

検討結果総括と委員会経緯

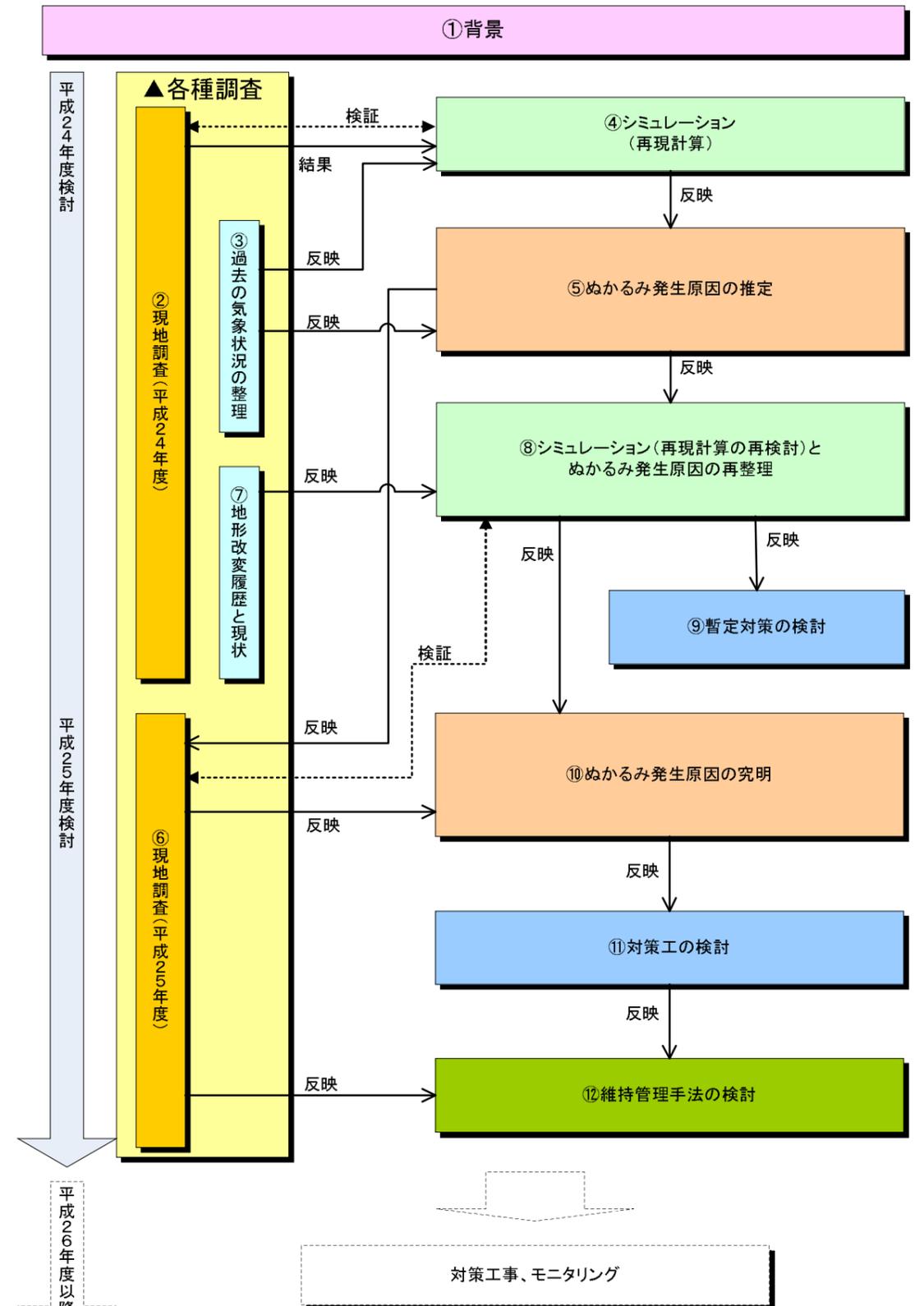
赤穂港御崎地区

唐船海岸ぬかるみ対策検討委員会

検討結果総括

目次

- 1. 背景1
- 2. 現地調査(平成24年度)2
 - 2.1 調査工程、調査期間中の気象状況2
 - 2.2 調査結果3
- 3. 過去の気象状況の整理14
 - 3.1 平成23年の気象14
 - 3.2 平成24年の気象15
- 4. シミュレーション(再現計算)16
 - 4.1 干潟部底質が移動する波浪諸元の推定16
 - 4.2 干潟部への土砂供給源の推定16
 - 4.3 計算条件等(再現計算)17
 - 4.4 再現計算結果17
- 5. ぬかるみ発生原因の推定18
- 6. 現地調査(平成25年度)19
 - 6.1 調査工程、調査期間中の気象状況19
 - 6.2 調査結果20
- 7. 地形改変履歴と現状27
- 8. シミュレーション(再現計算の再検討)とぬかるみ発生原因の再整理31
 - 8.1 計算ケース31
 - 8.2 計算結果(唐船山西側)31
 - 8.3 計算結果(唐船山東側～東防砂堤)31
 - 8.4 ぬかるみ発生原因の再整理32
- 9. 暫定対策の検討結果33
- 10. ぬかるみ発生原因の究明34
 - 10.1 唐船山西側34
 - 10.2 唐船山東側～T突堤西側34
 - 10.3 T突堤周り35
 - 10.4 T突堤東側～東防砂堤35
- 11. 対策工の検討36
 - 11.1 対策工の考え方と期待する効果36
 - 11.2 効果検証計算38
 - 11.3 対策工の基本方針41
 - 11.4 対策工の内容42
- 12. 維持管理手法の検討45
 - 12.1 維持管理フロー45
 - 12.2 モニタリング結果と評価の方法45



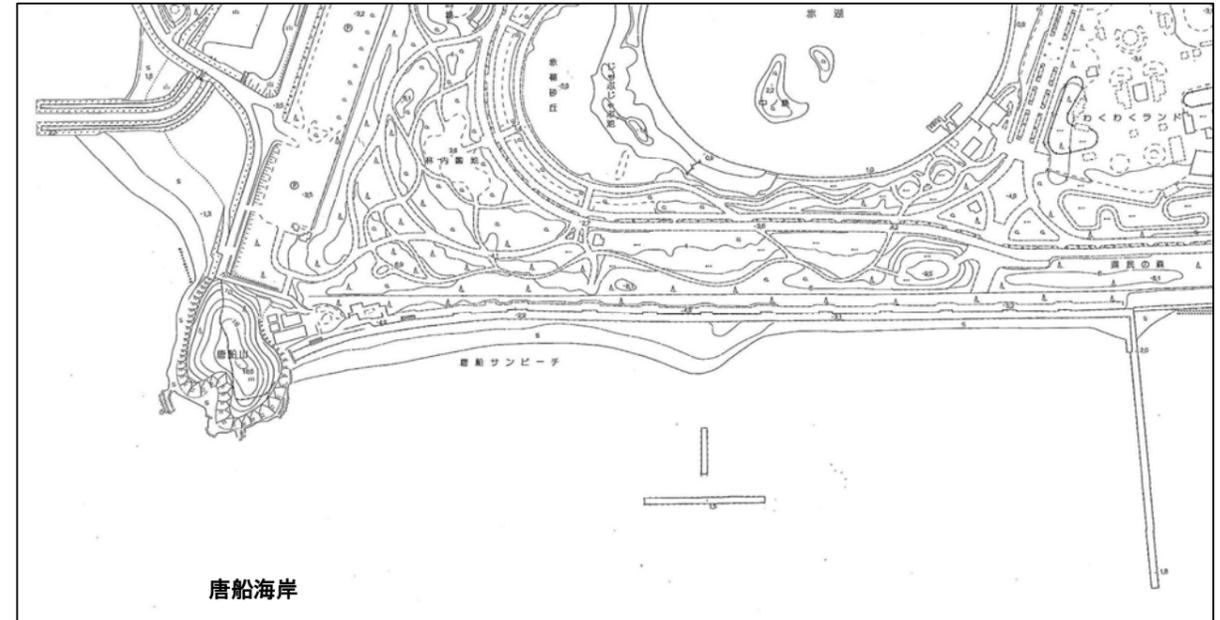
▲検討項目間の関係と検討の流れ

1. 背景 (第1回委員会 資料-1 参照)

赤穂港御崎地区唐船海岸では、平成24年4月24日に「砂浜等の安全利用点検」を実施したところ、砂浜全域にわたり多数の軟弱地(ぬかるみ)が確認され、一部のぬかるみにおいて足が抜けにくい状況が確認された。

当海岸は、「唐船潮干狩り場」、「唐船海水浴場」等、一般県民の立ち入りが多く見られることから、海岸管理者である兵庫県は、危険を回避するため、砂浜陸域部から浅水面域への立ち入りを禁止することとし、4月27日に出入口等をロープ、看板等により閉鎖した。

兵庫県では、早期の一般開放再開を目指し、同海岸におけるぬかるみの土質性状及び発生源の特定等に関する調査・解析、及び、この結果を踏まえた対策工の検討等を行うため、学識経験者、関係団体、関係市から構成される「赤穂港御崎地区唐船海岸ぬかるみ対策検討委員会」を設置した。



2. 現地調査(平成24年度)

2.1 調査工程、調査期間中の気象状況

(第4回委員会 資料-2 p.5参照)

調査は9月～12月にかけて実施した。この期間中は10/10、22、27～28、11/17に南からの風がやや強くなったが、大きな出水はなく、イベントは発生していない。また、12月～2月は1回/月の頻度でぬかるみ分布定期観測を実施した。

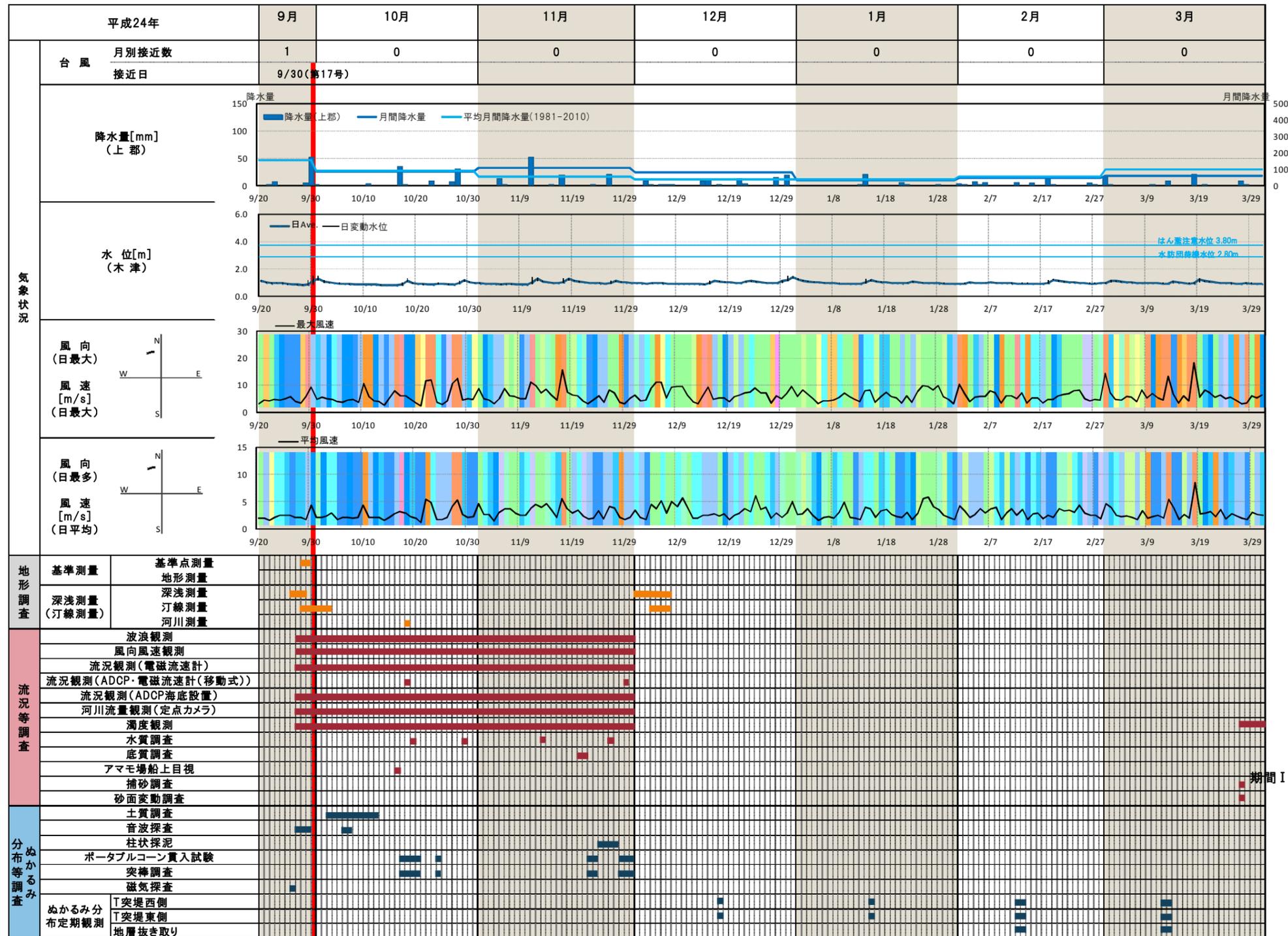


図- 2.1 平成24年度調査工程、調査期間中の気象状況

2.2 調査結果

2.2.1 海底地形の状況 (第2回委員会 資料-2 p.2-9~11 参照) (調査実施日: H24.9.26~10.3, H24.12.1~12.7)

海底地形は図- 2.2 に示すとおりである。

- 海岸前面に広大な干潟が広がっている。
- T 突堤沖600mあたりから水深が急に深くなる。
- 東防砂堤付近よりも唐船山南側の方が水深は浅くなっている。

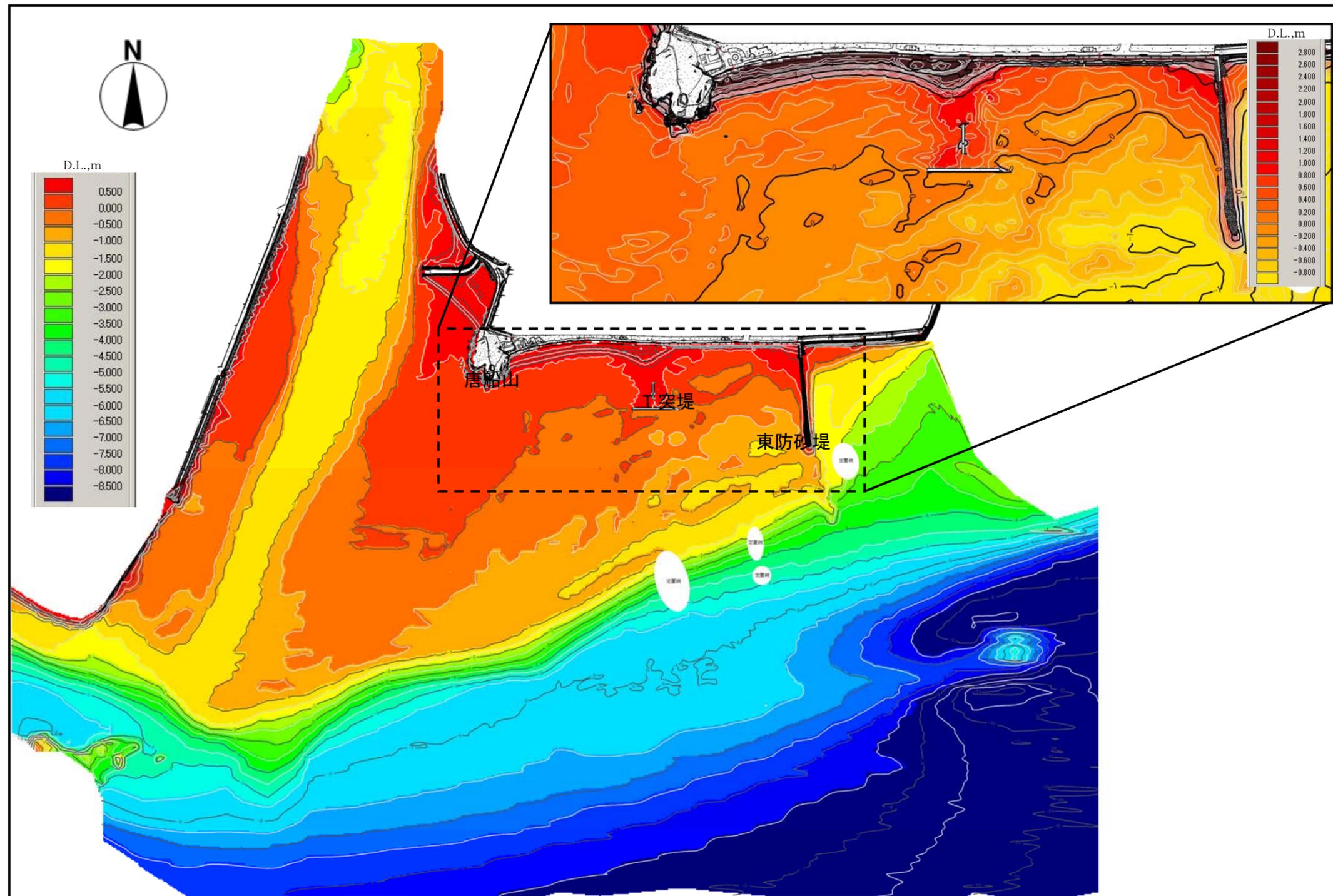
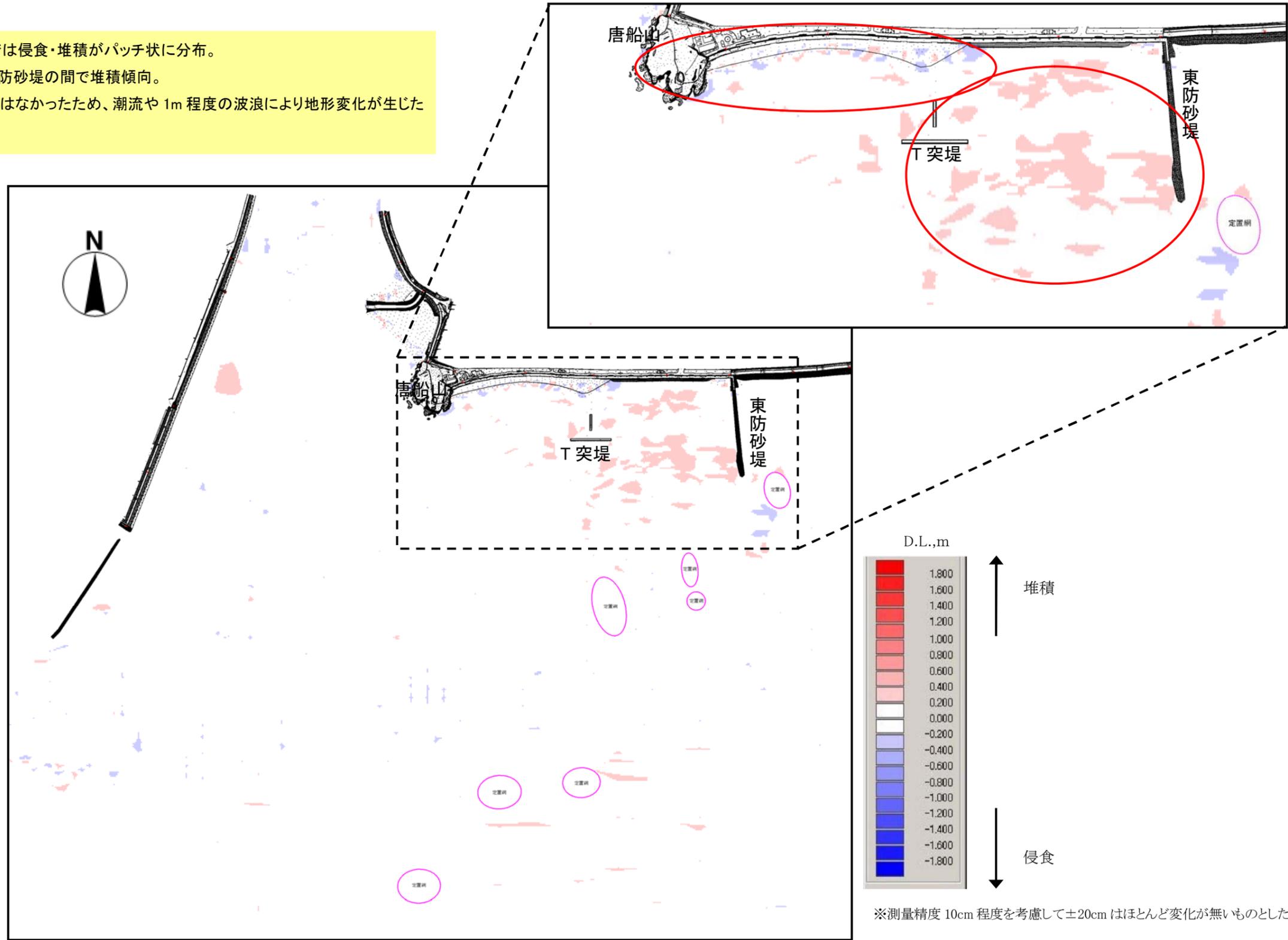


図- 2.2 唐船海岸周辺の海底地形(平成24年9月測量)

- 汀線付近では侵食・堆積がパッチ状に分布。
- T 突堤と東防砂堤の間に堆積傾向。
- 大きな出水はなかったため、潮流や 1m 程度の波浪により地形変化が生じたと考えられる。



図－ 2.3 唐船海岸周辺の海底地形の変化(12月測量-9月測量)

2.2.2 めかき分布状況 (第2回委員会 資料-2 p.2-12~19 参照)

(1) 過年度ボーリングデータとの比較 (調査実施日: H24.10.3~10.12)

今回実施した3箇所のボーリングデータと過年度のボーリングデータ(昭和37年度, 昭和48年度)との比較を図-2.4に示した。

- No.1, 2において、過去の地層構成と大きな変化は見られない。
- 下層の粘土層の上に存在する砂層が侵食されてめかきが発生したとは考えにくい。

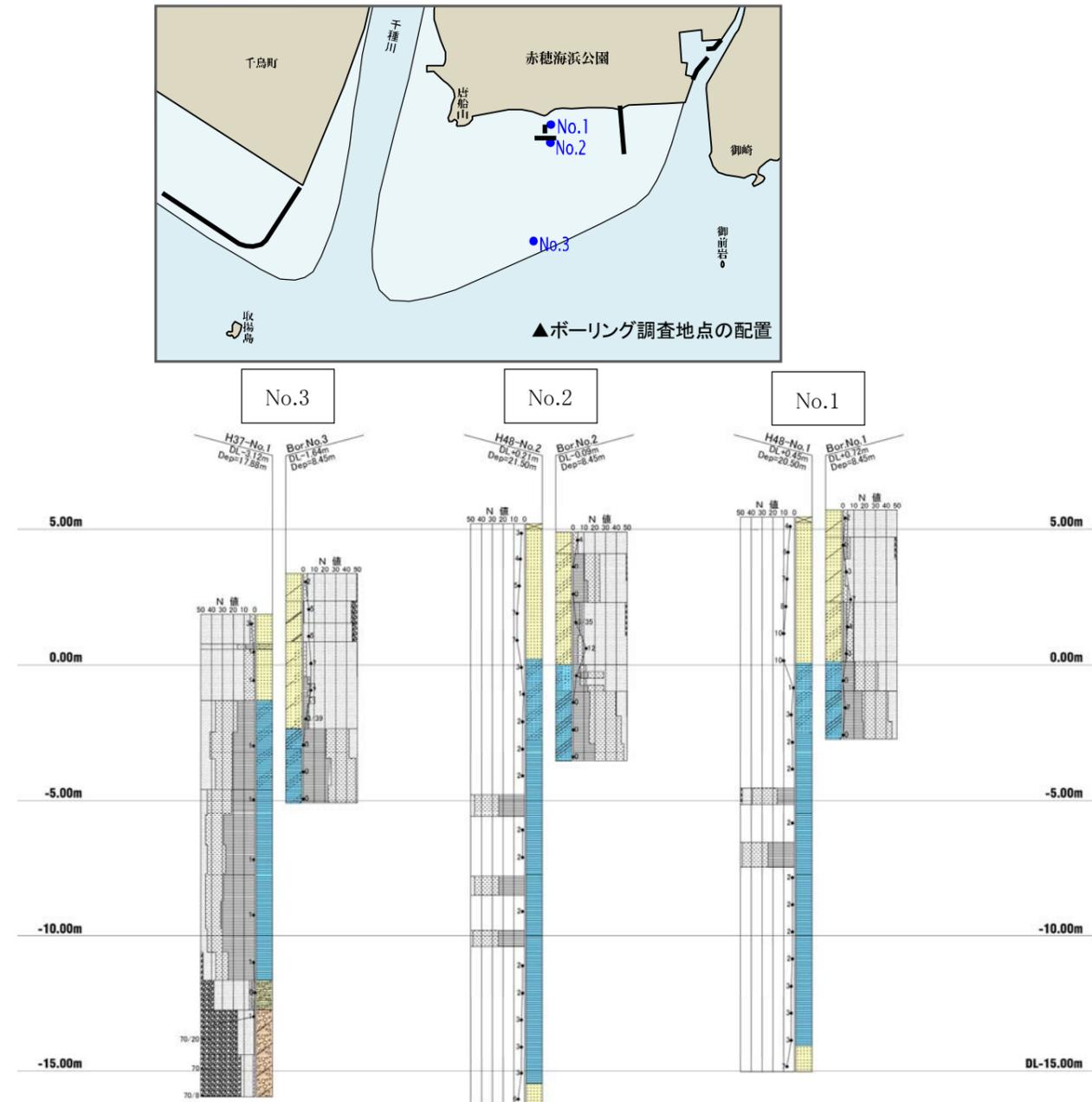


図-2.4 ボーリングデータの過年度調査結果との比較

(2) 表層泥のシルト粘土分含有率 (調査実施日: 底質調査 H24.11.20~21, 柱状採泥 H24.11.24~27)

表層泥は合計71地点で実施しており、表層泥に含まれるシルト分以下成分の含有率を含泥率として平面図(図-2.5参照)に示した。

- 干潟テラスの含泥率10%未満の範囲=分級された砂
- 波浪や潮流によって細砂分が残っていると考えられる。
- 干潟テラスにシルト分が堆積した場合、海岸部へのシルト供給源になる可能性がある。

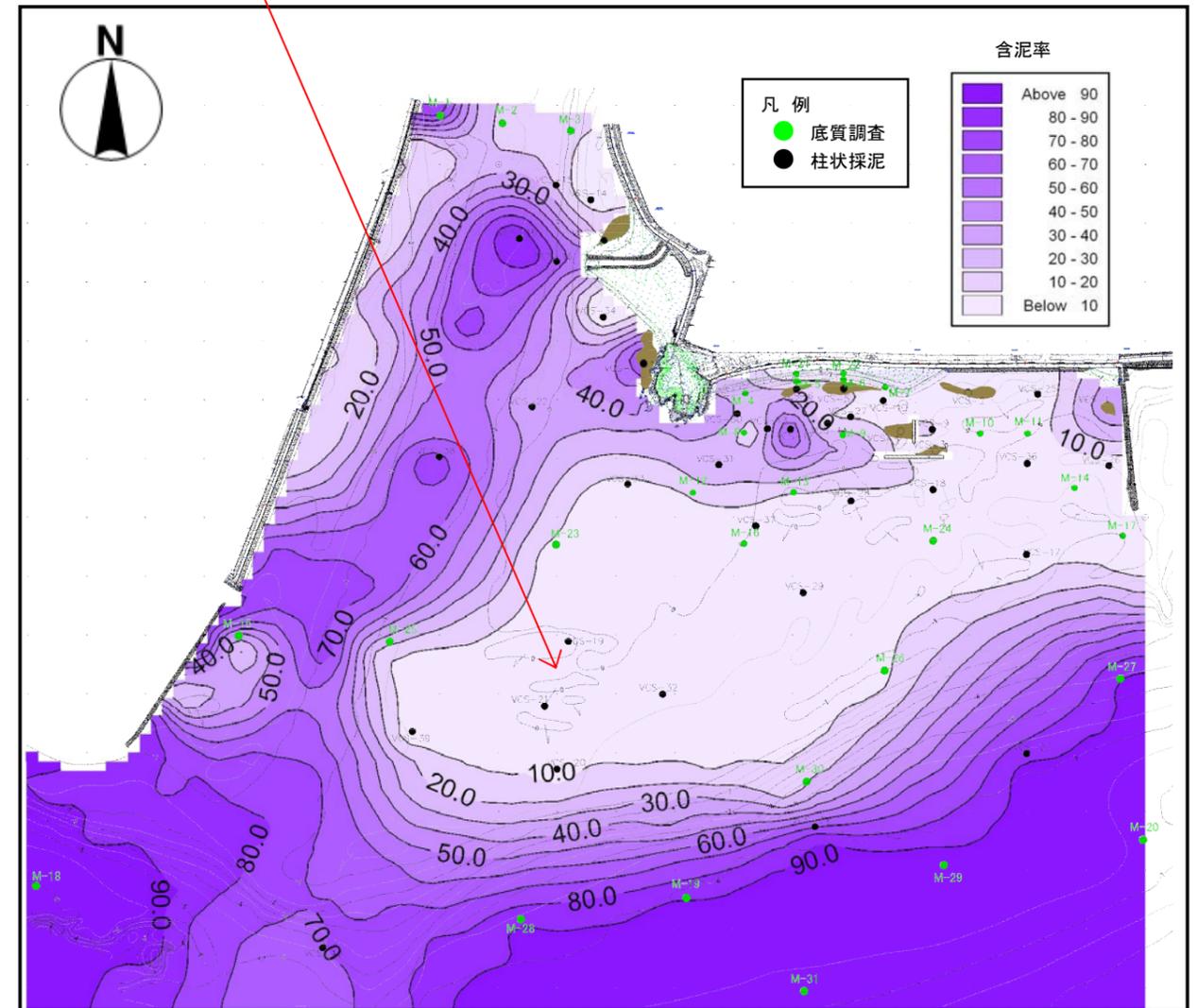
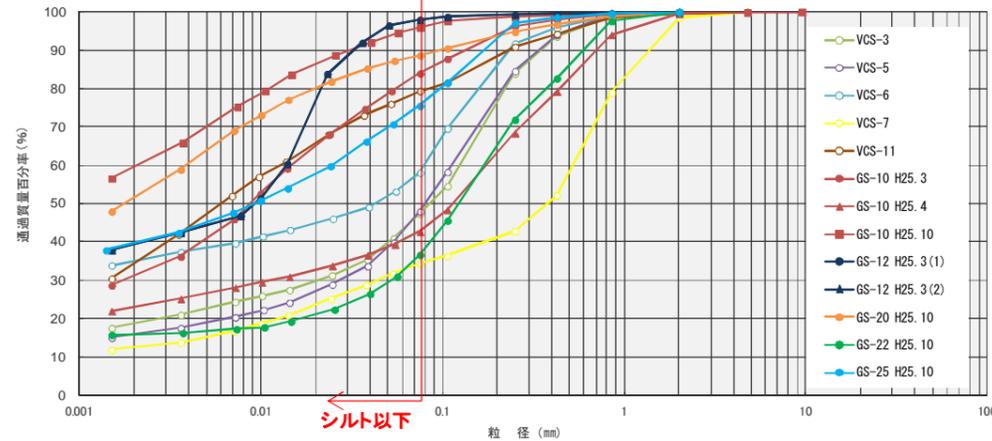


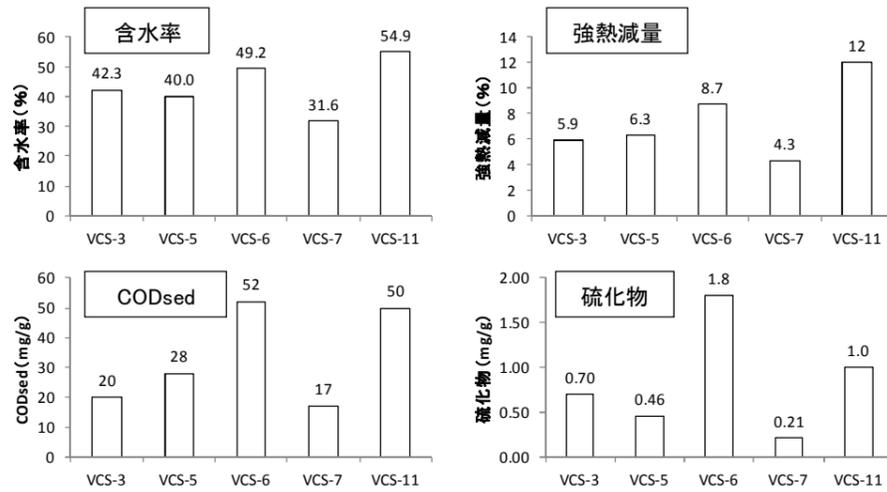
図-2.5 表層泥のシルト分の分布状況(平成24年11月20、21日採取)

(3) むかみの性状

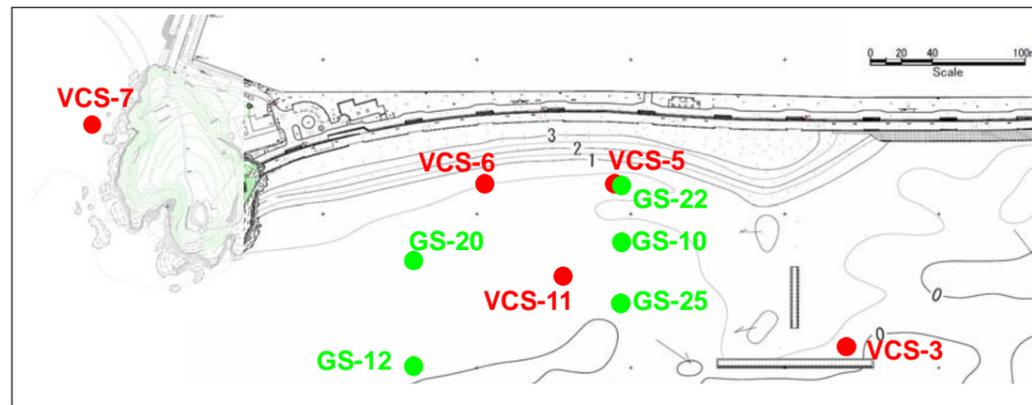
- むかみの粒径加積曲線より、シルト以下の含有率は概ね 40%以上である。
- 強熱減量や CODsed はそれほど高い数値は見られないが、硫化物は全ての地点において高い傾向を示した。



(a) むかみの粒径加積曲線



(b) むかみの底質分析結果

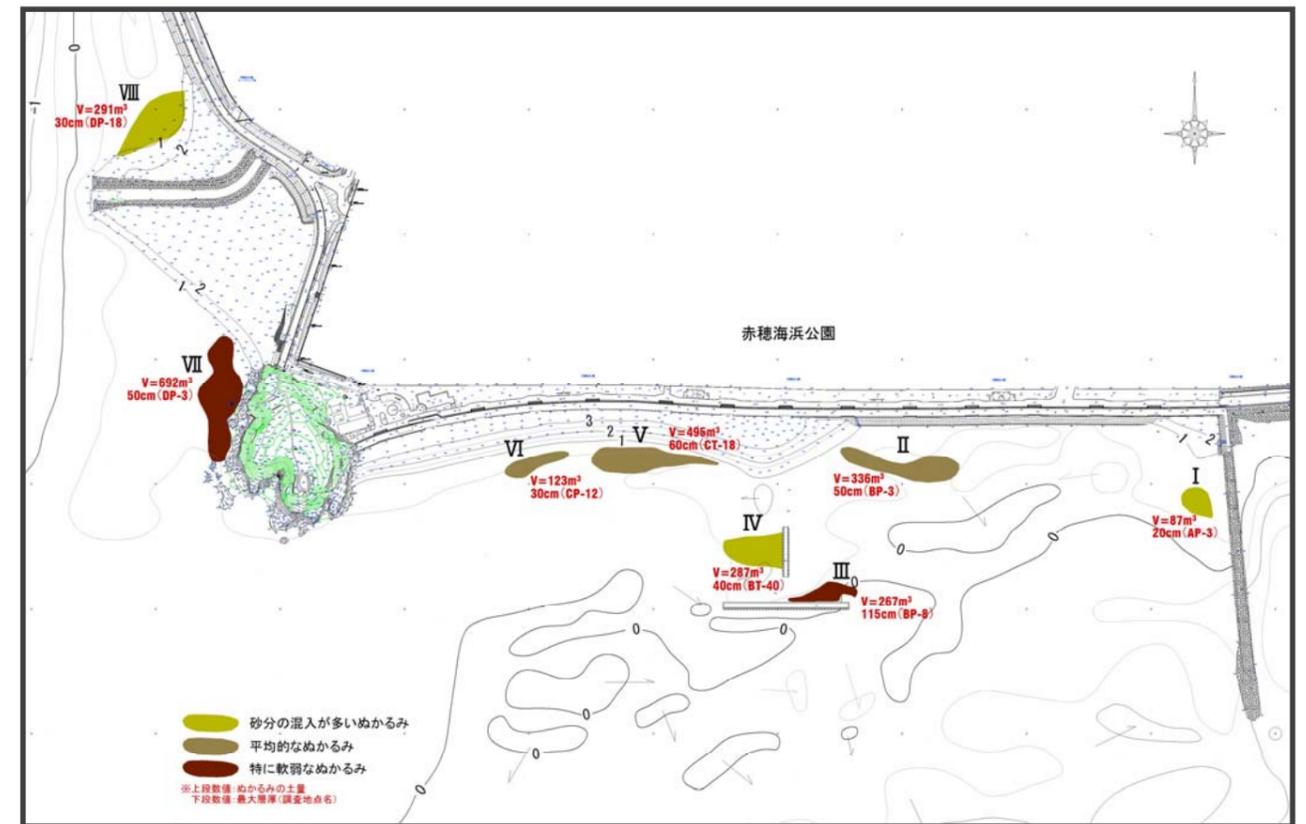


図一 2.6 むかみの性状(柱状採泥:H24.11、地層採取:H25.3、4、10)

(4) むかみ厚さ分布 (調査実施日:H24.10.17~20)

むかみの分布範囲の把握にあたっては、まず、音波探査を深浅測量と同じ 20m 間隔の測線で実施し、軟弱な底質(軟弱な粘性土~ルーズな砂)が分布するエリアを巨視的に把握した。つぎに、音波探査から想定された軟弱層の分布域と音波探査の観測ができない浅海域について突棒調査(ポータブルコーン貫入試験)を実施することで、図一 2.7 に示した。

- 音波探査及び突棒調査(ポータブルコーン貫入試験)により、むかみ分布を把握。
- むかみ I ~ VIII を確認。(総量約 2,600m³)
- むかみ III、VII は特に軟弱な状態。



図一 2.7 むかみの分布範囲(平成 24 年 10 月 17 日~10 月 20 日)

(5) めかるみ層厚の変化と移動

(※平成 25 年度も継続して実施。p.21 参照)

① 突棒調査及び柱状採泥 (調査実施日: 突棒調査 H24.10.17~20、歩行調査 H24.11.20、定点観測(定点1、2) H24.11.20、柱状採泥 H24.11.27~28)

- 汀線付近でのめかるみ分布範囲が変化し、層厚も変化。
- 柱状採泥によると、黒灰色の泥が薄い表層砂の下に挟まれていた。

■ 泥(めかるみ)で足が沈む状態
 ■ 砂などで足が沈みこまない状態
 (下部に軟弱層が挟在するか否かは不詳)

[足が沈みこまなくなる要因]
 下記a~eの5つの要因が考えられるが判別はできていない。

- a: 砂層(置換)
- b: 表層に厚めの砂が堆積
- c: 軟弱土が移動
- d: 砂と泥分の混合による性状改善
- e: b, c要素の複合

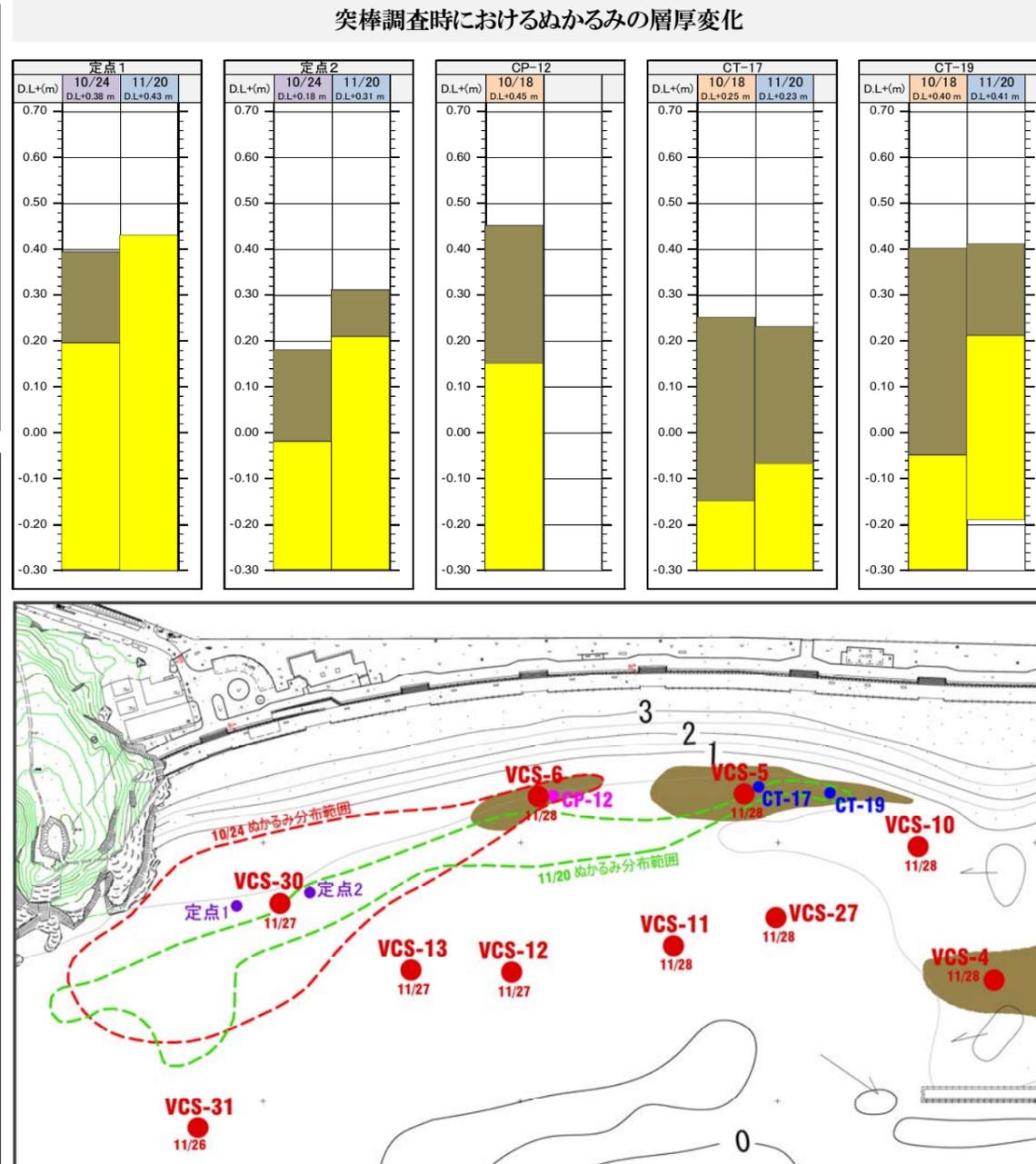
(参考)深いめかるみの柱状採泥試料

VCS-7

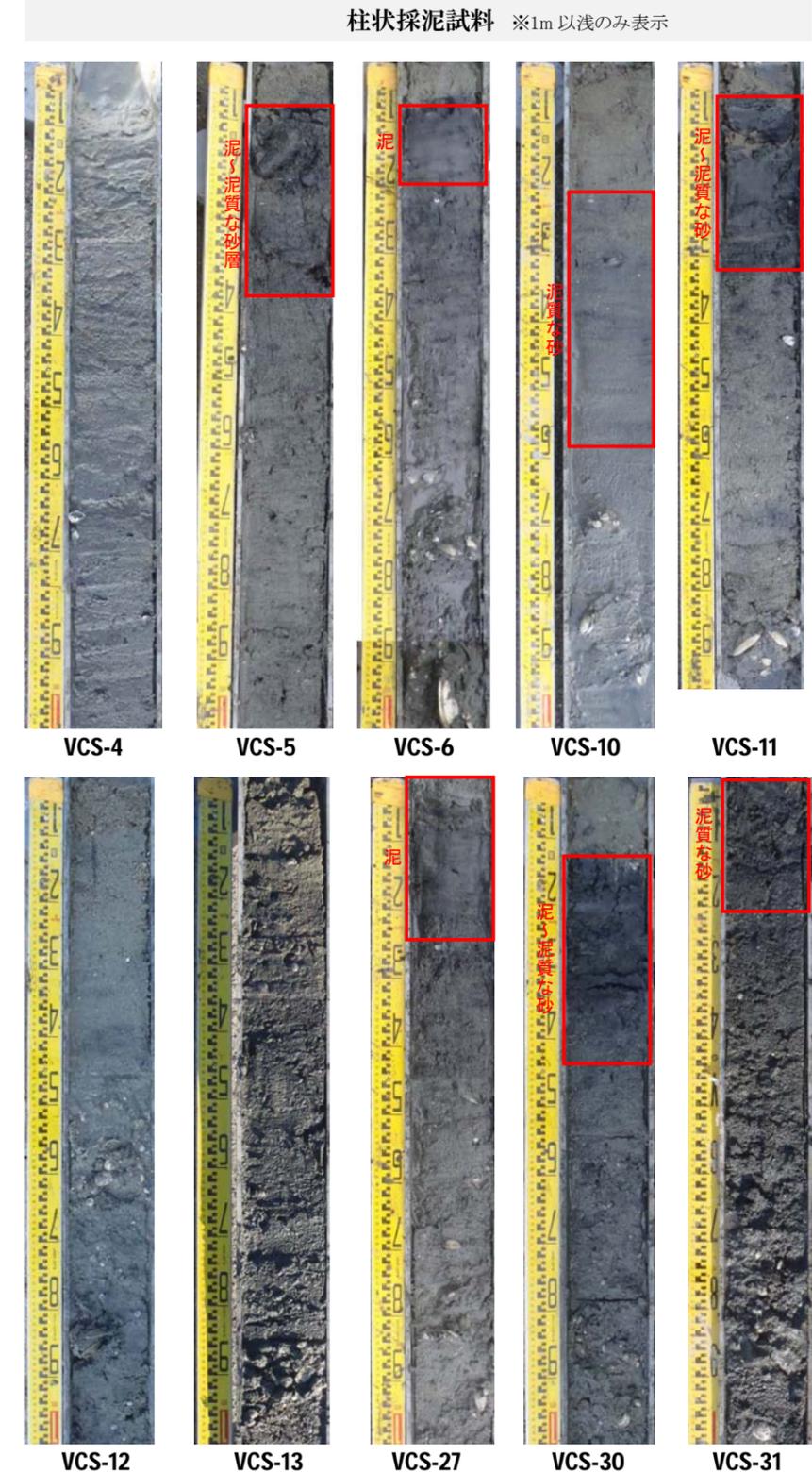
VCS-3

VCS-7

VCS-3



図一 2.8 めかるみ分布の変化(突棒調査・柱状採泥時)



② 歩行調査 (調査実施日:歩行調査 H24.12.5, 17)

- 12/5と12/17でぬかるみ分布が異なっており、17日にはぬかるみは分散して沖側に移動していた。
- 汀線付近ではぬかるみ層厚が減少。
- 層厚の変化は、ぬかるみそのものの移動と、砂による被覆のために足が沈まない状態になることで起こると考えられる。
- 12/5～17にかけては、高波浪や出水はなかったため、ぬかるみ分布の変化は日々の潮汐と恒常的な小波浪によるものと判断される。

■ 泥(ぬかるみ)で足が沈む状態
 ■ 砂などで足が沈みこまない状態
 (下部に軟弱層が挟在するか否かは不詳)

[足が沈みこまなくなる要因]
 下記a～eの5つの要因が考えられるが判別はできていない。

- a: 砂層(置換)
- b: 表層に厚めの砂が堆積
- c: 軟弱土が移動
- d: 砂と泥分の混合による性状改善
- e: b, c要素の複合

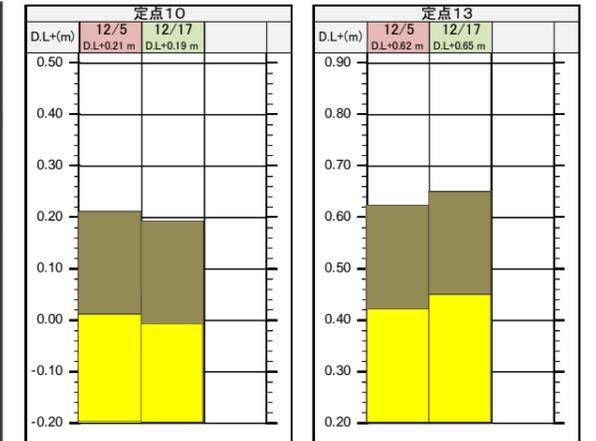
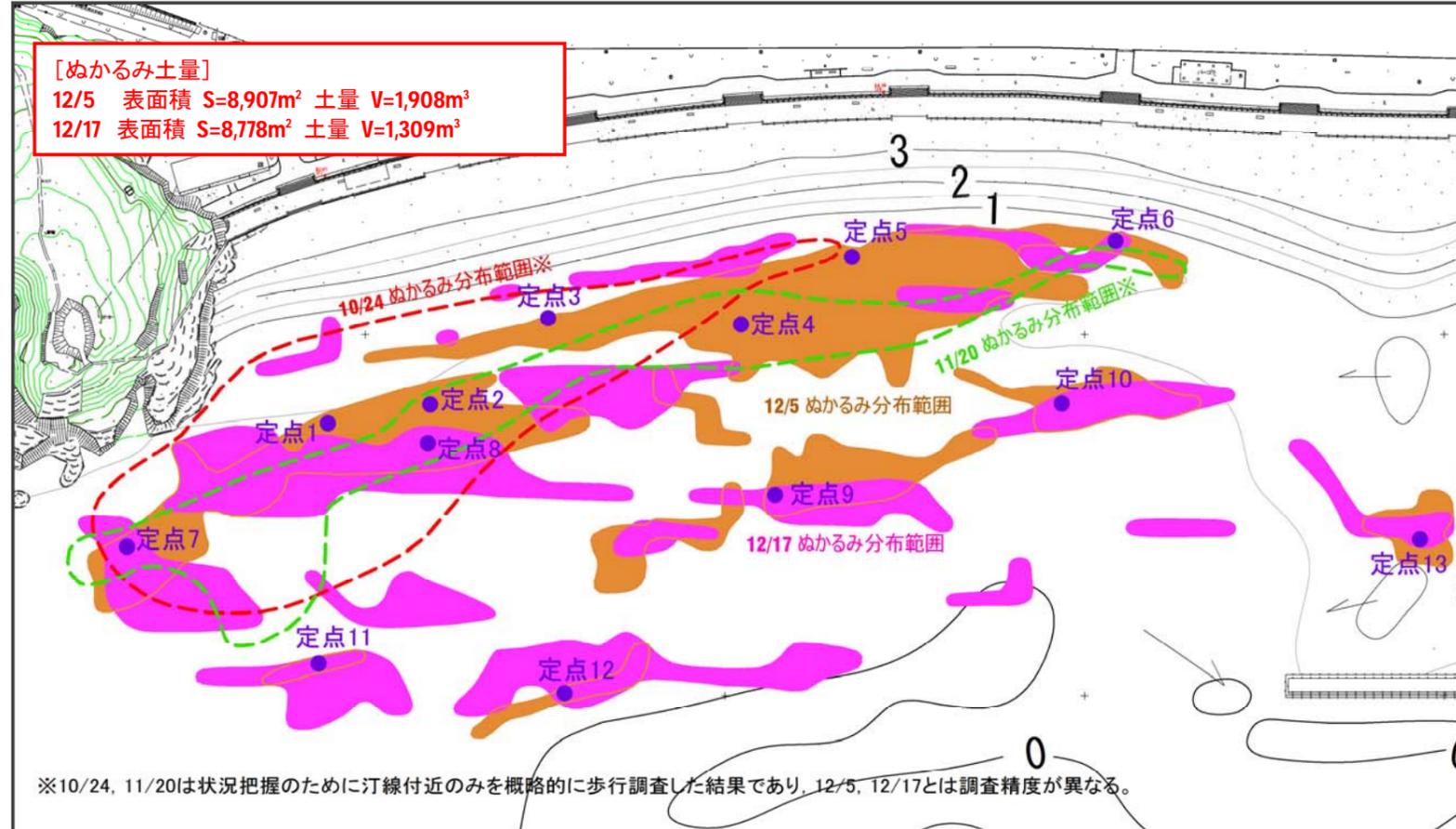
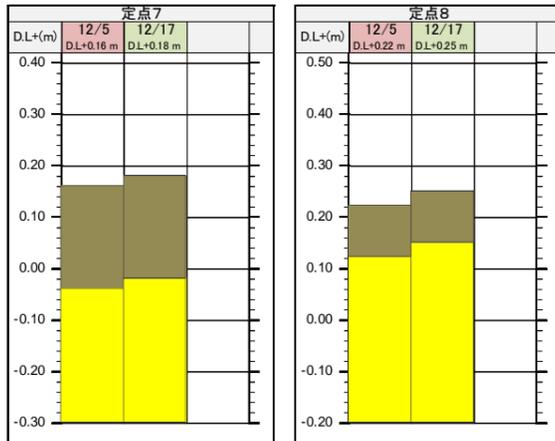
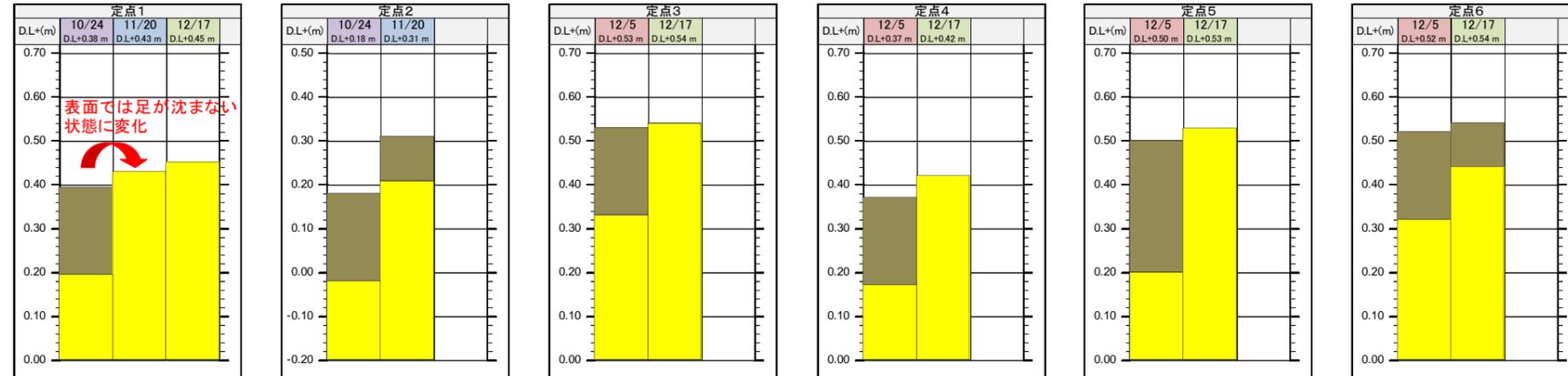


図- 2.9 ぬかるみ分布の変化(歩行調査)

(6) 鉱物分析結果 (調査実施日: 歩行調査 H24.11.24~27)

- 全試料がほぼ同じ鉱物組成を示し、特筆すべき差異は認められない。
- 鉱物組成が6試料ともに酷似していることを考えると、少なくとも瀬戸内海の広い範囲から運搬されてきたものとは考えがたい。
- ただし、千種川流域に分布する地質は、西播磨地域ではごく一般的に見られる地質であるため、今回の鉱物分析の結果を持って千種川からの排出土砂がぬかるみの構成物質であるとは断言できない。

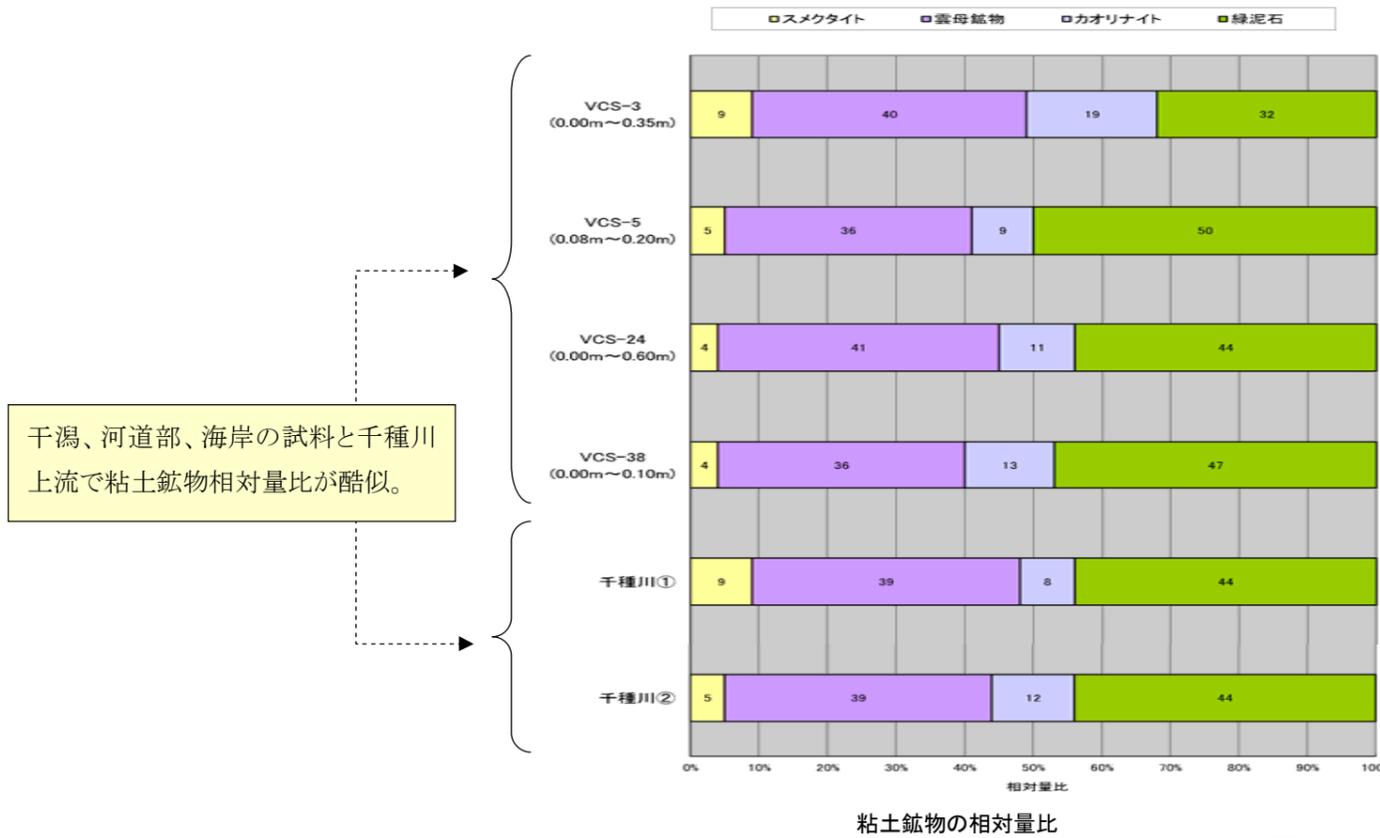
同定結果 (相対量)

同定された鉱物	Mineral name	試料名											
		VCS-3 (0.00m~0.35m)		VCS-5 (0.08m~0.20m)		VCS-24 (0.00m~0.60m)		VCS-38 (0.00m~0.10m)		千種川①		千種川②	
		全岩	2μm以下 粒子	全岩	2μm以下 粒子	全岩	2μm以下 粒子	全岩	2μm以下 粒子	全岩	2μm以下 粒子	全岩	2μm以下 粒子
スメクタイト	Smectite	tr	++	tr	++	tr	++	tr	++	tr	++	tr	++
雲母鉱物	Mica mineral	+	++	tr	++	+	++	+	+++	tr	+++	tr	+++
角閃石族	Amphibole group	+	+	tr	+	+	-	+	+	tr	-	tr	+
カオリナイト	Kaolinite	+	++	+	++	+	++	+	++	tr	++	tr	++
緑泥石	Chlorite	+	++	+	++	+	+++	+	+++	tr	+++	tr	+++
石英	Quartz	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
長石族	Feldspar group	++	++	++	++	++	++	++	+	+	++	+	++
黄鉄鉱	Pyrite	tr	++	tr	++	tr	++	-	-	-	-	-	-

備考

凡例 +++:多量 ++:中量 +:少量 tr:微量 -:不検出

SRC



干潟、河道部、海岸の試料と千種川上流で粘土鉱物相対量比が酷似。

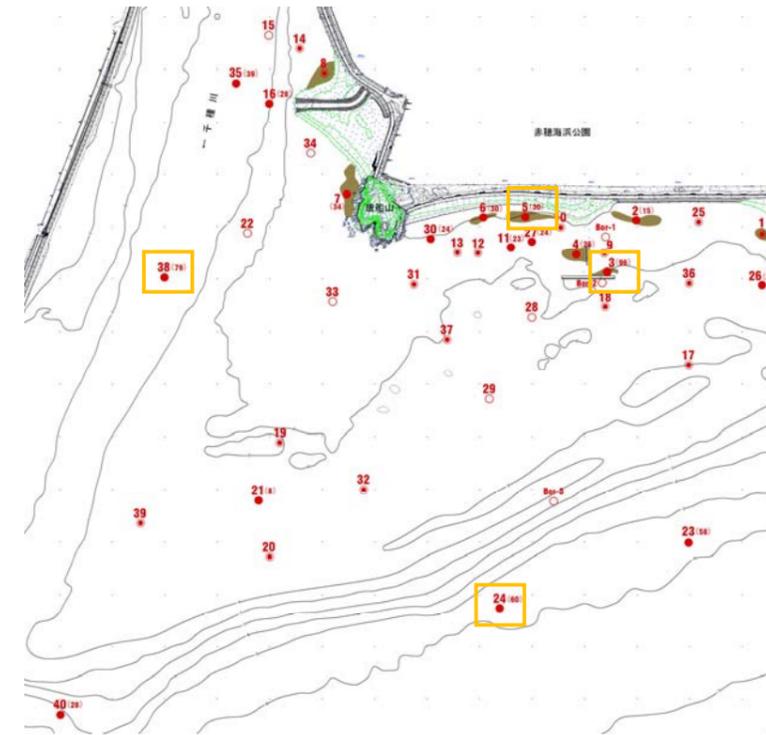


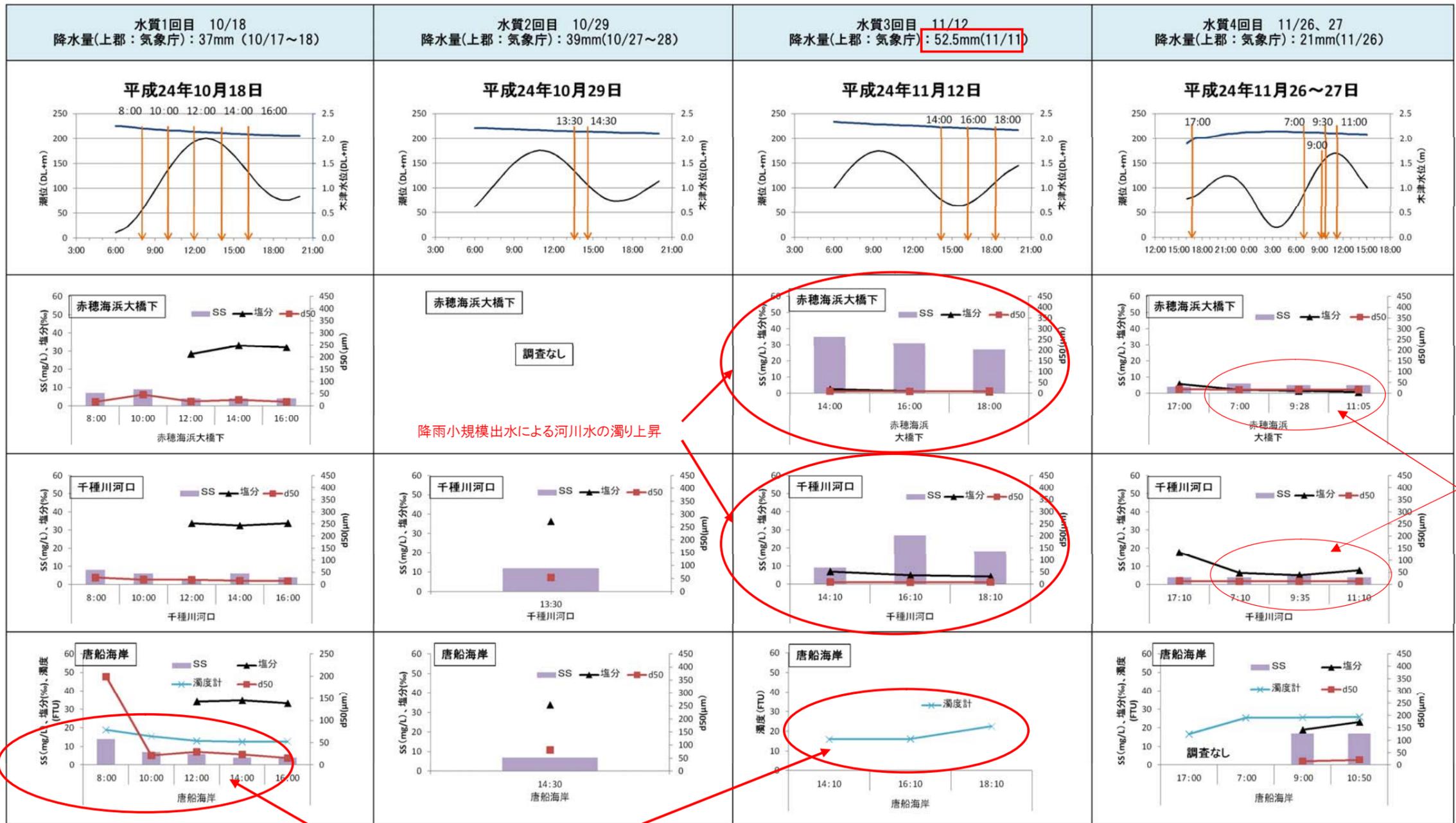
図- 2.10 鉱物分析(X線解析)結果

2.2.3 流況等の状況 (第2回委員会 資料-2 p.2-20~34 参照)

(1) 水質 (調査実施日:H24.10.18、10.29、11.12、11.26~27)

水質調査結果は図-2.11 に示すとおりである。

- 出水によって河川からの流入 SS 濃度は上昇する傾向が見られたが、小規模な降雨であったため、赤穂海浜大橋下で SS 濃度は 30mg/L 程度であった。
- 上げ潮時には、干潟で SS 濃度が上昇する傾向が見られ、干潟域では潮汐による SS 濃度の上昇と低下が繰り返されていると考えられる。
- 河川水中の浮遊物の中央粒径は、潮時や降雨に関わらずシルト分以下であった。



※潮位は赤穂の推算潮位

上げ潮時は、表層を河川水が流れているため、河川範囲の塩分に変化無し。

上げ潮時のSSは10mg/L前後。下げ潮時、SSは10mg/L以下。上げ潮時は干潟でSS、濁度が上昇傾向。

図-2.11 水質調査結果

(2) 波浪、SS (調査実施日: H24.9.27~11.30)

波浪、SS(濁度)、風向風速、潮位の時系列変化は図- 2.12 に示すとおりである。

- 10月に比べて11月は西風～北風の頻度が多い。
- 10m/s程度の南寄りの風が発生すると、唐船海岸では有義波高や約1.0m近くになり、SS濃度が急増する。
- 10月、11月ともに千種川河口よりも干潟部の方がSS濃度は高い傾向にある。
- 11月12～15日の干潟部のSS濃度変化をみると、南寄りの風が卓越し、波高も大きかった11月11日に最大であったことから、南寄りの風速が大きい場合、干潟部の底泥巻き上げは大きくなるものと考えられる。
- 有義波高が30～50cmでも干潟部のSS濃度は30～40mg/Lに上昇し、小規模な波浪でも干潟では巻き上げが発生している。

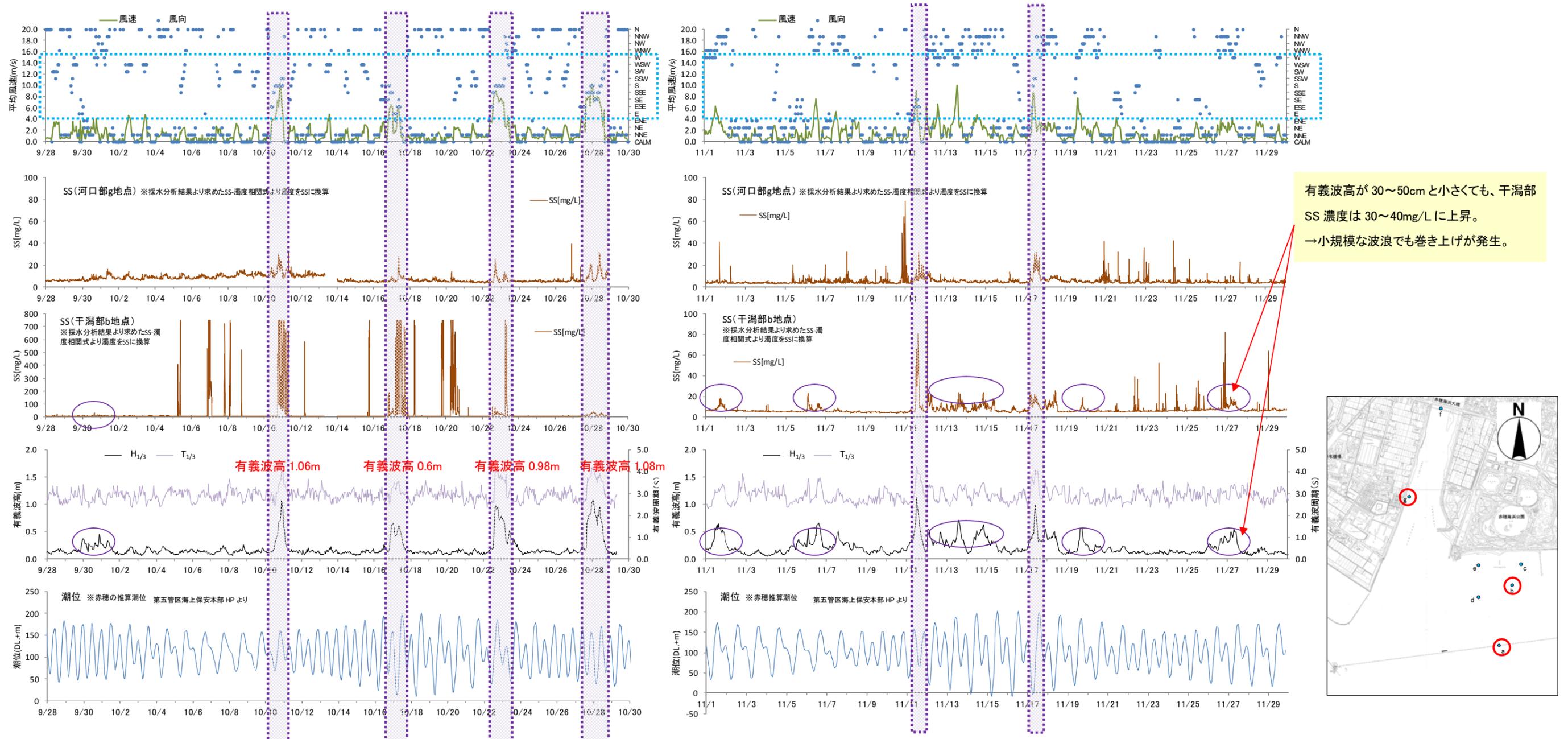
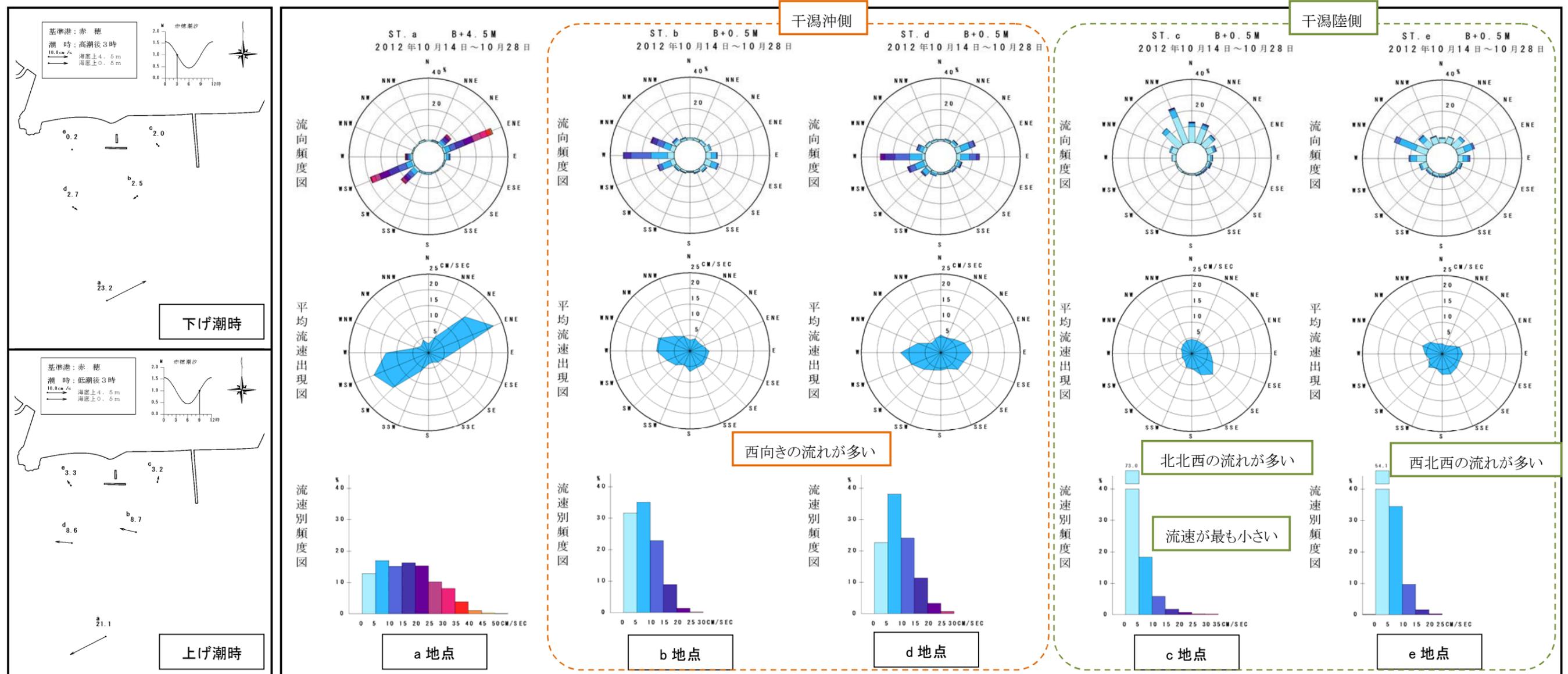


図- 2.12 波浪、SSの経時変化

(3) 流況 (調査実施日: H24.9.27~11.30)

干潟部の濁りが高く見られ、かつ沖合、干潟部、海岸部の流況が同時に観測されている10月14日~28日の観測データより調和分解を行って、平均大潮期流況図(左)を作成し、流況頻度について整理した。

- 海岸沖合では、上げ潮時には西流、下げ潮時には東流となり、半日周期の潮汐流が卓越している。
- 干潟部4地点(b,c,d,e)になると、水深の減少や海岸地形の影響によって流速は小さくなる。
- 流況頻度図を見ると、c地点の流速が最も小さく、T突堤と東防砂堤に囲まれた海岸地形の影響を受けているものと考えられる。
- 干潟部のb、d地点は西寄りの流れの出現頻度が高く、平均流速も西寄りの流れが大きい。これは沖合を流れる潮汐流が干種川右岸側の埋立地の影響を受けて東流時の干潟部への流れが小さくなるためと考えられる。



図一 2.13 平均大潮期流況図及び流況頻度(10月14日~29日データより作成)

(4) 現地調査結果のまとめ

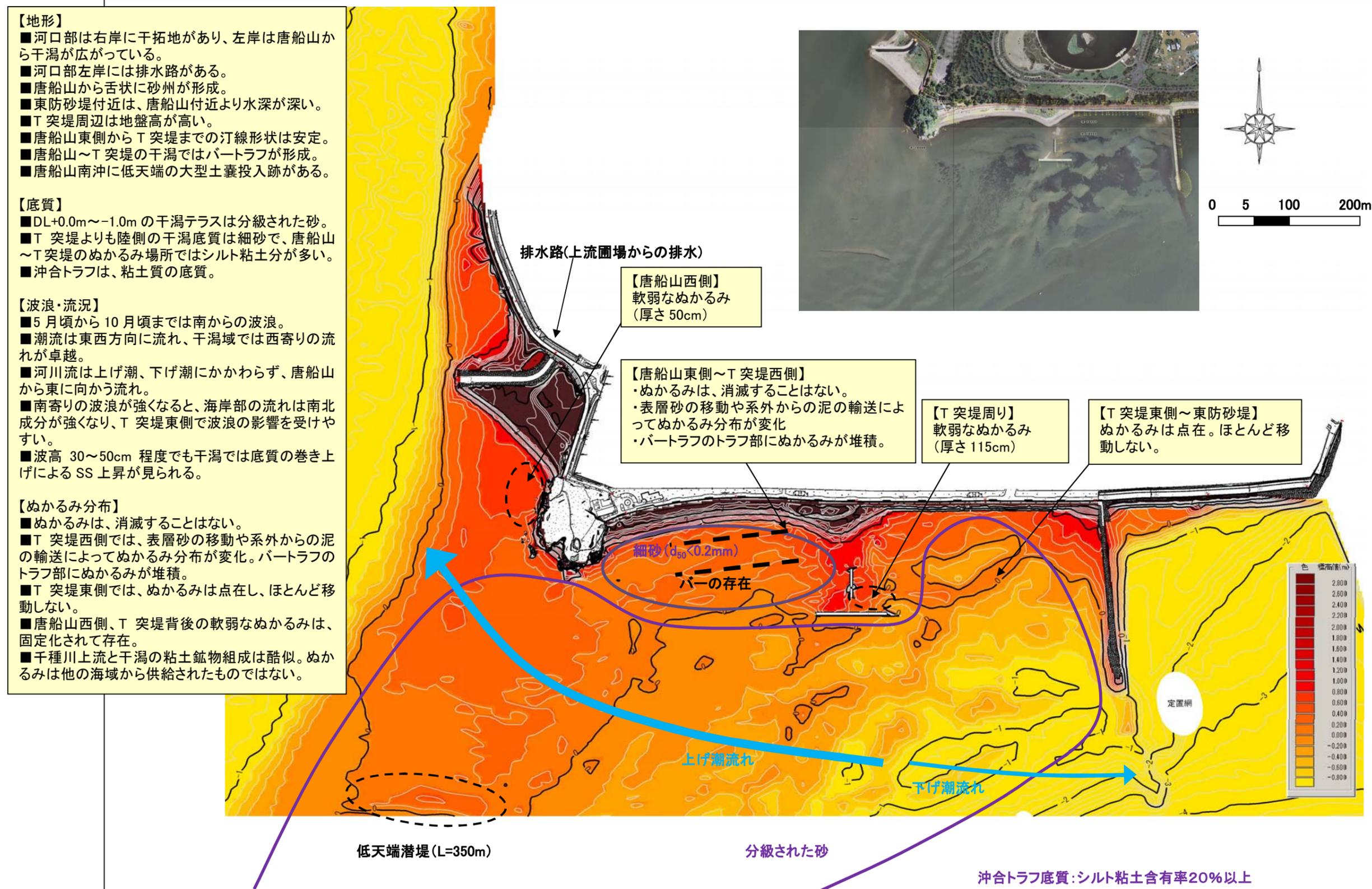


図- 2.14 現地調査結果まとめ -平成 24 年度-

3. 過去の気象状況の整理

(第2回委員会 資料-2 p.2-1~8 参照)

3.1 平成23年の気象

平成23年の気象状況

- 【降水量】 ○ 上郡観測所における9月の月間降水量(461mm)は、過去20年の月間降水量(155.7mm)に比べ、約3倍の雨量を観測している。
- 上郡観測所では、平成23年9月の月間降水量が観測史上(1976-2011)2位、年間降水量は観測史上(1976-2011)3位の降水量を記録している。
- 【水位】 ○ 特に紀伊半島(和歌山県・奈良県・三重県)で甚大な被害をもたらした台風12号は、9/3午後6時頃、岡山県南部に上陸し、同日上郡観測所で確認された降水量は185mmにも上った。これは、過去20年間の月間平均降水量に対する約1.2倍の雨量である。
- 台風12号が接近した9/3及び9/4、台風15号が来襲した9/21には、木津観測所における水位が一時的に、はん濫注意水位3.80mを上回った。
- 【風向・風速】 ○ 家島観測所における風向きは、6~10月中旬にかけて、南東~南南西の風が卓越している。また、1~2月は西寄りの風、11~12月は北よりの風が卓越している。

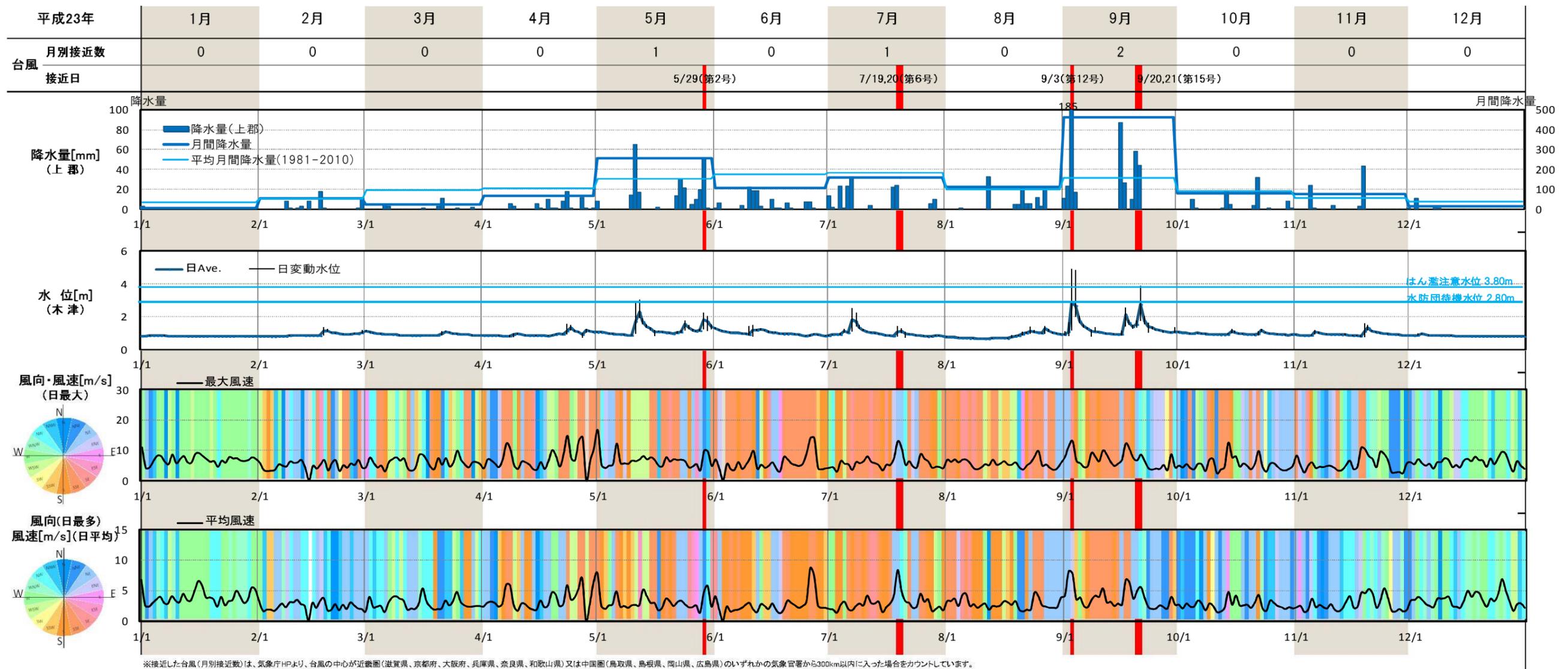
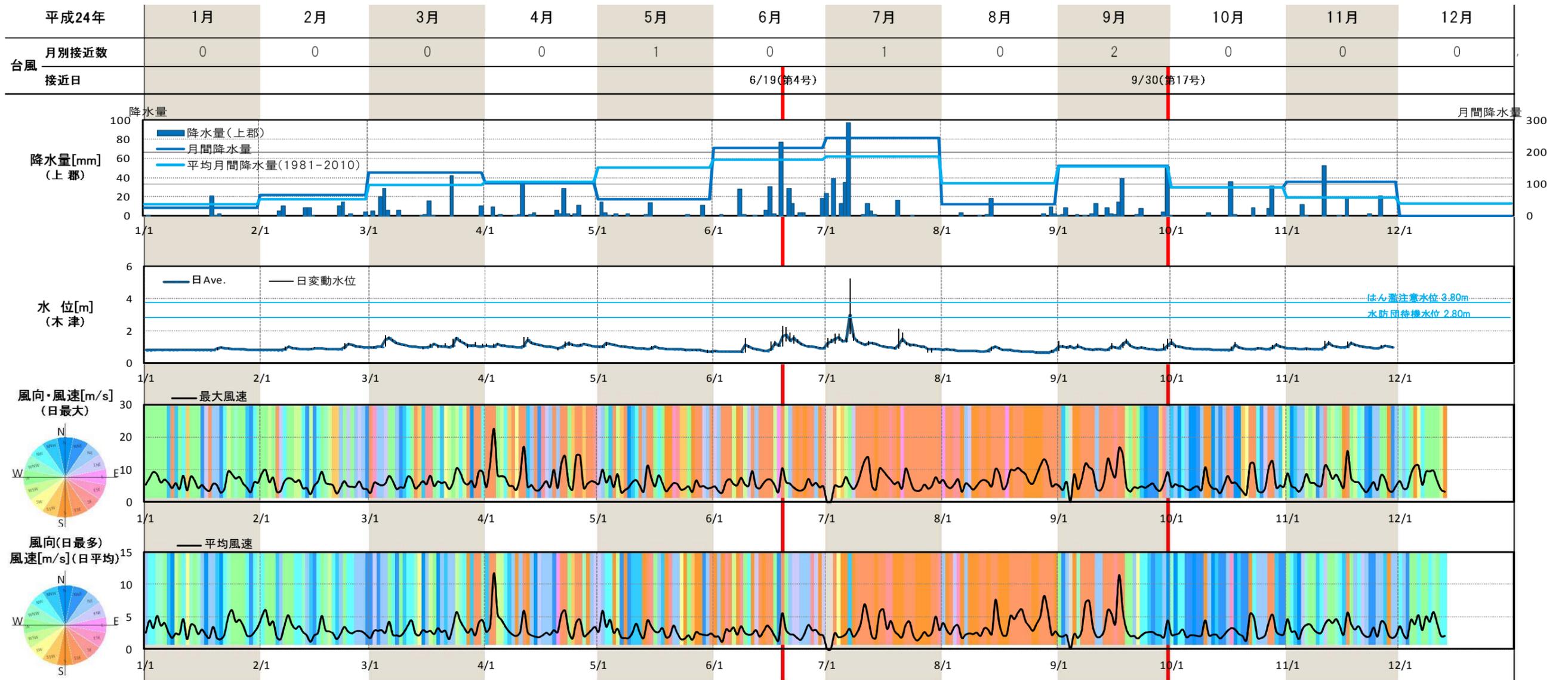


図- 3.1 過去の気象状況 -平成23年-

3.2 平成 24 年の気象

平成24年の気象状況

- 【降水量】 ○ 梅雨前線の影響により西日本各地で局地的豪雨が続き7月上旬の上郡観測所では、7/1～7/7の1週間で過去20年の月間降水量(155.7mm)を上回る207mmの雨量を観測している。
- 【水位】 ○ 梅雨前線の南下により局地的豪雨に見舞われた7/7は、木津観測所において日平均水位(2.99m)が水防団待機水位(2.80m)を上回り、明け方5時頃には、一時的に氾濫注意水位(3.80m)を大きく上回る5.24mの水位を記録している。
- 【風向・風速】 ○ 4/3は日本海で急速に発達した低気圧の影響により各地で広範囲で記録的暴風雨が観測された。家島観測所でも日平均風速11.7m/sを記録し、最大瞬間風速は観測史上(2008-2011)最も速い30.6m/sを記録した。また、日最大風速(22.5m/s)も4月としては観測史上(1979-2011)1位を記録した。



※接近した台風(月別接近数)は、気象庁HPより、台風の中心が近畿圏(滋賀県、京都府、大阪府、兵庫県、奈良県、和歌山県)又は中国圏(鳥取県、島根県、岡山県、広島県)のいずれかの気象官署から300km以内に入った場合をカウントしています。

図- 3.1(2) 過去の気象状況 -平成24年-

4. シミュレーション(再現計算) (第2回委員会 資料-2 p.2-33~34 資料-3 p.3-1~13 参照)

4.1 干潟部底質が移動する波浪諸元の推定

現地調査結果より、常にぬかるみが移動していると考えられるが、当該海岸の底質のシルト分が大量に移動して流れの弱いT突堤背後に堆積すると考える場合、広範囲にわたって土砂が海岸に移動する必要がある。

底質調査結果から、干潟底質が広範囲に移動したと考えられるのは、含泥率が低い場所であったDL-1.0m~0.0mの範囲と考えられる。したがって、DL-1.0mの水深帯の底質が全面移動状態となる波浪が、干潟部のシルト分をより多く海岸部に輸送する外力の一つと考えられる。

平成24年4月3日の爆弾低気圧接近時の波浪諸元は、 $H_{1/3}$ 1.66~1.78m、 $T_{1/3}$ 4.7~4.9secであることから、図-4.1の結果より、潮位に応じて波浪諸元を整理すると以下のとおりであり、干潟部にシルト粘土が堆積した状態であった場合、広範囲のシルト粘土分が移動し、流速が小さくなる海岸部に堆積した可能性がある。

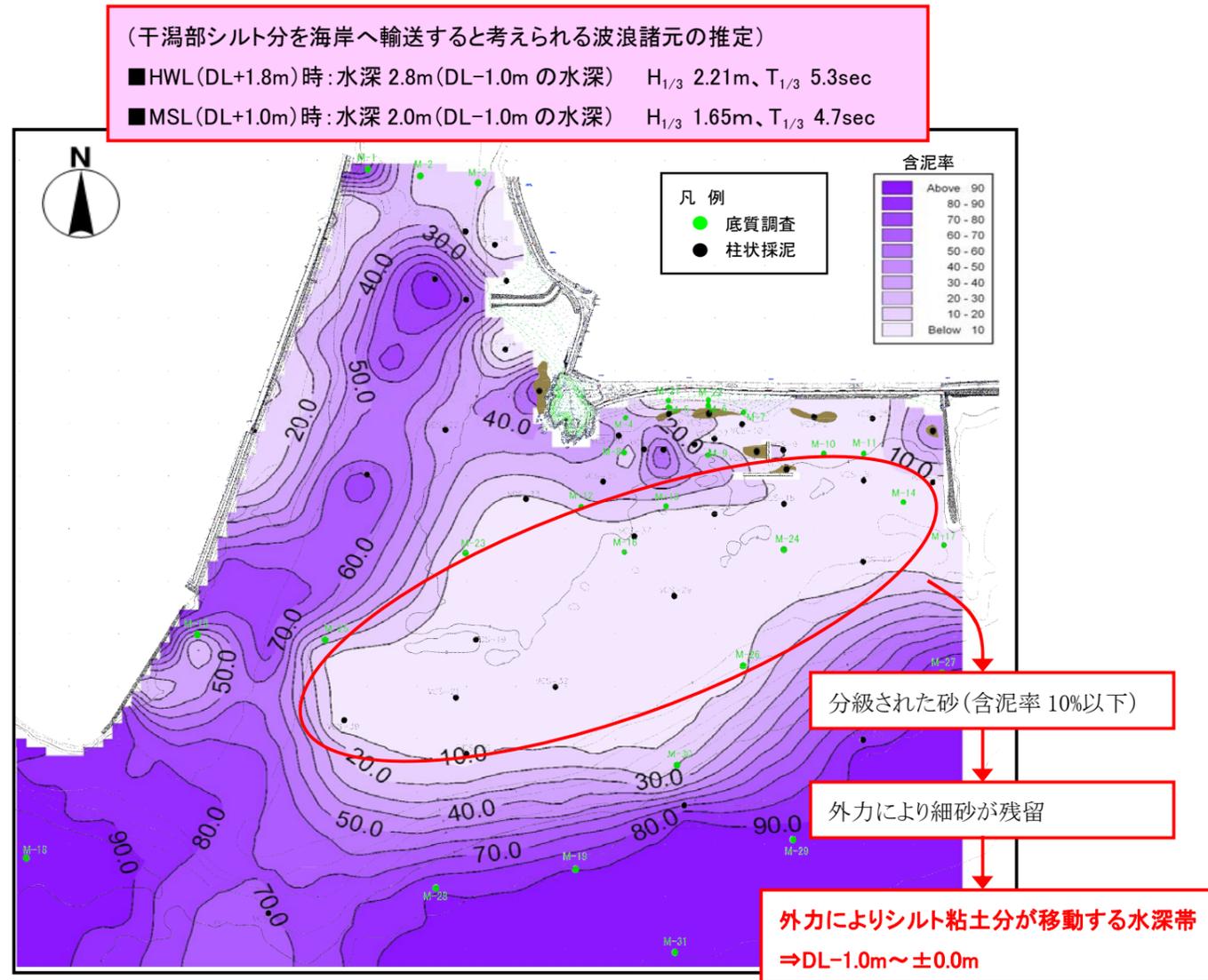


図-4.1 表層泥の含泥率(シルト含有率)の分布状況

また、粘土についてはシルトよりも深い水深から動き始めるが、粘土が多く堆積しているのは沖合のトラフである。平成24年4月の高波浪時を考えると移動限界水深は5.4~5.8mであり、干潟から急激に水深が深くなる地形であることも踏まえると、粘土が動き始めるとしてもDL-6.0m以浅であると考えられる。

すなわち、ぬかるみの主な供給源は、沖合トラフではなく、干潟部あるいは河川部に堆積したシルト粘土分と考えられ、砂分はDL+0.0m以浅から動き始めるのでシルト粘土よりも移動可能な面積は小さい。

4.2 干潟部への土砂供給源の推定

現地調査では出水時の河川流入水、流量のデータが得られなかったが、4月3日のぬかるみ発生がそれ以前の出水によって干潟部へ土砂が供給されたと考え、前年の平成23年9月3日、同年9月20日~21日の台風12号と15号が原因イベントとしてあげられる。

「2.1」で整理したとおり、この台風時は流域全体で大雨を記録しており、木津水位は最高水位4.89mを記録し、水防団待機水位2.8mを17時間連続で超過していた。こうした大規模な出水により大量の土砂が干潟域に流入した可能性がある。また、平成23年9月末から平成24年4月3日までの期間で有義波高1.65mを超える波浪は推算結果からは見られない。

すなわち、平成23年9月の大規模出水で干潟域に堆積した土砂が、平成24年4月3日の爆弾低気圧で一気に海岸部に集積した可能性がある。

(土砂供給源の想定)

- ・家島アメダス風データと現地風観測結果、現地波高と現地風観測結果より推算した波高において、それぞれ相関関係が得られたことから、家島アメダス風データより唐船海岸へ来襲した過去の波浪を推算した。
- ・ぬかるみの主な供給源は、沖合トラフではなく、干潟部あるいは河川部に堆積したシルト粘土分と考えられ、砂分はDL+0.0m以浅から動き始めるのでシルト粘土よりも移動可能な面積は小さくなる。
- ・干潟部のDL-1.0m~±0.0mにシルト粘土が堆積していた場合、平成24年4月3日の爆弾低気圧接近に伴う波浪(有義波高最大値1.78m)によって、干潟域のシルト粘土は広範囲で動き出し、大量に海岸へ輸送される可能性があると考えられた。
- ・平成23年9月の台風による大規模出水が、平成24年4月3日の爆弾低気圧の接近による波浪でぬかるみが一気に拡大した可能性がある。

4.3 計算条件等(再現計算)

4.3.1 計算地形及び計算メッシュ

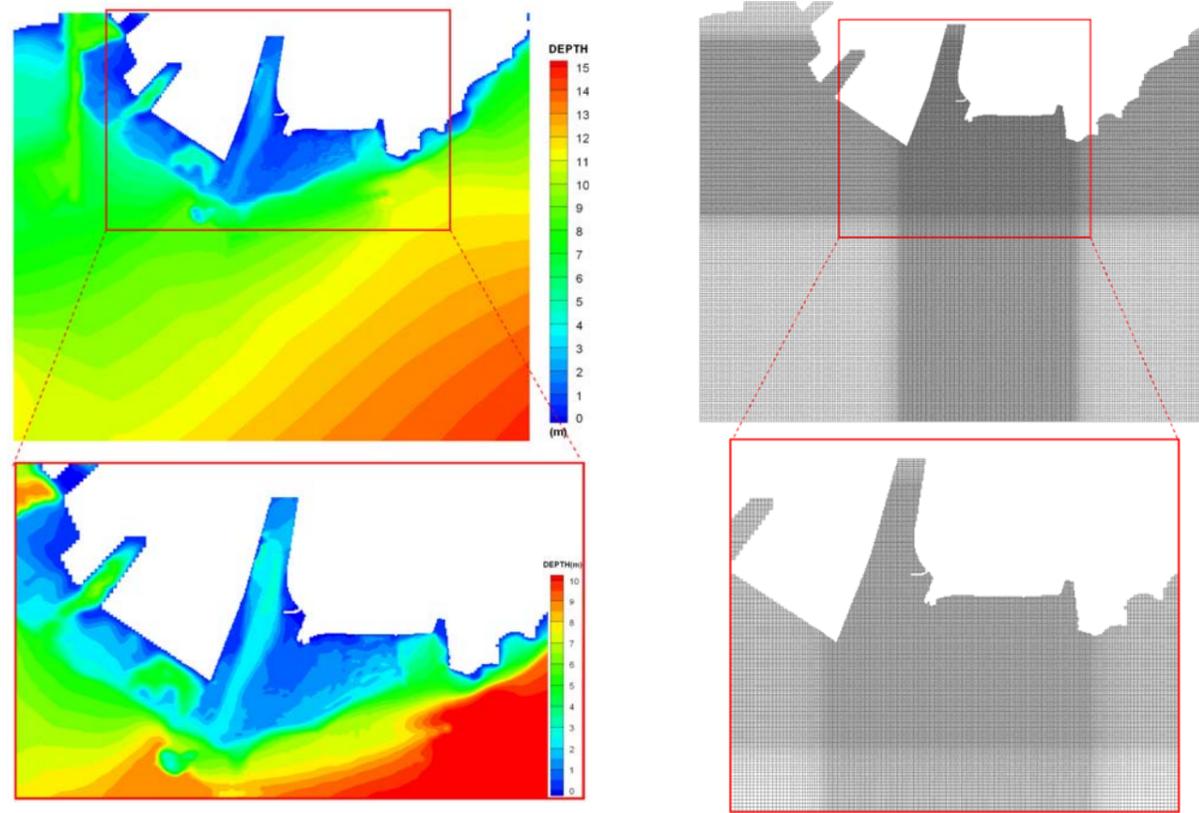


図- 4.2 地形条件及び計算メッシュ(左: 計算地形、右: 計算メッシュ)

4.3.2 計算ケース及び条件

表- 4.1 計算ケース(再現計算)

No	計算対象外力	計算条件概要					
		対象期間	地形条件	潮汐条件	河川条件	波浪条件	風条件
1	平水時、平常時(イベントなし)	1昼夜	現況	M2+S2	低水流量 $13.2\text{m}^3/\text{s}$ 流入SS: 水質調査結果より設定	なし	なし
2	河川出水(H23.9.3~5)	3日間程度	現況	M2+S2	高水流量: 木津H-Q 流入SS: $Q_s = 10^{-7}Q^2$	なし	家島アメダス
3	高波浪(H24.4.3)	4時間程度	No.2の出水後の地形	M2+S2	低水流量 $13.2\text{m}^3/\text{s}$ 流入SS: 水質調査結果より設定	$H_{1/3} = 1.63\text{m}$ $T_{1/3} = 4.7\text{s}$	家島アメダス
4	小規模波浪	8時間程度	No.4の高波浪後の地形	M2+S2	低水流量 $13.2\text{m}^3/\text{s}$ 流入SS: 水質調査結果より設定	$H_{1/3} = 0.81\text{m}$ $T_{1/3} = 3.8\text{s}$	現地観測値

4.4 再現計算結果

4.4.1 平水・平常時(1 昼夜)

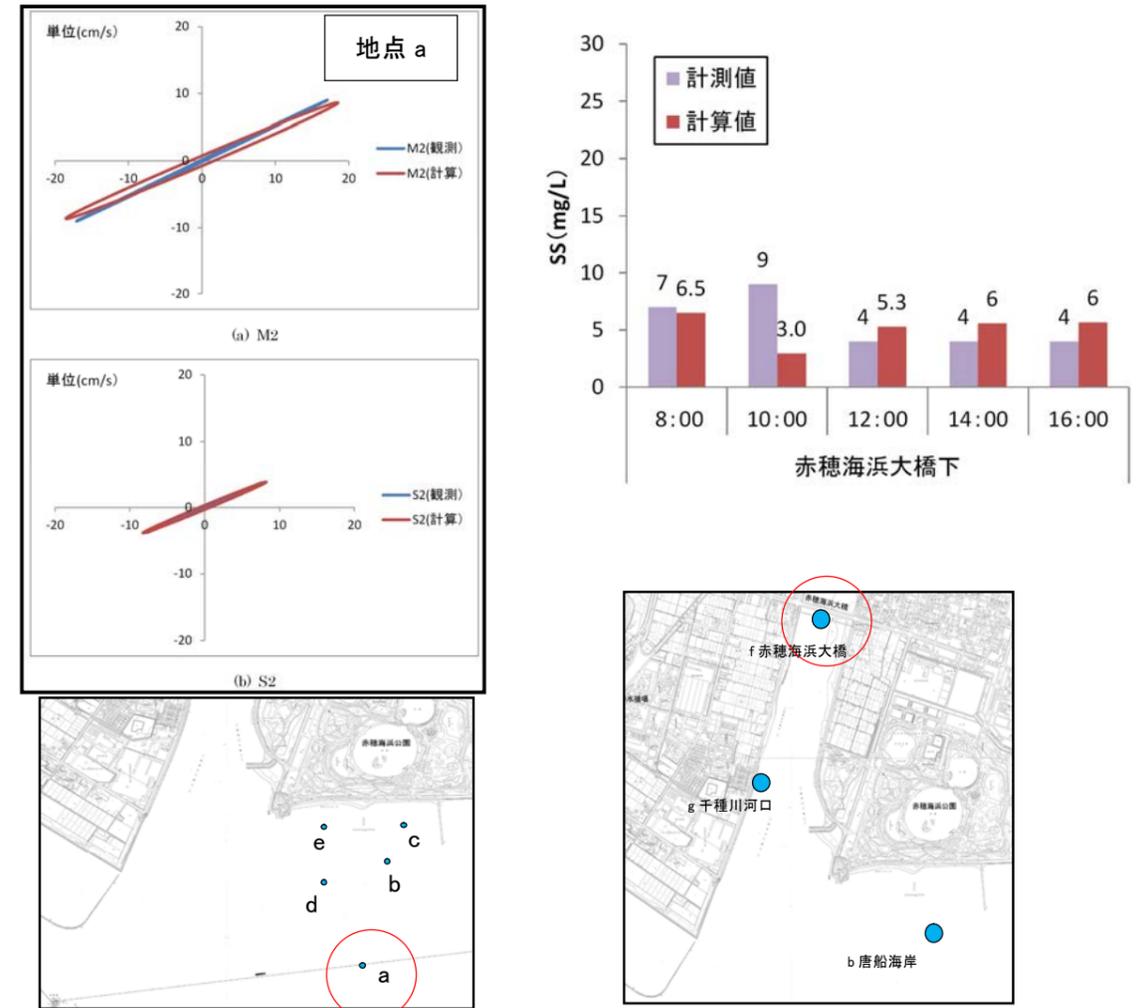


図- 4.3 再現性検証(左: 潮流、右: 水質 SS)

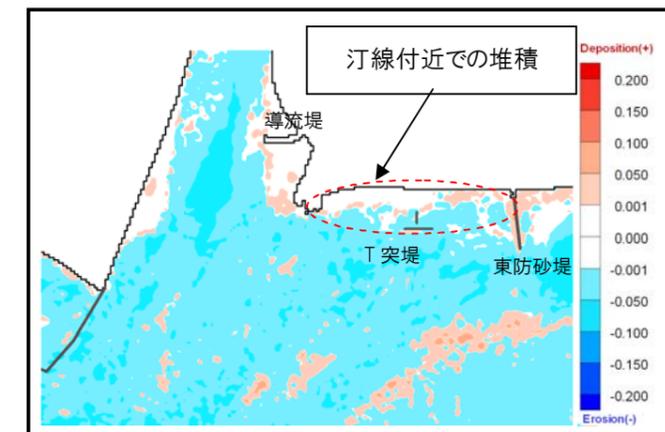


図- 4.4 地形変化計算結果

4.4.2 イベント発生時

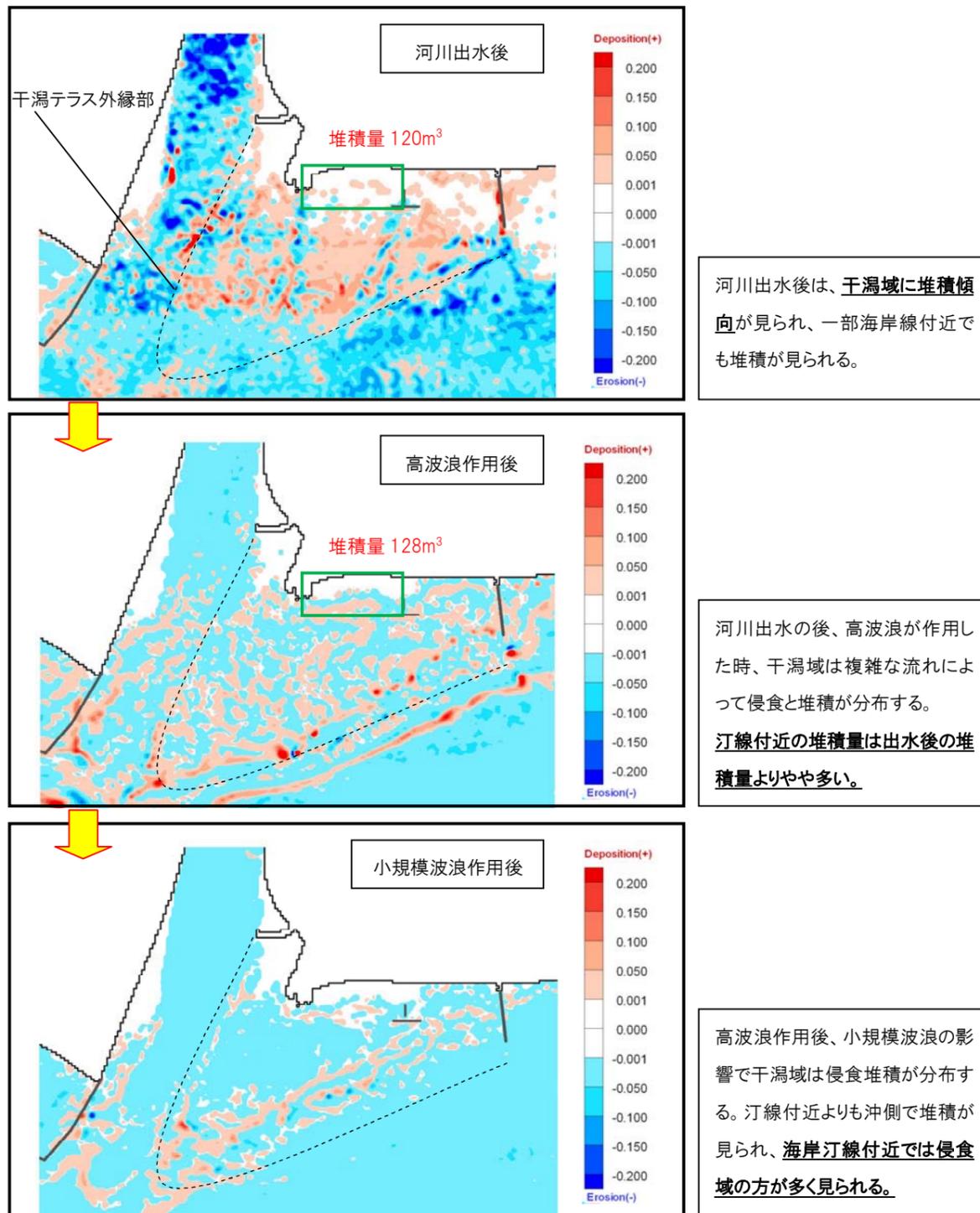


図- 4.5 イベント発生時の地形変化計算結果

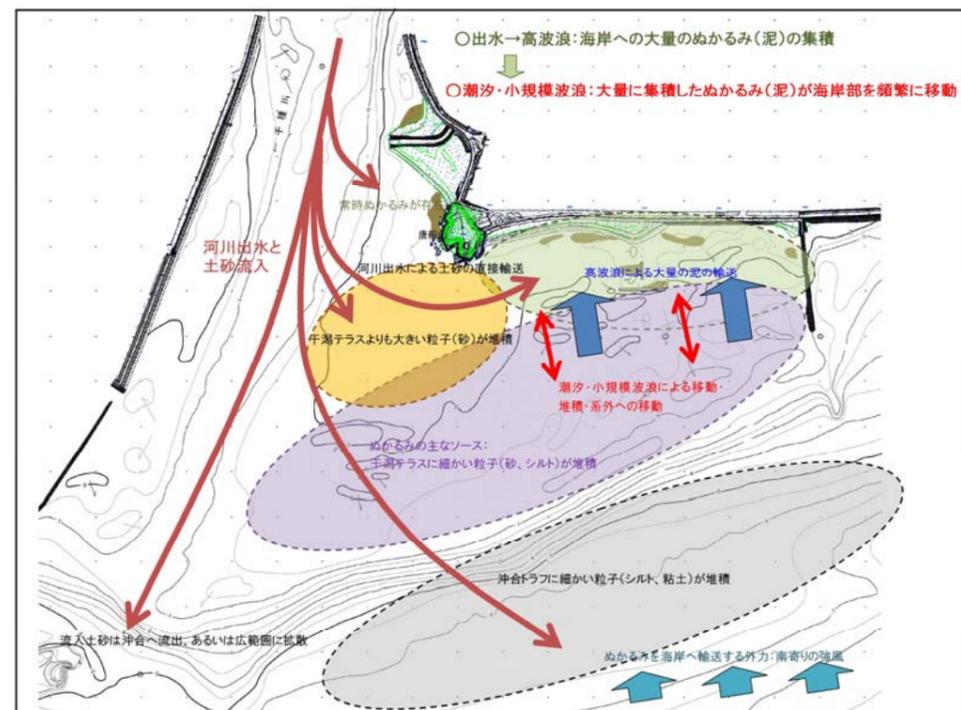
5. むかみ発生原因の推定 (第2回委員会 資料-3 p.3-14 参照)

【現地調査及び既存資料整理結果】

- 土質調査結果より、波浪により海底面が侵食され、下層の粘土層が露出し、むかみが発生した可能性は低い。
- 既存資料及び波浪観測結果より、過去10年間で来襲した波浪を推算した結果、最大で有義波高2.77m、有義波周期5.8sであり、この波浪による底質移動限界水深はシルト粒子に対して約3.7mである。すなわち、沖合に堆積した泥が波浪によって大量に海岸へ輸送される可能性は低いと考えられる。
- むかみは、低気圧の接近によって波高が高くなると移動しやすく、柱状採泥結果からも海岸部の表層泥は移動しやすいものと考えられる。
- 出水によるむかみ拡大の状況は、今回は観測されなかった。

【シミュレーション結果のまとめ】

- ① 平水・平常時
 - T突堤の周辺は侵食域が広い。ただ一部には、東防砂堤背後、T突堤東西側の汀線付近で堆積域が見られる。
 - 全体的に堆積量は小さいが、堆積域の分布状況は現地のむかみの分布状況とよく似た分布であった。
- ② 河川出水後
 - 出水によって干潟テラスへ土砂が堆積し、海岸付近にも土砂供給がある。
 - 河川左岸側の導流堤周辺では、堆積傾向が見られる。
- ③ 高波浪作用後
 - 全体的に河川出水で堆積した干潟域の土砂は、高波浪の作用で周辺に拡散して、干潟では侵食堆積傾向が複雑になる。また、T突堤周辺及び汀線付近では堆積傾向が見られる。
- ④ 小規模波浪作用後
 - T突堤西側では堆積が見られるが、汀線付近では侵食傾向となっている。



▲ むかみ発生原因の推定結果