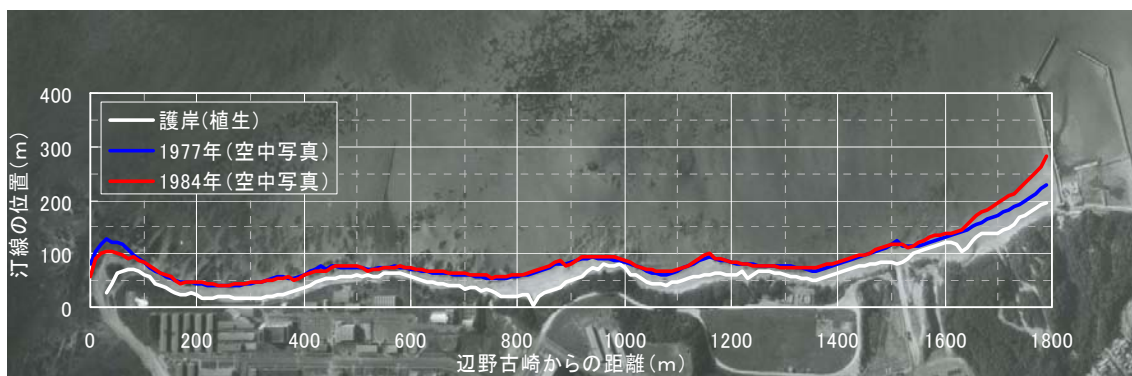


図-6.10.2.2.6 汀線の比較 (1977～1984年)

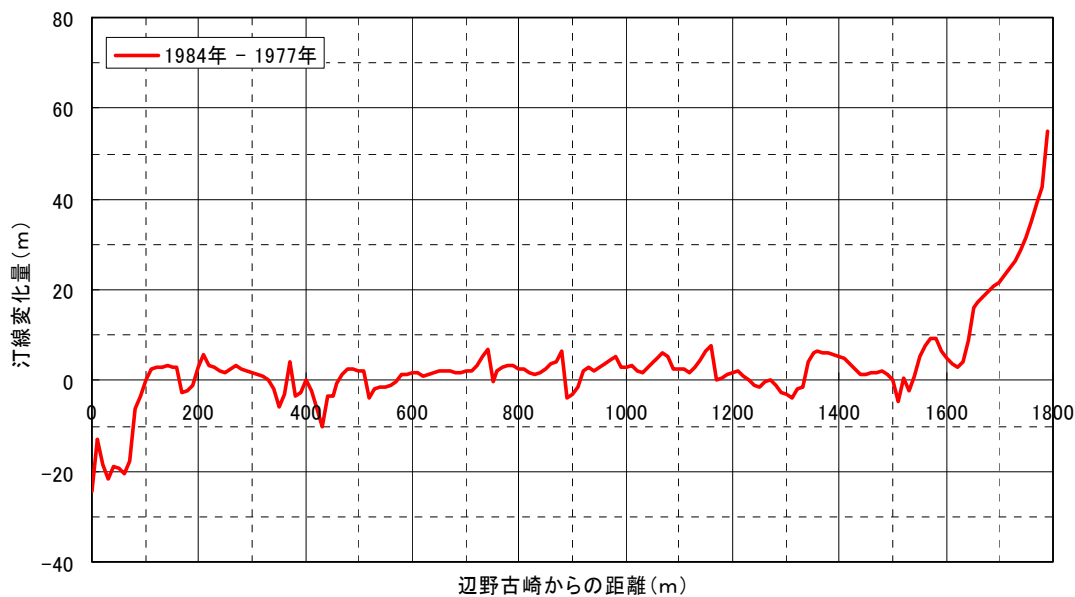


図-6.10.2.2.7 汀線変化量 (1977～1984年)

b) 計算条件

主な計算条件は表-6.10.2.2.8に示すとおりです。漂砂量算定式中の係数は、 $K_1=0.005\sim0.050$ を0.005刻み、 $K_2=0.5\sim5.0$ を0.5刻みで試算を行って最適な値を得たものです。

表-6.10.2.2.8 汀線変化の現況再現計算条件

項目	計算条件	備考
再現初期汀線	1977年12月7日の汀線	空中写真より
再現目標汀線	1984年10月31日の汀線	空中写真より
現況再現期間	1977年12月7日～1984年10月30日	2520日間(約6.9年間)
砂の移動高さ	1.0m	横断測量結果より
計算格子間隔	10m	
計算時間間隔	30分	
漂砂量算定式中の係数	$k_1=0.035$	再現計算結果より
	$k_2=4.000$	

c) 再現計算結果

汀線変化の再現計算結果を図-6.10.2.2.8及び図-6.10.2.2.9に示します。

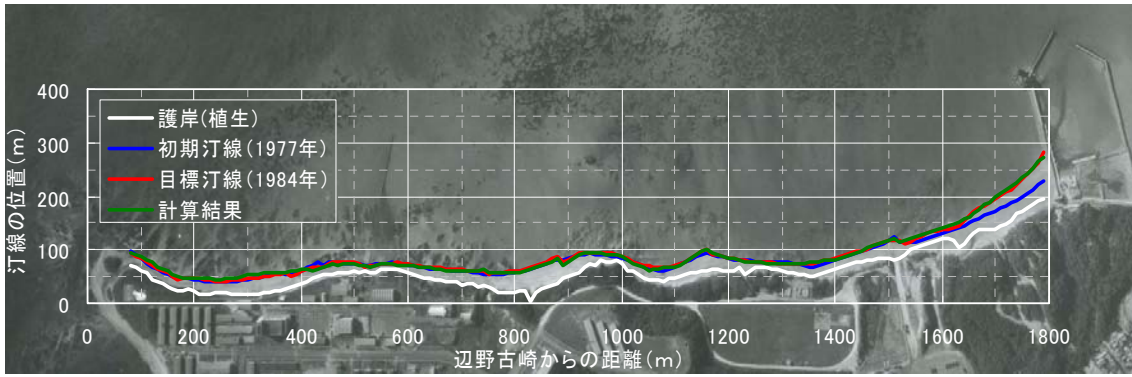


図-6.10.2.2.8 汀線変化計算結果

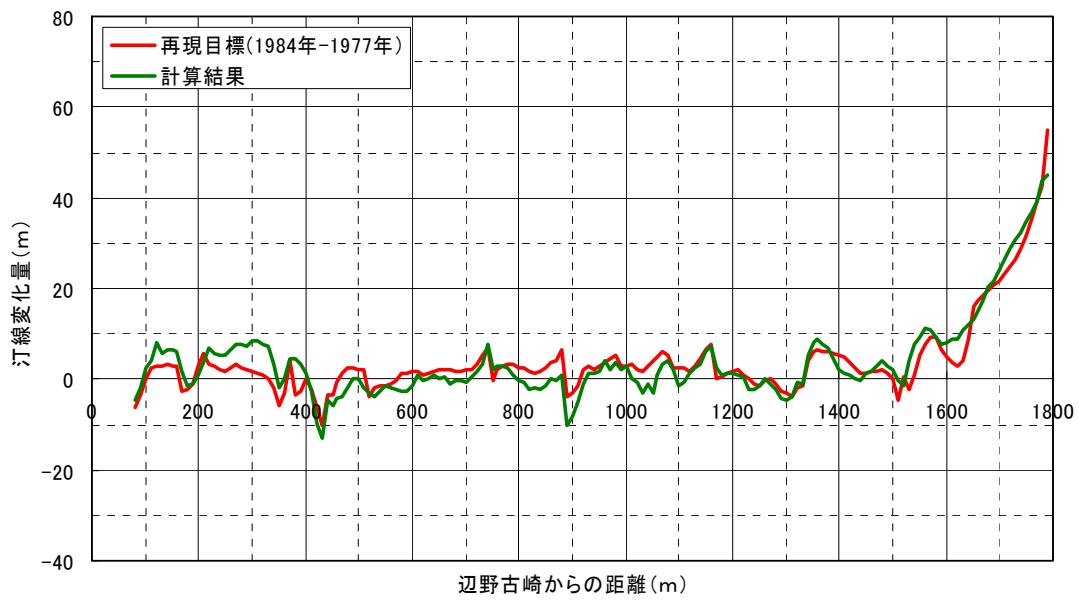


図-6.10.2.2.9 汀線変化量

d) 再現計算結果の評価

辺野古崎からの距離 1550mまでの汀線変化量は概ね 10m未満であり、再現目標の安定した汀線状態を表現できています。また、辺野古漁港近傍 1650～1790 mの計算結果は汀線の前進傾向が顕著であり、再現目標ともよく一致しています。さらに、再現目標との差異は最大でも 10m程度であり、全体的な再現性は良好です。

沿岸漂砂量算定式(式-6.10.2.2.2)の第1項及び第2項に係るパラメータ k_1 及び k_2 の最適値は、表-6.10.2.2.8の最下段に示したとおりに、 k_1 に対して k_2 が概ね 100 倍となっています。(式-6.10.2.2.2)の第2項は、砕波波高分布の形の流れによる沿岸漂砂を考慮したものです。現地海岸は大小の露岩が散在しており、それが障害物となって規模の小さい沿岸流が発生しているものと考えられます。

一方、リーフ内の水深はほぼ一様で砕波波高分布の差は大きくありません。その結果、 k_1 に対して比率の大きい k_2 が最適になったものと評価されます。したがって、一連の海岸であっても露岩の分布状況によって最適なパラメータは異なるものと考えられます。過去の海岸構造物築造による影響を検証できない「辺野古弾薬庫付近のポケットビーチ」の予測に際しては、埋立事業実施前(埋立事業を行わない場合)の地形条件による予測計算を行って、現況海浜の安定性を表現できる最適なパラメータを別途設定することが適当であると考えられます。

(d) 予測評価方法

a) 予測期間

表-6.10.2.2.1に示したとおり、予測期間は地形が概ね安定するまでの期間とします。辺野古漁港工事前後の海岸線の変化の実態から 10 年程度を目安とし、変化の収束状況を確認します。

b) 評価方法

「埋立事業実施前(埋立事業を行わない場合)」の現況地形条件での計算結果と「埋立事業実施後」の地形条件での計算結果の差異をもって海岸線変化の評価とします。

2) 海底地形の変化

(a) 予測内容

a) 予測項目

海浜地形の長期的変化の模式図を図-6.10.2.2.10に示します。前述したとおり、事業実施区域周辺の現在の砂浜形状は、（台風の来襲頻度等によって毎年異なる）季節変化を伴いながらも長期的にはほぼ安定していると考えられます。

一方、短期的な変化として、事業実施区域を含む周辺域においても、現地調査結果（季節ごとの濁度計による観測結果など）から、台風期において比較的顕著な海底地形変化が発生していると考えられます。

以上を踏まえ、「海底地形の変化」の予測項目は、施設等の存在時及び供用時における一時的（季節的）な変化とし、台風期1回4ヶ月程度（7月～10月）の短期的な地形変化を予測対象とします。

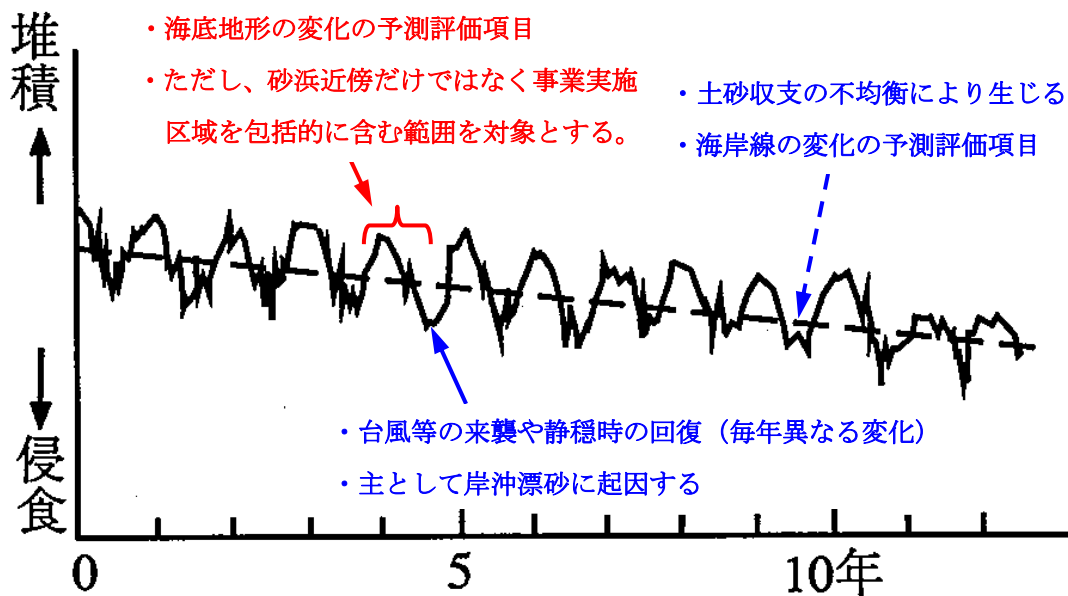


図-6.10.2.2.10 海浜地形の時間変化を示す模式図（長期的な侵食性海岸の例）※

※ 土木学会：漂砂環境の創造に向けて，平成10年7月，171p.

(b) 予測モデルの選定

地盤高の現地調査結果（深淺測量結果）によれば、台風期の前後において、変化量としては小さいものの大浦湾全体にわたる広域の侵食堆積傾向が認められます。その広域の地形変化は、漂砂量の現地調査結果（捕砂器及び濁度計による観測結果）から浮遊砂の移動が主体となっているものと考えられます。よって、予測モデル（海底地形変化モデル）として、浮遊砂の移流・拡散を考慮するフラックスモデルを適用します。

予測モデルは全体で図-6.10.2.2.11に示すように構成されます。サブモデルである波浪モデル及び流動モデルについては、「6.9 水象」の予測で述べています。

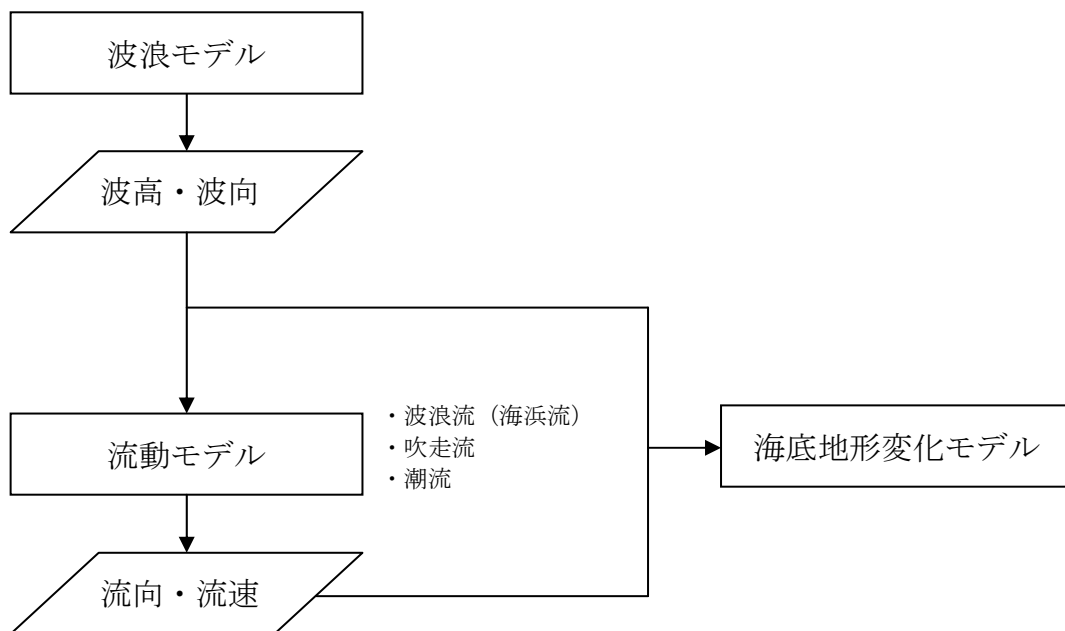


図-6.10.2.2.11 予測モデルの構成

(c) 計算領域及び計算格子間隔

「6.9 水象」と同じ範囲で予測計算を行います。計算領域は図-6.10.2.2.12に示す範囲であり、計算格子間隔は大浦湾周辺を50mとして検討を行います。

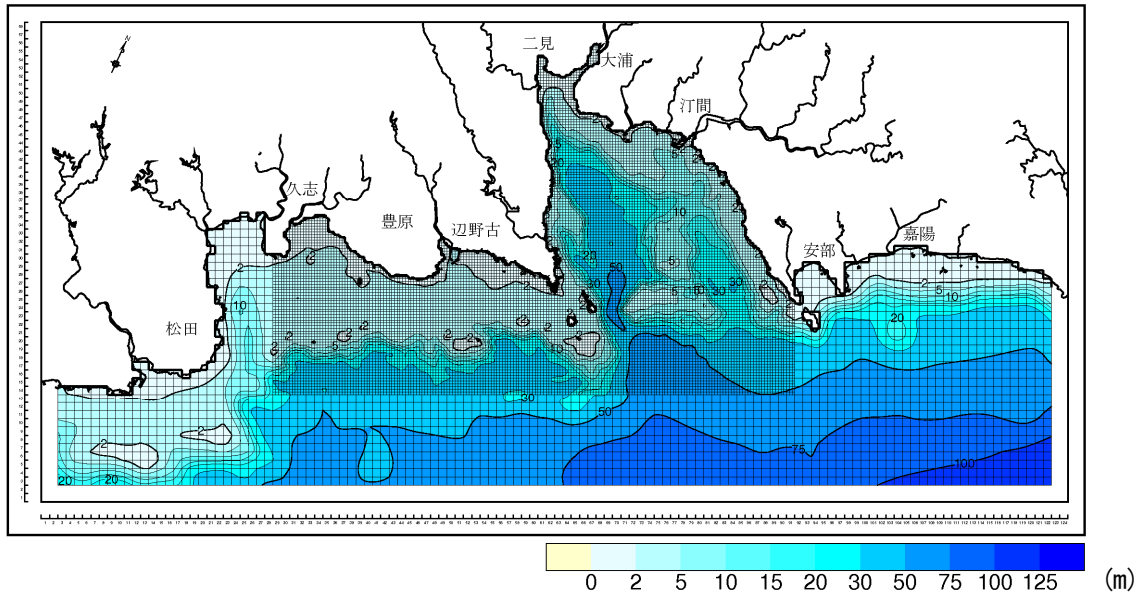


図-6.10.2.2.12(1) 海底地形変化計算の計算範囲（150m及び50m格子）と水深分布

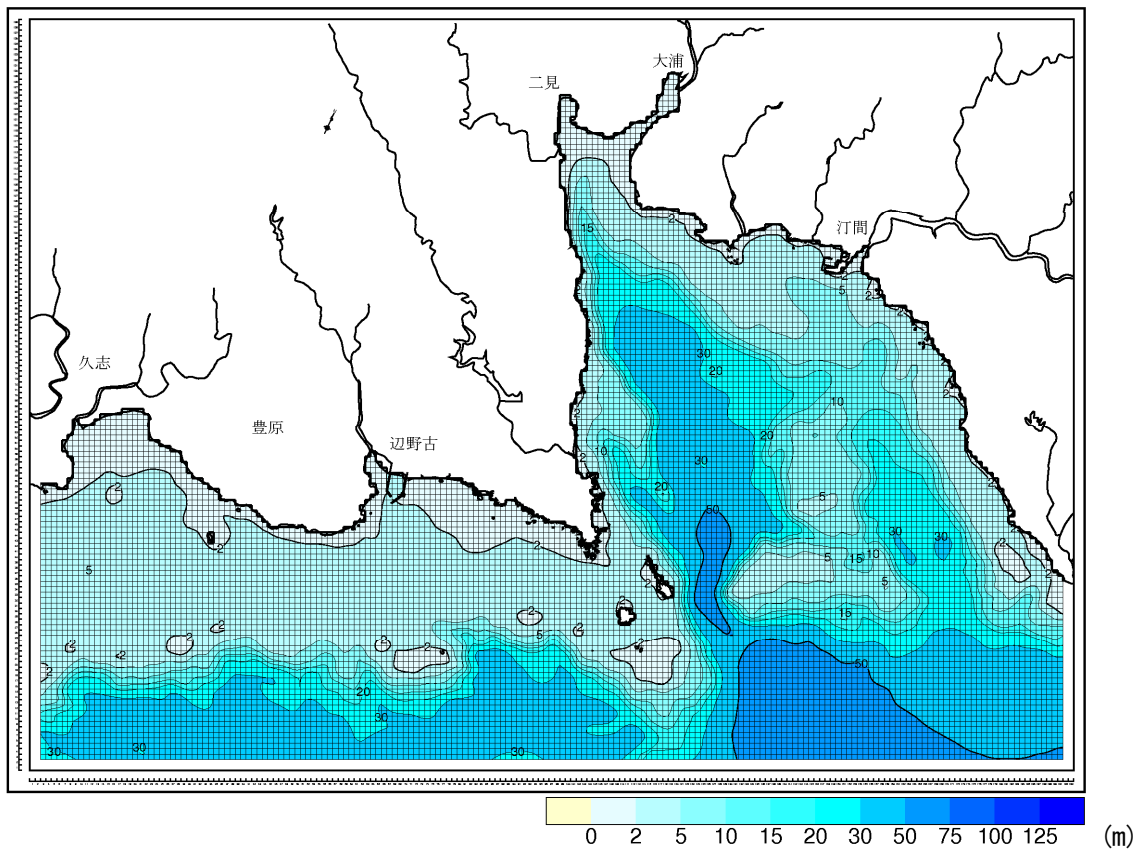
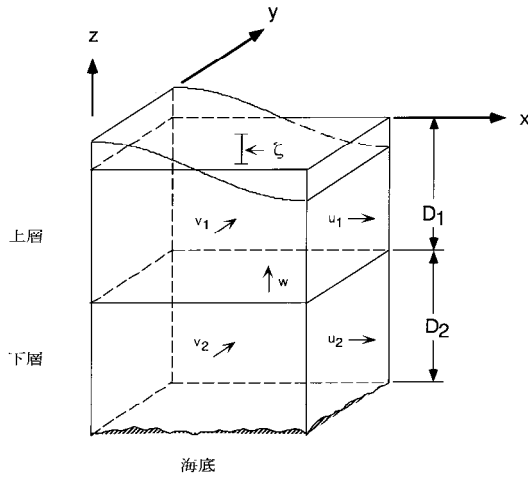


図-6.10.2.2.12(2) 海底地形変化計算の計算範囲（50m格子）と水深分布

(d) 予測の手法

地形変化モデルは、漂砂の連続式と漂砂量公式から構成され、座標系は、「6.9 水象」の予測における流動モデルと同様に図-6.10.2.2.13及び表-6.10.2.2.9に示すように設定します。

表-6.10.2.2.9 鉛直層分割



層番号	鉛直層分割
1	海面～2.0m
2	2.0m～4.0m
3	4.0m～6.0m
4	6.0m～10.0m
5	10.0m～20.0m
6	20.0m～海底

図-6.10.2.2.13 計算座標系

a) 漂砂の連続式（基礎方程式）

漂砂の連続式は、物質の沈降過程を含む移流拡散方程式を用います。

$$\begin{aligned} & \frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uc) + \frac{\partial}{\partial y}(vc) + \frac{\partial}{\partial z}(wc) \\ & = \frac{\partial}{\partial x}\left(K_x \frac{\partial c}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(K_y \frac{\partial c}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(K_z \frac{\partial c}{\partial z}\right) - w_0 \frac{\partial c}{\partial z} \end{aligned} \quad (\text{式-6.10.2.2.3})$$

ここに、 c は物質濃度、 u, v, w は x, y, z 方向の流速、 K_x, K_y, K_z は x, y, z 方向の拡散係数、 w_0 は物質の沈降速度です。

b) 漂砂量公式（底質の巻き上げ量と沈降量）

海底面における底質（泥・砂）の巻き上げ量 E_m は(式-6.10.2.2.4)を用いて、沈降量 D_m は(式-6.10.2.2.5)を用いて算定します。

$$\left. \begin{aligned} E_m &= M \left(\frac{\tau_b}{\tau_e} - 1 \right) && (\tau_b \geq \tau_e) \text{ の場合} \\ E_m &= 0 && (\tau_b \leq \tau_e) \text{ の場合} \end{aligned} \right\} \quad (\text{式-6.10.2.2.4})$$

$$D_m = C_b w_s \quad (\text{式-6.10.2.2.5})$$

ここに、 τ_b は底面せん断応力、 τ_e は巻き上げに関する限界せん断応力、 M は巻き上げ係数、 C_b は底面での物質濃度、 w_s は沈降速度です。また、 $\tau_b = \rho u_*^2$ であり、 ρ ：流体の密度、 u_* は底面摩擦速度です。さらに、底面摩擦速度については、波と流れ共存場の摩擦係数*を用いて評価します。

c) 底質条件

捕砂器による浮遊砂の現地観測結果をもとに、砂分とシルト・粘土分（粗粒子と細粒子）の代表粒径をそれぞれ1ケース（計2ケース）設定します。3回の捕砂器による観測結果の平均値として、砂分の代表粒径は0.135mm、シルト・粘土分の代表粒径は0.017mmとしました。

d) 計算条件

後述する現況再現計算において相当数の試算を行って得られた最適な計算パラメータを用いて予測を行います。最適パラメータは以下のとおりです。

(ア) 巻き上げに関する限界せん断応力（式-6.10.2.2.4の τ_e ）

砂分：0.25Pa（シールズ数0.11に相当）

（0.20～0.46Paまでの試算を行った結果の最適条件）

シルト・粘土分：0.05Pa

（0.04～0.10Paまでの試算を行った結果の最適条件）

(イ) 底質の巻き上げパラメータ（式-6.10.2.2.4の M ）

0.03 kg/m²/min（砂分及びシルト・粘土分ともに同一）

（0.01～0.04 kg/m²/minまでの試算を行った結果の最適条件）

* 田中仁・Aung THU：全ての flow regime に適用可能な波・流れ共存場抵抗則，土木学会論文集，No. 467/II-23，平成5年（1993），pp. 93-102.

(e) 外力条件

a) 収集資料の整理

台風などのイベントによる一定レベル以上の高波浪を外力条件として将来予測を行います。ここでは、波浪の常時観測が行われている中城湾（所管：国土交通省港湾局）での長期統計結果及び大浦湾沖（K-24 地点：水深 36.8m）での現地観測波浪との比較結果をもとに、対象とする高波浪条件を整理します。

(ア) 中城湾での観測波浪

中城湾での観測波浪の統計結果を表-6.10.2.2.10及び表-6.10.2.2.11に示します。

表-6.10.2.2.10 中城湾での波高と周期の出現頻度

—統計期間：2003年4月～2008年3月（最近5年間）—

統計期間 2003年4月1日～2008年3月31日

対象地点 NAKAGUSUKUWAN

規定回数	21924 回
測得回数	21750 回
欠測回数	174回 (0.8%)

全期間													
波高(m) \ 周期(s)	0.0 ~ 3.0	3.0 ~ 4.0	4.0 ~ 5.0	5.0 ~ 6.0	6.0 ~ 7.0	7.0 ~ 8.0	8.0 ~ 9.0	9.0 ~ 10.0	10.0 ~ 12.0	12.0 ~ 14.0	14.0 s以上	計	累計
0.00- 0.50		2 0.0	42 0.2	151 0.7	254 1.2	240 1.1	121 0.6	57 0.3	11 0.1			878 4.0	878 4.0
0.50- 1.00		6 0.0	248 1.1	1861 8.6	2995 13.8	2552 11.7	1210 5.6	400 1.8	96 0.4	29 0.1	3 0.0	9400 43.2	10278 47.3
1.00- 1.50			54 0.2	934 4.3	2054 9.4	1641 7.5	1072 4.9	524 2.4	153 0.7	27 0.1	5 0.0	6464 29.7	16742 77.0
1.50- 2.00				113 0.5	778 3.6	773 3.6	540 2.5	251 1.2	188 0.9	23 0.1	19 0.1	2685 12.3	19427 89.3
2.00- 2.50				2 0.0	123 0.6	339 1.6	277 1.3	195 0.9	202 0.9	21 0.1	10 0.0	1169 5.4	20596 94.7
2.50- 3.00					8 0.0	94 0.4	142 0.7	102 0.5	129 0.6	21 0.1	2 0.0	498 2.3	21094 97.0
3.00- 4.00						30 0.1	133 0.6	115 0.5	84 0.4	34 0.2	1 0.0	397 1.8	21491 98.8
4.00- 5.00						1 0.0	33 0.2	54 0.2	52 0.2	15 0.1		155 0.7	21646 99.5
5.00- 6.00							2 0.0	12 0.1	27 0.1	8 0.0	1 0.0	50 0.2	21696 99.8
6.00- 7.00								1 0.0	8 0.0	21 0.1		30 0.1	21726 99.9
7.00m以上									10 0.0	10 0.0	4 0.0	24 0.1	21750 100.0
計	0 0.0	8 0.0	344 1.6	3061 14.1	6212 28.6	5670 26.1	3530 16.2	1711 7.9	960 4.4	209 1.0	45 0.2	21750 100.0	
累計	0 0.0	8 0.0	352 1.6	3413 15.7	9625 44.3	15295 70.3	18825 86.6	20536 94.4	21496 98.8	21705 99.8	21750 100.0		

上段は出現回数
下段は出現率(%)

表-6. 10. 2. 2. 11 中城湾での年最大有義波

—統計期間：1974～2007年（34年間）—

(1) 年最大波浪（年代順）

No.	年	起日	波高	周期	気象要因
1	1974	07/04	6.99	11.5	T7408
2	1975	09/21	4.89	10.6	T7512
3	1976	08/20	4.54	10.2	T7615
4	1977	07/29	4.43	8.2	T7705
5	1978	07/28	7.07	11.7	T7808
6	1979	08/22	8.46	14.9	T7911
7	1980	10/12	6.94	10.9	T8019
8	1981	08/30	7.34	12.2	T8118
9	1982	08/25	5.89	12.6	T8213
10	1983	09/25	7.53	13.2	T8410
11	1984	08/18	7.16	11.5	T8310
12	1985	08/22	6.57	10.3	T8511
13	1986	08/26	8.39	12.5	T8613 及び T8614
14	1987	08/29	6.17	10.4	T8712
15	1988	10/07	5.49	10.4	T8824
16	1989	07/18	4.19	9.1	T8909
17	1990	08/29	7.89	10.9	T9015 及び T9016
18	1991	09/13	8.74	9.8	T9117
19	1992	08/30	6.49	10.1	T9216
20	1993	09/02	6.76	11.9	T9313
21	1994	11/06	6.70	15.2	T9434
22	1995	07/21	5.32	9.2	T9503
23	1996	07/30	7.39	11.5	T9609
24	1997	08/17	10.63	10.3	T9713
25	1998	10/17	4.63	10.0	T9810
26	1999	09/23	8.87	9.0	T9918
27	2000	09/12	6.56	10.6	T0014
28	2001	09/08	6.84	6.9	T0115 及び T0116
29	2002	07/14	9.04	12.6	T0207
30	2003	08/07	9.60	15.5	T0310
31	2004	10/19	11.93	13.6	T0423
32	2005	09/04	7.02	13.8	T0514
33	2006	07/09	5.64	9.7	T0603
34	2007	07/13	13.61	14.9	T0704

(2) 年最大波浪（波高順）

No.	年	起日	波高	周期	気象要因
1	2007	07/13	13.61	14.9	T0704
2	2004	10/19	11.93	13.6	T0423
3	1997	08/17	10.63	10.3	T9713
4	2003	08/07	9.60	15.5	T0310
5	2002	07/14	9.04	12.6	T0207
6	1999	09/23	8.87	9.0	T9918
7	1991	09/13	8.74	9.8	T9117
8	1979	08/22	8.46	14.9	T7911
9	1986	08/26	8.39	12.5	T8613 及び T8614
10	1990	08/29	7.89	10.9	T9015 及び T9016
11	1983	09/25	7.53	13.2	T8410
12	1996	07/30	7.39	11.5	T9609
13	1981	08/30	7.34	12.2	T8118
14	1984	08/18	7.16	11.5	T8310
15	1978	07/28	7.07	11.7	T7808
16	2005	09/04	7.02	13.8	T0514
17	1974	07/04	6.99	11.5	T7408
18	1980	10/12	6.94	10.9	T8019
19	2001	09/08	6.84	6.9	T0115 及び T0116
20	1993	09/02	6.76	11.9	T9313
21	1994	11/06	6.70	15.2	T9434
22	1985	08/22	6.57	10.3	T8511
23	2000	09/12	6.56	10.6	T0014
24	1992	08/30	6.49	10.1	T9216
25	1987	08/29	6.17	10.4	T8712
26	1982	08/25	5.89	12.6	T8213
27	2006	07/09	5.64	9.7	T0603
28	1988	10/07	5.49	10.4	T8824
29	1995	07/21	5.32	9.2	T9503
30	1975	09/21	4.89	10.6	T7512
31	1998	10/17	4.63	10.0	T9810
32	1976	08/20	4.54	10.2	T7615
33	1977	07/29	4.43	8.2	T7705
34	1989	07/18	4.19	9.1	T8909

注) 2005年までは2時間毎の観測，2006年以降は20分毎の連続観測

(イ) 現地観測波浪

現地大浦湾沖（K-24 地点）での観測波浪の統計結果を表-6. 10. 2. 2. 12、表-6. 10. 2. 2. 13及び図-6. 10. 2. 2. 14に示します。

表-6.10.2.2.12 大浦湾沖 (K-24 地点) での波高と周期の出現頻度

統計期間	2007年6月9日～2009年1月7日															規定回数	13896	回
対象地点	K24															測得回数	13207	回
																欠測回数	689	回 (5.0%)
全期間																		
波高(m)\周期(s)	0.0～3.0	3.0～4.0	4.0～5.0	5.0～6.0	6.0～7.0	7.0～8.0	8.0～9.0	9.0～10.0	10.0～11.0	11.0～13.0	13.0～15.0	15.0以上	計	累計				
0.00～0.50		20	124	278	486	450	290	115	26	4			1793	1793				
	0.2	0.9		2.1	3.7	3.4	2.2	0.9	0.2	0.0			13.6	13.6				
0.50～1.00		4	287	1485	2000	1566	750	212	31	46			6381	8174				
	0.0	0.0	2.2	11.2	15.1	11.9	5.7	1.6	0.2	0.3			48.3	61.9				
1.00～1.50			46	473	756	937	581	145	18	36	3		2995	11169				
			0.3	3.6	5.7	7.1	4.4	1.1	0.1	0.3	0.0		22.7	84.6				
1.50～2.00				49	248	371	247	115	30	13	1		1074	12243				
				0.4	1.9	2.8	1.9	0.9	0.2	0.1	0.0		8.1	92.7				
2.00～2.50				2	30	189	138	69	37	4	6		475	12718				
				0.0	0.2	1.4	1.0	0.5	0.3	0.0	0.0		3.6	96.3				
2.50～3.00				1	2	77	108	51	26	17	2		284	13002				
				0.0	0.0	0.6	0.8	0.4	0.2	0.1	0.0		2.2	98.4				
3.00～3.50					1	11	32	25	22	19	4		114	13116				
					0.0	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.0		0.9	99.3				
3.50～4.00						2	2	6	11	14	3	1	39	13155				
						0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.3	99.6				
4.00～5.00							2	5	8	10			25	13180				
							0.0	0.0	0.1	0.1			0.2	99.8				
5.00～6.00								4	11	6	1		22	13202				
								0.0	0.1	0.0	0.0		0.2	100.0				
6.00～7.00										5			5	13207				
										0.0			0.0	100.0				
7.00m以上													0	13207				
													0.0	100.0				
計	0	24	457	2288	3523	3603	2150	747	220	174	20	1	13207					
	0.0	0.2	3.5	17.3	26.7	27.3	16.3	5.7	1.7	1.3	0.2	0.0	100.0					
累計	0	24	481	2769	6292	9895	12045	12792	13012	13186	13206	13207						
	0.0	0.2	3.6	21.0	47.6	74.9	91.2	96.9	98.5	99.8	100.0	100.0						

上段は出現回数
下段は出現率(%)

表-6.10.2.2.13 大浦湾沖 (K-24 地点) での波向別波高出現頻度

統計期間	2007年6月9日～2009年1月7日															規定回数	13896	回	
対象地点	K24															測得回数	13034	回	
																欠測回数	862	回 (6.2%)	
全期間																			
波高(m)\波向	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	CALM	計	累計
0.00～0.50		1	341	899	437	67	3											1748	1748
		0.0	2.6	6.9	3.4	0.5	0.0											13.4	13.4
0.50～1.00		4	1145	2797	1738	559	21	1										6265	8013
		0.0	8.8	21.5	13.3	4.3	0.2	0.0										48.1	61.5
1.00～1.50		3	796	1309	452	350	74											2984	10997
		0.0	6.1	10.0	3.5	2.7	0.6											22.9	84.4
1.50～2.00			280	404	206	166	17											1073	12070
			2.1	3.1	1.6	1.3	0.1											8.2	92.6
2.00～2.50			114	128	123	96	14											475	12545
			0.9	1.0	0.9	0.7	0.1											3.6	96.2
2.50～3.00			33	91	89	65	6											284	12829
			0.3	0.7	0.7	0.5	0.0											2.2	98.4
3.00～3.50			5	16	33	47	13											114	12943
			0.0	0.1	0.3	0.4	0.1											0.9	99.3
3.50～4.00			1	5	3	24	6											39	12982
			0.0	0.0	0.0	0.2	0.0											0.3	99.6
4.00～5.00			6	10	7	2												25	13007
			0.0	0.1	0.1	0.0												0.2	99.8
5.00～6.00			1	20	1													22	13029
			0.0	0.2	0.0													0.2	100.0
6.00～7.00																		5	13034
																		0.0	100.0
7.00m以上																		0	13034
																		0.0	100.0
計	0	8	2715	5656	3116	1382	156	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13034	
	0.0	0.1	20.8	43.4	23.9	10.6	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	

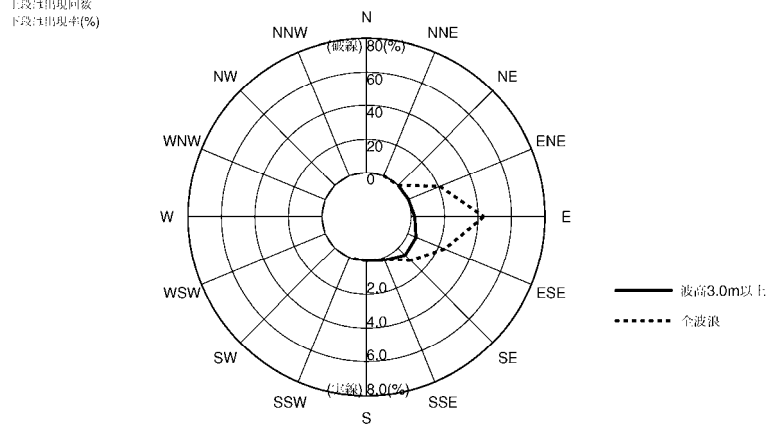
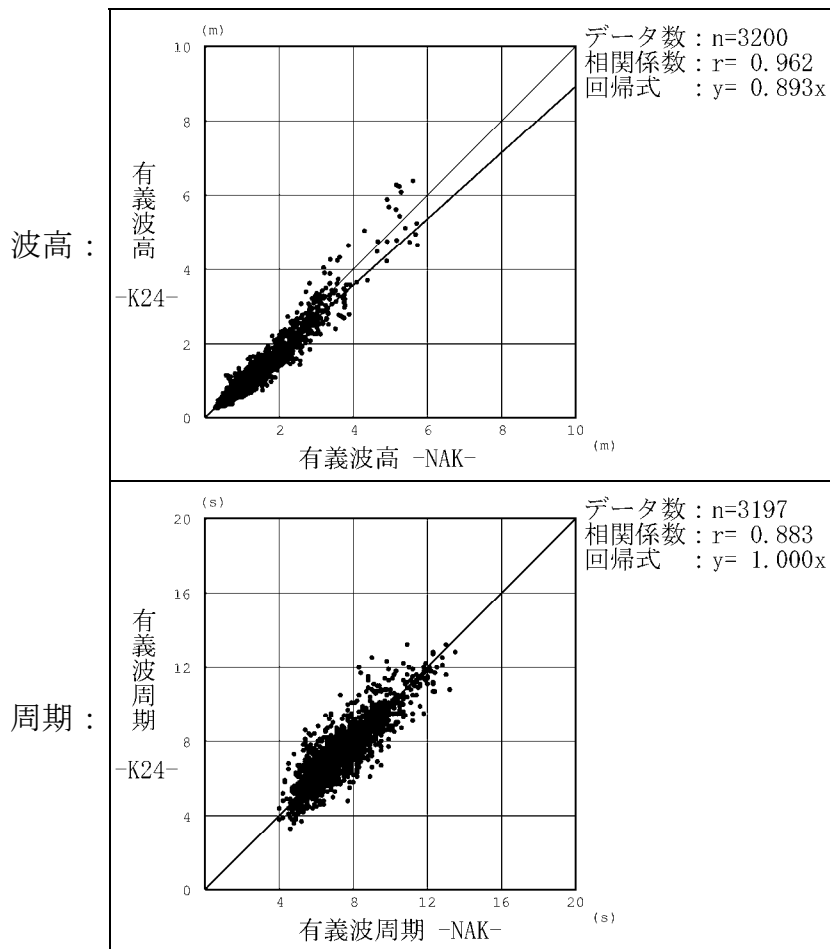


図-6.10.2.2.14 大浦湾沖 (K-24 地点) での波向別波高出現頻度

(ウ) 比較検討

中城湾地点と K24 地点の観測波浪の比較結果を以下に示します。



対象期間 : 2007 年 6 月 9 日 ~ 2008 年 3 月 22 日

図-6.10.2.2.15 中城湾地点 (NAK) と K24 地点の観測波浪の相関図

b) 外力条件の設定

(ア) 高波浪

四季を通じて毎月発生しうるレベルの高波浪とし、最近5年間の月別統計結果(表-6.10.2.2.10参照、月別の表は省略)より、波高2.5~3.0m(中城湾)と推定します。

大浦湾沖 K24 地点の波高は、図-6.10.2.2.15の相関図より $(2.5 \sim 3.0) \times 0.893 \approx 2.5\text{m}$ と推定できます。また、波の周期は表-6.10.2.2.12より 8.0 秒、波向は表-6.10.2.2.13より E と E S E の中間と推定できます。

さらに、K24 地点の平均水深 38m ($\approx 36.8\text{m} + \text{平均潮位 } 1.2\text{m}$) での周期 8.0 秒の波の浅水係数^{*}は 0.9718 と算定できるので、沖波波高は 2.6m (\approx

^{*} 例えば、(社)日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準，平成19年7月，155p.

2.5/0.9718) となります。

(イ) 年最大波浪

毎年少なくとも1回発生する程度の高波浪とし、表-6.10.2.2.11に示した34年間(1974~2007年)の年最大波の最低レベルの波浪をもとに、波高4.2~4.6m(中城湾)と推定します。この程度の極大波の場合、観測時間のずれ等を考慮すると、中城湾とK24地点での波高は同レベルです(図-6.10.2.2.15参照)。

よって、大浦湾沖K24地点の波高を4.4m(≒4.2~4.6m)と推定します。また、波の周期は表-6.10.2.2.12より10.0秒、波向は表-6.10.2.2.13より波高ランク4.0~5.0mの最多出現波向としてESEを設定します。

さらに、K24地点の平均水深38mでの周期10.0秒の波の浅水係数^{*}は0.9303と算定できるので、沖波波高は4.7m(≒4.4/0.9303)となります。

なお、中城湾地点で有義波高4.4mを超える気象じょう乱は、34年間(1974~2007年)で計94回発生しており、年間平均で2.8回です。

(ウ) 異常波浪

数年に1回程度発生するレベルの高波浪とし、表-6.10.2.2.11に示した34年間(1974~2007年)の年最大波のエネルギー平均波として設定します。この場合、「年最大波浪」と同様に、中城湾とK24地点での波高は同レベルとします。また、図-6.10.2.2.15より波の周期も同等と推定できます。

34年間の年最大波のエネルギー平均波の波高は7.7m、周期は11.5秒となります。波向は、高波浪時ほど南寄りになる傾向(表-6.10.2.2.13参照)を考慮して、ESEとSEの間を設定します。

さらに、K24地点の平均水深38mでの周期11.5秒の波の浅水係数^{*}は0.9152と算定できるので、沖波波高は8.4m(≒7.7/0.9152)となります。

以上より、海底地形変化予測の外力条件として、大浦湾沖の波浪緒元を表-6.10.2.2.14に示すように設定します。なお、ここで整理したレベル1~3までの高波浪に対する施設等の存在及び供用時の波浪の変化については、「6.9水象」において変化の予測結果を示しています。

^{*} 例えば、(社)日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準，平成19年7月，155p.

表-6.10.2.2.14 海底地形変化予測の外力条件（波浪条件）

外力レベル	沖波波高 (m)	周期 (秒)	波向
レベル1 (高波浪)	2.6	8.0	EとESEの中間
レベル2 (年最大波浪)	4.7	10.0	ESE
レベル3 (異常波浪)	8.4	11.5	ESEとSEの中間

(エ) 予測手順

表-6.10.2.2.14に示した3段階の外力による海底地形変化計算を予測期間内に期待される発生回数分それぞれ行い、全ての計算結果の積算値を予測期間内の地形変化量として評価します。各外力レベルの発生回数は、以下のとおりとします。

- ・「外力レベル1：高波浪」－ 4回（毎月1回×4）
- ・「外力レベル2：年最大波浪」－ 3回
- ・「外力レベル3：異常波浪」－ 1回

なお、外力レベル2の発生回数は、前述したとおり中城湾で波高4.4m以上の平均出現回数が2.8回であることを参考としています。また、予測期間内の発生順番は、中城湾の観測波浪などを参考として図-6.10.2.2.16に示すとおりに設定します。

(オ) 経時変化

表-6.10.2.2.14に示した波高をピークとした波浪の経時変化を考慮します。経時変化のパターンは、後述の現況再現計算の条件を参考とします。また、吹送流の条件となる風の経時変化も同様に現況再現計算の条件を参考とします。

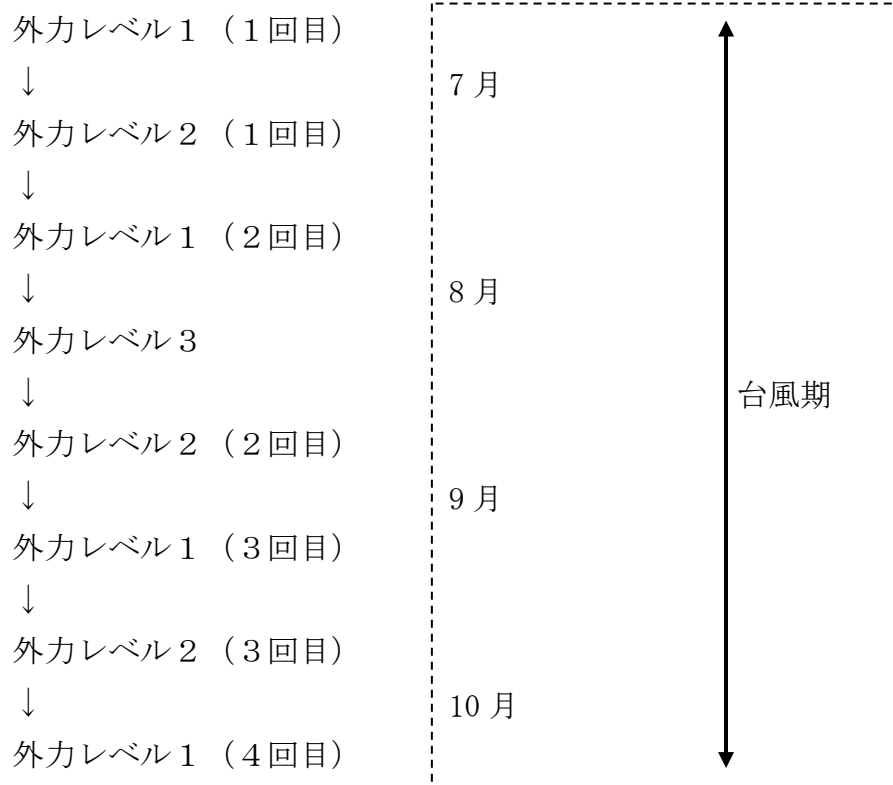


図-6.10.2.2.16 予測期間内の各外カレベルの発生順序

(f) 現況再現計算

a) 再現期間

平成 19 年（2007）及び平成 20 年（2008）に発生した気象じょう乱を表-6.10.2.2.15に示します。表中には、再現目標となる現地での深淺測量の実施期間も示しています（参考として底質分布調査期間も示しています）。また、大浦湾沖 K24 地点の波浪の経時変化を図-6.10.2.2.17に示します。

平成 19 年の台風前後の深淺測量の間には、予測条件となる波浪外力（高波浪・年最大波浪・異常波浪、表-6.10.2.2.14参照）が全て発生しています。よって、平成 19 年の台風期前後の地形変化を対象として現況再現計算を実施ことが適切であると考えられます。

b) 検証方法

表-6.10.2.2.15(1)に網掛けした 6 ケース (①～⑥) について、表-6.10.2.2.16 に示した期間の地形変化量をそれぞれ計算します。6 ケースの地形変化量の合計と深淺測量結果から得られる地形変化量（再現目標）とを比較します。

c) 再現目標

定量的な地形変化量の分布として、平成 19 年台風前後の深淺測量結果を解析した結果を図-6.10.2.2.18に示します。

表-6.10.2.2.15(1) 平成 19 年 (2007) に発生した気象じょう乱
(中城湾または K24 地点の有義波高 2.5m 以上)

気象擾乱期間	気象要因	極大波浪 (中城湾) 注1)		極大波浪 (K24 地点) 注1)		備考 注2)
		有義波高 (m)	有義波周期 (秒)	有義波高 (m)	有義波周期 (秒)	
01/01-01/03	冬型気圧配置	2.63	7.6	観測なし	観測なし	
02/26-03/05	南岸低気圧	2.89	8.2	観測なし	観測なし	(高波浪)
04/18-04/18	南岸低気圧	2.98	7.5	観測なし	観測なし	(高波浪)
(06/25-07/07) 深淺測量						
(07/10) 底質分布調査						
07/11-07/16	台風 0704 号①	13.61	14.9	観測なし	観測なし	(異常波浪)
08/06-08/12	太平洋高気圧縁辺②	3.77	8.3	3.88	9.1	高波浪
08/15-08/19	台風 0708 号	2.62	9.0	2.28	10.1	
08/24-08/26	熱帯低気圧③	3.39	8.9	2.97	8.9	高波浪
09/05-09/06	台風 0709 号	2.57	13.2	1.72	11.7	
09/10-09/11	熱帯低気圧④	2.83	7.4	2.52	7.2	高波浪
09/14-09/24	台風 0711 号⑤	6.38	9.6	6.38	11.9	年最大波浪以上
09/29-10/08	台風 0715 号⑥	4.23	9.7	4.26	10.5	年最大波レベル
(10/17-10/25) 深淺測量						
10/25-10/28	台風 0720 号	2.77	9.2	2.06	9.1	
11/01-11/06	北高型	3.29	8.7	2.66	8.4	高波浪
(11/07) 底質分布調査						
11/26-12/02	冬型気圧配置	3.75	9.4	3.11	8.4	高波浪
12/21-12/29	北高型	3.45	10.3	2.80	8.2	高波浪

- 注) 1. 中城湾 (20 分毎の連続観測) と K24 地点 (1 時間毎の観測) での極大波浪は、同時刻による観測結果ではなく擾乱期間内のそれぞれの最大値です。
2. 表-6.10.2.2.14 の設定条件を参考としました。

表-6.10.2.2.15(2) 平成20年(2008)に発生した気象じょう乱
(中城湾またはK24地点の有義波高2.5m以上)

気象擾乱期間	気象要因	極大波浪 (中城湾) 注1)		極大波浪 (K24 地点) 注1)		備考 注2)
		有義波高 (m)	有義波周期 (秒)	有義波高 (m)	有義波周期 (秒)	
02/05-02/10	南岸低気圧	2.74	8.0	2.55	8.0	高波浪
05/11-05/19	台風0802~04号	4.15	13.7	3.58	14.1	高波浪
05/31-06/04	台風0805号	2.82	12.4	3.91	12.7	高波浪
(06/11) 底質分布調査						
(06/10-06/20) 深浅測量						
07/17-07/18	台風0807号	2.66	8.1	2.50	8.0	高波浪
07/26-07/29	台風0808号	3.49	9.4	3.07	6.7	高波浪
09/11-09/17	台風0813号	2.59	8.6	2.59	5.9	高波浪
(09/21) 底質分布調査						
09/22-09/24	台風0814号	3.41	11.2	3.10	11.2	高波浪
(09/20-09/27) 深浅測量						
09/27-09/29	台風0815号	3.65	12.5	4.75	12.2	年最大波レベル
10/16-10/22	北高型	2.70	8.8	2.38	7.8	
(11/02-11/09) 深浅測量						
11/11-11/15	北高型	4.34	9.7	3.50	9.7	高波浪
(11/17) 底質分布調査						

注) 1. 中城湾(20分毎の連続観測)とK24地点(1時間毎の観測)での極大波浪は、同時刻による観測結果ではなく擾乱期間内のそれぞれの最大値です。

2. 表-6.10.2.2.14の設定条件を参考としました。

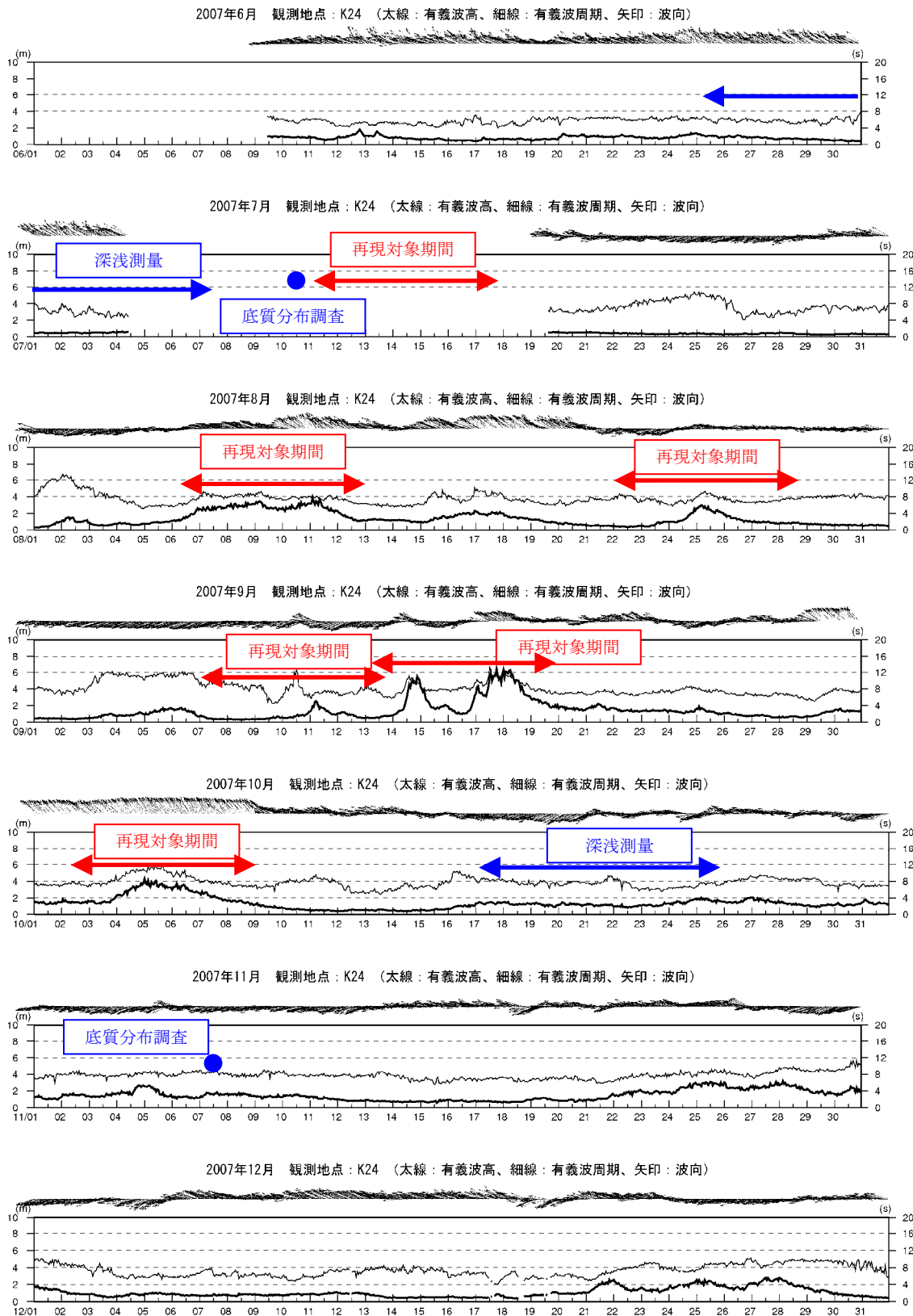


図-6. 10. 2. 2. 17(1) K24 地点の波浪経時変化 (2007 年)

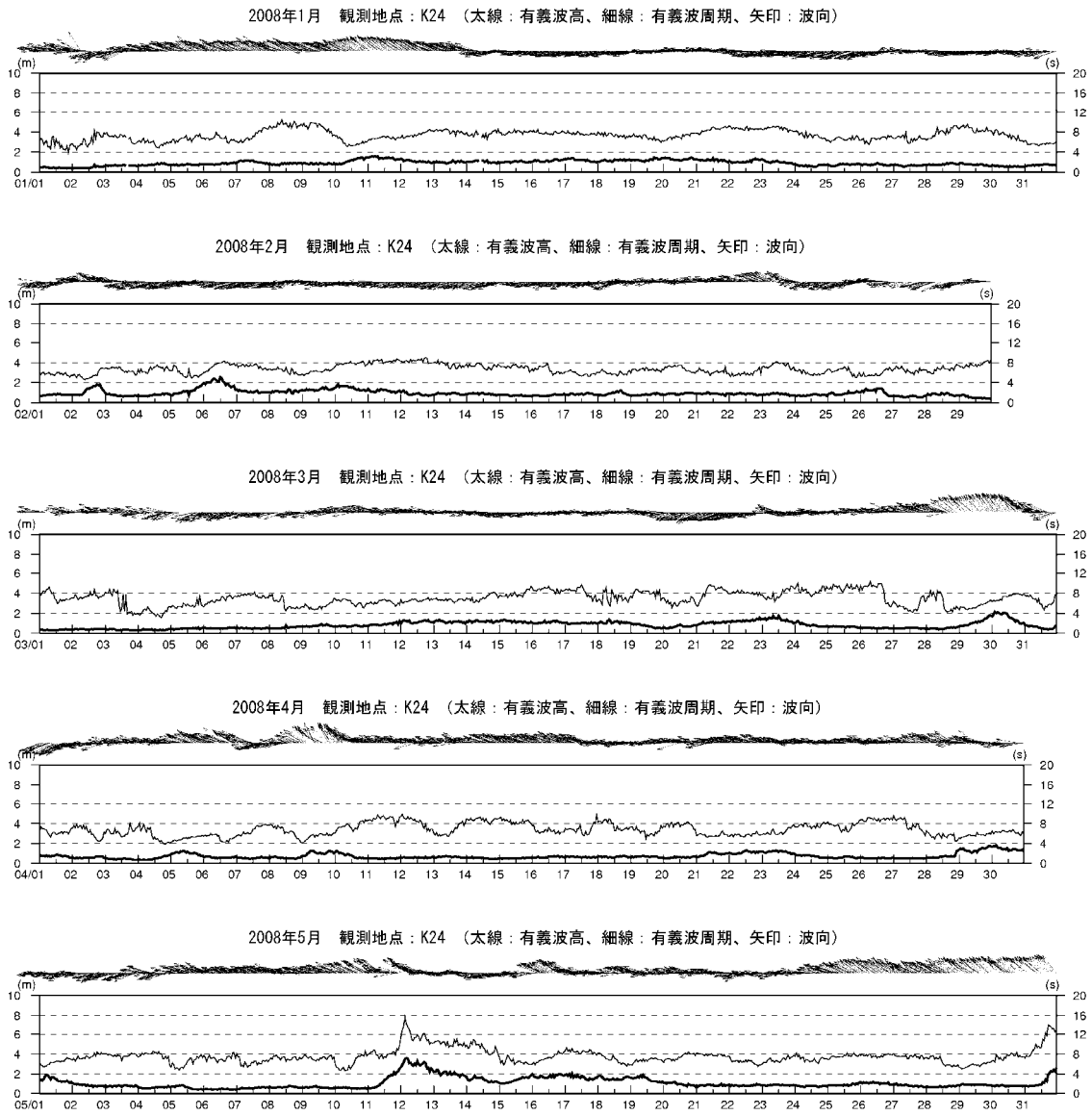


図-6.10.2.2.17(2) K24 地点の波浪経時変化 (2008年1月~5月)

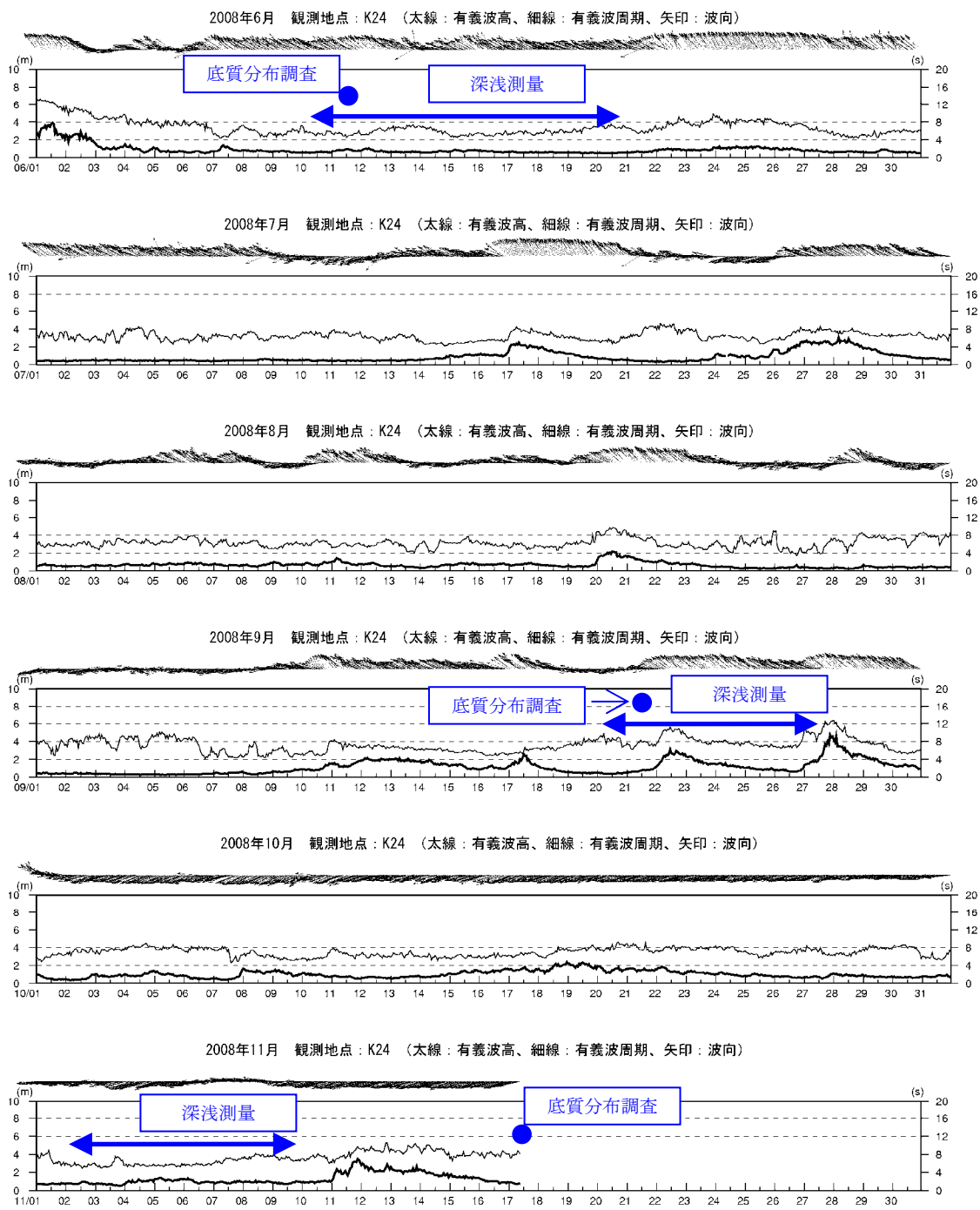


図-6. 10. 2. 2. 17(3) K24 地点の波浪経時変化 (2008 年 6 月～11 月)

表-6.10.2.2.16 再現期間内の海底地形変化を検討するための気象じょう乱

No.	気象要因	計算期間 (各ケース6日間)	K24地点の最大 有義波高 (注1)	最大有義波高発生 時の有義波周期 (注1)	最大有義波高発生時 の波向 (注1)	沖波波高 (注2)	計算期間内の総降水量 (現地観測結果)
ケース①	台風0704号	07/11 06:00~07/17 06:00	12.08m	14.7秒	北からの方位角 104°	13.10m	214.0mm
ケース②	太平洋高気圧縁辺	08/06 05:00~08/12 05:00	3.88m	9.1秒	北からの方位角 139°	4.10m	274.5mm
ケース③	熱帯低気圧	08/22 16:00~08/28 16:00	2.97m	8.9秒	北からの方位角 93°	3.12m	87.5mm
ケース④	熱帯低気圧	09/07 18:00~09/13 18:00	2.52m	7.2秒	北からの方位角 111°	2.55m	85.0mm
ケース⑤	台風0711号	09/13 23:00~09/19 23:00	6.38m	11.9秒	北からの方位角 120°	6.98m	63.5mm
ケース⑥	台風0715号	10/02 00:00~10/08 00:00	4.26m	10.5秒	北からの方位角 146°	4.61m	32.5mm

注) 1. ケース①については、K24地点での現地観測が行われていないため、中城湾における1時間毎の観測結果から推定しています。
 2. 有義波周期とK24地点の水深から浅水係数を算定し、K24地点の波高を割り戻して算定しました。

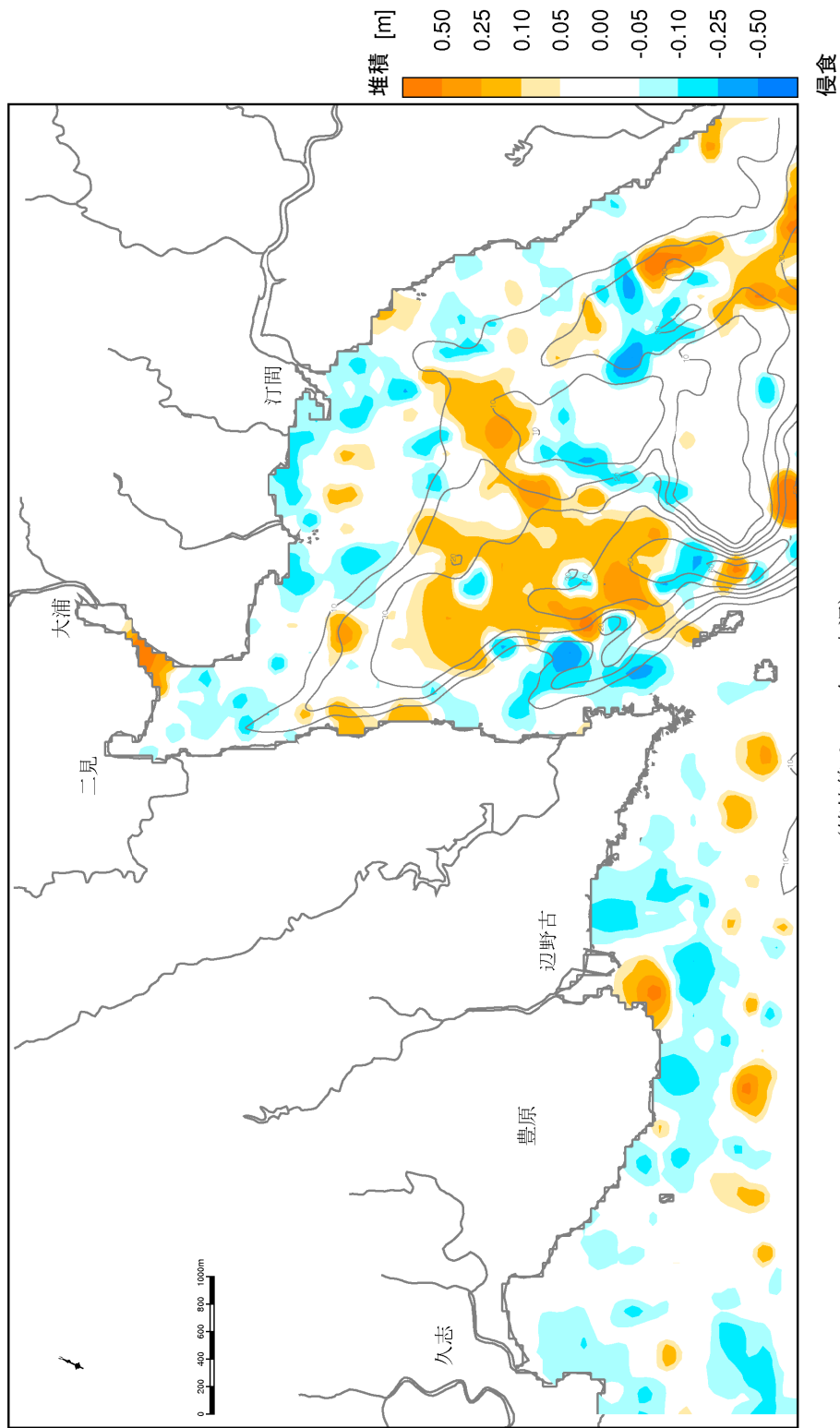


図-6.10.2.2.18 平成 19 年台風前後の地形変化 (前後の深淺測量結果の比較より)

d) 計算条件

(ア) 底質条件

平成 19 年度における捕砂器による浮遊砂の現地観測結果(3回の観測の平均)によれば、砂分の代表粒径は 0.135mm、シルト・粘土分の代表粒径は 0.017mm となります。

(イ) 底質の物性値

ア) 比重

底質の比重については、平成 19 年度台風前後の全体平均(調査地点数: 80 地点)をもとに 2.759 としました。よって、(海水中の)水中比重は $2.759/1.024-1=1.69$ となります。

イ) 含水比

シルト・粘土分の含水比については、平成 19 年 8 月 30 日～9 月 1 日に行われた海域 32 地点の水の汚れ調査結果をもとに設定しました。図-6.10.2.2.19 に示した回帰式からシルト・粘土分 100%の含水比を算定すると、52%となります。

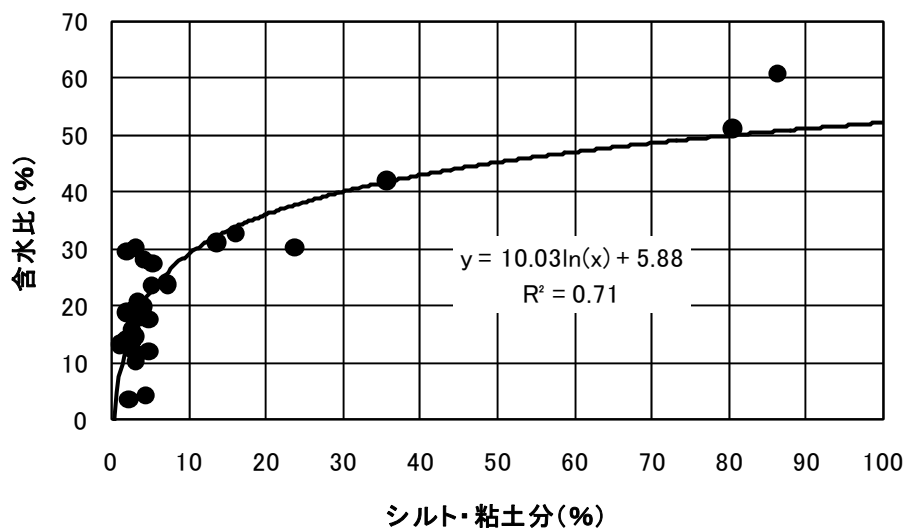


図-6.10.2.2.19 海域底質と含水比の関係

(ウ) 沈降速度

砂分については、中央粒径（代表粒径）等の条件により Rubey の式*から 1300m/day=0.9m/min としました。

シルト・粘土分については、土砂による水の濁り調査において現地海域試料に対して行った沈降試験結果（平成 20 年 7 月 23 日実施）をもとに、SS 濃度に応じた関数（図-6.10.2.2.20参照）として与えました。

なお、(式-6.10.2.2.5)で示した底質の沈降量 D_m に関して、波などによる底面付近の乱れが粒子の沈降を妨げる効果を考慮して、沈降に関する限界せん断応力 τ_d を含んだ次式を用いて評価する場合があります。

$$D_m = C_b w_s \left(1 - \frac{\tau_b}{\tau_d} \right) \quad (\text{式-6.10.2.2.6})$$

しかし、相当数の試算を行った結果、沈降に関する限界せん断応力 τ_d を考慮しない(式-6.10.2.2.5)を適用した場合に、海底地形変化に関する比較的良好な再現性が得られたので、前述のような底面付近の乱れが粒子の沈降を妨げる効果は、当該海域では小さいものと考えられます。このため、静水中の沈降速度をそのまま適用しました。

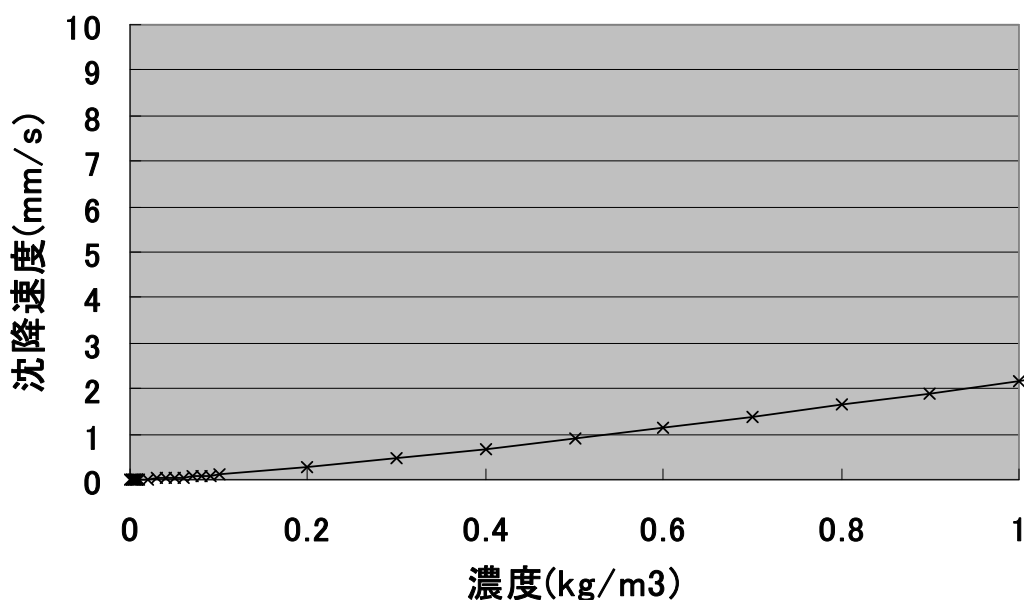


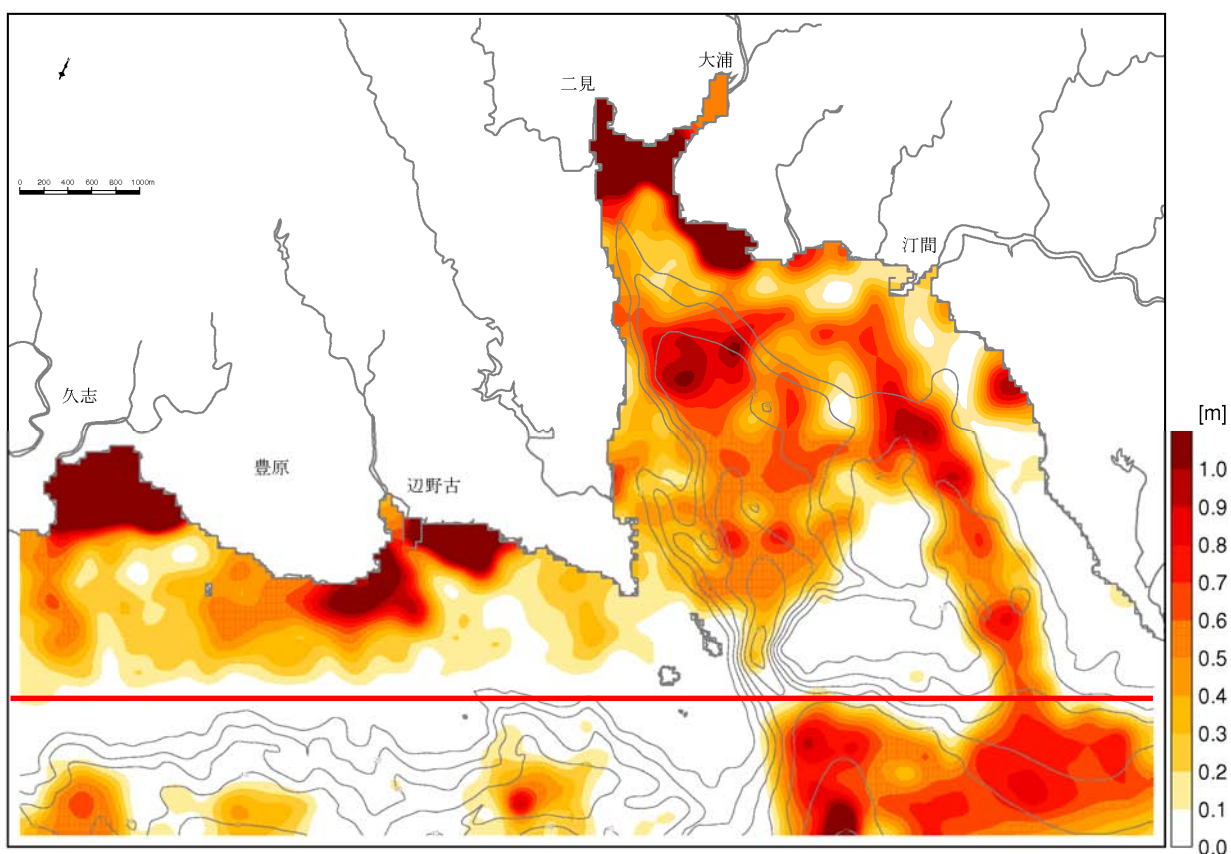
図-6.10.2.2.20 SS 濃度に応じたシルト・粘土分の沈降速度
(現地海域試料による沈降試験結果より算出)

* 岩垣雄一：最新 海岸工学，森北出版，昭和 62 年（1987），139p.

(エ) 現存土砂量

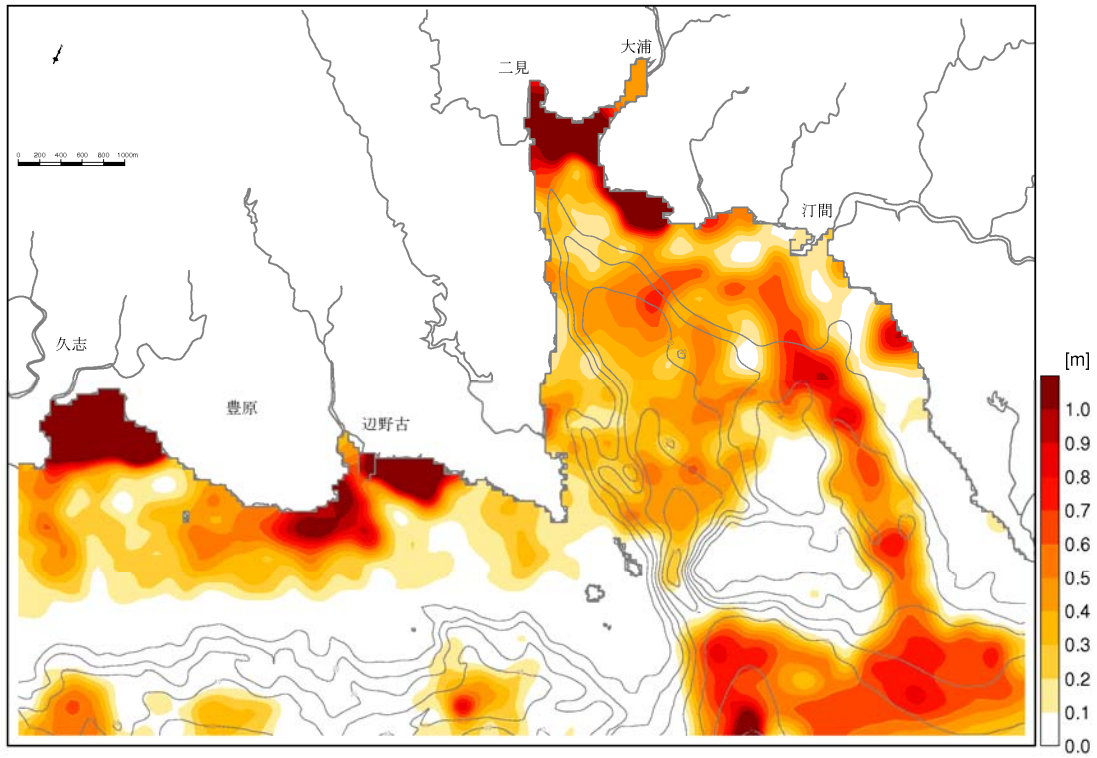
平成 19 年 7 月における現地調査結果をもとに、計算範囲の土砂堆積厚を設定しました。図-6.10.2.2.12(2)に示す 50m 計算格子の範囲の現存土砂量は、図-6.10.2.2.21に示すとおりです。

さらに、鉛直方向の粒度分布が一様であると仮定すると、底質分布調査による粒度組成の現地観測結果から、粒径別の現存土砂量を図-6.10.2.2.22に示すように推定できます。



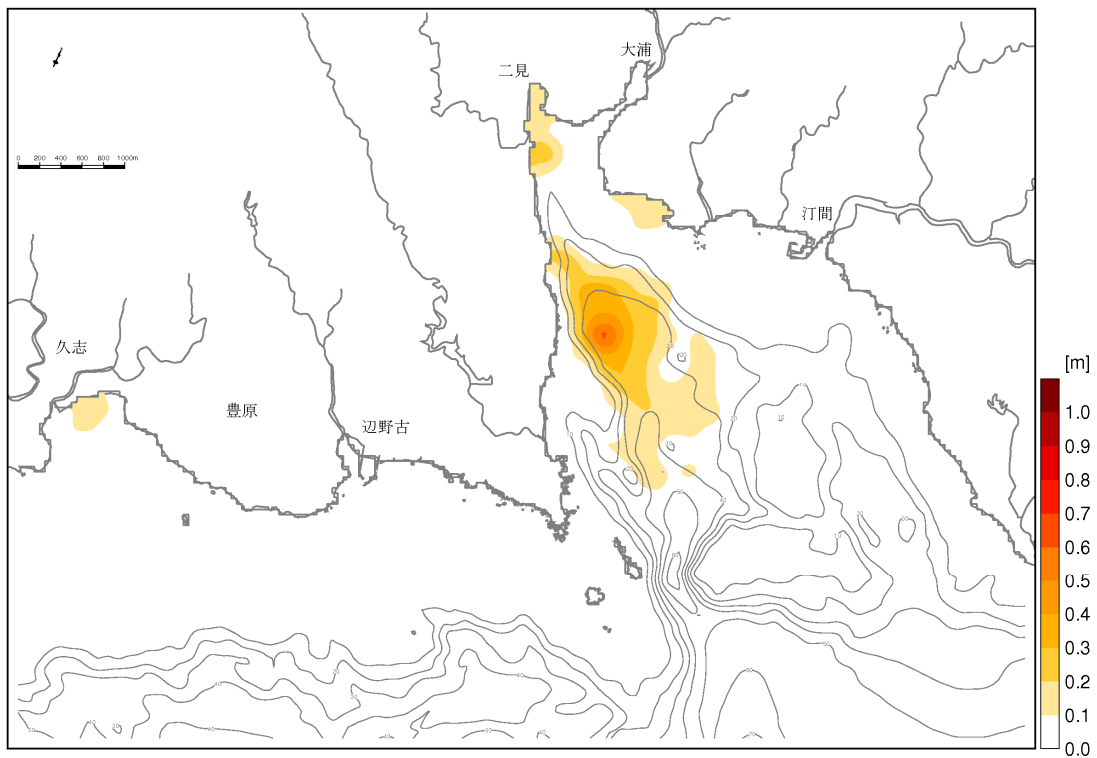
(等値線は 10m 毎の水深、赤太線は 2 回目以降の深浅測量範囲)

図-6.10.2.2.21 現地調査結果をもとに作成した土砂堆積厚の 50mメッシュデータ



(等値線は 10m 毎の水深、H19 台風期前の現地調査結果をもとに推定)

図-6. 10. 2. 2. 22 (1) 細砂以上の底質の現存土砂・堆積厚の推定図



(等値線は 10m 毎の水深、H19 台風期前の現地調査結果をもとに推定)

図-6. 10. 2. 2. 22 (2) シルト・粘土分の底質の現存土砂・堆積厚の推定図