

干潟・浅場造成試験による 底生生物生息環境の再生

—熊本港における現地実証試験結果について—



令和7年3月

国土交通省九州地方整備局 熊本港湾・空港整備事務所

目 次

1. はじめに	1
2. 干潟造成の経緯	2
3. 干潟造成のコンセプト	4
3.1 背景・目的	4
1) 有明海・八代海における干潟の推移	4
2) 目的	4
3) 造成場所	5
3.2 干潟造成のコンセプト	7
1) コンセプト・制約条件等	7
2) 生物の加入イメージ	8
4. 干潟の形状等の検討・造成	11
1) 設計に向けての事前調査	11
2) 設計・材料	13
3) 造成工事	13
4) 造成干潟と潮位の関係	16
5. モニタリング調査項目	18
5.1 モニタリング調査の目的	18
5.2 モニタリング調査項目	18
6. 造成干潟における生物の生息環境の把握	21
6.1 地盤高の状況	21
6.2 底質調査結果	30
6.3 地盤環境調査結果	35
7. 造成干潟における生物の生息状況の把握	37
7.1 底生生物調査結果	37
1) 種類数・個体数・湿重量の推移	37
2) 重要種の出現状況	43
7.2 出現種の特徴整理(他のエリアへ展開するための条件整理)	44
1) 想定出現種の加入状況	44
2) 環境条件のまとめ	46
8. 統計的手法を用いた底質と底生生物の関係性に関する解析・評価	54
1) 概要	57
2) 調査結果	58

9. 今後の利用・活用に向けて	62
9.1 炭素貯留の場としての造成干潟	62
9.2 環境学習等への利用	64
9.3 生態系サービスの視点	66
9.4 ネイチャーポジティブ、ウェルビーイングの視点	67
10. まとめ	69
11. おわりに	72

1. はじめに

有明海・八代海は、閉鎖性の高い海域であり、特に潮位差が大きいことから広大な干潟が広がり、ムツゴロウをはじめとした固有種や独特の生態系が存在する。一方、特に近年では夏季を中心とした貧酸素水塊の発生や赤潮の発生、ノリの色落ちなど、海域環境の悪化が問題となっており、その要因としては陸域からの流入負荷の蓄積、底質の悪化、干潟の減少、生物相の劣化、気候変動等、様々な事象が複雑に関係しあっているとされている。

これらの現状を踏まえ、国土交通省九州地方整備局熊本港湾・空港整備事務所では、有明海・八代海の環境改善方策の一つとして、中潮帯・高潮帯の干潟を創出し、生物の生息状況を把握すること、およびその場を評価する技術等を取得することを目的として、実証試験として平成 28 年 8 月に熊本港に階段状の干潟を造成し、生物の生息状況等に関するモニタリング調査を実施した。

本資料は、干潟造成の際の考え方や造成干潟のモニタリング調査で得られた成果をとりまとめたものであり、今後、有明海・八代海等において干潟造成を検討する際の参考となることを想定し、他の海域や今後の利活用につなげるために整理したものである。

2. 干潟造成の経緯

国土交通省九州地方整備局熊本港湾・空港整備事務所主催の「有明・八代海海域環境検討委員会」、及び「環境再生技術等検討ワーキンググループ」では、下図のように「有明・八代海の環境特性に応じた生物多様性のある海域環境の回復」を全体目標としており、当面の目標として「底生生物の回復、底生生物の生息環境の改善」を掲げている。

この目標を達成するにあたりどのような環境方策が底生生物の生息環境の改善につながるのか、その試みの一つとして干潟造成に係る現地実証試験を行い、有明海の底生生物の底質や地盤高の選好性及び干潟造成区域への加入状況を調べることにした。

現地実証試験は、実海域で比較的規模の小さい実験的な試みを行い、その効果や具体的な改善点、管理手法等を把握することで、有明・八代海の全体目標を達成するための一助となる実践的なデータの取得・蓄積等を目指すものである。

当該実証試験と全体目標との関係イメージを図 2.1 に、検討委員会等のメンバーを表 2.1 および表 2.2 に示す。

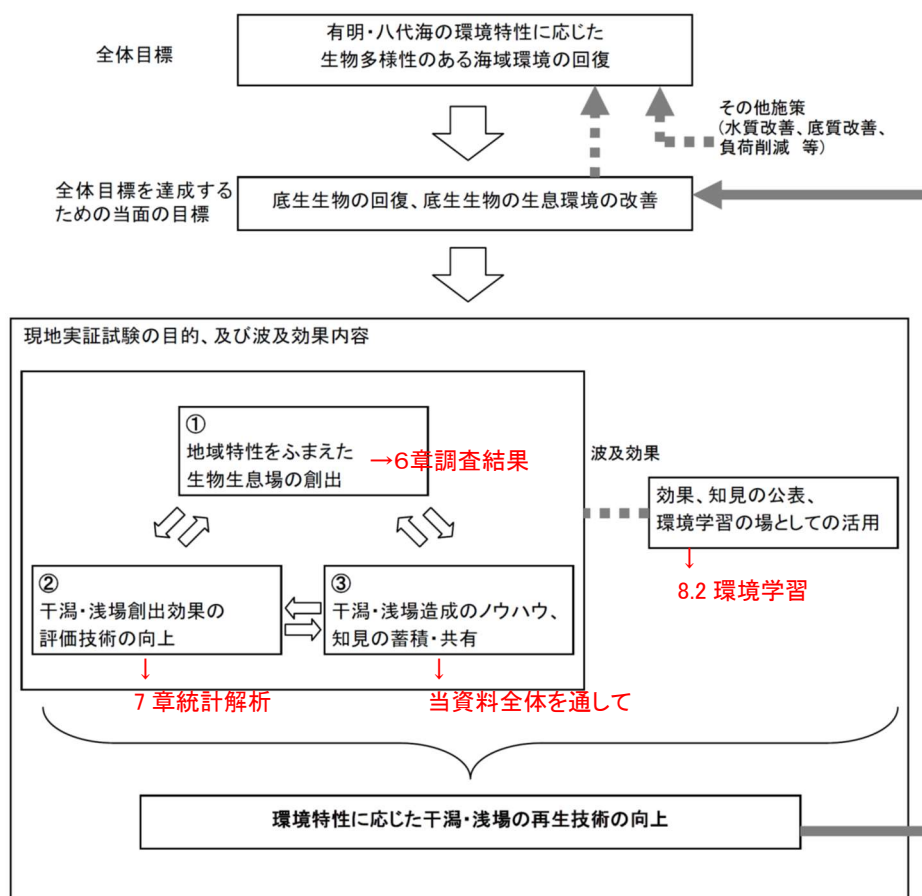


図 2.1 当該実証試験と全体目標との関係イメージ

表 2.1 有明・八代海海域環境検討委員会委員

区 分	氏 名	部 署 ・ 役 職
委員長	滝川 清	熊本大学 名誉教授
委 員	岡田 知也	国土交通省 国土技術政策総合研究所 沿岸海洋・防災研究部 海洋環境・危機管理研究室長
	上久保 祐志	熊本高等専門学校 企画運営部 教授
	辻本 剛三	熊本大学 客員教授
	中川 康之	国立研究開発法人港湾空港技術研究所 特別研究主幹（沿岸・海洋研究担当）・研究監併任
	福岡 弘紀	国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産技術研究所 環境・応用部門 沿岸生態システム部 有明海・八代海グループ長
	逸見 泰久	熊本大学 くまもと水循環・減災研究教育センター 教授
	矢野 真一郎	九州大学 大学院工学研究院 環境社会部門 教授
	山口 敦子	長崎大学 総合生産科学域（水産学系）教授

(令和 6 年度現在)

表 2.2 有明・八代海海域環境検討委員会 環境再生技術等検討WG 委員

区 分	氏 名	部 署 ・ 役 職
委員長	滝川 清	熊本大学 名誉教授
委 員	秋山 吉寛	国土交通省 国土技術政策総合研究所 沿岸海洋・防災研究部 海洋環境・危機管理研究室 主任研究官
	伊豫岡 宏樹	九州産業大学 建築都市工学部 都市デザイン工学科 准教授
	上久保 祐志	熊本高等専門学校 企画運営部 教授
	小森田 智大	熊本県立大学 環境共生学部環境資源学専攻 准教授
	鈴木 誠二	長崎大学 大学院工学研究科 准教授
	辻本 剛三	熊本大学 客員教授
	福岡 弘紀	国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産技術研究所 環境・応用部門 沿岸生態システム部 有明海・八代海グループ長

(令和 6 年度現在)

3. 干潟造成のコンセプト

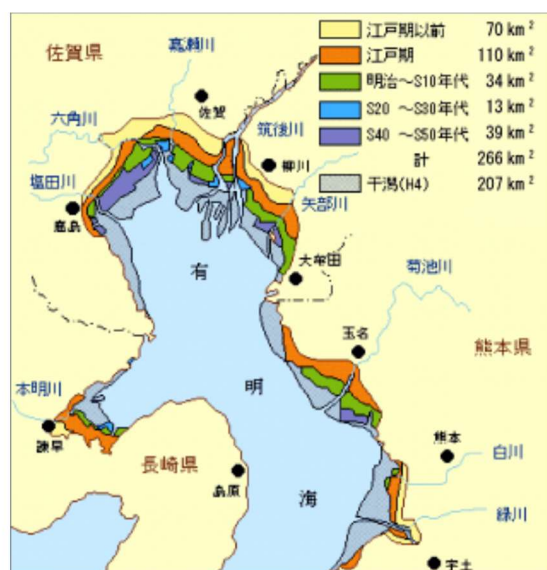
3.1 背景・目的

- ◆ 有明海・八代海にかつて広く存在していた中潮帯・高潮帯の干潟・浅場を実証試験として再現し、そこでの生物生息状況の把握、その場を評価する技術を取得することを目的とする。
- ◆ また、これらの場が生物の供給源となるなどして、有明海・八代海の底生生物相の回復、底生生物の生息環境の改善につながることを期待するものである。

1) 有明海・八代海における干潟の推移

有明海・八代海の海岸線の多くは、かつては中潮帯・高潮帯から低潮帯を有する緩やかで連続した地形であり、それらの場所は、砂質や泥質の広大な干潟が広がり、塩生植物を含む多くの生物の生息・生育場であったと考えられる。

しかし、江戸期以前より進められている干拓事業や近年の海岸整備事業等により、特に中潮帯・高潮帯の干潟が消失し、そこに生息・生育する動植物の多様性の劣化、浄化機能の衰退が生じているといわれている¹。



出典：有明海の干拓（九州農政局、「諫早湾干拓事業（有明海と諫早湾の干拓の歴史）」

図 3.1 過去に行われた干拓事業等と干潟位置

2) 目的

当該実証試験においては、有明海奥部に広く現存する低潮帯の泥干潟に連続して、これまでに失われてきた中潮帯・高潮帯の干潟を創出し、場の変化や生物生息状況等をモニタリング調査により把握すること、及びその場を評価する技術等を取得することを目的とした。

さらに、これらの場が底生生物等の供給源になるなどして、また、このような場が複数できることにより、有明海・八代海全体の生物相の回復につながることを期待するものである。

¹ 滝川 清「有明・八代海的环境特性と再生への技術開発」第3回市民公開講座「有明海・八代海を科学する」平成21年10月21日

【目的】

- ・ これまでに失われてきた中潮帯・高潮帯の泥質干潟の創出
- ・ 地盤高と底質の相違による生物の加入状況の確認など環境創造の効果検証



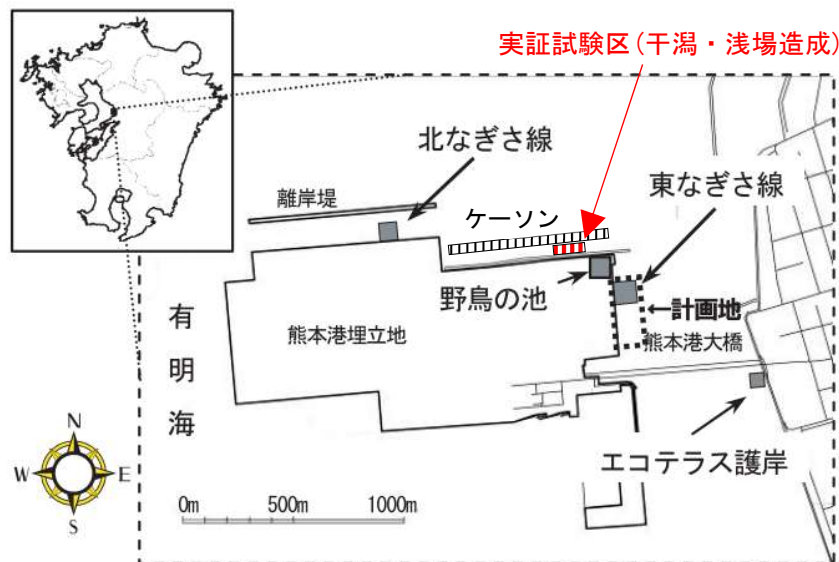
- ・ 他海域での干潟造成の参考事例として活用を期待
- ・ 有明海・八代海全体の底生生物、生息環境の改善など波及効果を期待

3) 造成場所

干潟の造成場所として、かつて高潮帯・中潮帯の干潟が広く存在していた有明海中央部東側の熊本港(夢咲島地区)埋立地の北側の護岸とその沖に設置されたケーソンとの間の水域を選定した。実証試験区位置を図 3.2 に示す。

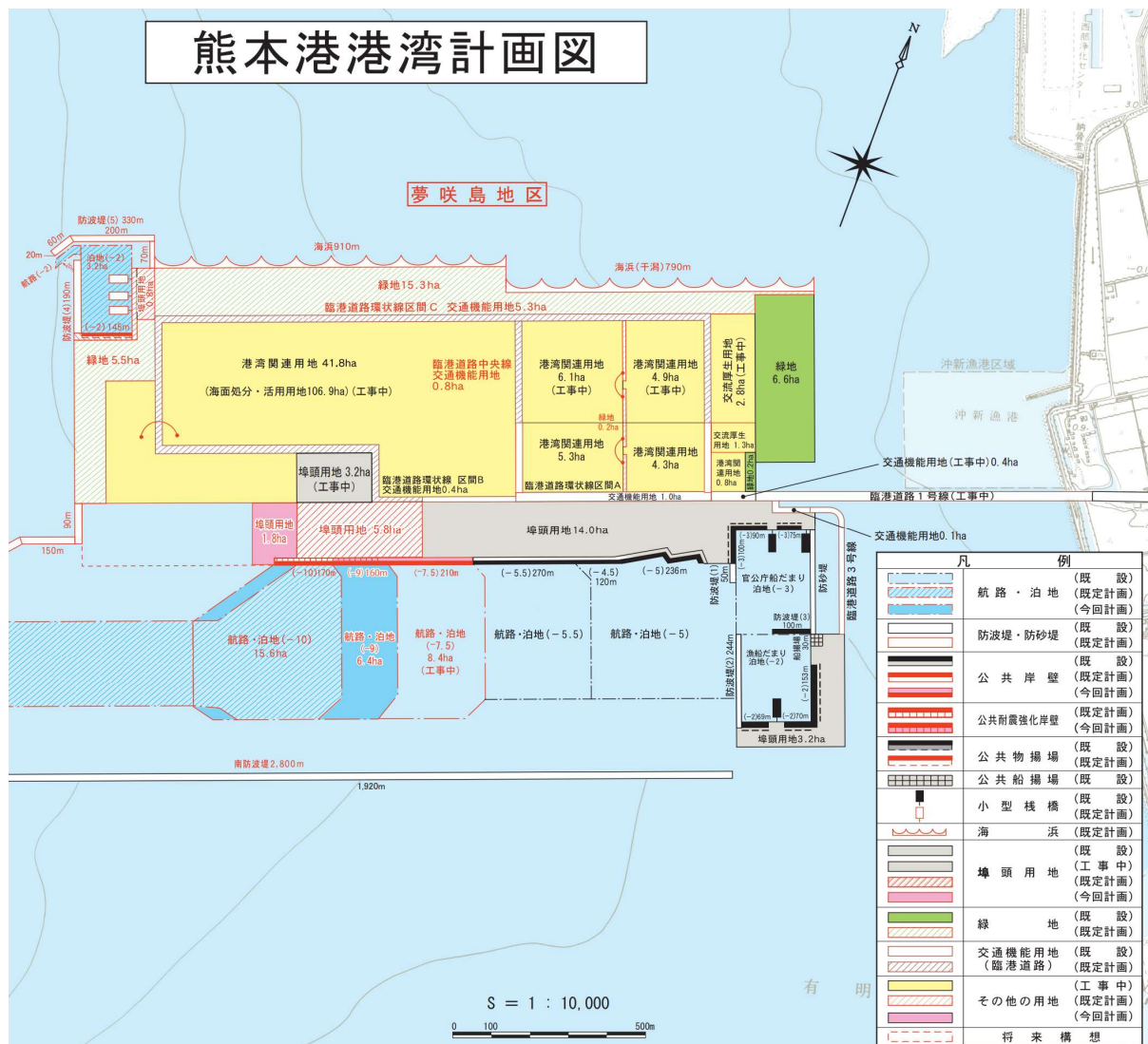
当該水域は緑川河口に位置し、周辺には低潮帯の泥干潟が広がる水域である。なお、港湾計画上、海浜(干潟)用地とされており(図 3.3 参照)、既存のケーソンにより、波浪等の影響の軽減が期待される。

また、周辺には熊本港の一角を掘削して造成された潟湖(せきこ)干潟である「野鳥の池」や、海砂による覆砂や浚渫土砂と混合した底質を用いて新たな生態系の創造を目的とした「東なぎさ線」と「北なぎさ線」、生物生息や親水利用等に配慮した「エコテラス海岸」が存在する。



出典：岡田ら「熊本港における「なぎさ線の回復」現地実証試験経過と維持管理の必要性に関する検討」土木学会西部支部研究発表会(2012.3) に加筆

図 3.2 実証試験区の位置



出典：「熊本港港湾計画書-軽易な変更-」令和5年1月 熊本港港湾管理者 熊本県

図 3.3 熊本港港湾計画

3.2 干潟造成のコンセプト

1) コンセプト・制約条件等

◆ 干潟造成のコンセプトとしては

- ・かつて有明海・八代海に存在していた中潮帯・高潮帯の干潟・浅場を創出すること
 - ・表層の底質は、砂質～泥質の粒径の異なる底質材料を用いること
- として、一方、当該水域における制約条件も踏まえて干潟形状の検討を行った。

干潟造成のコンセプトとしては、有明海・八代海の特徴である、様々な場とそれらの場に応じた生態系が成立していることをふまえ、造成する干潟も地盤高、底質性状を複数設定することで、多様な生物生息の場とすることとした。一方、当該水域における制約条件もふまえ、特に以下の点について留意した。

- 造成干潟は、かつて有明海・八代海沿岸部に広く存在していた中潮帯・高潮帯の干潟・浅場を想定し、そこに生息していた生物の生息場とする。
 - 大潮の満潮時しか冠水しない干潟とするため、最も地盤高の高いエリアを D.L. 4.0m とした。
 - 現地盤高とある程度の連続性を確保するために、現地盤に近い高さのエリアも設定した (D.L.2.5m)。
 - D.L.2.5m ～ D.L.4.0m の干潟を造成するにあたり、造成区域の面積の制約、及び底質性状から傾斜式の地盤は維持できないことから、形状は階段状とした。

人為的な改変が加わっていない自然の海岸線は、波打ち際～干潟・砂浜や海浜植生帯～後背湿地～海岸林など緩やかな地盤変化と種々の植生や生物生息場のある連続したエコトーンが形成されている。当該水域において地盤の高い泥質干潟を形成するためには、緩やかな地盤高を再現できる広い敷地が必要となるが、施工条件から造成面積は制限された。そのため、ここでは既存のケーソンを利用しつつ、干潟間の生物の移動を勘案して低い段差(0.5m)の石積みによる土留め堤を設け、地盤高に変化を持たせることとした。

- 底質環境については、砂質～泥質の粒径の異なる底質材料を表層材に用いることにより、底質の物理環境の相違による生物の加入・生息への応答を確認した。
 - 特に湾奥部に広く分布する泥質の低潮帯の干潟とは異なる、泥質の高潮帯、砂質の低潮帯の干潟を造成することで、多様な生物の生息場の出現を目指した。
 - 泥質の底質環境を再現するために、港湾工事等で発生する浚渫土砂を有効利用し、中込材だけでなく表層材としても活用した。

- 既存護岸と既存ケーソンの間に土砂を盛ることで既存ケーソンや当該水域の現地盤の軟弱層に負荷がかかることが想定され、そのため、カウンターウエイトとして既存ケーソンの沖側に捨て石を設置した。

→また、それら捨て石の護岸についても、砂を留めやすい突堤構造とし、自然の力を利用した砂の堆積・地形変化を確認した。

これら地盤高と底質性状により、物理的な場の性状を変化させ、それらの場の違いによる生物の生息状況、及びモニタリング調査を行うことで、場の変化と生物の生息状況を把握するための実験施設とした。

2) 生物の加入イメージ

造成干潟の形状を、階段状とするための中仕切り堤に石材を用いること、表面に覆砂を行うことなどの複数の材料を用いることや、干潟表面には潮汐により滞筋ができることなどで、微地形の形成が想定され、より多様な環境の創出が期待できる。

先に示した造成干潟のコンセプト等を踏まえ、干潟を造成することで出現すると想定した生物を表 3.1 に示す。また、造成前に想定した造成干潟のイメージを図 3.4 に示す。

表 3.1 造成前の計画段階に検討・抽出した想定出現種

地盤高 底質	1 段目、2 段目 D.L.2.5～3.0m	3 段目 D.L.3.5m	4 段目 D.L.4.0m
砂質	ユウシオガイ、コメツキガニ	P5① ヤマトオサガニ ムラクモキジビキガイ	ハクセンシオマネキ
砂泥質	P3、P4 カワグチツボ ウズザクラガイ アサリ ムツハアリアケガニ	P5①、P5② カワグチツボ ヒラドカワザンショウガイ ハナグモリガイ ヤマトオサガニ ムツハアリアケガニ	フトヘナタリガイ ヒラドカワザンショウガイ ハナグモリガイ ハクセンシオマネキ (植物) ハマツナ フクド シオクグ
泥質	ウミニナ カワグチツボ テリザクラ サルボウ ムツハアリアケガニ ユビナガホンヤドカリ	P5② カワグチツボ ウミマイマイ ヒラドカワザンショウガイ ササゲミエガイ ハナグモリガイ ムツハアリアケガニ ヒメアシハラガニ	P6 ヒラドカワザンショウガイ ウミマイマイ シオマネキ フトヘナタリガイ クロヘナタリガイ アズキカワザンショウガイ ハナグモリガイ ウモレベンケイガニ (植物) ヨシ シチメンソウ フクド

注： **PO** は該当する条件の造成干潟のモニタリング調査地点を示す(図 5.1 参照)。

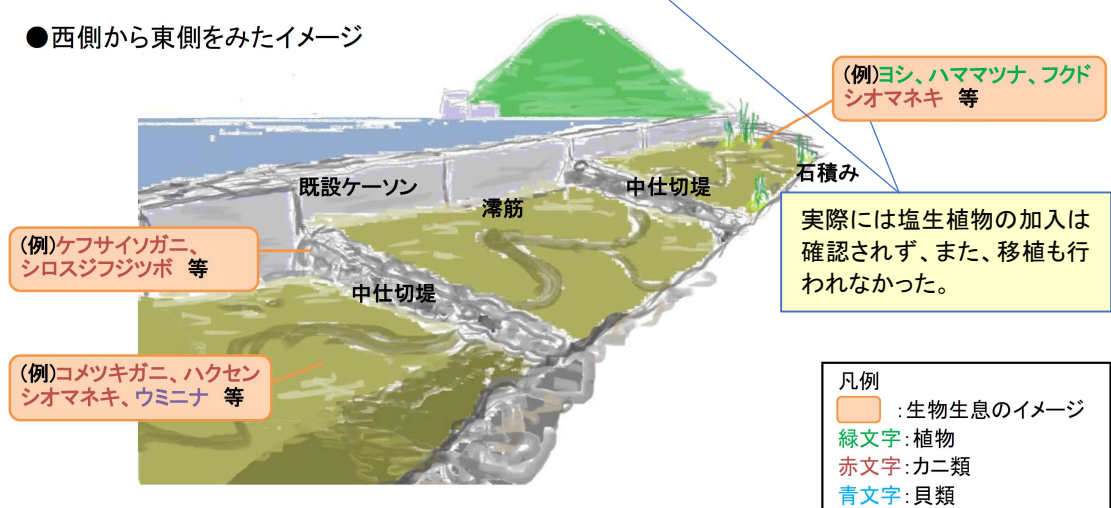
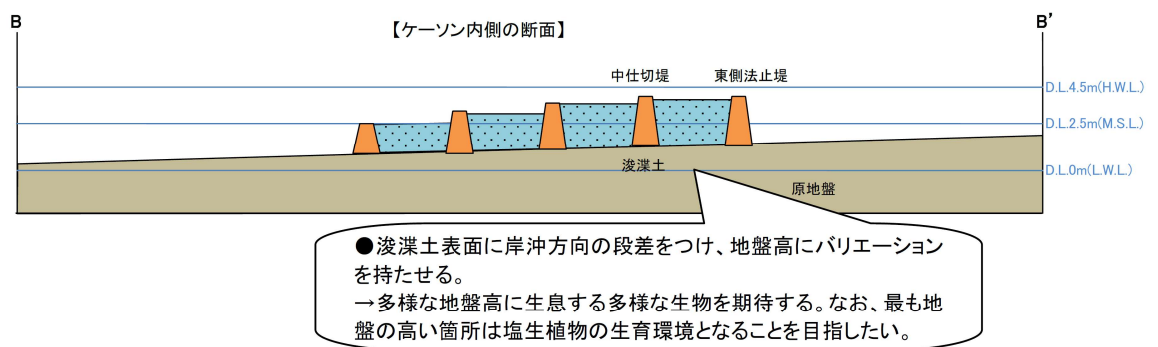


図 3.4 造成前に想定した造成干潟のイメージ

参考：地盤高・底質性状と底生生物

地盤高・底質性状(含泥率)と底生生物との関係について、他事例の結果を以下に示す。

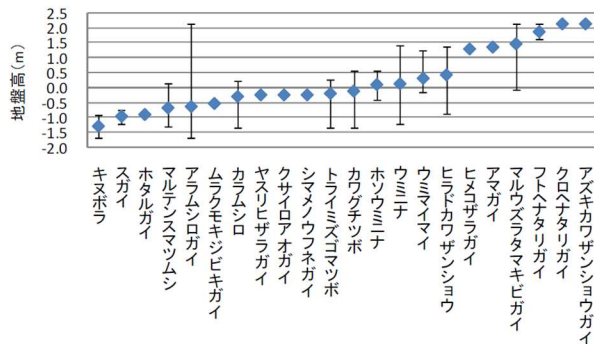


図-2 軟体動物腹足綱の地盤高による生息範囲

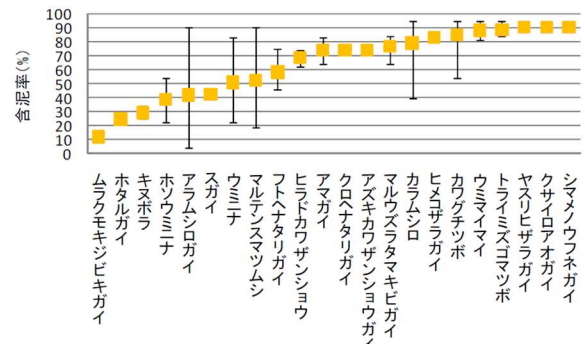


図-3 軟体動物腹足綱の含泥率による生息範囲

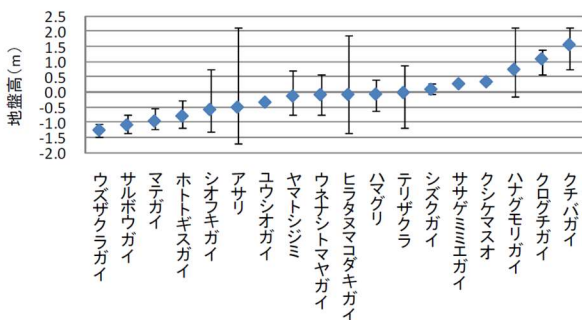


図-4 軟体動物二枚貝綱の地盤高による生息範囲

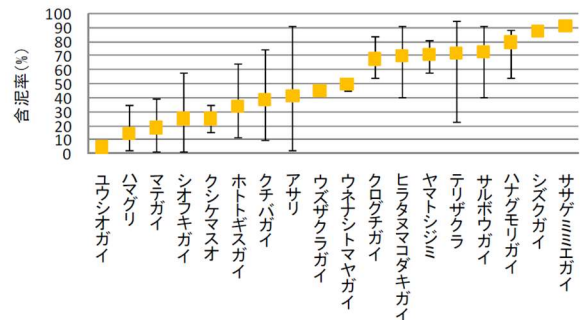


図-5 軟体動物二枚貝綱の含泥率による生息範囲

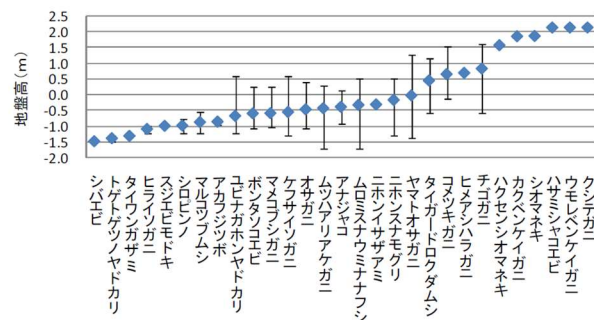


図-6 節足動物軟甲綱の地盤高による生息範囲

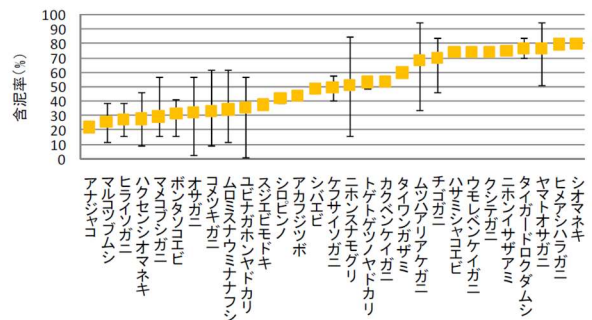


図-7 節足動物軟甲綱の含泥率による生息範囲

出典：松尾幸平、増田龍哉、御園生敏治、五十嵐 学、森本剣太郎、滝川 清、有明海における干潟底生生物の指標化に関する研究、土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol.67, No.2, 2011.

4. 干潟の形状等の検討・造成

1) 設計に向けての事前調査

干潟の詳細設計・造成に先立ち、予定地の基礎的な情報を得ることを目的として、波浪等の観測を行った。

(a) 波浪等観測の概要

- ・観測時期：夏季(平成 27 年 7 月 25 日～8 月 26 日)

冬季(平成 28 年 1 月 5 日～2 月 4 日)

(なお、調査期間中の 7 月 26 日に台風 12 号が熊本沖を通過し、また、8 月 25 日には台風 15 号が熊本県内を直撃した。)

- ・観測地点：2 地点(図 4.1 参照)
- ・観測方法：波高計、流速計を各地点に設置し、30 昼夜の波高と流速を観測した。



図 4.1 波浪等の調査地点

(b) 波浪観測結果及び考察

波向別波高頻度分布を図 4.2 に、流向別流速頻度分布を図 4.3 に示す。

ケーソン岸側の Sat.の波高は、沖側の St.B と比較し、1/200 以下であり、台風通過や冬季風浪時もその波高は小さく、ほとんど波が発生しない水域であることが確認された。

また、現地観測期間中のナウファス熊本での波高（速報値）は、既往最大であったので、実際の波浪観測結果を用いて実証試験区域の底質の安定性を評価した。

その結果、

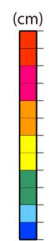
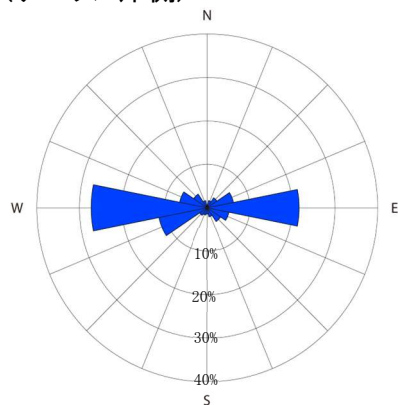
- ・ 波浪に対して安定的な底質粒径： $d > 0.00026\text{mm}$
- ・ 流れに対して安定的な底質粒径： $d > 0.117\text{mm}$

となり、波浪よりも流れに対する安定性が課題であることが示唆された。

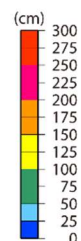
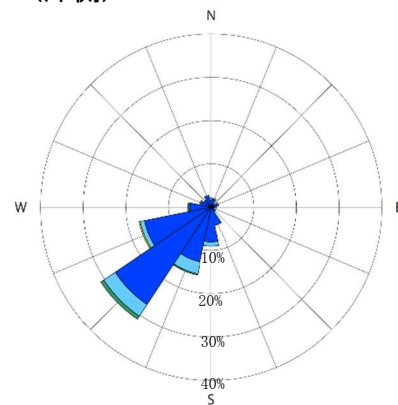
なお、流れに関しては、D.L.4.0m 程度の地盤の高い箇所を設けることから、東西方向の対象区域を行き来する流れは大潮満潮時を除きほぼ発生しなくなると考えられ、事後モニタリング等を実施し、安定性を確認することとなった。

夏季

St.A(ケーソン岸側)

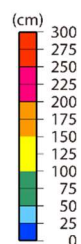
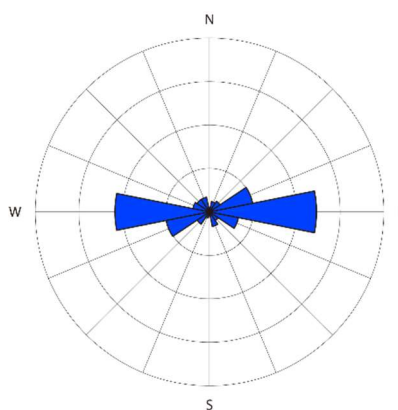


St.B(沖側)



冬季

St.A(ケーソン岸側)



St.B(沖側)

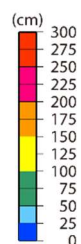
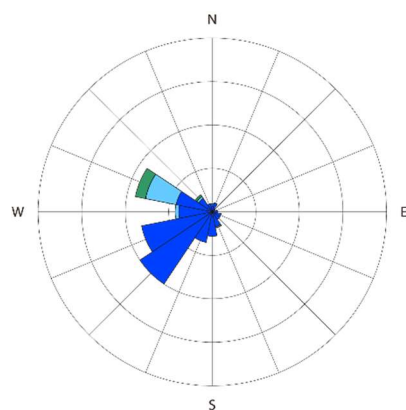
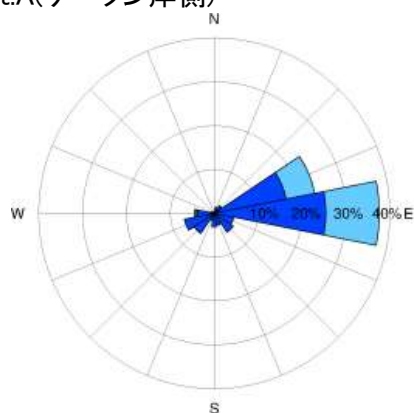


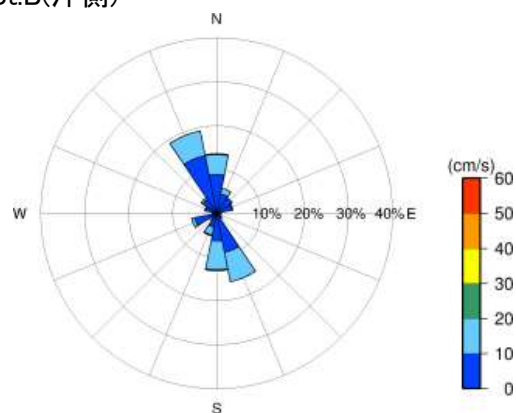
図 4.2 波向別波高頻度分布(平成 27 年度実施)

夏季

St.A(ケーソン岸側)

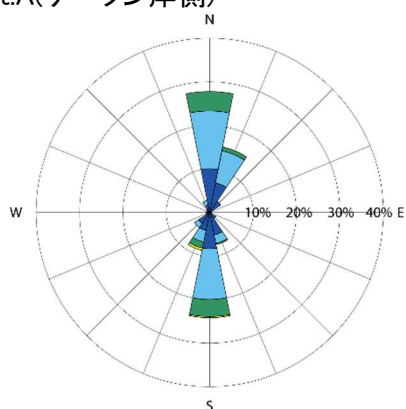


St.B(沖側)



冬季

St.A(ケーソン岸側)



St.B(沖側)

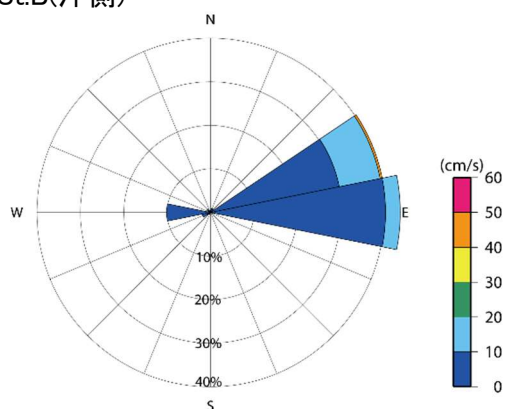


図 4.3 流向別流速頻度分布(平成 27 年度実施)

2) 設計・材料

先の「3.2 1)コンセプト・制約条件等」に示したコンセプト等を踏まえ、階段状の干潟の造成を設計した。平面図、断面図を図 4.4、図 4.5 に示す。

造成に用いる干潟の材料としては、熊本港内の土砂処分場に揚土されていた浚渫土(陸送)(礫分約 5%、砂分約 15%、粘土・シルト分約 80%)²、及び購入砂(礫分約 33%、砂分約 60%、粘土・シルト分約 7%)²、購入礫(熊本県宇城市産の硬質安山岩等)とした。

3) 造成工事

干潟の造成は平成 28 年 8 月に完成した。

² 造成直後の調査結果(平成 28 年 9 月 1 日実施)

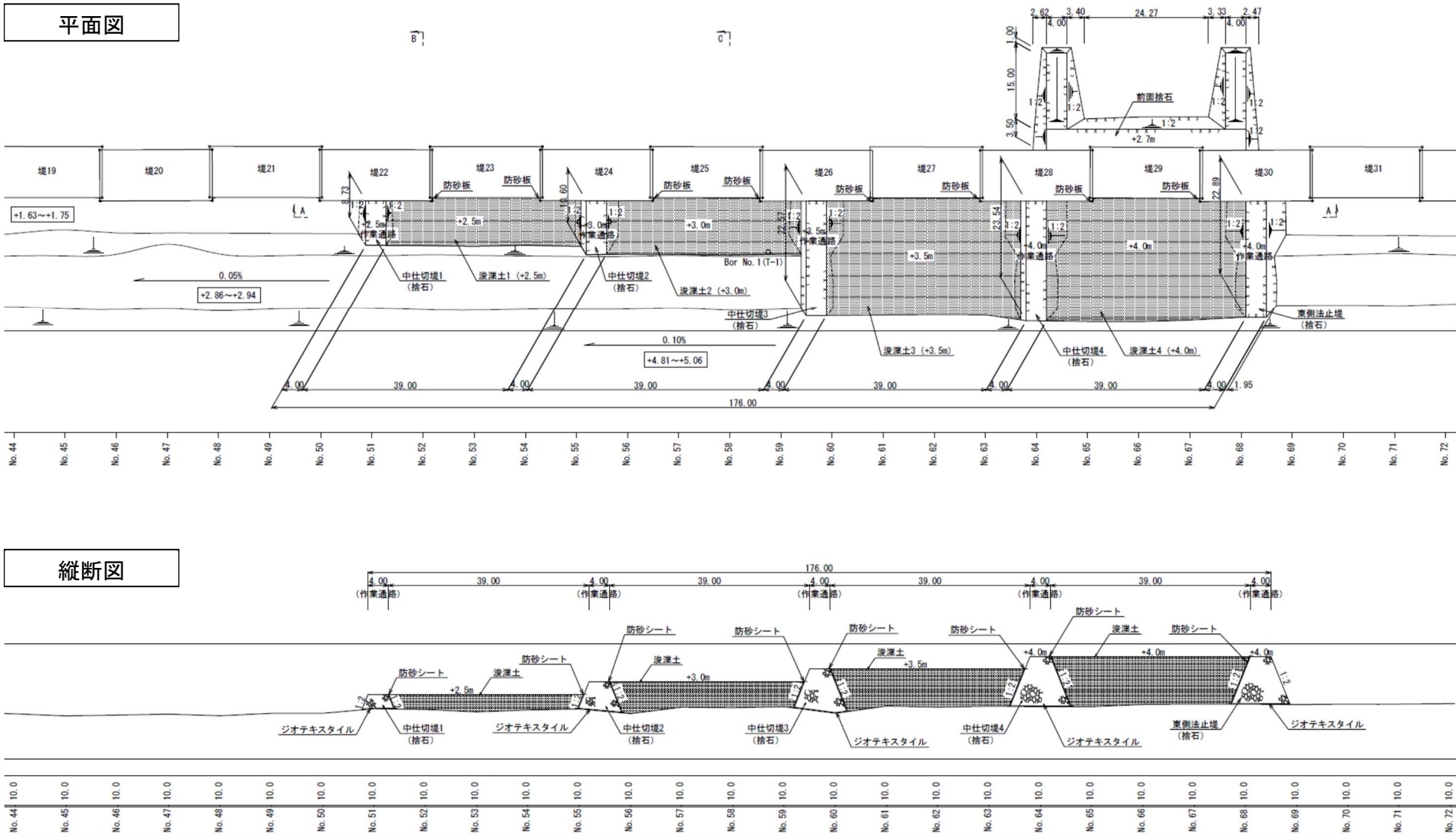


図 4.4 平面図・縦断図

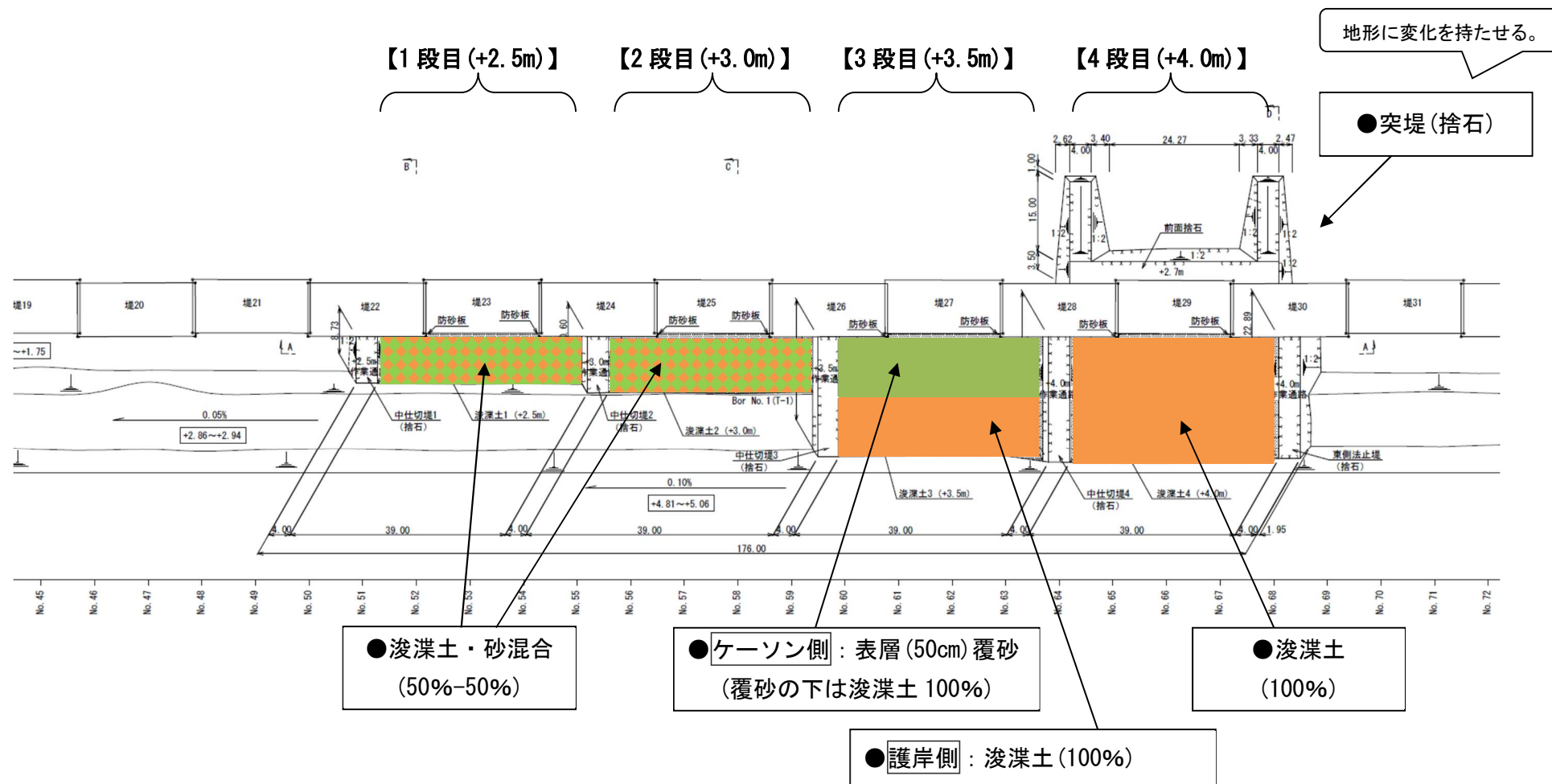


図 4.5 覆砂・砂混合の配置状況

4) 造成干潟と潮位の関係

階段状の干潟における各段の地盤高、想定される干出時間のイメージを図 4.6 に、各段の地盤高と潮位との関係を図 4.7 に示す。4 段目は大潮期の満潮時にのみ水没する。換言すれば、大潮満潮時には全域が水没することから、各段における物質、生物の移動は概ね容易であると考ええる。

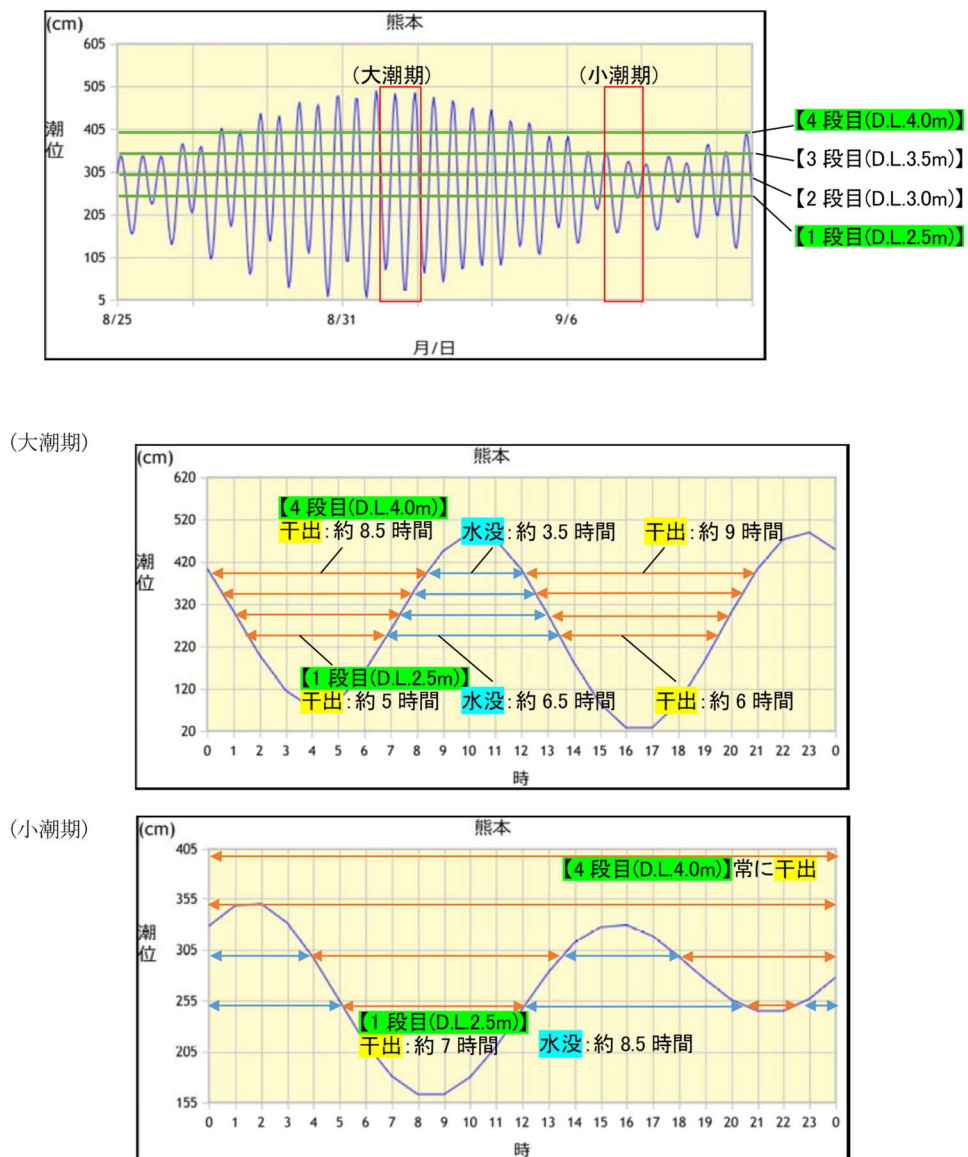
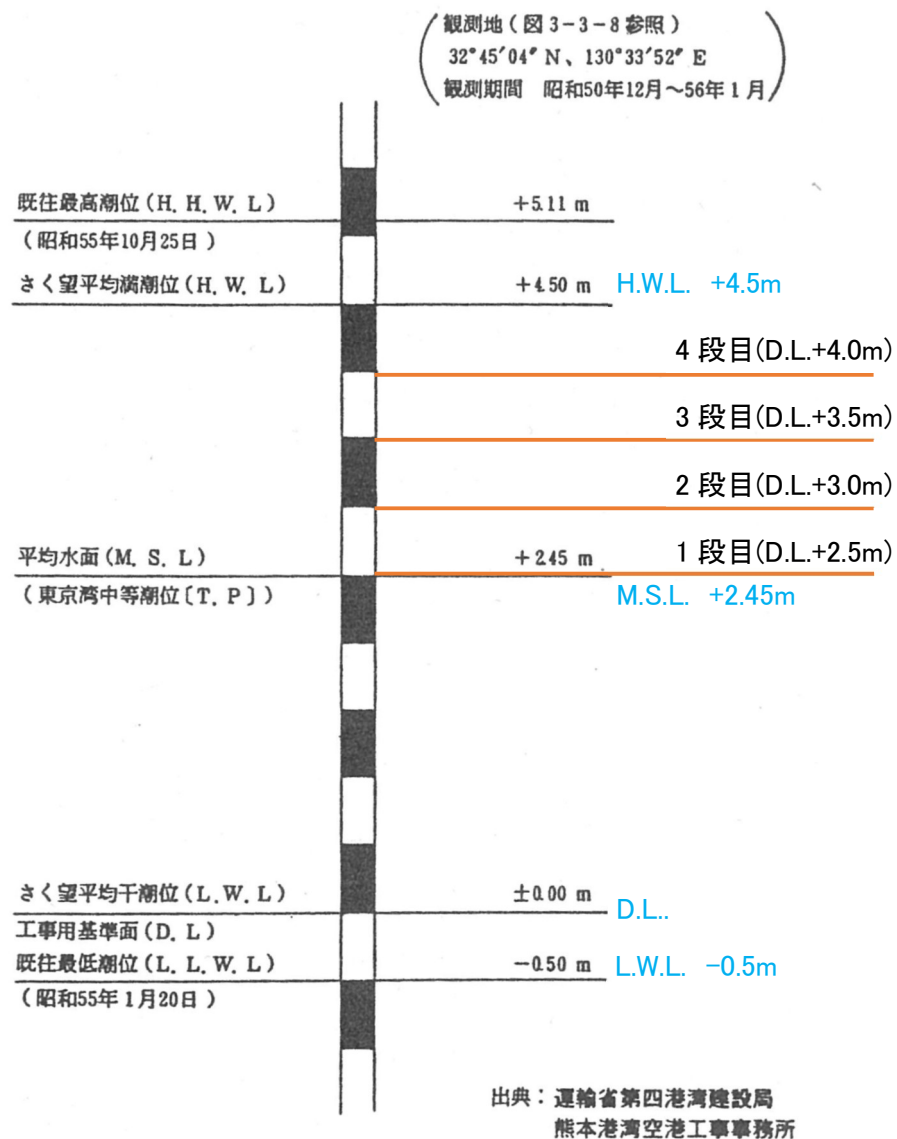


図 4.6 階段状の干潟における各段の地盤高、想定される干出時間のイメージ



出典：熊本港港湾計画資料-改定- 平成12年3月 に加筆

図 4.7 各段の地盤高と潮位との関係

5. モニタリング調査項目

- ◆ 各地点における底質・底生生物を把握するためのモニタリング調査を計画・立案、実施し、環境特性を踏まえた生物生息場の創出の状況や変化等を把握した。

5.1 モニタリング調査の目的

地盤高と底質性状の異なる場とそこに生息する生物の状況やそれらの変化について把握し、維持管理の検討、及び場の評価技術等を取得することを目的として、事後のモニタリング調査を実施した。

5.2 モニタリング調査項目

モニタリング調査は主に以下について実施した。

- ・生物の生息環境の把握(造成した場の形状・性状（地盤高、底質性状 等）)
- ・生物生息状況の把握(底生生物の種類数、個体数、湿重量、重要種 等)

また、生物生息に関しての周辺環境等(水質)についても同時に把握した。

モニタリング調査位置を図 5.1 および表 5.1 に、モニタリング調査内容の概要を表 5.2 に示す。

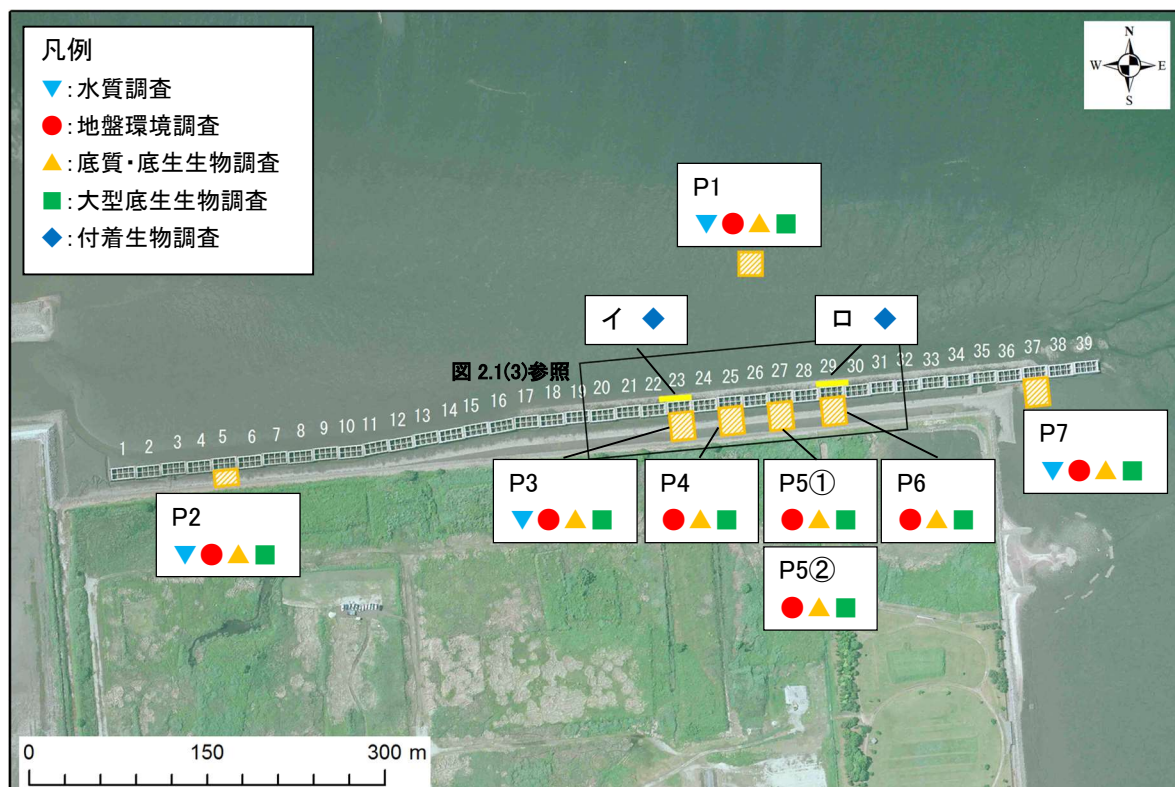


図 5.1 モニタリング調査位置

表 5.1 調査地点と調査項目

		地点名	底質性状	地盤高	水質	地盤環境 底質 底生生物 大型底生生物	付着生物
造成干潟区	1 段目 D.L.2.5m	P3	浚渫土・砂混合		○	○	
	2 段目 D.L.3.0m	P4	浚渫土・砂混合			○	
	3 段目 D.L.3.5m	P5①	砂(覆砂)			○	
		P5②	浚渫土			○	
	4 段目 D.L.4.0m	P6	浚渫土			○	
対照区		P1	現地盤		○	○	
		P2	現地盤		○	○	
		P7	現地盤		○	○	
付着生物調査地点		イ・ロ	ケーソン外側				○

表 5.2 モニタリング調査内容の概要

区分		調査項目	調査内容
生物の 生息環境	地盤高	汀線測量	【調査頻度】 ：秋季(台風等の気象擾乱後、年 1 回) 【調査方法】 ・水準測量による計測、UAV レーザー測量
	水質	水質 (透明度、SS、水温、塩分、濁度、pH、DO、クロロフィル a)	【調査頻度】 ：春季、夏季、秋季 【調査方法】 ・バンドーン型採水器を用いた底層(海底上 1.0m)の採水・分析及び多項目水質計を用いた 0.1m ピッチの鉛直測定
	地盤環境	せん断強さの状況	【調査頻度】 ：春季、夏季、秋季 【調査方法】 ・ハンドベーンを用いた現地観測
	底質	現場観測項目 (泥色、泥臭、泥温、性状、夾雑物、浮泥の堆積状況(砂底上)) 分析試験項目 (粒度組成、含水率、湿潤密度、強熱減量、COD、全硫化物、T-N、T-P、ORP、TOC、pH)	【調査頻度】 ：春季、夏季、秋季 【調査方法】 ・ハンドマッキン型採泥器またはスミスマッキンタイヤ型採泥器による採泥。1 地点あたり表層(10-15cm 程度)を 3 回採取。浮泥堆積状況は干出時にコア採取のうえ、目視にて確認。
生物の 生息状況	底生生物	マクロベントス (出現種、個体数、湿重量)	【調査頻度】 ：春季、夏季、秋季 【調査方法】 ・ハンドマッキン型採泥器またはスミスマッキンタイヤ型採泥器による採泥。1 地点 10 回採取(採泥面積 $0.05\text{m}^2 \times 10$ 回、0.5mm 目合によるふるい分け)。
	大型底生生物 (主に移動性の高いカニ類、ハゼ類等)	出現種、個体数の概数	【調査頻度】 ：春季、夏季、秋季 【調査方法】 ・(目視) $5\text{m} \times 5\text{m}$ (25m^2) の方形枠内を 5 分間目視観察 ・(採取) 調査員 2 名による 10 分間、幅 14cm スコップにより 20cm 掘り返し、目視または同定確認
	付着生物	出現種、個体数(被度)、原地盤からの高さ	【調査頻度】 ：・春季、夏季、秋季 【調査方法】 ・ケーソン側面、基礎捨石部を 5 分間目視観察

6. 造成干潟における生物の生息環境の把握

6.1 地盤高の状況

- ◆ 平成 28 年度(2016 年度)9 月からの 8 年間の累計での地盤高の変化は、3 段目では 10～20 cm、4 段目では 30～40 cm の地盤の低下が確認された。3 段目・4 段目では、造成初期の段階で圧密沈下や浸食による沈下傾向がみられたが、その後は目立った変化は確認されていない。当該干潟は、護岸とケーソンとの間に造成され、かつ、中仕切堤があることで、細かい粒径の浚渫土砂でも安定的に保たれているといえる。
- ◆ ケーソン北側の突堤部は地盤高が上昇し、8 年間の累計では堆積傾向にあった。

造成干潟の地盤高を年 1 回（秋季）モニタリングし、造成後の地形変化の状況を把握した。地盤高の差分図を図 6.1 に、地盤高の変化を図 6.2 に示す。

○8 年間(令和 6 年度－平成 28 年度)で 3 段目では 10～20 cm、4 段目では 20～40 cm の地盤高の低下傾向がみられており、1 段目、2 段目では目立った変化は認められなかった。

○中仕切堤も 10～20 cm の地盤高の低下がみられており、この低下は沈下による変化と考えられる。また、3 段目では、材料の違いにより地盤高の変化に差が出ており、浚渫土の地点（P5②）が砂の地点（P5①）に比べ地盤高が低下していることから、浸食の影響も受けていると考えられる。

○造成直後は上記の地盤高の変化がみられたが、近年の調査における地盤高の差分は小さくなっていることから、地盤高が安定していることがうかがえる結果であった。護岸とケーソンとの間に造成し、中仕切堤を設けたことで、細かい粒径の浚渫土砂を用いた干潟でも安定的な環境となっていると考えられる。

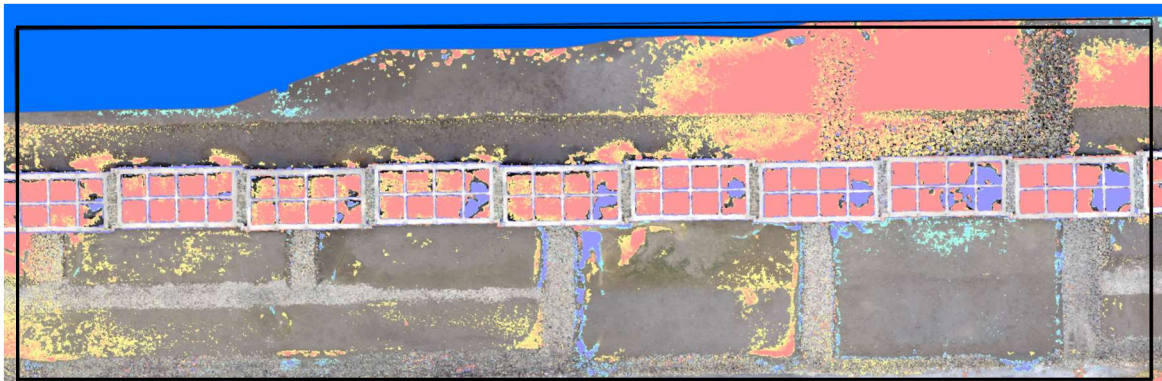
○ケーソン北側の突堤間および突堤基部西側は土砂が堆積しやすく 8 か年の累積では堆積傾向が確認された。



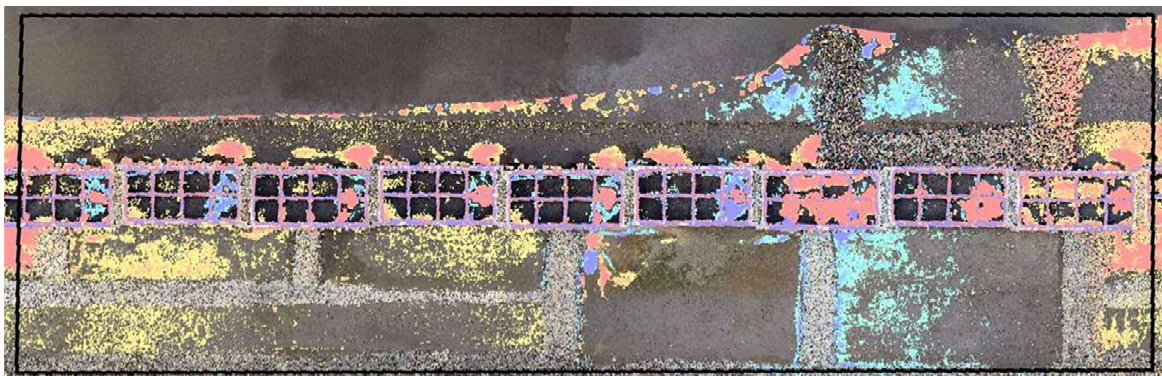
図 6.1(1) 地盤高の差分図(令和 6 年度調査—平成 28 年度調査の差分)

目盛は 10cm
刻みの表示

(H29—H28)



(H30—H29)



(R1—H30)

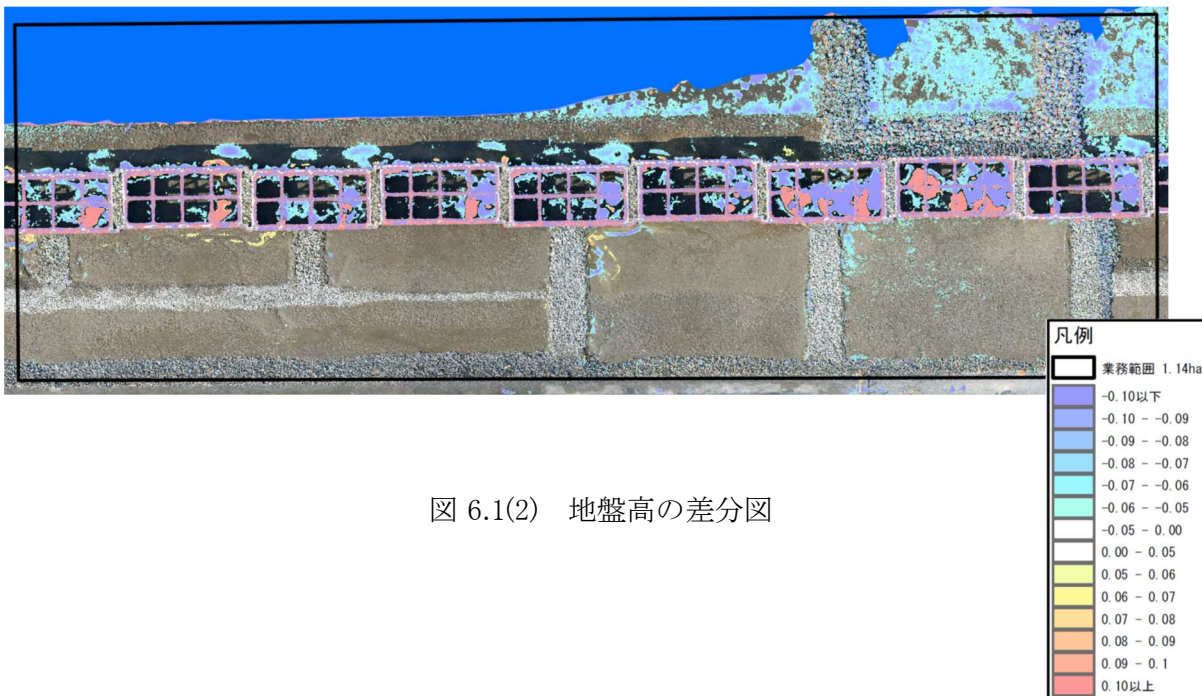
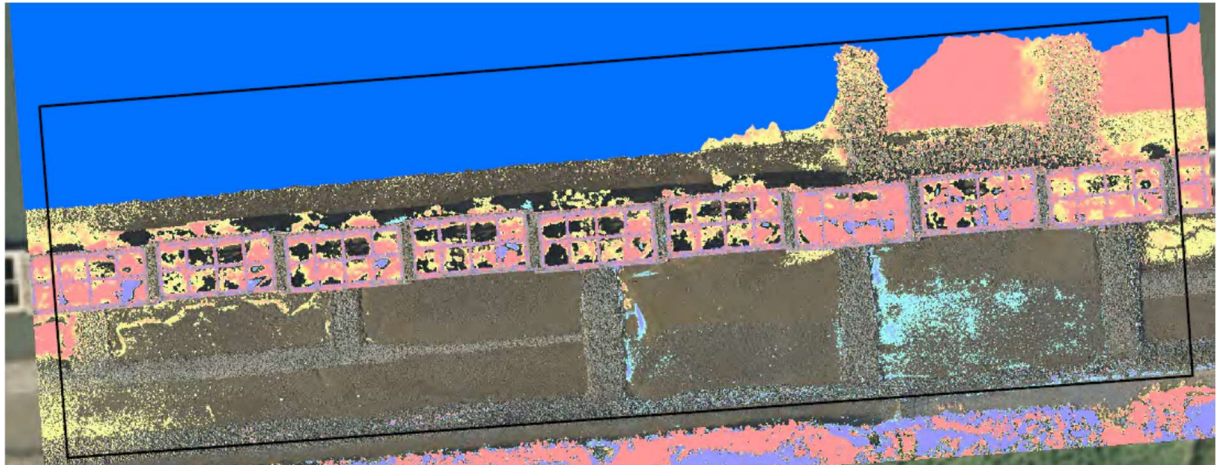


図 6.1(2) 地盤高の差分図

(R2-R1)



(R3-R2)



(R4-R3)

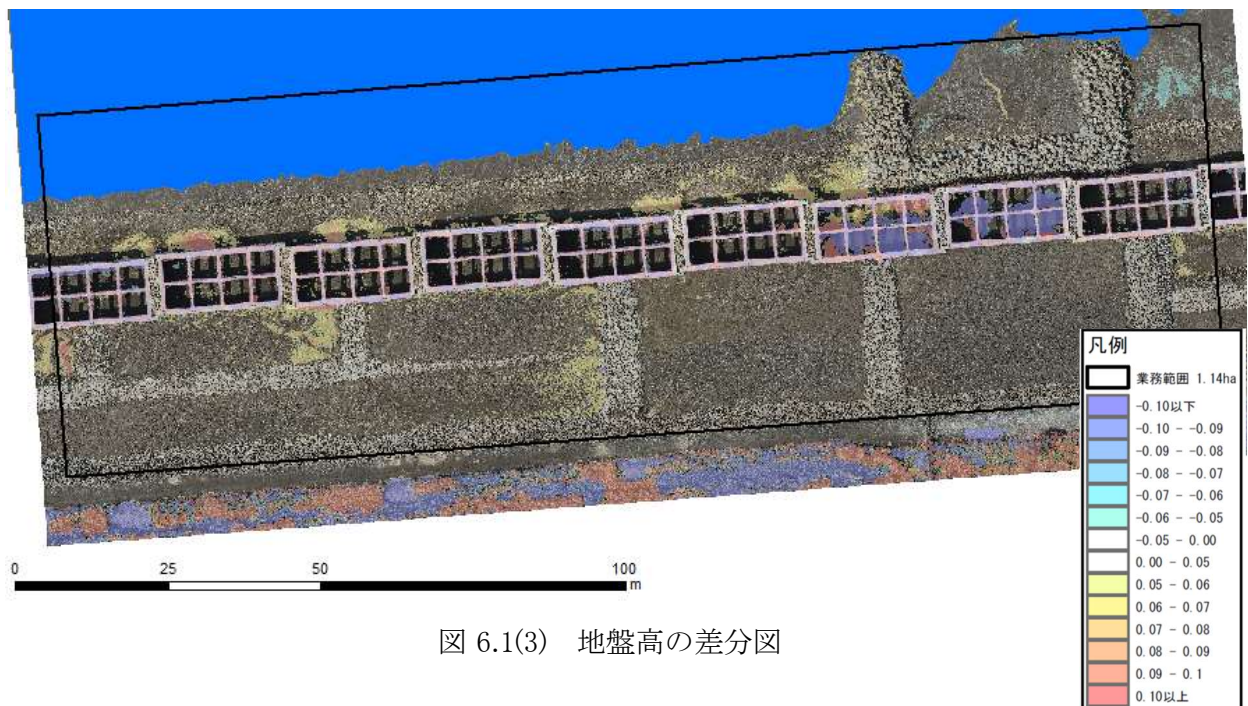
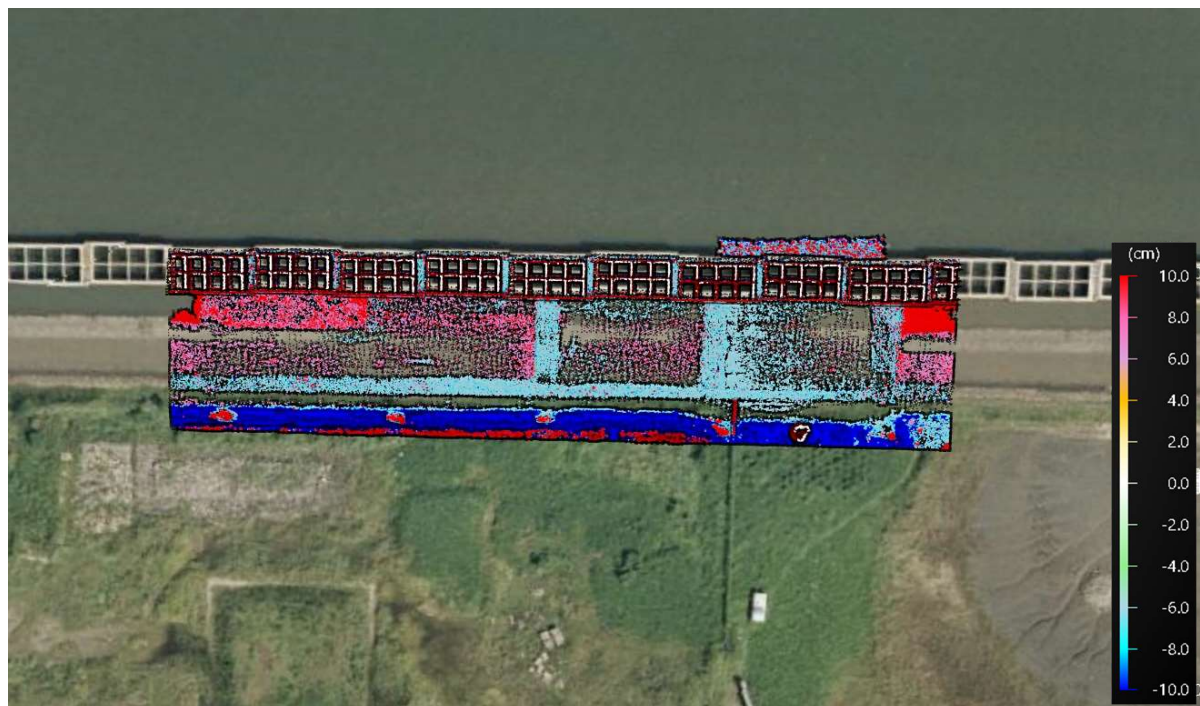


図 6.1(3) 地盤高の差分図

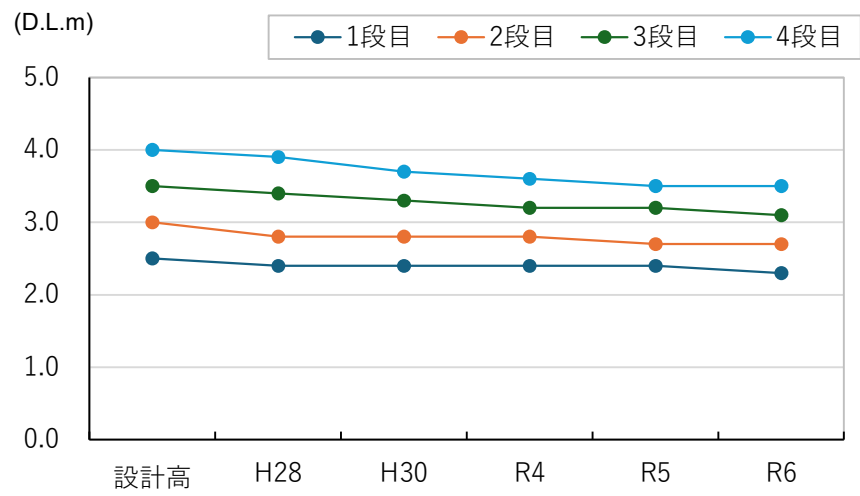
(R6.2-R4)



(R6.11-R6.2)



図 6.1(4) 地盤高の差分図



(地盤高測定位置)



資料：九州地方整備局熊本港湾空港整備事務所 資料より作成

図 6.2 地盤高の変化

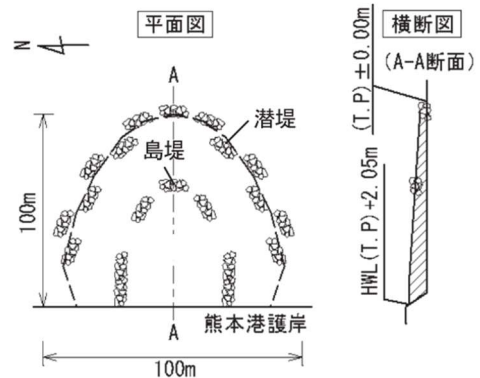
参考：造成干潟周辺の人工干潟(東なぎさ線・北なぎさ線)の概略

当該造成干潟の造成に先立ち、熊本港の周辺では「東なぎさ線」、「北なぎさ線」が造成された。これらのなぎさ線は、熊本港においてなぎさ線を人工的に造成し、干潟生態系が有している自己再生機能（浄化機能）を回復（復元）させることを目的に行われた現地実証試験である。

東なぎさ線、北なぎさ線の概要は以下のとおりである。

○東なぎさ線

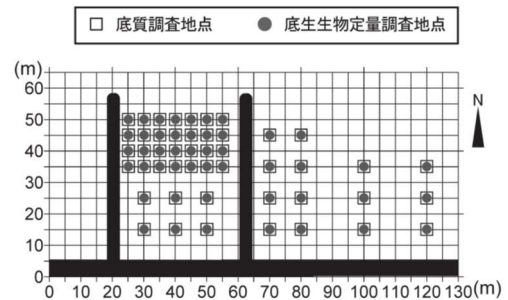
- ・造成位置・状況：熊本港東護岸前面、対岸の干拓地まで平坦な干潟が広がる
- ・地盤高・底質性状：地盤高約 T.P.±0.00m、中央粒径約 0.06mm の泥質干潟
- ・潮流・波浪：上げ潮時は北向き、下げ潮時には南向きの流れ。波浪の影響を受けにくい場所
- ・形状等：H.W.L.から現地盤の T.P.±0.00m まで、幅 100m×奥行 100m の範囲で、潜堤をカタナリー曲線形に設定し、ちどり状に配置
中央粒径が約 0.79mm の有明海産の海砂で覆砂
中央部勾配は約 1/30
護岸の前面には潮上帯付近の覆砂の流出を防ぐための突堤 2 本
中央部には生物の生息環境に多様性を持たせるための島堤が 3 箇所配置
- ・施工：2005 年 10 月に造成が完了



東なぎさ線の形状

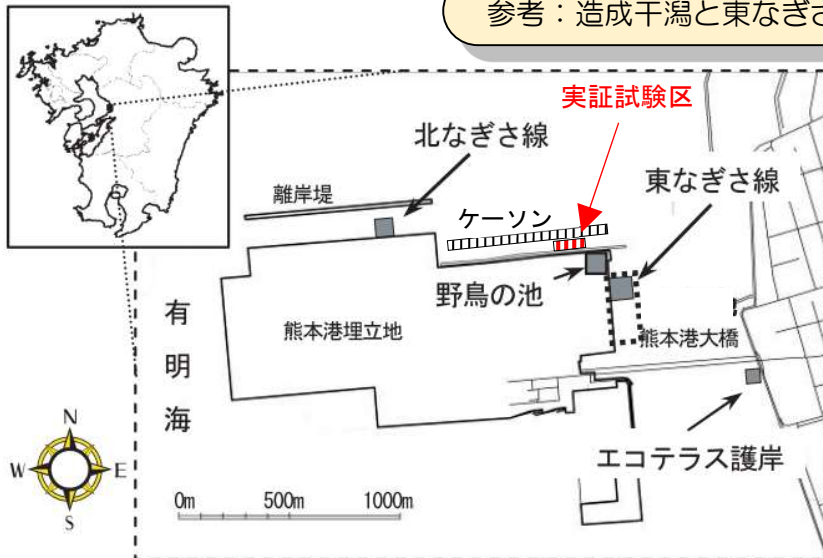
○北なぎさ線

- ・造成位置・状況：熊本港北護岸前面、100m ほど沖に離岸堤が設置
- ・地盤高・底質性状：地盤高が約 T.P.-2.00m、中央粒径が約 0.04mm の泥質干潟
- ・潮流・波浪：上げ潮時は東向き、下げ潮時には西向きの流れ。波浪や季節風の影響を受けやすい場所である。
- ・形状等：H.W.L.から現地盤の T.P.-2.00m まで、土砂流失を防ぐための長さ 50m の突堤を 40m 間隔で 2 本配置
中央粒径が約 0.02mm の熊本港近郊の航路浚渫土砂を下層（現地盤から T.P.-1.50m まで）、浚渫土と中央粒径約 0.18mm の海砂を 50%ずつ混合した土砂を中層、海砂のみを表層（厚さ 0.5m）に使用した 3 層構造
勾配は約 1/12、軟弱な浚渫土砂の流出を防ぐため、護岸から約 40m 沖に中仕切堤を設置
- ・施工：2006 年 9 月に造成が完了



北なぎさ線の形状

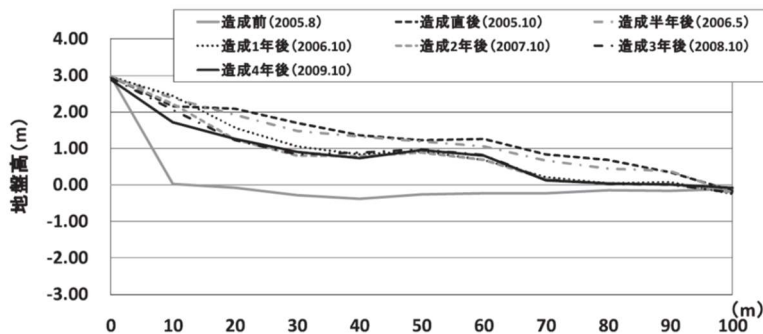
出典：増田ら（2010 年）：熊本港における「なぎさ線の回復」現地実証試験に関する研究，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol. 66，No. 1，1211-1215



○熊本港に造成された「東なぎさ線」、「北なぎさ線」における地形変化の状況は図

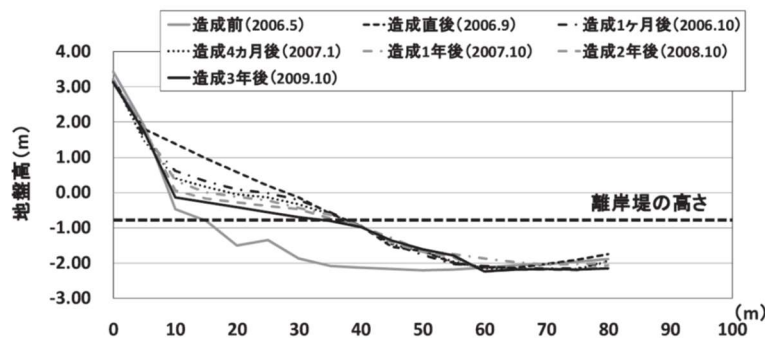
6.3 に示すとおりである。東なぎさ線では、造成半年後～1 年後までに台風の影響で数十cm程度の侵食を受け、当初の地形から変化しながら外力条件に応じた標高・勾配になっている。北なぎさ線では、離岸堤よりも高い地盤高において造成直後～1 か月後で大きく侵食されており、以降の変化は緩やかになっている。

○造成干潟の地形変化について 8 年間で 10～20 cm 程度であり、これは沈下によるものと考えられるが東なぎさ線・北なぎさ線と比較すると、地形変化が小さく安定的となっている。造成干潟は、ケーソンより岸側に位置することから波浪などの外力の影響を受けにくく、また各地盤高を中仕切り堤で区切っていることで、粒径の小さい浚渫土砂を表面に用いた条件でも地盤高は安定的に保持され続けているものと考えられる。



【東なぎさ線】

- ・ 2005 年 10 月造成完了
- ・ 中央粒径 0.79 mm の海砂で覆砂
- ・ 中央勾配 1/30



【北なぎさ線】

- ・ 2006 年 9 月造成完了
- ・ 海砂（中央粒径 0.18 mm）と浚渫土の混合材料を中層に、海砂のみを表層に覆砂
- ・ 中央勾配 1/12
- ・ 100m 沖に離岸堤が設置されている

6.3 東・北なぎさ線の地盤高の変化

出典：増田ら(2010 年)：熊本港における「なぎさ線の回復」現地実証試験に関する研究，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol. 66, No. 1, 1211-1215

6.2 底質調査結果

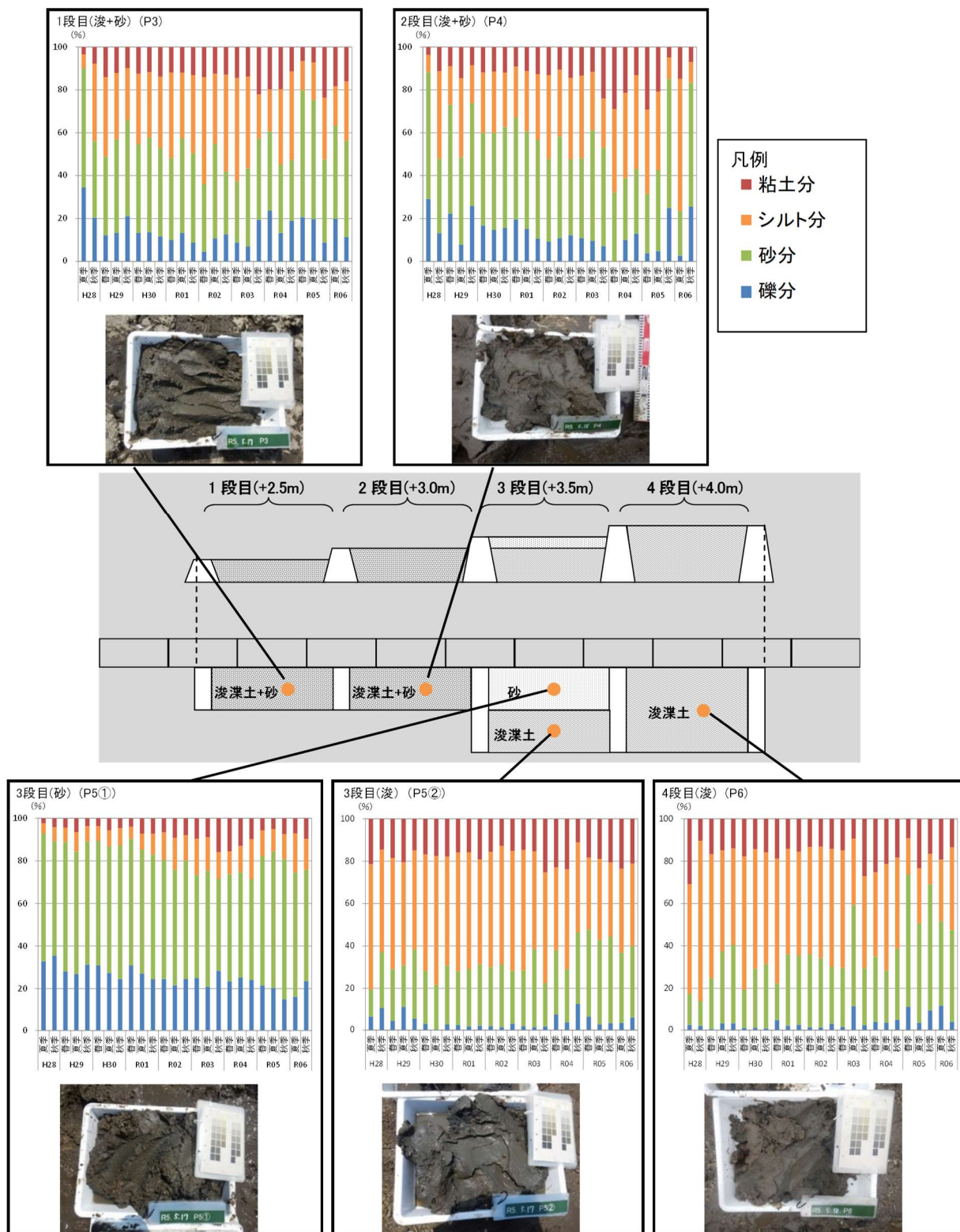
- ◆ 造成干潟の各段の粒度組成は、緩やかな変化があるものの、施工計画で設定した底質の粒度組成が概ね保たれている。
- ◆ 地盤高の高い4段目（P6）では、硫化物やCODの経年的な減少傾向がみられており、干出時間が多くなり酸化的な場所となったことや粘土・シルト分が流失したことによるものと考えられる。

各調査地点における底質の経時変化を図 6.4 に示す。

○底質の粒度組成は、浚渫土と砂とを混合した1段目(P3)、2段目(P4)、砂を敷設した3段目（P5①）については、造成直後の組成から、周辺からの泥分と混合して粘土・シルト分の割合が経年的に増加傾向にあり、また4段目(P6)は粘土・シルト分の割合が低下しているものの、施工計画で設定した底質の粒度組成が概ね保たれている。

○底質の化学成分（COD、T-N、T-P など）は、底質の粘土・シルト分の割合に応じた含有量となっていた。

○地盤高の高い4段目（P6）では、硫化物やCODの経年的な減少傾向がみられており、干出時間が多くなり酸化的な場所となったことや表層の粘土・シルト分などの細粒分が流失したことによるものと考えられる。



注：底質分析用試料は、ハンドマッキン等を用いて採取された表層 10-15cm の土砂を対象とした。(以下同様)

図 6.4(1) 底質の経時変化（粒度組成）

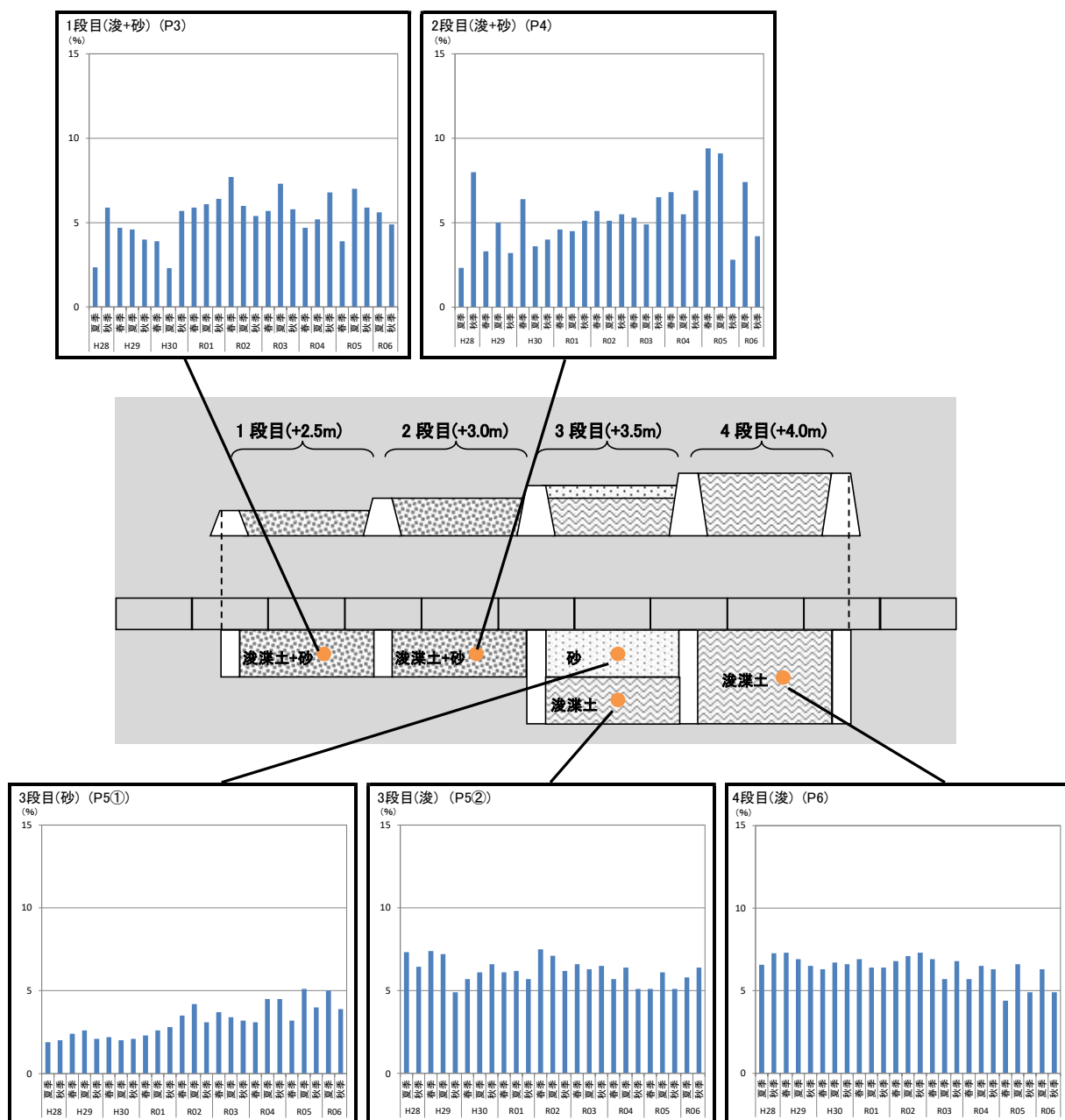


図 6.4(2) 底質の経時変化 (強熱減量)

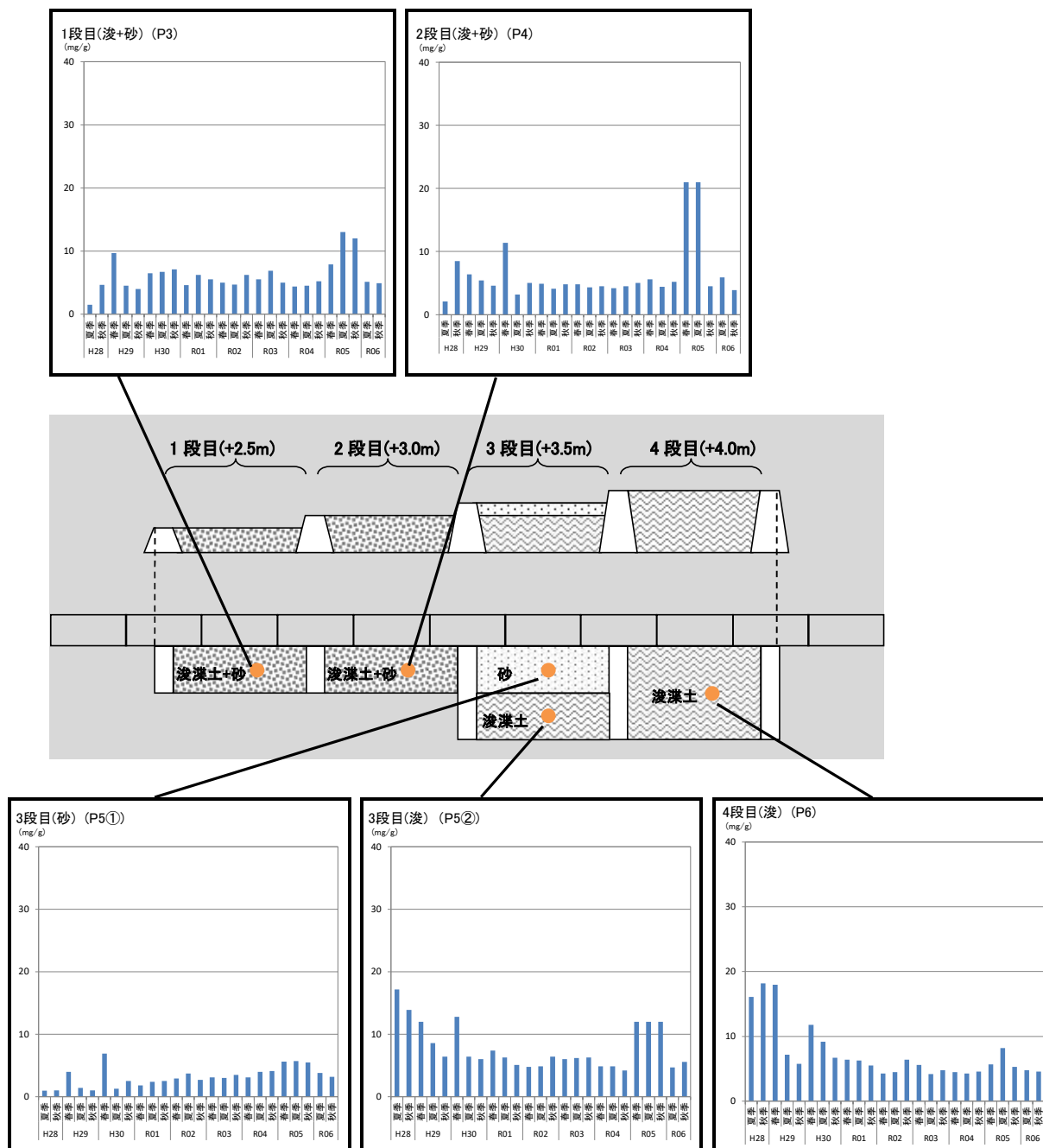


図 6.4 (3) 底質の経時変化 (COD)

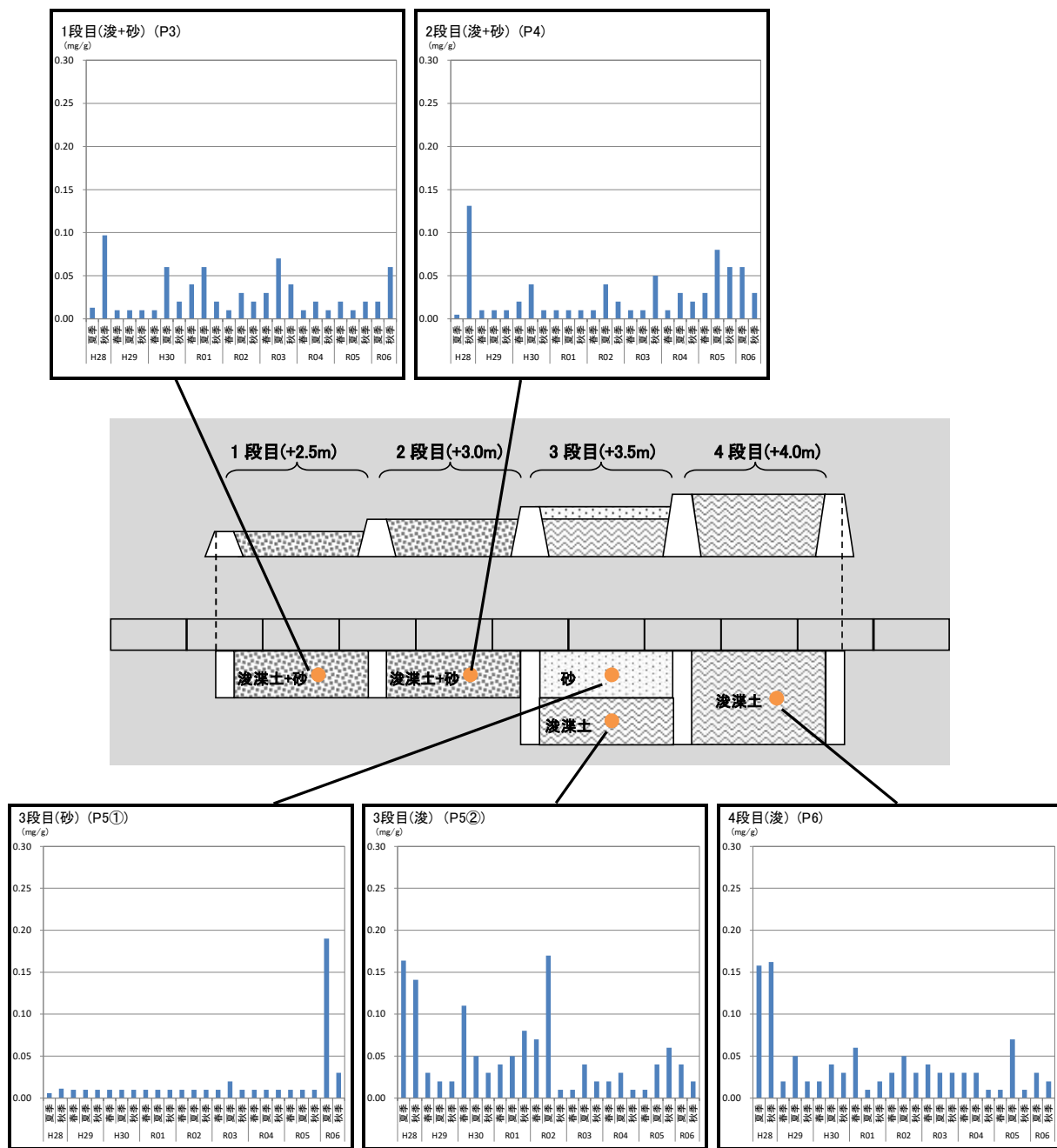


図 6.4 (4) 底質の経時変化 (硫化物)

6.3 地盤環境調査結果

- ◆ せん断力は地盤高に対応し、地盤高の低い 1 段目(P3)、2 段目(P4)でせん断力の値が低く、4 段目(P6)で高い傾向がみられた。
- ◆ 地盤高の高い 4 段目(P6)においてせん断力の低下傾向がみられ、底生生物のバイオターベーション(生物攪拌)によるものである可能性も考えられる。

各調査地点におけるせん断力の経年変化を図 6.5 に示す。

○干潟造成区域におけるせん断力は、上段ほど高く、特に 4 段目(浚渫土)(P6)では、同じく浚渫土である 3 段目 P5②に比べても高い傾向にある。これは地盤高が高いことから、海水に浸る頻度が低く、浚渫土が締め固まったことなどによるものと考えられる。

○一方で、4 段目(浚渫土)(P6)のせん断力の値は、造成後の翌年に高くなり、それ以降は継続的に低下傾向にある。これは土砂処分場に揚土されていた浚渫土が施工後に徐々に湿润したことに加え、底生生物の個体数が多いことから、これらの底生生物のバイオターベーション(生物攪拌)によるものである可能性も考えられる。

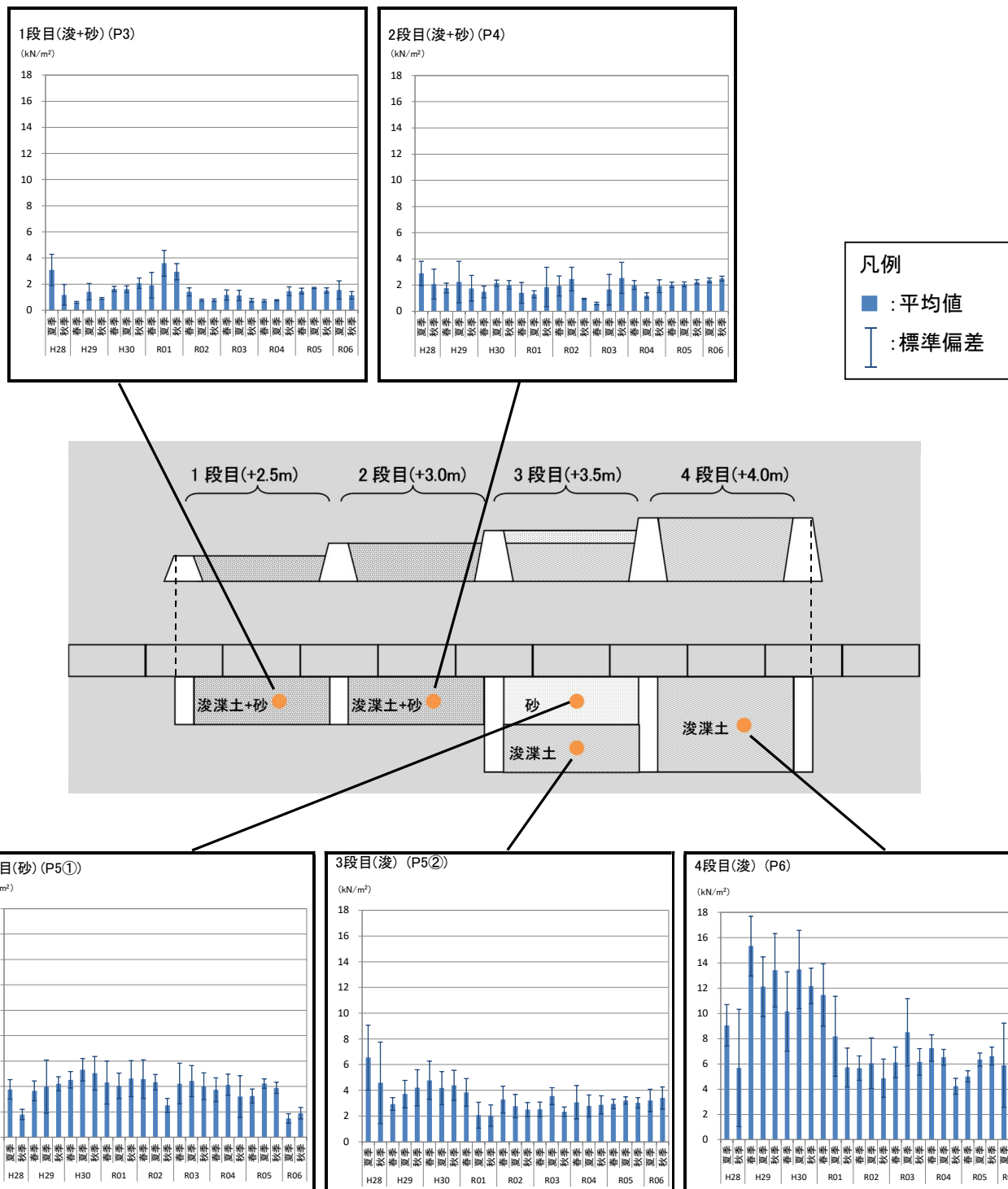


図 6.5 せん断力(平均値)の経年変化

7. 造成干潟における生物の生息状況の把握

7.1 底生生物調査結果

1) 種類数・個体数・湿重量の推移

- ◆ 干潟造成区域は、いずれの地点も種類数、個体数、湿重量が増加傾向、もしくは平成 30 年度以降も高く維持される傾向にある。3 段目砂(P5①)では種類数、個体数、湿重量ともに多く、多様な生物が生息できる場であるといえる。

底生生物の経年変化を図 7.1 に示す。

- 造成干潟の底生生物の生息状況のモニタリング調査の結果、いずれの地点においても、造成直後以降、生物の加入による種類数、個体数、湿重量は増加傾向にあり、平成 30 年以降も増減を繰り返しながら推移している。
- 特に 3 段目砂(P5①)は、種類数、湿重量が他の地点に比べて多い傾向にあり、また、4 段目(浚渫土)(P6)も湿重量の経年的な増加傾向が顕著であった。これらは特に砂質や泥質の高潮帯が底生生物の生息の場として有用であることを示す結果であると考えられる。
- 1 段目(P3)、2 段目(P4)はオキシジミやヤマトオサガニ、3 段目砂(P5①)はウミナナ類、3 段目浚渫土(P5②)はヤマトオサガニが多く(いずれも湿重量組成比)、4 段目(P6)はコロフィウム属が多かった(個体数組成比)。

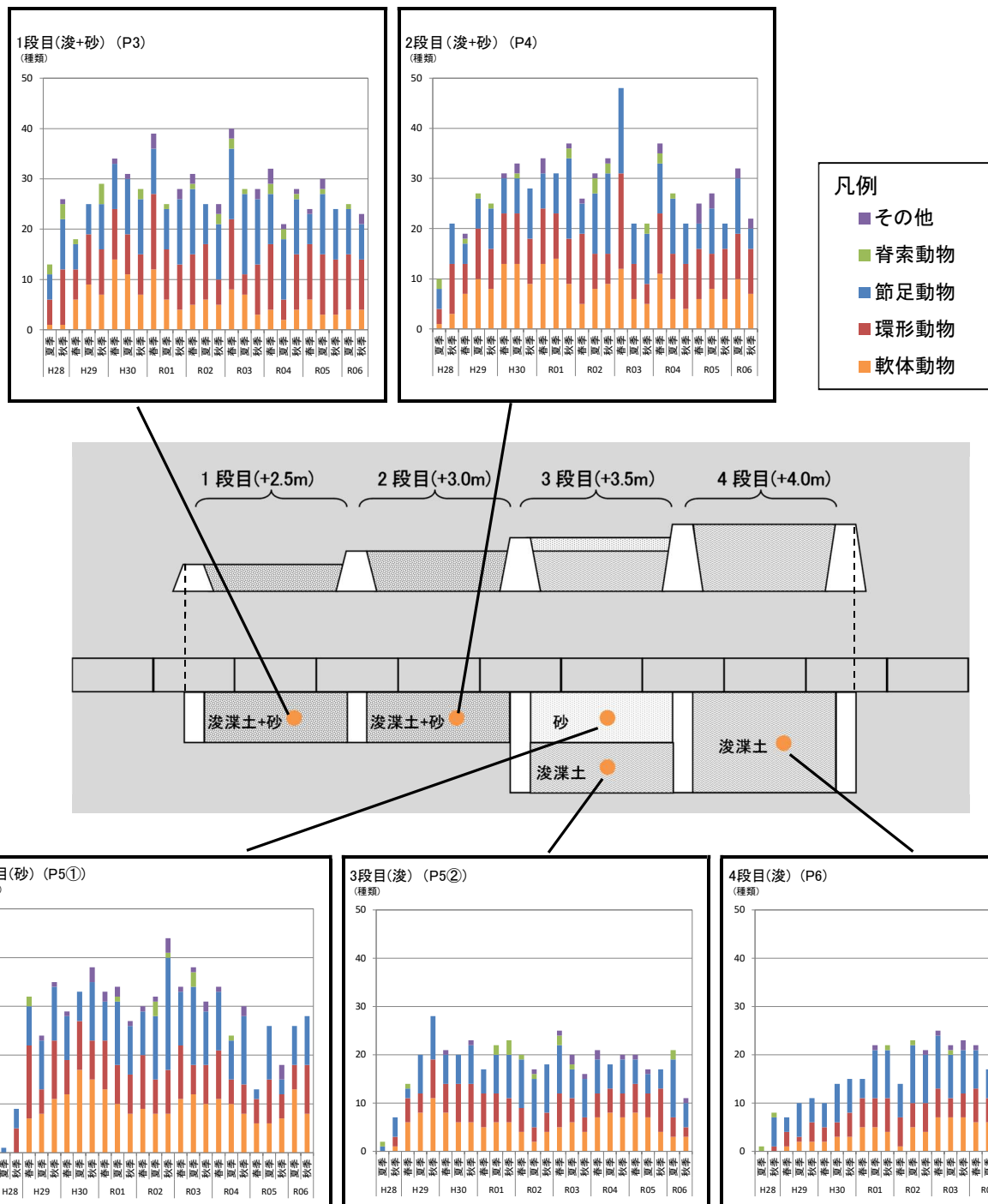


図 7.1(1) 底生生物の経年変化(種類数)

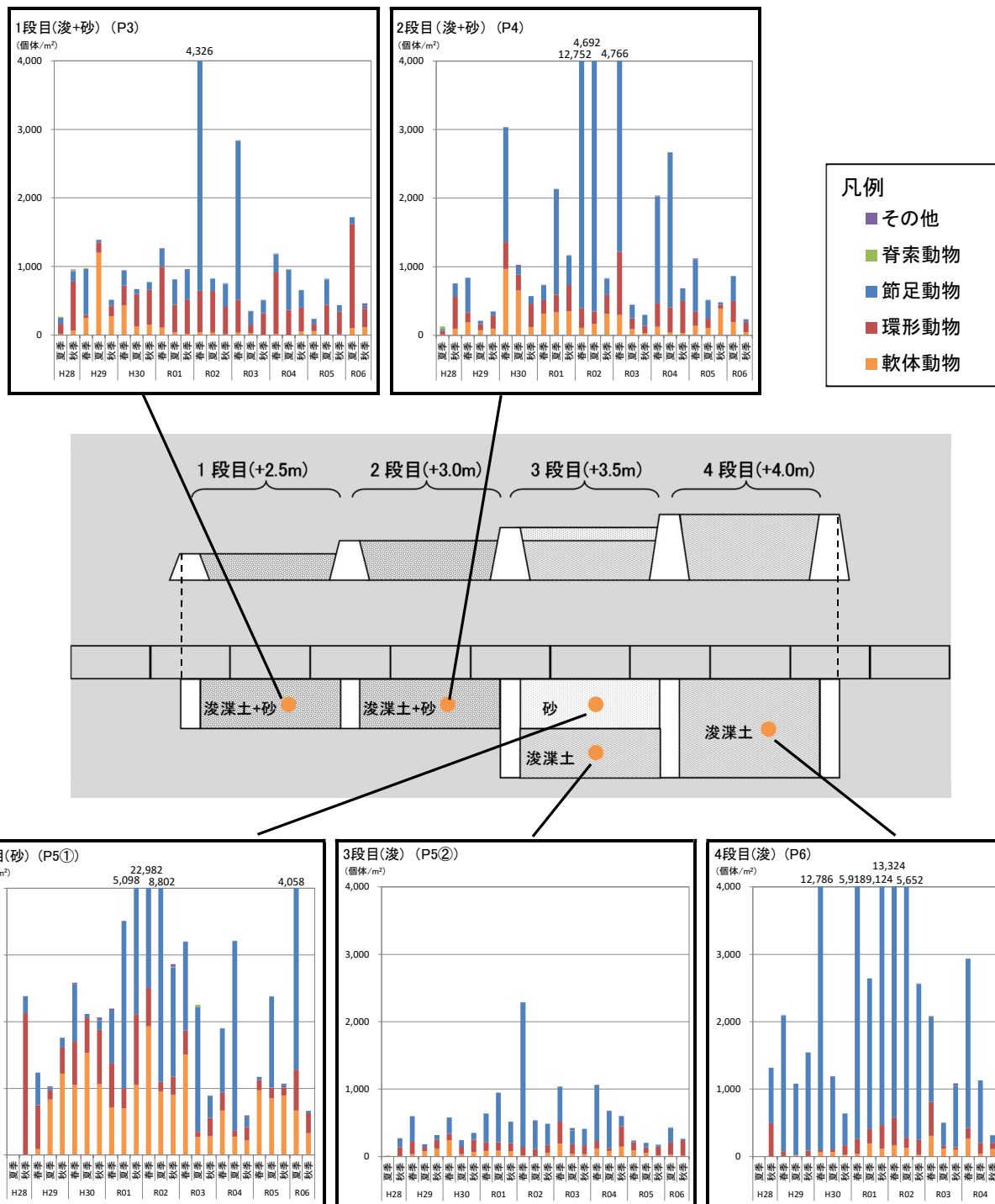


図 7.1(2) 底生生物の経年変化(個体数)

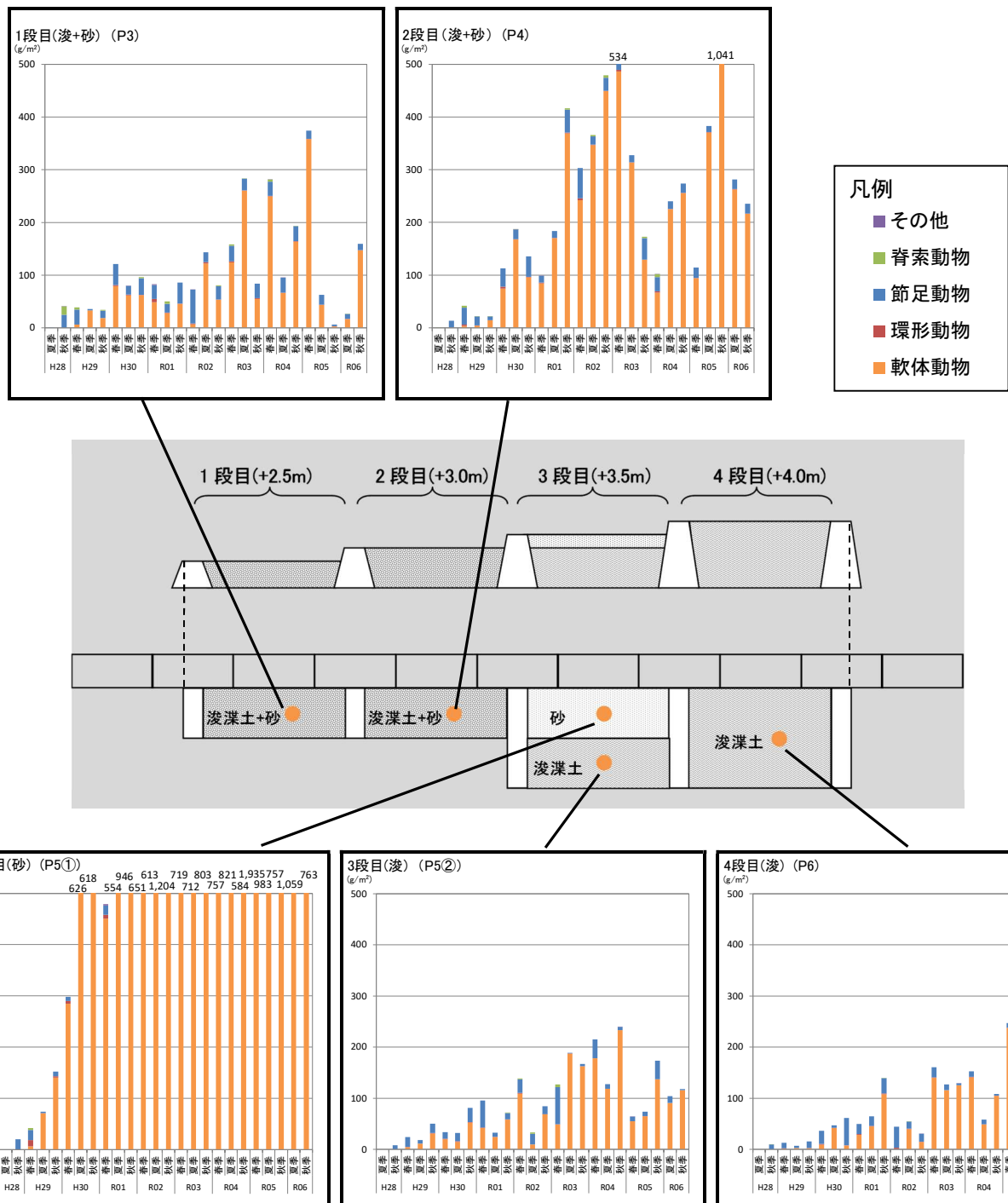
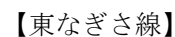


図 7.1(3) 底生生物の経年変化(湿重量)

○熊本港に造成された「東なぎさ線」、「北なぎさ線」における生物の出現状況は図 7.3 に示すとおりである。東なぎさ線、北なぎさ線ともに造成直後は生物の出現種数が少ないが、経年的に増加し、調査時期毎に東なぎさ線では 30 種、北なぎさ線では 20 種程度の出現種数が確認されている。

○造成干潟では、調査時期毎に各調査地点において 20～30 種の生物が確認され、全地点の合計では 98～115 種が確認（R5 年度）されている。造成干潟では、東なぎさ線や北なぎさ線よりも確認種数が多いが、なぎさ線と比較して底質と地盤高が多様であることから、その環境条件に応じて加入種数が多くなったものと考えられる。



- 【北なぎさ線】

- ・ 2006 年 9 月造成完了
- ・ 海砂(中央粒径 0.18 mm)と浚渫土の混合材料を中層に、海砂のみを表層に覆砂
- ・ 中央勾配 1/12
- ・ 100m 沖に離岸堤が設置されている

出典：増田ら(2010 年)：熊本港における「なぎさ線の回復」現地実証試験に関する研究，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol. 66, No. 1, 1211-1215

造成干潟における調査結果の概要を表 7.1 に示す

○ 造成から 8 年が経過した時点で、概ね以下の傾向がみられている。

- ・ 底生生物の出現種類数の多い区域：1 段目(P3)、2 段目(P4)、3 段目(P5①)
(これらの区域は総じて重要種の種類数も多い)
- ・ 湿重量の多い区域：3 段目(P5①)
- ・ 個体数の多い区域：4 段目(P6)

表 7.1 造成干潟における調査結果の概要

地点	地盤高 D.L. (造成後の変化)	底質性状	含泥率 (粘土+シルト)	底生生物の概要
1 段目 (P3)	+2.5m (変化なし)	浚渫土 +砂	50%	平成 30 年度以降、出現種類数は平均 29 種と比較的多い。オキシジミ、ヤマトオサガニ等が多くみられる(湿重量組成比)。また、アサリの個体数が多い時期もある。
2 段目 (P4)	+3.0m (変化なし)	浚渫土 +砂	60%	平成 30 年度以降、出現種類数は平均 30 種と比較的多い。オキシジミ、ヤマトオサガニ等が多くみられる(湿重量組成比)。
3 段目 (P5①)	+3.5m (変化なし)	砂	25%	平成 30 年度以降、出現種類数は平均 30 種と比較的多い。ウミナナ類が多くみられる(湿重量組成比)。
3 段目 (P5②)	+3.5m (5-10cm 程度の低下)	浚渫土	60%	平成 30 年度以降、出現種類数は平均 20 種である。ヤマトオサガニ等がみられる(湿重量組成比)。
4 段目 (P6)	+4.0m (10cm 程度の低下)	浚渫土	60%	平成 30 年度以降、出現種類数は平均 20 種である。コロフィウム属が多くみられる(個体数組成比)。

2) 重要種の出現状況

- ◆ 造成干潟やその周辺において、重要種に該当する種が確認された。
- ◆ 消失した中潮帯・高潮帯の干潟に生息していた生物は、生息場の減少から数を減らし、重要種となったものもいると考えられ、造成干潟に重要種が確認されることは、造成効果の一つとして望ましい結果であるといえる。

○造成直後から生物の加入が始まり、造成数年の間において、重要種も含めて種数・個体数・湿重量は増加傾向にあり、地盤高や底質性状に応じた多様な生物が生息できる場となっている。

○当該造成干潟は、有明海・八代海にかつて広く存在し、干拓事業や海岸整備事業等により消失した中潮帯・高潮帯の干潟の創出を目指したものである。これら消失した中潮帯・高潮帯の干潟に生息していた生物は、生息場の減少から数を減らし、重要種に指定されるようになったものもいると考えられる。

よって、生息環境を試験的に復元した造成干潟に重要種に該当する生物が確認されたことは、環境改善方策の効果の一つとして望ましい結果が得られたと考えられる。

○造成干潟およびその周辺において確認した重要種および確認位置については、個体保護の観点から本資料では**非公開**とする。

7.2 出現種の特徴整理(他のエリアへ展開するための条件整理)

1) 想定出現種の加入状況

- ◆ 高い地盤高（3 段目・4 段目）の地点において、中潮帯・高潮帯を好む種の出現を確認できたことから、当初目標とした干潟造成の効果として、中潮帯・高潮帯を再現した新たな生息環境が創出されたと考えられる。
- ◆ ヨシ等の塩生植物の加入は認められなかった。造成干潟への淡水の供給が無かったことが要因であると考えられる。また、想定出現種のうちヨシ植生等に依存する種などは確認できなかった。
- ◆ 地盤高や底質性状の条件の違いによる出現状況を明らかにすることができ、有明海・八代海での人工干潟造成に資する基礎情報を得ることができた。

○高い地盤高（3 段目・4 段目）において、造成前に想定した中潮帯・高潮帯を好む種(想定出現種(前述表 3.1 参照))のうちのいくつかの出現を確認できた。このことから、当初目標とした干潟造成の効果として、中潮帯・高潮帯を再現した新たな生息環境が創出されたと考えられる。

○想定出現種のうち、確認されなかった種は表 7.3 に示すとおりである。特に、ヨシ等の塩生植物の生育は認められなかった。塩生植物が生育しない要因の一つとして、当該造成干潟には淡水の供給源がなく塩分濃度が高いことが挙げられる。また、ヨシ等が生育する場を好むアズキカワザンショウガイなども、同様に出現しなかった。これらの植物や底生生物種の加入を促すには、設計時に淡水供給を考慮することが必要であると考えられる。

○また、ウズザクラガイ等の熊本県や環境省レッドデータリスト掲載種についても確認されなかった。周辺海域においても生息数が少なく、加入や定着にいたらなかったものと考えられる。

表 7.2 モニタリング調査での想定出現種の出現状況

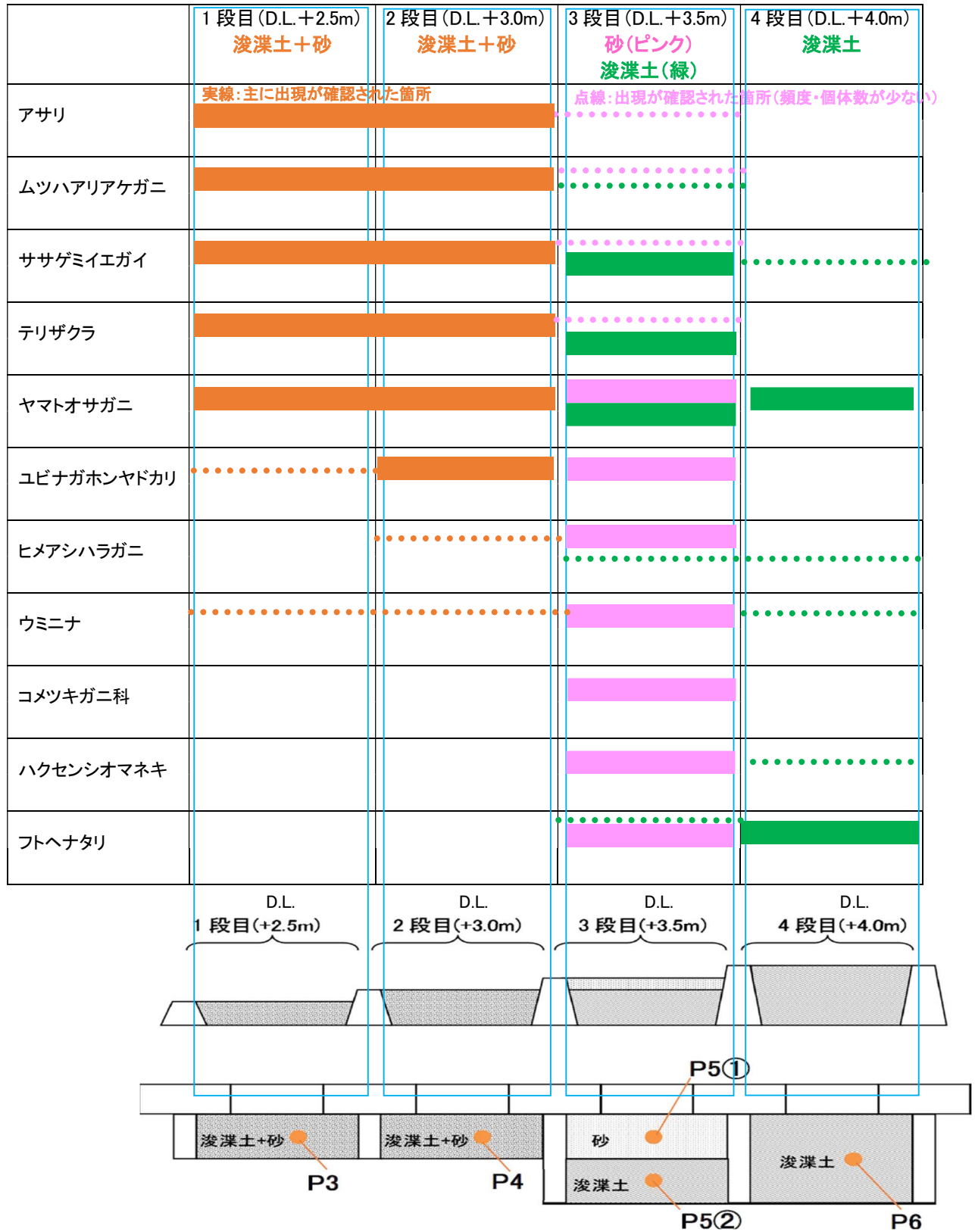


表 7.3 加入しなかった想定出現種とその理由

造成干潟で加入が 確認されなかった想定出現種	想定される理由
(植物) ハママツナ、フクド、シオク グ、ヨシ、シチメンソウ	造成後に一時的にヨシの生育が確認されたがその後枯死し、以降は確認されなかった。 造成干潟への淡水供給が無いことから、塩生植物の加入や定着は困難だったものと考えられる。
(動物) アズキカワザンショウガイ、ウ モレベンケイガニ、クロヘナタ リ、ヒラドカワザンショウガイ	ヨシ等の生育場を好むことから、当該試験区に加入や定着は困難だったものと考えられる。
(動物) ウズザクラガイ、ウミマイマ イ、カワグチツボ、ハナグモリ ガイ、ムラクモキジビキガイ、 ユウシオガイ	熊本県や環境省のレッドデータリスト掲載種であり、周辺海域での個体数が少ない、生息場所が限られるため当該試験区に加入や定着は困難だったものと考えられる。

2) 環境条件のまとめ

- ◆ 地盤高の高い砂質にはコメツキガニ科等の甲殻類やオキナガイ科等の二枚貝、ウミナナ科やフトヘナタリ科等の巻貝の生息が確認でき、地盤高の低い泥質にはカギゴカイ科などの多毛類、ムツハアリアケガニやテッポウエビ等の甲殻類、アラムシロ等の巻貝等の生息が確認できた。
- ◆ 一方、多毛類のイトゴカイ科や甲殻類のドロクダムシ科(コロフィウム属)はいずれの地点でも確認されたことから、地盤高や底質性状に依存しないものと考えられた。

以上より、地盤高、底質性状に応じた生物がそれぞれの場に生息する状況が確認できた。

地盤高と底質条件の異なるそれぞれの地点での 8 年間の底生生物の出現状況から、生物の生息環境の選好性を整理した。

具体的には、比較的出現回数や個体数の多い生物を対象に、地点別の出現回数と出現個体数について整理し、図 7.4 に示す。なお、生物分類については科レベルとし、科レベルの中でも種によって大きく傾向の異なるものについては種名まで提示した。

また、これらの生物について、地盤高と底質性状の選好性をイメージ化した結果を図 7.5 に示す。

- 地盤高の高い砂質には、コメツキガニ科などの甲殻類やウミニナ科やフトヘナタリ科などの貝類が多く確認された。また、ゴカイ科など比較的砂質を好む多毛類の生息も確認された。
- 地盤高の低い泥質には、カギゴカイ科などの多毛類、ムツハアリアケガニ科、テッポウエビ科などの甲殻類、アサリやムシロガイ科などの貝類の生息が確認された。
- 多毛類のイトゴカイ科や甲殻類のドロクダムシ科(コロフィウム属)などはいずれの地点にも多く確認できたことから、地盤高や底質性状に依存しないものと考えられる。

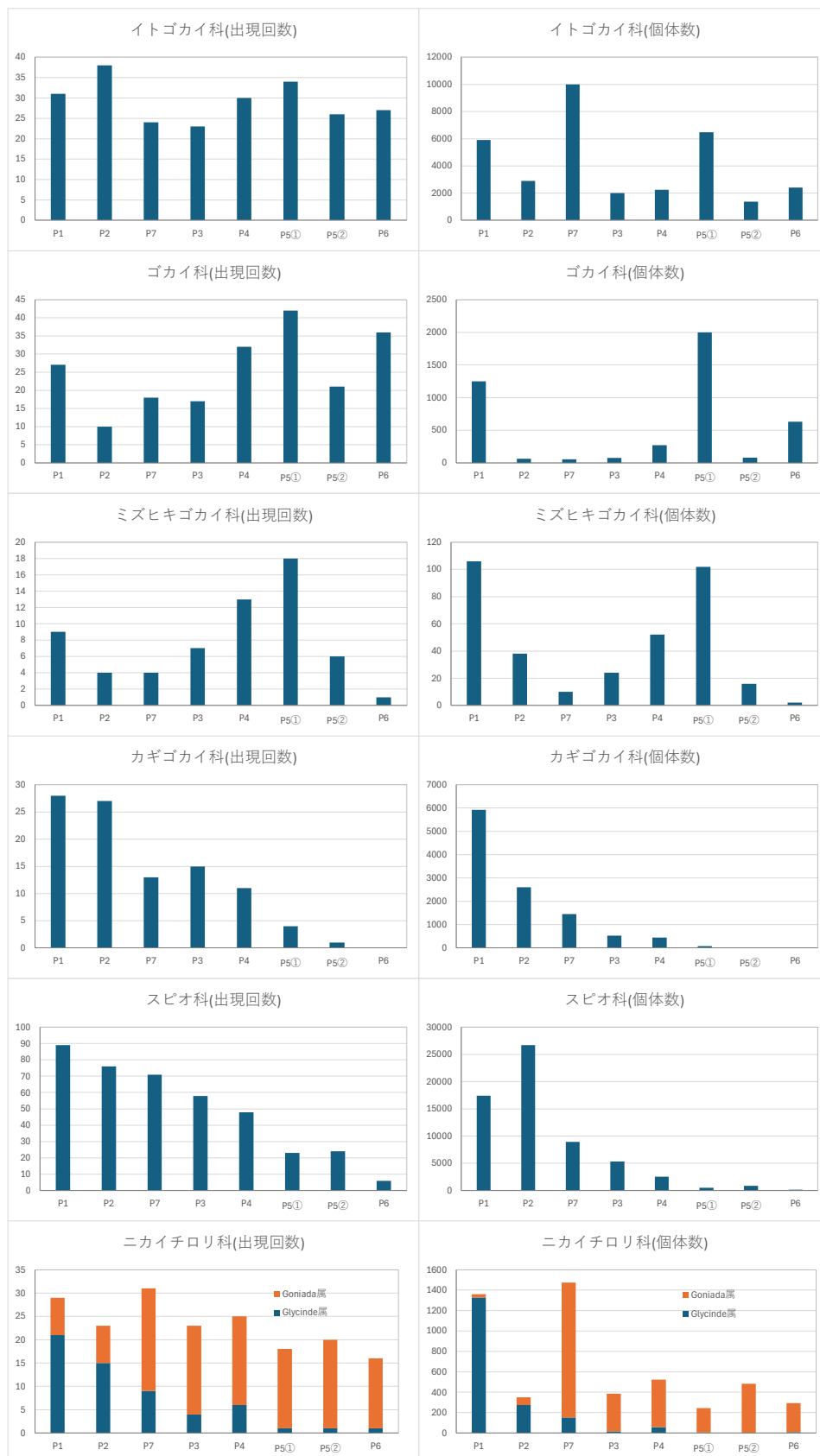


図 7.4(1) 造成干潟における底生生物出現状況(環形動物門多毛綱)

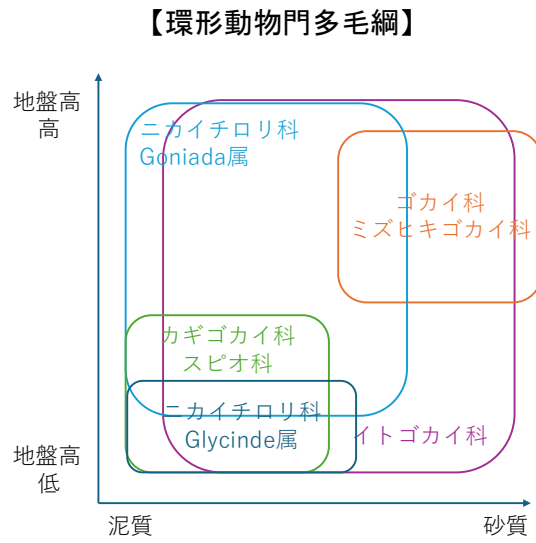


図 7.5(1) 今回の実証試験により得られた底生生物の地盤高と底質性状の選好性のイメージ図
(環形動物門多毛綱)

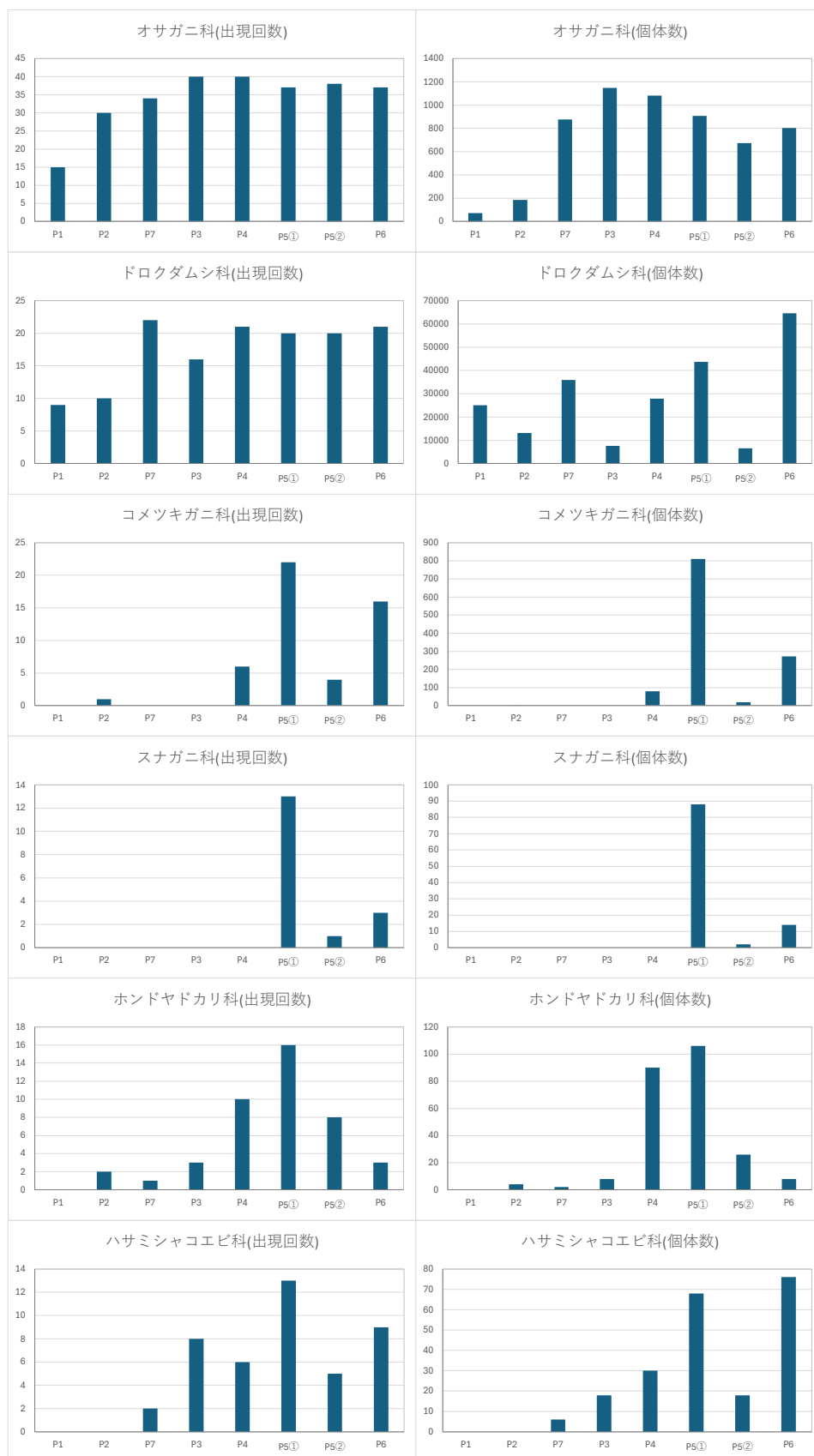


図 7.4(2) 造成干潟における底生生物出現状況(節足動物門甲殻綱)

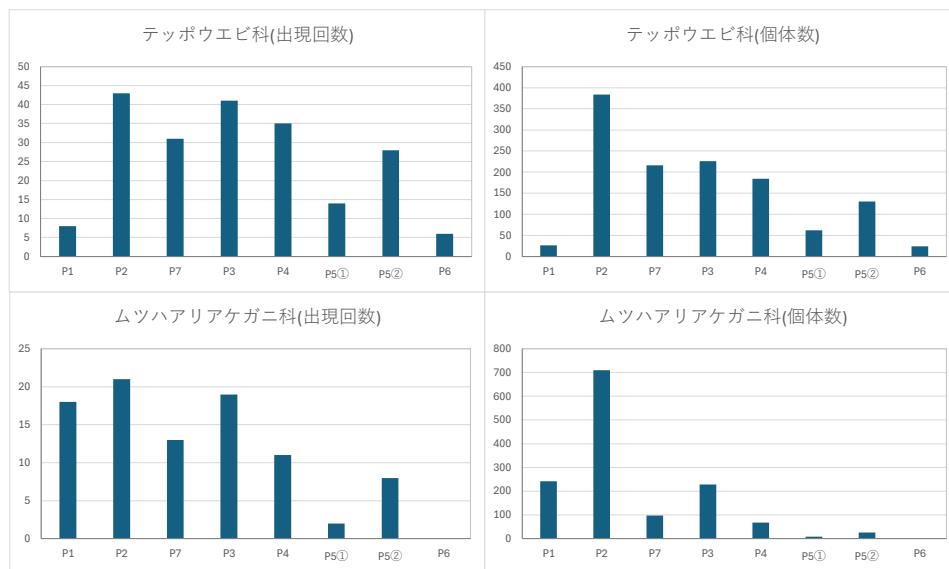


図 7.4(3) 造成干潟における底生生物出現状況(節足動物門甲殻綱)

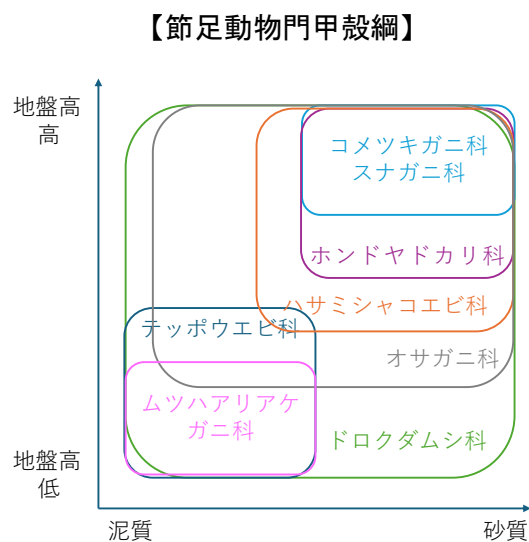


図 7.5(2) 今回の実証試験により得られた底生生物の地盤高と底質性状の選好性のイメージ図 (節足動物門甲殻綱)

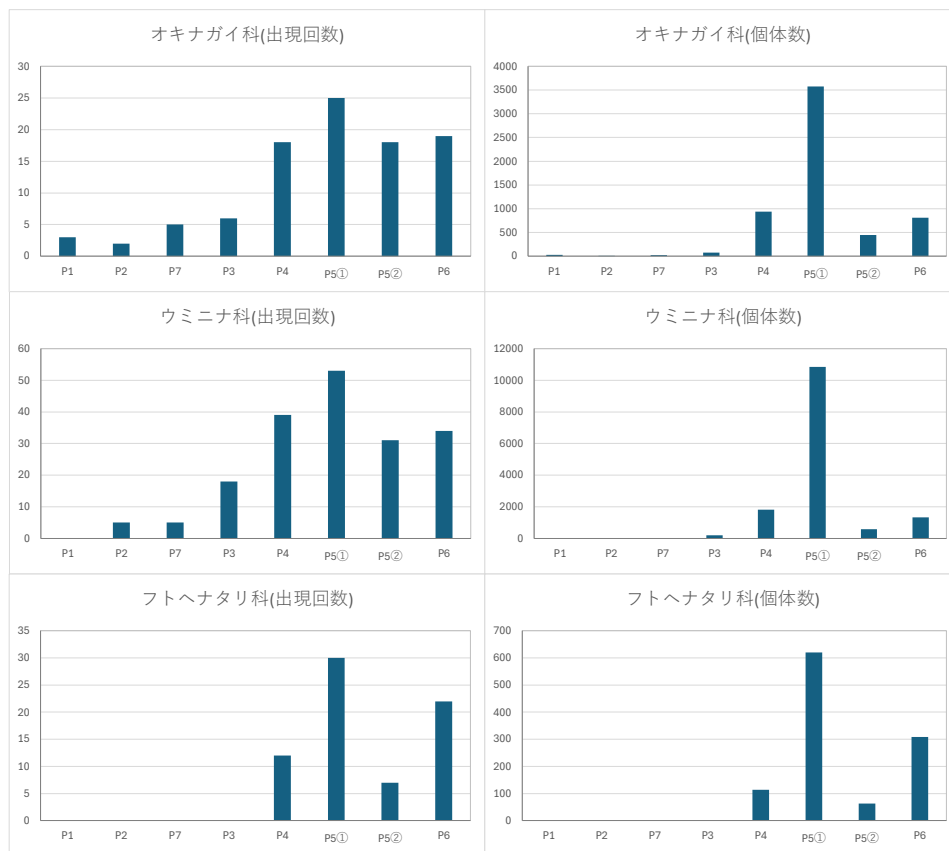


図 7.4(4) 造成干潟における底生生物出現状況(軟体動物門腹足綱)



図 7.4(5) 造成干潟における底生生物出現状況(軟体動物門二枚貝綱)

【軟体動物門腹足綱・二枚貝綱】

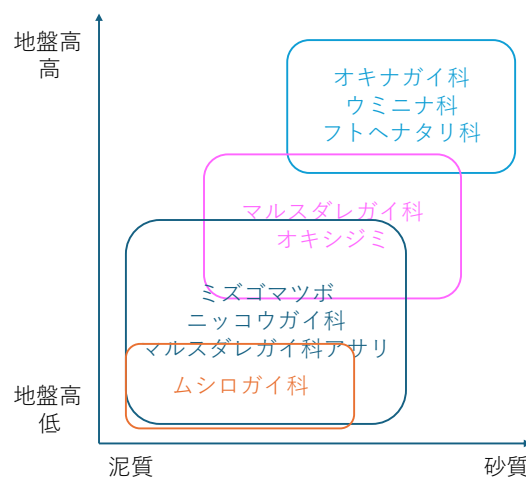


図 7.5(3) 今回の実証試験により得られた底生生物の地盤高と底質性状の選好性のイメージ図 (軟体動物門腹足綱・二枚貝綱)

8. 統計的手法を用いた底質と底生生物の関係性に関する解析・評価

- ◆ 各調査における地点毎の底生生物（種別の個体数）を用いた nMDS 解析や、底質分析結果を用いたクラスター解析等の統計解析手法による解析を行うことにより、地盤高や底質性状の条件の違いによるベントス群集の多様性の傾向を可視化することができると考えられる。

○造成した干潟のベントス群集の構成について、モニタリング調査で出現した全ベントス個体数のデータを用いて、統計解析手法として用いられる非計量多次元尺度法（nMDS : Non-metric Multi-Dimensional Scaling）による群集構造解析を試みた。

○全地点・全期間データでの nMDS 解析結果の散布図は図 8.1 に示すとおりである。地点別に凡例を分けると、各地点はそれぞれで概ね同一の分布（群集）を持っているとともに、地点毎の分布（群集）は、別地点と概ね分離している傾向が見られる。地盤高の違いや底質性状の違い（同じ地盤高における砂：P5①と浚渫土：P5②）によって生物群集の差異が出ており、造成干潟の段差や異なる底質材料を用いた設計にすることにより、生物群集の多様化を持った干潟を造成することができたと考えられる。

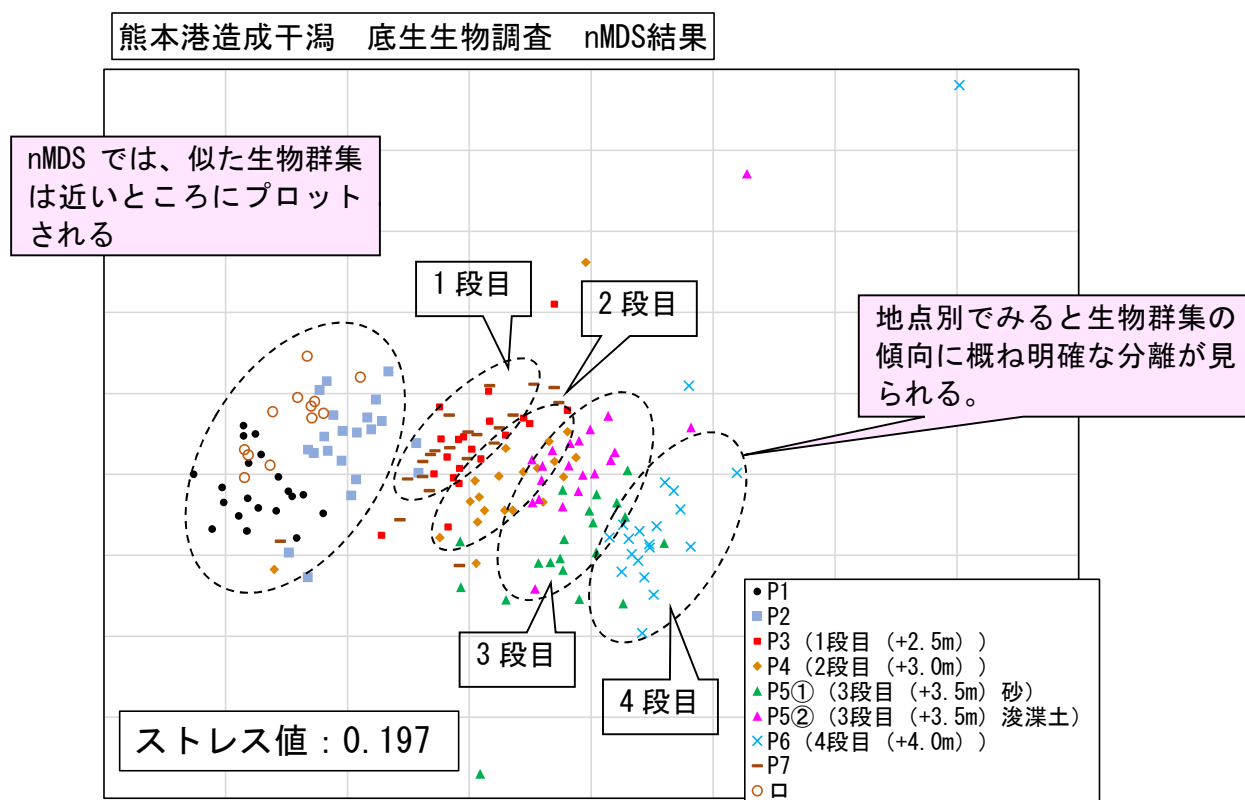


図 8.1 全地点を対象とした nMDS による 2 次元プロット

○nMDS による解析では、各地点・各調査時期の結果がどのような項目に起因してプロットされたものであるのかが明確ではないが、地盤高や底質性状の相違からそれらの環境を選好する底生生物のグループが生息していることがわかる。

○一方、クラスター解析では、樹形図の分岐から項目の起因の状況にある程度推測することができると考えられる。よって、造成干潟の底質環境について、モニタリング調査で得られた全地点・全期間の底質データでのクラスター解析を行った。結果の樹形図は

図 8.2 に示すとおりである。造成干潟及びその周辺の底質環境は、大分類として「造成干潟地点か・対照地点か」で大別され、さらに「粒度組成が砂質か・泥質か」で分けられ、更に「地盤が高い・地盤が低い」の指標によってグルーピングされている。各クラスターの地盤高等の状況を表 8.1 に示す。

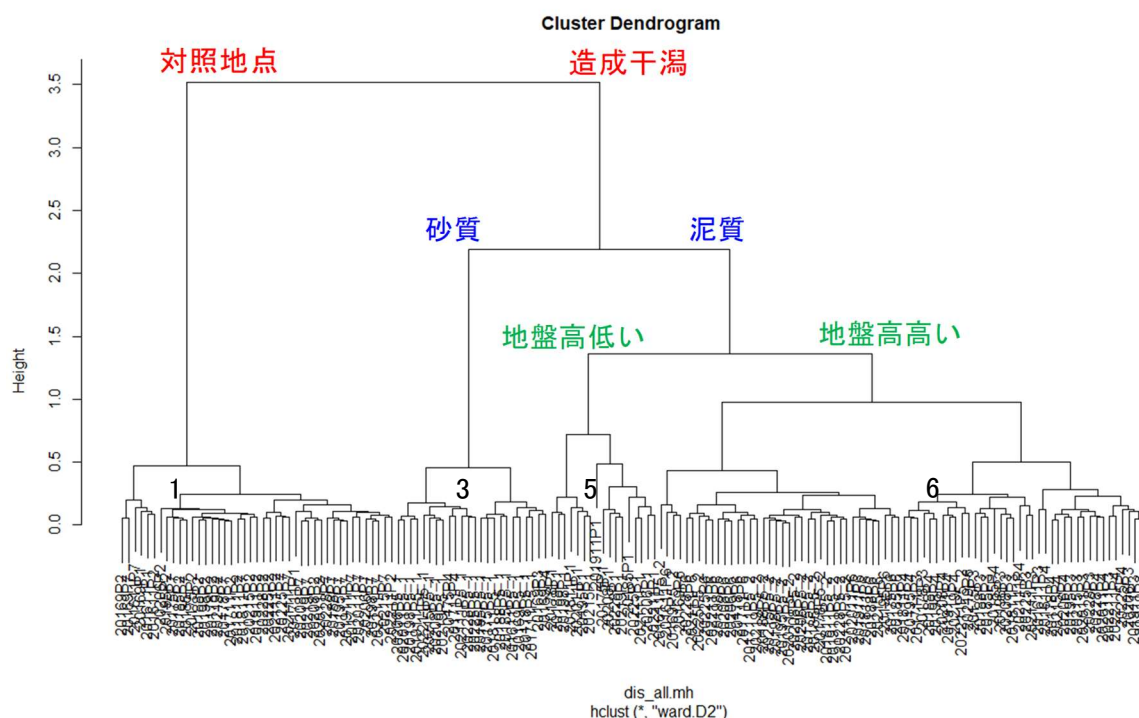


図 8.2 全地点の底質データを対象としたクラスター分析による
デンドログラム（樹形図）のクラスタリング

表 8.1 各クラスターの地盤等の状況

項目		クラスター1	クラスター3	クラスター5	クラスター6
地盤高 (D.L.m)	最小	0.2	2.5	0.2	2.5
	最大	1.0	3.5	0.2	4.0
粘土シルト分 (%)	最小	78.9	7.2	7.7	10.0
	最大	96.9	28.5	92.6	86.2
	平均値	90.8	18.5	44.8	53.6

これらクラスターのそれぞれにおける主な生物群集は以下のとおりである。

(クラスター1)

- ・クラスターを構成する主な地点は P2(泥)、P7(泥)であり、いずれもケーソン内側の対照地点である。
- ・個体数から見た優占種は、多毛類のイトエラスピオやイトゴカイ科、甲殻類のコロフィウム属等であり、湿重量からみた優占種は、甲殻類のヤマトオサガニ、二枚貝のササゲミミエガイ、巻貝のアラムシロ等であった。

(クラスター3)

- ・クラスターを構成する主な地点は P5①(4 段目(砂))である。
- ・個体数からみた優占種は、コロフィウム属、多毛類の *Capitella* 属、巻貝のウミニナやホソウミニナ等であり、湿重量からみた優占種は、ウミニナ、ホソウミニナ等のほか、二枚貝のオキシジミ等であった。

(クラスター5)

- ・クラスターを構成する主な地点は沖側の対照区 P1(泥)である。
- ・個体数からみた優占種は、二枚貝のホトトギスガイ、多毛類のイトエラスピオ、*Prionospio* 属、イトゴカイ科等であり、湿重量から見た優占種は、ホトトギスガイのほか、アラムシロ、二枚貝のアサリ、シオフキ等であった。

(クラスター6)

- ・クラスターを構成する主な地点は P3(1 段目(浚渫土+砂))、P4(2 段目(浚渫土+砂))、P5 ②(3 段目(浚渫土))、P6(4 段目(浚渫土))である。
- ・個体数から見た優占種は、コロフィウム属、イトゴカイ科等であり、湿重量からみた優占種は、オキシジミ、ウミニナやホソウミニナ等であった。

以上より、

- ・地盤高の低い泥質の干潟には、ゴカイ類等の多毛類や二枚貝のホトトギスガイ、巻貝のアラムシロなど、総じて有機的な環境を好む種が優占しており、一方、地盤高の高い砂質の干潟には巻貝のウミニナ類や二枚貝のオキシジミなどが多くみられた。
- ・このうち、ウミニナ類は地盤高の比較的高い干潟に多く出現し、泥質に比べて砂質を好む傾向にあった。
- ・なお、甲殻類のコロフィウム属は造成干潟のみならず対照地点でも多く確認され、底質や地盤高に依存しないことが示唆された。

1) 概要

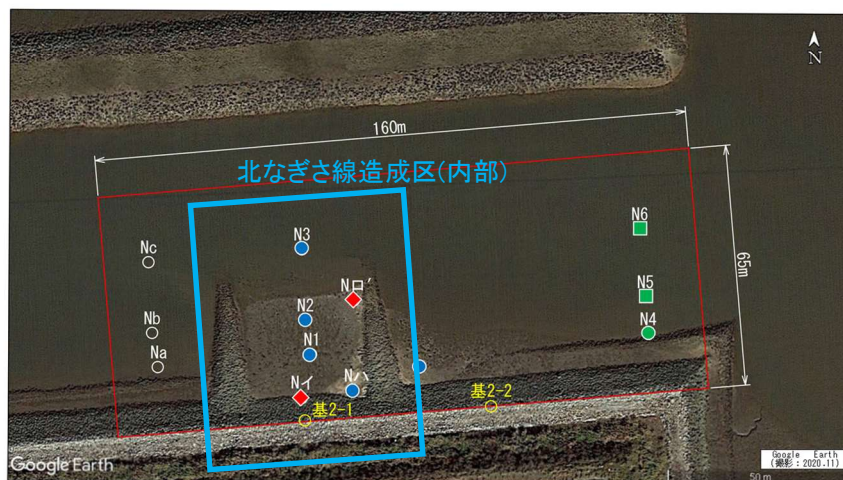
令和 6 年度の夏季、秋季において、熊本港の東なぎさ線、及び北なぎさ線の追加調査が行われた。ここでは、造成干潟と東・北なぎさ線の調査結果より各々の特性を整理した。

○調査位置：図 1 に示す

○調査項目：地盤高調査結果、底質調査結果、底生生物調査結果



東なぎさ



(北なぎさ)

図 1 調査位置

2) 調査結果

造成から 18～19 年が経過した東なぎさ線、北なぎさ線の地盤高は、いずれも造成前の地盤と同程度にまで低下していた(図 2)。造成干潟がケーソンや石積堤に囲まれ、平均潮位よりも高い位置にあることで、その形状は比較的安定していることに比べると、東なぎさ線、北なぎさ線は一部突堤や離岸堤が存在するものの、地盤高が低く、潮汐流や波浪等の影響を受けやすかったものと考えられる。

一方、地盤高が低下したものの東・北なぎさ線の造成区域には砂質の底質が残存し(図 3)、また、なぎさ線造成区域以外の周囲にも砂質の堆積が認められた。突堤があることで砂または泥の集積や堆積が促されているといえる。

<東なぎさ線>

- 沖堤や島堤は埋没が顕著であるが、施工した砂質土は残存している。また突堤南方に施工した砂質土の移動による集積が見られた。

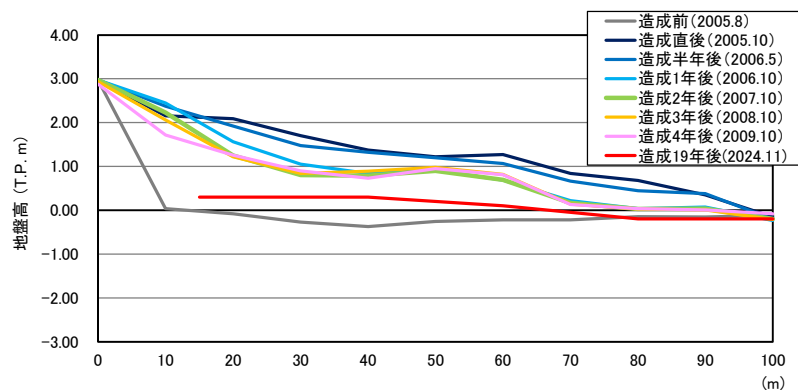
<北なぎさ線>

- 突堤間は泥と一体化しているものの覆砂した砂質土は残存し、また砂の移動・集積もあったと考えられる。砂質が顕著なのは突堤の近傍のみであった。

<造成干潟のケーソン沖側に突堤>

- 突堤基部に砂の集積が見られた。

(東なぎさ線)



(北なぎさ線)

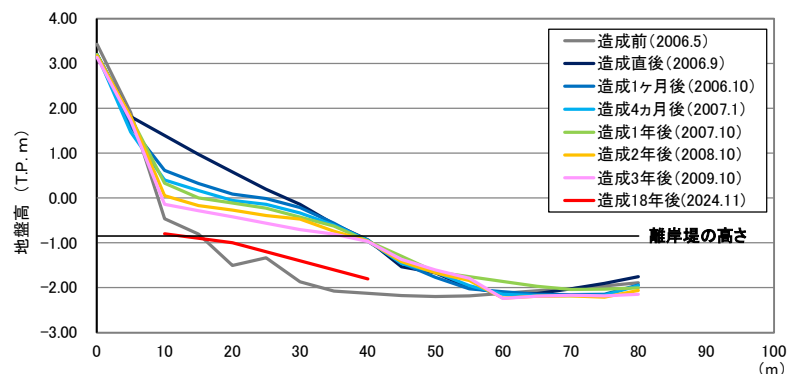


図 2 地盤高の変遷

注：東なぎさ線の R6 年度(2024.11)は E1、E2、E3、Eb、E4 の値、北なぎさ線の R6 年度(2024.11)は N1、N2、N3 の値を示す。また、測定値の D.L.を T.P.に変換して表示した(+2.3m)

出典：増田ら、熊本港における『なぎさ線の回復』現地実証試験に関する研究、土木学会論文集 B2(海岸工学)Vol.66、No.1、1211-1215、2010. をもとにデータを追加

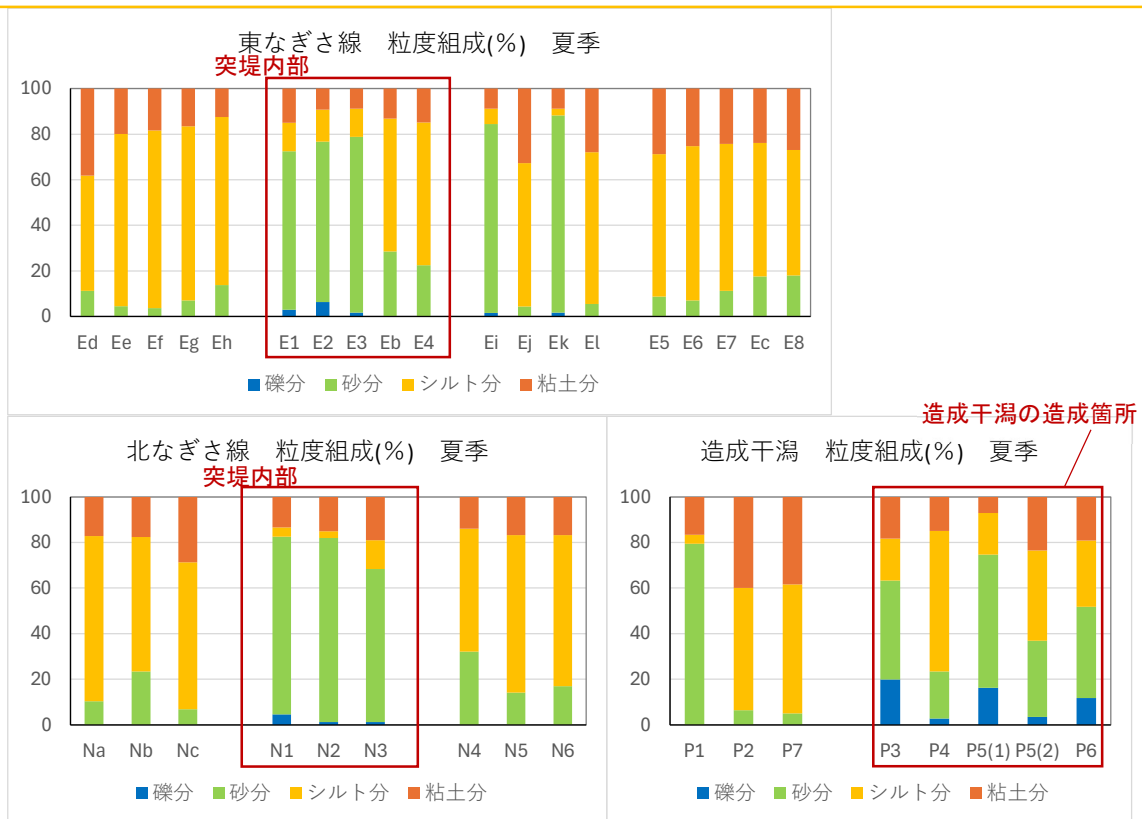


図3 底質 粒度組成(夏季)

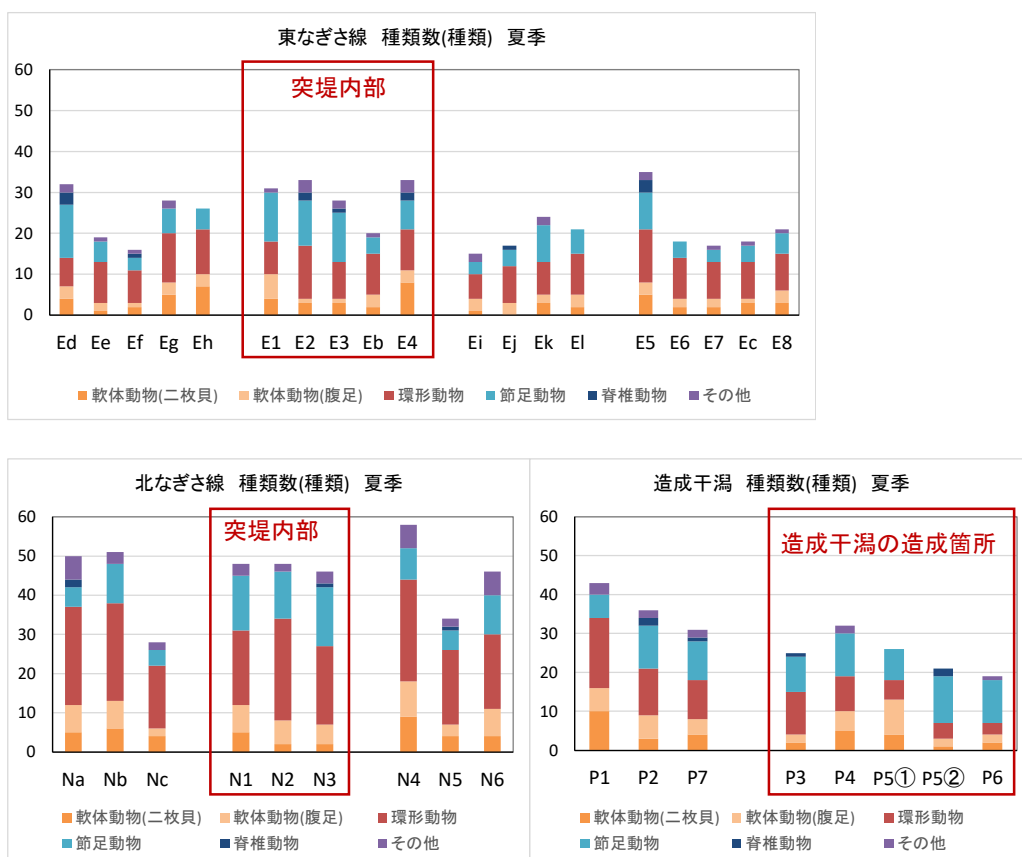


図 4 底生生物・種類数(夏季)

東なぎさ線、北なぎさ線、周辺も含めて多くの底生生物の生息が確認された(図 4)。

<東なぎさ線>

- 突堤内部、及び外部(北側)で多く、外部(南側)で少ない傾向にある。
- 夏季は、外部(北側)、外部(南側)ともに最も岸よりの地点(Ed、E5)で比較多い傾向にあった。なお、これらの地点の底質性状や地盤高は他の外側地点と同様であった。
- いずれの地点もおおむね環形動物門の種類が多く、また、種類数の多い地点においては節足動物門の種類が多い傾向にあった。
- 主な出現種(個体数)はヤマトスピオ、イトゴカイ科等であったが、スナガニは砂質の地点のみで確認され、他の地点ではみられないことから特徴的な結果といえる。

<北なぎさ線>

- 突堤間の砂は泥と一体化しており、アサリの生息には適していると考えられる。主な出現種(個体数)は、アサリ、ホトトギスガイ、イトエラスピオ等であった。
- なぎさ線内部では岸沖方向の差は比較的小さいが、外部では岸側に比べて沖側で種類数が少ない傾向にあった。
- いずれの地点もおおむね環形動物門の種類が多く、また、種類数の多い地点においては節足動物門の種類が多い傾向にあった。

よって、低潮帯の干潟においては潮汐流等の影響をうけて造成直後から形状の変化は著しいが、一方で突堤構造により砂質の集積が促されるとともに、これに応答する底生生物が加入・定着し、当該造成区の生物の多様性が向上することが示唆された。

＜造成干潟＞

区域ごとの出現種を比較した結果、造成干潟(造成箇所)のみに出現した種は 6 種(節足動物門アキアミ、カクベンケイガニ属、軟体動物門(腹足)イボウミニナ、フトヘナタリ、カワアイ、タクミニナ科)であった。

以上より、高潮帯の干潟は比較的潮汐流等の影響を受けにくく、形状を維持しやすいこと、また、かつて有明海・八代海に広く存在していた高潮帯の干潟に生息していたと考えられる生物の生息場を復元できたことが示された。

資料：九州地方整備局熊本港湾空港整備事務所 資料より作成

【造成干潟と東なぎさ線・北なぎさ線の特性のまとめ】

造成から 18～19 年が経過した東なぎさ線、北なぎさ線の地盤高は、いずれも造成前の地盤と同程度にまで低下していた。造成干潟がケーソンや石積堤に囲まれ、平均潮位よりも高い位置にあることで、その形状は比較的安定していることに比べると、東なぎさ線、北なぎさ線は一部突堤や離岸堤が存在するものの、地盤高が低く、潮汐流や波浪等の影響を受けやすかったものと考えられる。

一方でなぎさ線の突堤構造により砂の移動や集積が見られており、例えば、東なぎさ線では、沖堤や島堤は埋没が顕著であるが、施工した砂質土は残存していた。また施工した砂質土の一部は突堤南方に移動し、集積が見られた。北なぎさ線では、突堤間は泥と一体化しているものの覆砂した砂質土は残存し、また砂の移動・集積もあったと考えられる。砂質が顕著なのは突堤の近傍のみであった。

このように突堤構造は潮汐流の流向にも依るが、突堤間だけでなく周囲への砂質の集積を促し、シルト・粘土分の多い干潟環境の水域に砂質の環境を創造することが分かる。これらの環境に応じた底生生物の加入がみられ、当該事例では北なぎさ線にアサリ等の水産有用種の生息が見られた。

造成干潟は人為的に底質と地盤高に変化をもたせ、その環境条件の相違により生物生息場の多様性を向上させたが、突堤等の構造物により自然の遷移に任せた環境創造方策についても効果を検証することができた。

9. 今後の利用・活用に向けて

9.1 炭素貯留の場としての造成干潟

- ◆ 海洋生態系による吸収源対策としてのブルーカーボンが注目されており、干潟の造成によって微細藻類などの植物や底生生物の遺骸などの炭素貯留による効果が期待できる。
- ◆ 浚渫土砂の活用による炭素貯留効果が提唱されており、浚渫土を干潟等に有効活用することで温暖化抑制につながるものになる。

○気候変動対策として、海洋生態系による炭素吸収「ブルーカーボン」が吸収源対策として注目されている。一般的に湿地・干潟には、塩生植物、海水中や地表の微細な藻類を基盤に、食物連鎖でつながる多様な生物が生息する。それら生物の体は炭素で構成されていることから、植物や動物の遺骸が底質中に溜まることで、ブルーカーボンとして炭素を貯留することとなる。



出典：「海の森ブルーカーボン CO2 の新たな吸収源」（2023年6月更新、国土交通省港湾局）

図 9.1 湿地・干潟におけるブルーカーボンのイメージ

○浚渫土砂を干潟造成等に用いることによる炭素貯留効果については、現在、国土交通省国土技術政策総合研究所で研究中である。干潟造成の中込材に用いられた浚渫土砂は、長期に炭素を保持する炭素貯留効果が見込まれるとされており、軟弱な浚渫土砂でも、階段状の干潟の中込材、表層材に活用することで、気候変動対策に資する材料となると考えられる。

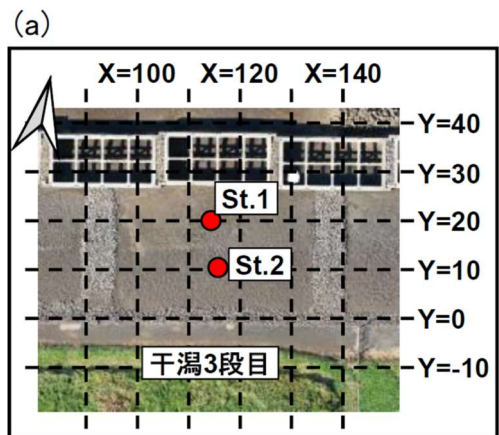
●内容

熊本港造成干潟を対象に、浚渫土砂を活用した泥質干潟での有機炭素残存率、炭素貯留量、メタン生成量を調査した。（なお、有機炭素が豊富な浚渫土砂を、覆砂施工された嫌気状態の干潟に封じ込めると、温室効果ガスの一つであるメタンが生成することにより、炭素貯留効果が低減される懸念があるため、同時にメタン生成量についても調査したものである。）

$$\text{炭素残存率(\%)} = \frac{\text{浚渫土砂層における TOC}}{\text{投入された浚渫土砂の TOC (初期値)}} \times 100$$

●調査概要

- ・調査地点：2 地点 3 段目 D.L.+3.5m、
(St.1 覆砂あり、St.2 覆砂なし)
- ・現地調査：2023 年 11 月
- ・調査結果概要：
 - 熊本港造成干潟において炭素残存率とメタン生成量を調査した結果、炭素残存率は「覆砂なし」で $74.2 \pm 1.8\%$ 、「覆砂あり」で $100.5 \pm 33.8\%$ となり、「覆砂あり」の方が炭素残存率は高くなった。これより、覆砂施工の有無が干潟における浚渫土砂の炭素貯留効果に影響することが示唆された。
 - 造成干潟の 3 段目では合計 $247.6 \text{ g-C} \cdot \text{m}^{-3}$ の炭素貯留量があることが分かった。
 - 炭素貯留量に対するメタン生成量は極微量であった。



表－1 炭素貯留量

	St.1	St.2
TOC(mg・g-dry ⁻¹)	14.3	10.5
含水比(%)	71.9	61.9
浚渫土砂の体積(m ³)	353.3	207.9
炭素貯留量(g-C・m ³)	167.8	79.8

出典：有田駿、内藤了二、西村恵美、管原庄吾、秋山吉寛、岡田知也. 熊本港造成干潟における炭素貯留量とメタン生成量、令和6年度日本沿岸域学会研究討論会概要集、2023. 37.

9.2 環境学習等への利用

- ◆ 造成干潟を利用した子供向けの観察会・学習会が開催されており、造成干潟は「環境学習」「自然との触れ合いの機会」の場となっている。
- ◆ アンケート結果によると、熊本市内の参加者の多くは初めて干潟に入ったとの回答であったことから、海に直接触れる機会が少なくなっている中で、観察会・学習会の開催できる造成干潟は人にとっても貴重な場であるといえる。
- ◆ 造成干潟の周辺には野鳥の池、東なぎさ線などの人工干潟や、有明・八代海海洋環境センター（熊本新港分室）の施設があり、これらを利用した体験学習・自然観察イベントが今後も期待できる。

○熊本港に造成された干潟は、日常ではふれあう機会がない泥質干潟に安全にアクセスすることが可能である場であり、観察会・学習会を設けることで泥や生物の観察を実施する貴重な場となっている。

○熊本港の東護岸側には、熊本港親水緑地公園が整備されており、造成干潟の周辺には、「野鳥の池」「東なぎさ線」等の人工干潟や、熊本港湾・空港整備事務所の有明・八代海海洋環境センター（熊本新港分室）があり、今後もこれらの施設を利用した様々な体験学習・自然観察イベント等に活用することが考えられる。

【造成干潟】

平成 28 年 8 月に施工完了した人工干潟。ハクセンシオマネキなど熊本県では数が少ない生物が多数生息し、トビハゼやムツゴロウも生息する。干潟には簡単にアクセスできるが、干潟はぬかるむため注意が必要。

【東なぎさ線】

熊本港の東護岸前面に、連続した地形の確保や覆砂の流失防止のため潜堤をちどりに配置し覆砂した人工なぎさ。2005 年 10 月施工完了

【野鳥の池】

環境学習を目的に作られた人工干潟であり、通水管により海水の出入りがある。2002 年施工完了。

湛水時にはカワウの休息やコサギ等が採餌する他、冬季にはカモ類の休息地として機能している。野鳥観察用の覗き窓（ハイド）もある。

【熊本港湾・空港整備事務所 有明・八代海海洋環境センター（熊本新港分室）】

トイレや洗い場がある他、室内には図鑑等の学習教材もある。環境学習イベント等の際に拠点として活用も可能だが、事前調整が必要。

【熊本港親水緑地公園】

駐車場やトイレ設備があり開放的な緑地が広がる。「熊本港みなとまつり」等のイベント会場としても利用される。

図 9.2 熊本港の造成干潟周辺に位置する人工干潟・公園・施設

○これまでに、熊本港湾・空港整備事務所や熊本県（熊本県環境センター）の主催により、当該造成干潟において子供向けの観察会・学習会が実施されており、熊本新港分室を利用した学習や、造成干潟での実体験がなされている。

○観察会・学習会の参加者へのアンケートによると、熊本市内からの参加者の多くが、干潟に入るのが初体験であり、海辺に直接触れる機会が少なくなっている中で、観察会・学習会の開催できる造成干潟は人にとっても貴重な場であるといえる。

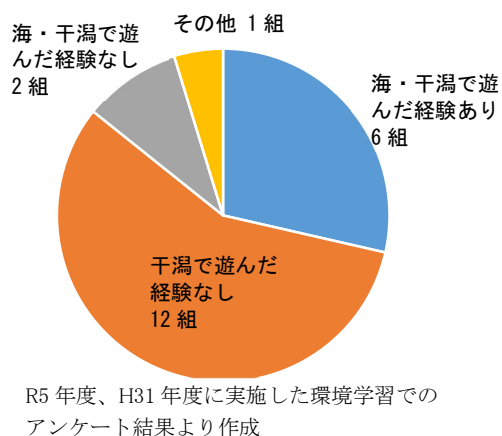


図 9.3 環境学習参加者の自然との触れ合い機会の状況（アンケート結果）



図 9.4 環境学習参加者の自然との触れ合い機会の状況

その他、「干潟フェスタ」（主催は干潟フェスタ実行委員会）として、熊本港東側干潟（本資料では東なぎさ線）、野鳥の池、熊本港親水緑地広場を対象としたイベントが 17 回開催されている。本港周辺において「干潟観察コース」、「学習コース」、「研究コース」、「パフォーマンス（クイズラリー等）」が企画され、参加者とともに干潟に棲む生物の観察等を通して有明海の干潟環境を体感してもらうとともに、有明・八代海の現状や沿岸域の災害と対策等のパネル展示を通じて干潟の機能や大切さを市民に周知している。

9.3 生態系サービスの視点

一般に干潟が有する生態性サービスを表 9.1 に示す。また、これら生態系サービスのうち、当該造成干潟に該当すると考えられるサービスについて「○」を付した。

表 9.1 干潟が有する生態性サービス

生態系サービスの分類		生態系サービスの内容例	造成干潟において 該当すると考えられる サービス
供給	食料	水産資源の供給	○アサリ等の生息
	淡水資源	海水の淡水化利用	
	原材料	貝製品、美容品などの生産	
	遺伝子資源	—	
	薬用資源	—	
	鑑賞資源	観賞用動植物の供給	
調整	大気質調整	硫黄酸化物、窒素酸化物濃度の調整 潜熱効果による気温調整	
	気候の調整	二酸化炭素の濃度調整	○炭素貯留
	局所災害の緩和	波浪の減衰	
	水量調整	—	
	水質浄化	窒素、リンの除去 有害物質の無害化	○底生生物の存在によ る有機物の除去
	土壌浸食の抑制	—	
	地力の維持	—	
	花粉媒介	—	
生育・ 生息地	生物学防除	食物連鎖による赤潮抑制	○二枚貝類(懸濁物食)の 生息
	生息・生育環境の 提供	干潟の生物多様性の保全 魚介類の産卵場、採餌場、避難場の 提供	○底生生物の生息
文化	遺伝的多様性の保 全	—	
	自然景観の確保	多様な景観の創出 希少野生生物等が生息する景観	
	レクリエーション や観光の場と機会	潮干狩り 自然観察や散策など、観光利用の場	○干潟フェスタ等の開 催
	文化、芸術、デザ インへのインスピ レーション	地域行事や祭事の開催 絵画や文芸などの創作	
	神秘的体験	—	
	科学や教育に関す る知識	環境教育の場としての利用 科学研究の場、材料としての利用	○環境学習の実施

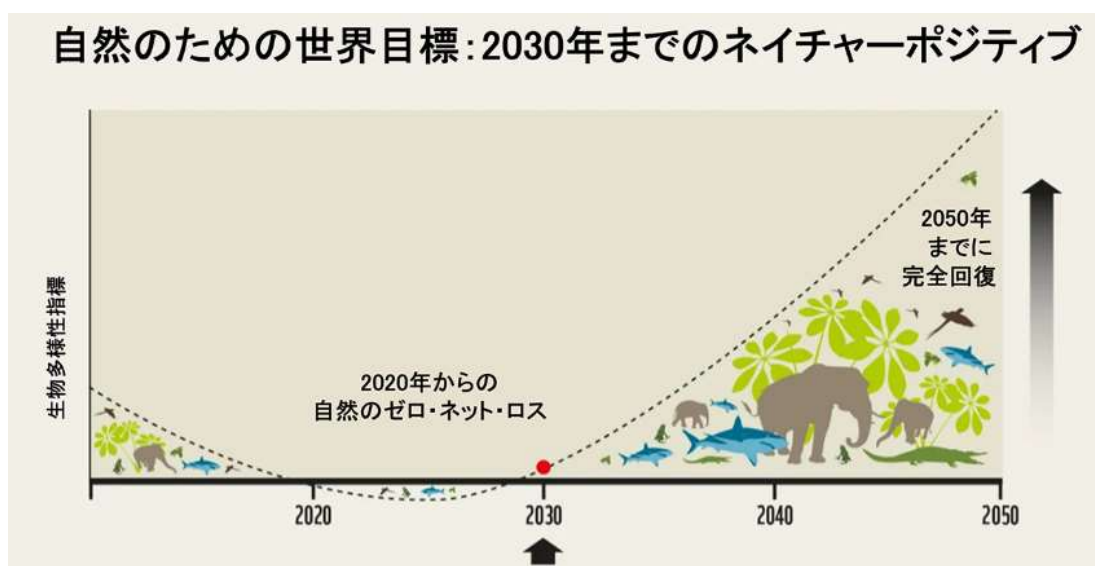
出典：「湿地が有する生態系サービスの経済価値評価(試算結果詳細)」2014年5月23日 環境省 より作成

9.4 ネイチャーポジティブ、ウェルビーイングの視点

当該干潟造成による底生生物の生息場の創出は、近年のネイチャーポジティブやウェルビーイングの考え方に合致するものである。

- **ネイチャーポジティブ**

「2020 年を基準として、2030 年までに自然の損失を食い止め、反転させ、2050 年までに完全な回復を達成する」という世界的な社会目標である。「生物多様性国家戦略 2023～2030」における 2050 年ビジョン「自然と共生する社会」の達成に向けた 2030 年ミッションとして掲げられている。より簡単に言えば、2030 年には 2020 年よりも多くの自然を確保し、その後も回復を続けることを指す。

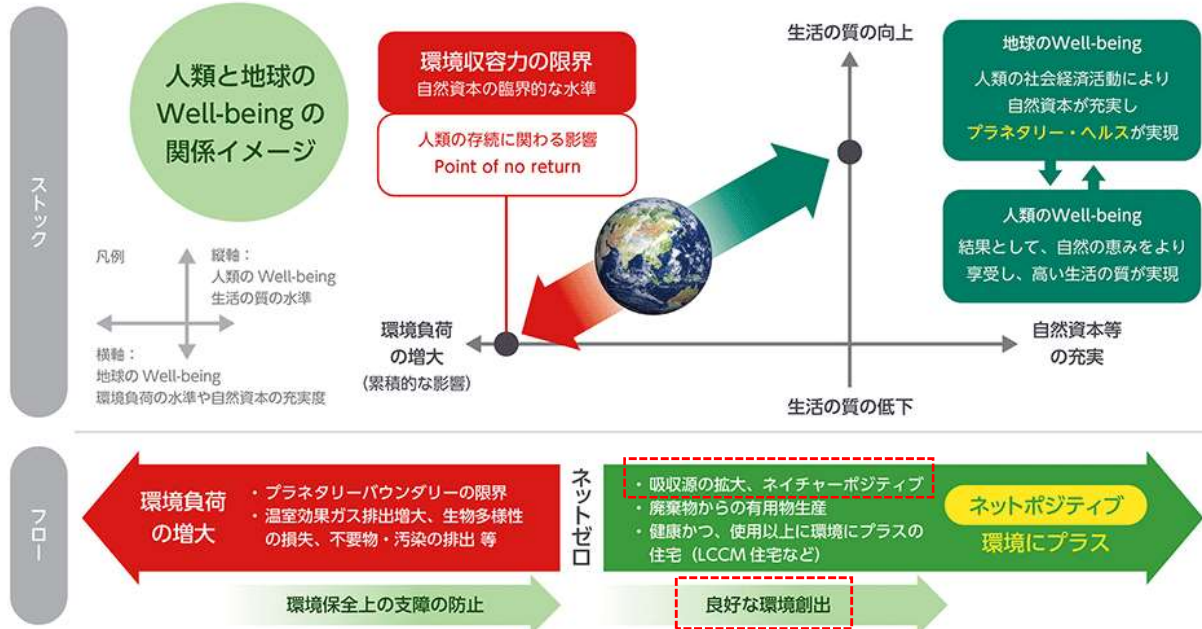


- **ウェルビーイング（鍵となるのは「自然資本の維持・回復・充実」）**

「自然資本」は、森林、土壌、水、大気、生物資源等、自然によって形成される資本（ストック）であり、自然資本が過度に損なわれれば、そもそも人類の存続・生活や社会経済活動の基盤を失うおそれがある。環境負荷の総量を抑えて自然資本がこれ以上損なわれることを防ぎ、気候変動、生物多様性及び汚染の危機を回避するとともに、良好な環境を創出し、持続可能な形で利用することによって、「ウェルビーイング／高い生活の質」に結び付けていくことが必要である。

図 1-2-3 自然資本・環境負荷とウェルビーイング・生活の質との関係（イメージ）

環境負荷を低減し、ストックとしての自然資本を充実させることが Well-being の向上につながると考えられる。



自然資本・環境負荷とウェルビーイング・生活の質との関係(イメージ)

(出典：環境省 <https://www.env.go.jp/policy/hakusyo/r06/html/hj24010102.html>)

10. まとめ

【 造成干潟の諸元，干潟造成のコンセプト 】

- 熊本港の造成干潟は、有明海・八代海にかつて存在していた高潮帯、中潮帯の干潟環境を、浚渫土砂等を用いて再現したものであり、環境特性に応じた多様な生物の生息する場となることを目指すものであった。
- 大潮の満潮時しか冠水しない地盤高(D.L.4.0m)～現地盤に近い高さの区画 (D.L.2.5m)を設定し、シルト粘土質や砂質の底質を用いるなど多様な生息環境を創出した。
- 造成前の計画段階において、それぞれの地盤高・底質性状を選好すると考えられる「想定出現種」を既存資料から抽出し、造成後のモニタリング調査により加入状況を確認した。

【 結果の総括 】

1. 造成干潟の地盤高、底質の変化について

- 当該干潟は既設のケーソンに沿って造成されたことにより、波浪の影響が軽減されたものと考えられる。よって、地盤高や底質性状は増減が小さく、概ね安定した場が形成されたと考えられる。
- 地盤高の低下した区画については、粒度組成の変化が小さいことから沈下によるものと考えられる。
- 泥質の底質環境を再現するために、港湾工事等で発生する浚渫土砂を中込材だけでなく表層材として利用した結果、干潟造成といった環境創造に適用可能であった。

2. 造成干潟に加入が見られた底生生物について

- 加入が確認された想定出現種と主な分布状況の模式図を表 10.1 に示す。特に、高い地盤高を設定した地点において、甲殻類のコメツキガニ科、二枚貝のオキナガイ属、巻貝のウミニナやフトヘナタリなどの種が出現し、また、地盤高の低い泥質には甲殻類のムツハアリアケガニやテッポウエビ、巻貝のアラムシロなどの生息が確認され、干潟造成の効果として新たに生息環境が創出されたと考えられる。



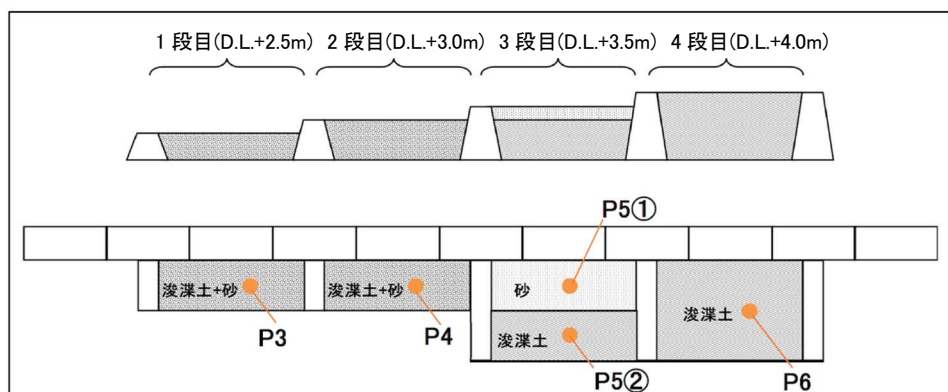
図 10.1 同じ場所で確認されたサイズの異なる個体(ハサミシャコエビ(左)オキシジミ(右))
(造成干潟が生物の再生産・成育の場になっている)

- 出現した底生生物は、地盤高や底生性状により、出現の度合いが大きく異なっており、各種の保全及び生息環境の創出に資する基礎情報（保全に適した地盤高や底質性状）を得ることができた。
- 地盤高や底生性状の相違に応じた底生生物の加入状況について、底生生物の出現種や個体数の経年変化の整理のみならず、nMDS 解析(非計量多次元尺度法)や、底質分析結果を用いたクラスター解析等の統計解析手法を用いて、地盤高や底質性状の条件の違いによる底生生物群集の出現傾向の可視化についても整理することができた。

表 10.1 造成干潟で加入が確認された想定出現種と主要な分布状況の模式図

1 段目 (D.L. +2.5m)	2 段目 (D.L. +3.0m)	3 段目 (D.L. +3.5m)	4 段目 (D.L. +4.0m)
含泥率 約 50%	含泥率 約 60%	P5①含泥率 約 25% P5②含泥率 約 60%	含泥率 約 60~95%
干出時間 大潮時：11 時間 小潮時：9 時間	干出時間 大潮時：13.5 時間 小潮時：15.5 時間	干出時間 大潮時：15 時間 小潮時：23 時間	干出時間 大潮時：17.5 時間 小潮時：常に干出
P3：浚渫土+砂	P4：浚渫土+砂	P5①：砂	P6：浚渫土
アサリ、ムツハリアケガニ ユビナガホンアドカリ フトヘナタリ ヤマトオサガニ、イトゴカイ科、ドロクダムシ科 ササゲミエガイ、テリザクラ、ムシロガイ P5①砂、P5②浚渫土の両区画で出現 P5②：浚渫土 含泥率：62.2%			

含泥率：粘土+シルト分の粒度組成比



3. 造成干潟に加入が見られなかった底生生物について

- ◆ 当該造成区では淡水供給が無かったことからヨシ等の植物にとっては塩分濃度が高く生育が困難であったと考えられる。また、これらの植生を好む底生生物の加入や定着はみられなかった。

【 他海域への展開について、提言 】

(1) 環境創造の場所、構造等について

- ◆ 当該試験区のように波浪の影響が軽減される構造物の近傍に環境創造することができれば、地盤高、底質性状等の環境変化が小さい生物生息場を創造することができると考えられる。
- ◆ 構造上の参考としては、当該試験区で検討された階段状の干潟は限られた面積で多様な環境を創造することができる。また、波浪や潮流の影響が考えられる水域においては底質変化を小さくする方策の検討と併せて、北なぎさ線、東なぎさ線による環境創造方策の事例のように突堤構造による砂の集積を促すような自然の力を利用した環境創造の方策も一案である。環境条件が多様であれば、それに応じた多様に生物の加入が見られると考える。

(2) 加入を促す生物について

- ◆ 当該造成区では淡水供給が無かったことからヨシ等の植物にとっては塩分濃度が高く生育が困難と考えられる。また、これらの植生を好む底生生物の加入や定着はみられなかったが、河川や雨水などの淡水供給に係る経路を施すことができれば、ヨシ等の植物の加入が期待され、これらの植物に依存する底生生物の加入も期待できる。
- ◆ 当該造成区で実験はなかったが、植物だけでなく杭などの柱状構造物や網目状の構造物等を設置することでも、これらの構造形式を選好する底生生物の加入があるかもしれない。
- ◆ 当該区域で調査はなかったが、干潟環境を利用する生物として、シギ、チドリ類などの鳥類が採餌場として利用することが考えられるため、現地調査項目として鳥類の利用状況の確認があると生物生息場の創出について考察を深めることができる。

(3) 創出する生息場の評価について

- ◆ 実証試験区の地盤高の変化について対照区の傾向と比較すると、試験区の底質変化の多寡について考察が深まる。
- ◆ 当該造成干潟で用いた nMDS やクラスター分析の他、長期間のモニタリングデータについて、底質の経年変化など統計的な手法を用いて長期変動を解析すると環境変化について理解を深めることができる。

以上、他の海域で環境創造の試みがなされる場合に上述の項目についても参考にされると新たな知見が蓄積される。生物多様性のある海域環境の回復のため、知見の蓄積と情報を活用されたい。

11. おわりに

当該造成干潟は多様な生物の生息場を創造できたと考えられ、実証試験によって、試験区の環境条件の経年変化や、その環境条件に応じた生物の加入情報を取得することができた。

また、浚渫土砂の利活用についても環境創造に適用可能であることも検証された。

今後において、当該試験区のような小規模でも多様な環境を創出することができれば、それらの環境条件に応じた生物が加入し定着が進むことで、やがて干潟生態系が形成される。この干潟生態系は各地に点在するものであるが種の分散が周辺に波及する可能性も考えられることから、小規模な干潟生態系のつながりは、本報告書の冒頭に記載した(p2 干潟造成の経緯参照) 有明海・八代海の当面の目標である「底生生物の回復、底生生物の生息環境の改善」につながることが期待される。

その他、当該実証試験で得られた成果は、「有明海・八代海の底生生物の回復、底生生物の生息環境の改善に係る一手法」であるとともに、先述の生態系サービスや炭素貯留の観点から昨今の地球温暖化の緩和やネイチャーポジティブの推進に一翼を担うため、様々な主体により他海域での積極的な展開が望ましい。

本資料は、「有明・八代海海域環境検討委員会 環境再生技術等検討WG」、「有明・八代海海域環境検討委員会」の各委員及び関係者からご意見を賜りながら取りまとめたものです。ここに、ご指導ご協力を賜りました皆様方に深く感謝申し上げますとともに、今後、本とりまとめの知見が多面で活用され、有明海・八代海の海域環境の保全・再生に寄与することが出来れば幸いです。