

参考資料4 水質浄化を主目的とした干潟・浅場造成の施工基本検討結果

1. 干潟・浅場造成のねらい

浅海域に貧酸素水の影響を受けにくい生物生産性の高い干潟・浅場を造成することによって、底生生物による有機懸濁物摂取をはじめ、鳥類の摂餌や脱窒等による栄養塩類の系外除去といった生態系を通じた水質浄化機能の向上を図る。

また、良好な環境をもつ干潟・浅場の造成は、悪化した底質を覆い、栄養塩溶出と溶存酸素消費を抑える効果も期待できる。

2. 造成候補地の考え方

2.1 既存資料に基づく基盤環境の整理

(1) 溶存酸素濃度

底層の貧酸素水塊は5月上旬から9月下旬にかけて連続して発生している。特に、湾奥の三河港では貧酸素化が顕著であり、湾内では最後まで貧酸素水塊が残る(図2.1)。鉛直構造を見ると、貧酸素水塊は、夏季のピーク時には水深-2m付近まで到達している(図2.2)。

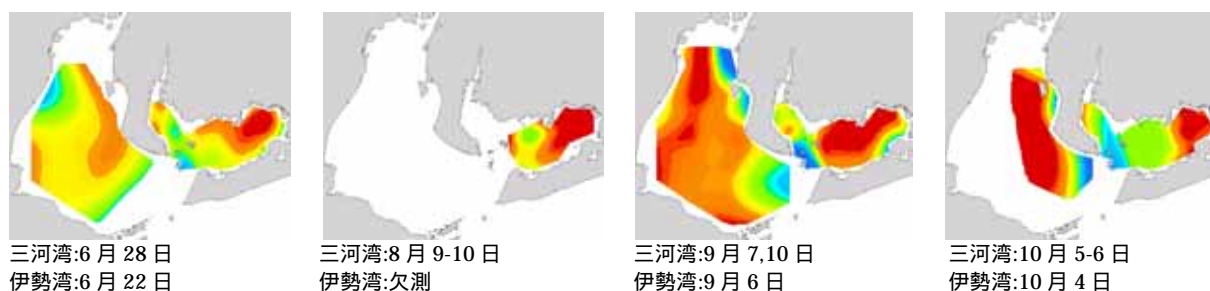


図 2.1 平成 22 年度における伊勢湾・三河湾の溶存酸素濃度分布(抜粋)

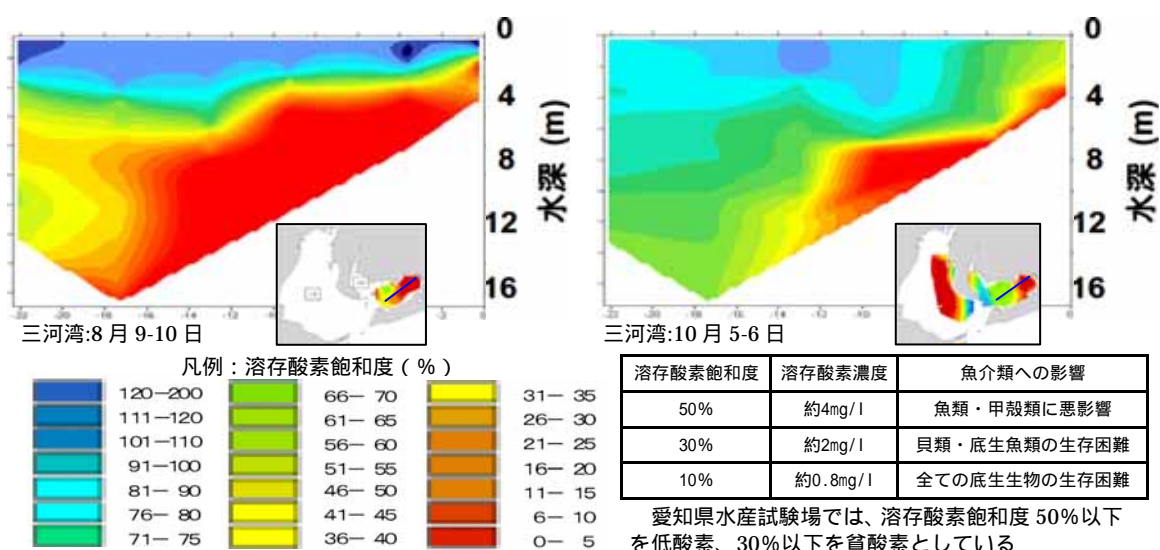
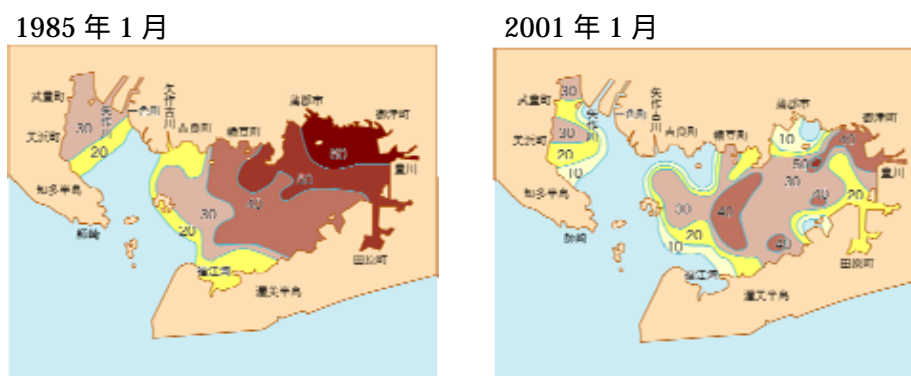


図 2.2 平成 22 年度における三河湾の溶存酸素濃度の鉛直分布(抜粋)

鉛直断面測線：右下図実線

(2) 底質

2001年には1985年と比べて底質のCOD濃度は低下しているが、三河湾奥部では依然として高い数値を示しており(図2.3)底質の改善が遅れている。



出典：国土交通省 中部地方整備局 三河港湾事務所 HP

図 2.3 底質のCOD分布

2.2 現地調査による実態把握

既存調査等から、三河湾奥部の環境が悪化していることが判明したため、平成 21,22 年度に、湾奥部の現地調査を実施した。

(1) 水塊の鉛直構造

平成 22 年度現地調査(10/14-15 実施)の結果、秋季であるにも関わらず、水深-3m 付近に躍層が形成されており、躍層以深では溶存酸素濃度が急激に低下する貧酸素化が確認された。特に湾奥部の御津地先では、底層で 2.0mg/L を下回る溶存酸素濃度が観測された(図 2.4)。

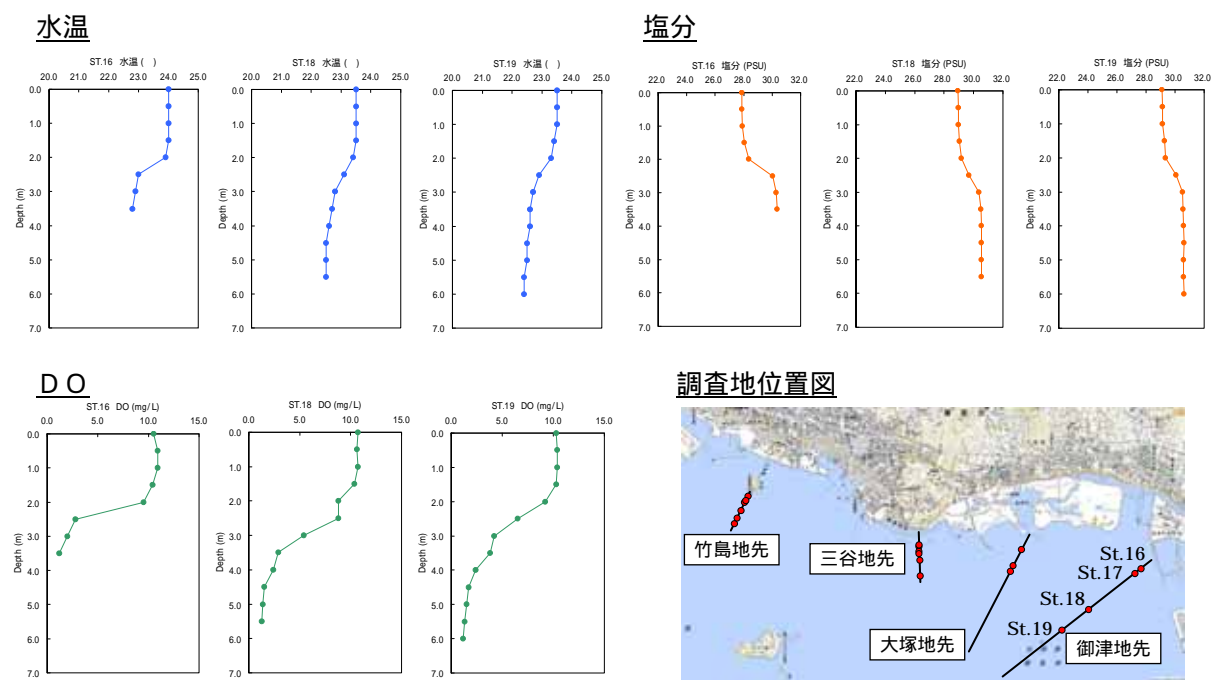


図 2.4 水温、塩分、DO の鉛直構造(御津地先 St.16、St.18、St.19)及び調査地位置図

(2) 底質

平成 21 年度及び 22 年度の底質調査の結果、多くの地点で硫化水素臭が確認され、泥色は黒～オリーブ黒を呈していることから、底質は嫌気的な環境にある実態が示された（図 2.5）。

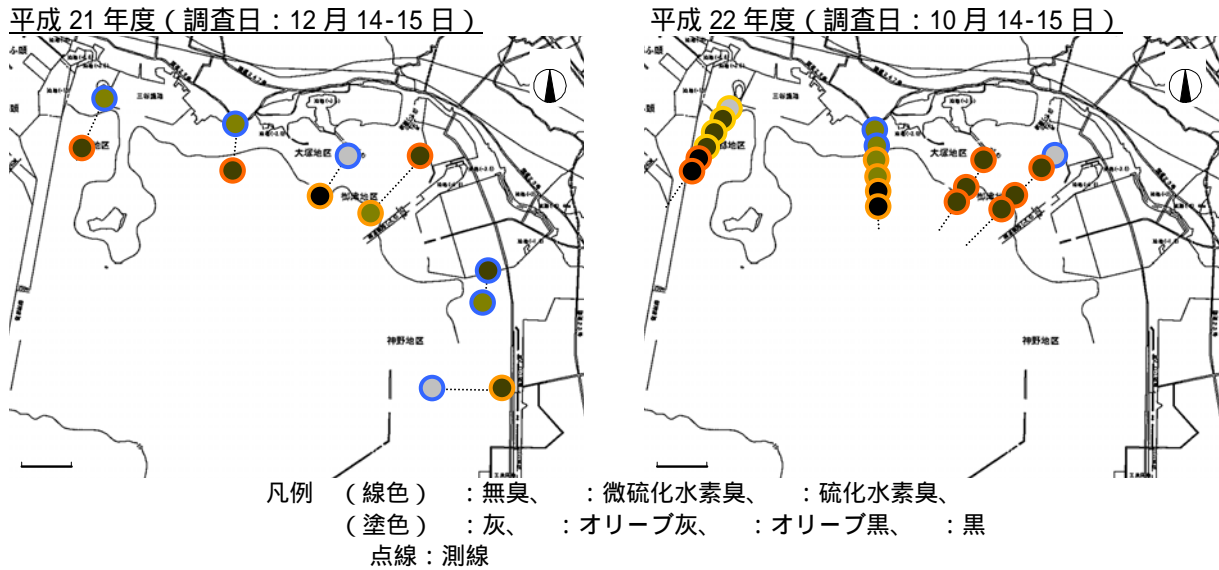


図 2.5 底質泥相及び臭気の観察結果

(3) 底生生物

三河湾奥部の底層では、全域でゴカイ等の環形動物門が優占しており、二枚貝や甲殻類は非常に少ない。アサリの生息が確認されたのは、平成 21 年度調査では三谷地先、豊川河口地先、神野地先、平成 22 年度調査では竹島地先の最浅部のみであり、生息域は制限されている（図 2.6, 2.7）。

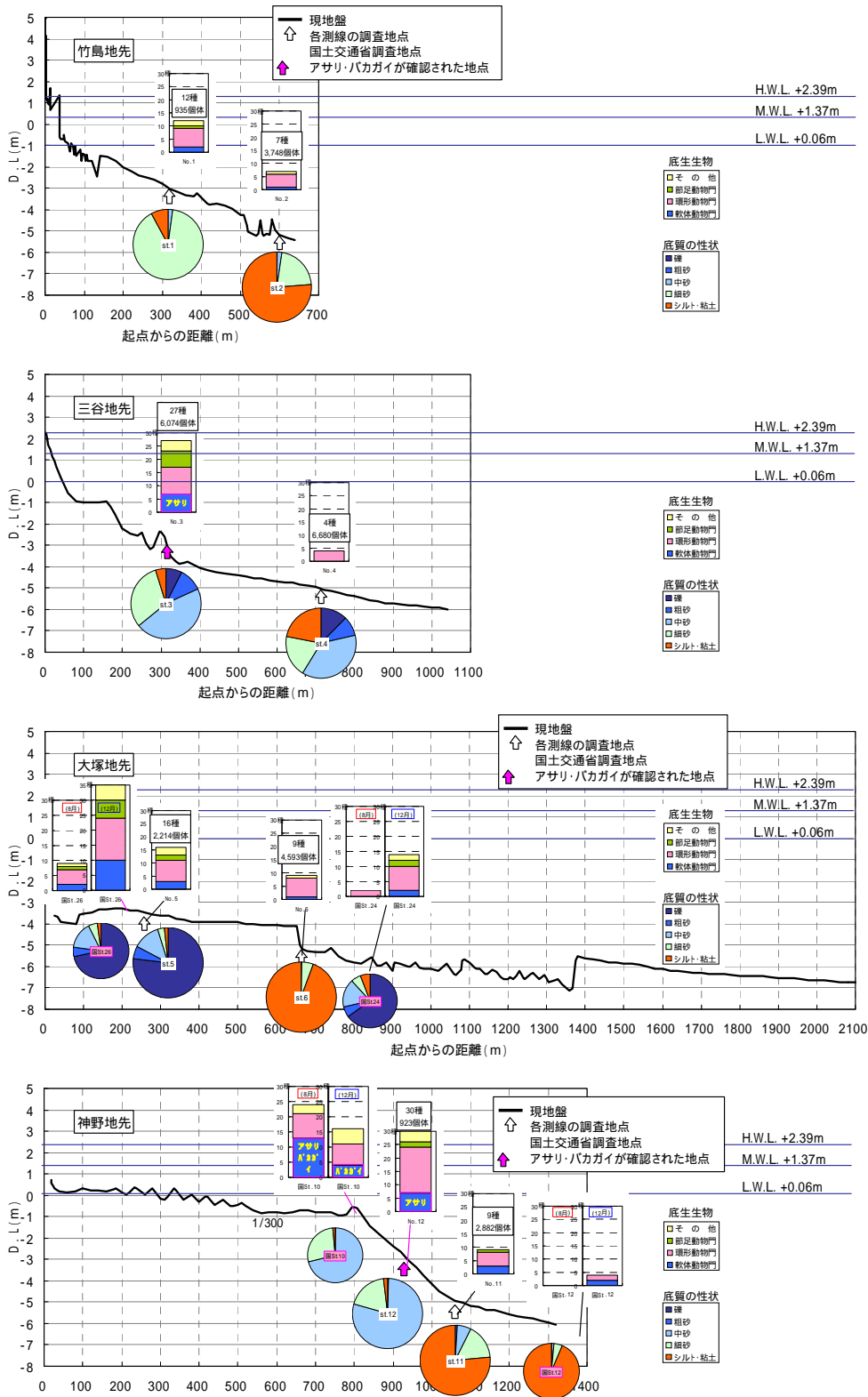


図 2.6 平成 21 年度底質及び底生生物出現状況 (抜粋)

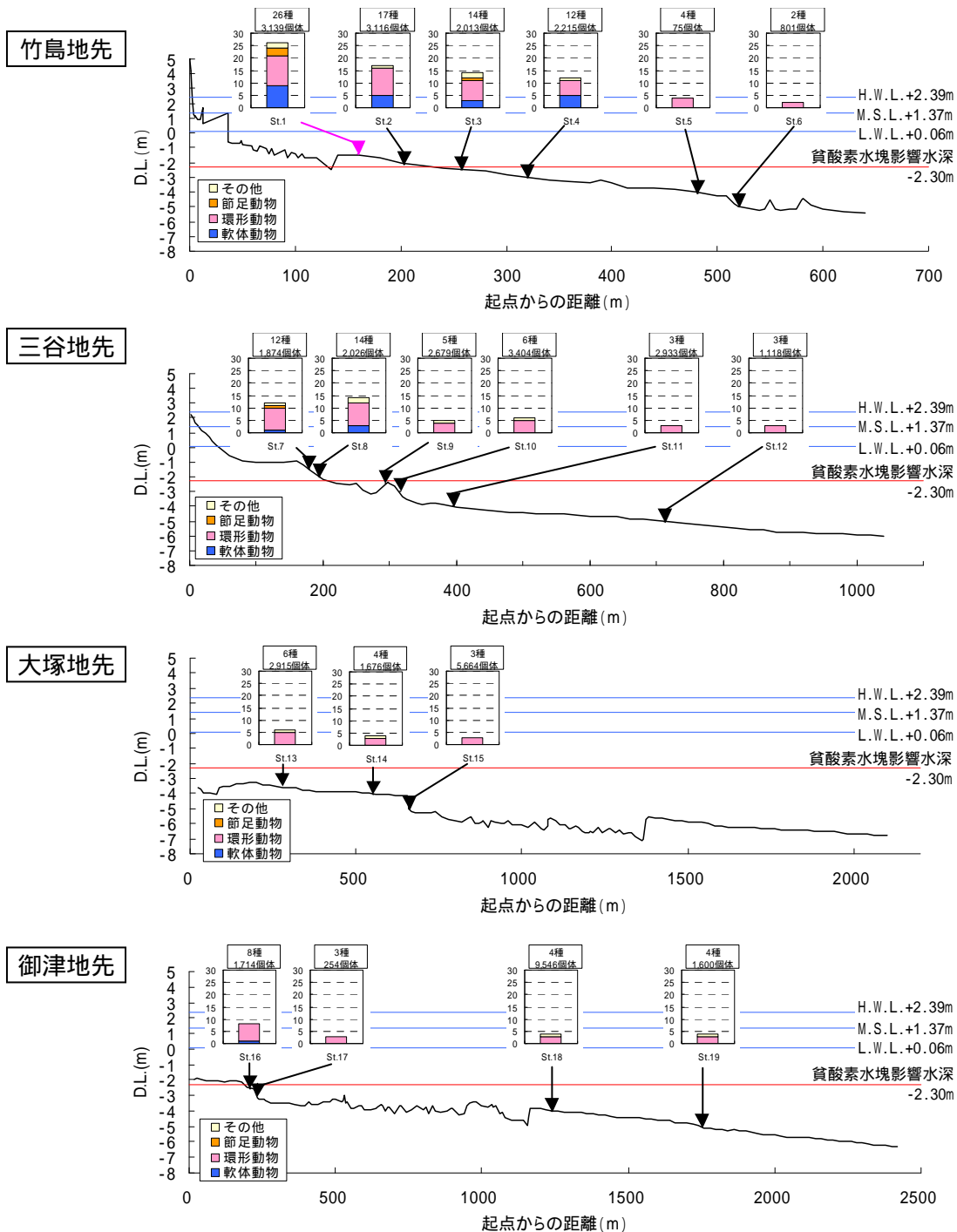


図 2.7 平成 22 年度底質及び底生生物出現状況

：調査地点、 ○：アサリが確認された地点

(4) 基盤環境把握の総括

2 か年の現地調査から、三河港は全域が生物にとって厳しい生息環境であることが改めて確認された。環形動物門が優占しており、アサリはごく浅い場所に生残するのみであった。躍層が形成される水深-3m を境に生物の出現種類数が大幅に減少していることから、躍層以深では生物の生存が困難であると言える。

三河湾奥部では、干潟・浅場を造成し、躍層が形成される水深-3m よりも地盤高を上げることで、底生生物の生息環境が確保され、アサリ等の二枚貝の生息が可能になることが期待される。

2.3. 三河湾の干潟・浅場環境

(1) 干潟・浅場造成効果

シーブルー事業では、平成 10 年度から 16 年度にかけて、三河湾内の 39 箇所において 620 万 m³ の浚渫砂を用いて約 620ha の規模の干潟・浅場造成、覆砂が実施された。三河湾奥部の三河港の形原地区、三谷地区、大塚地区においては、施工前に比較して生物量が増加し、その後も良好な水準を維持している（図 2.8）。

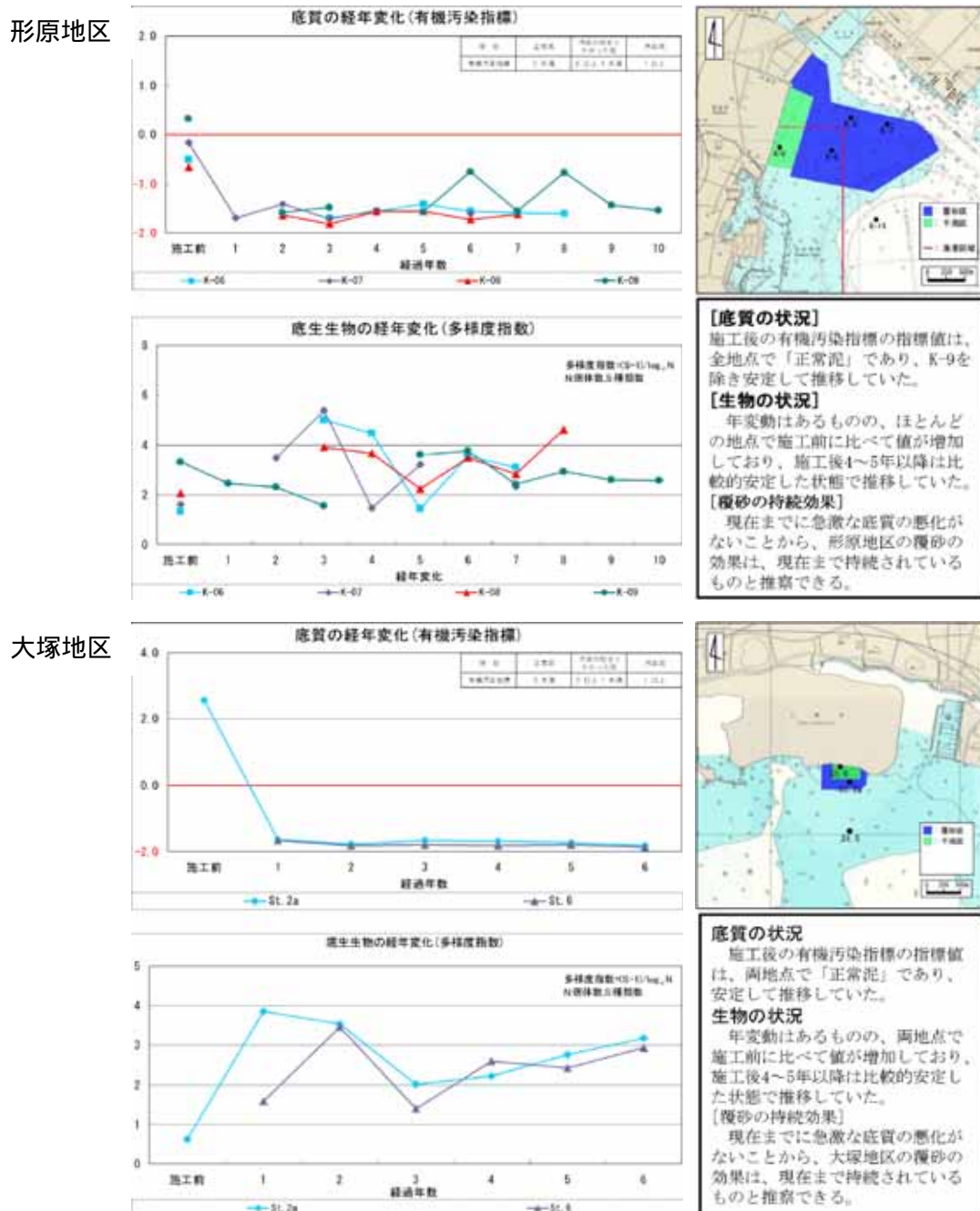


図 2.8 浅場干潟造後の底生生物の経年変化(形原地区および大塚地区)

出典：愛知県三河港務所（2010）平成 21 年度漁港環境対策・港湾水域環境整備合併工事の内 モニタリング調査業務委託（形原地区・三谷地区・大塚地区）報告書。

(2) 自然干潟の環境

豊川河口域には、アサリの稚貝が大量に発生する良好な干潟・浅場として知られた六条潟がある（写真 2.1）。六条潟における底生生物群集をみると、アサリ等の二枚貝が多く生息するほか、多様な生物相で構成されており（図 2.9）生物の生息が制限される三河湾奥部にあって、良好な環境が維持されている。

また、六条潟はアサリの稚貝の発生場所としても貴重であり、春季調査では稚貝が数多く着底している実態が確認されている。三河湾奥部にある六条潟は、湾奥部において干潟・浅場造成を検討するにあたり、一つの参考となる干潟である。



写真 2.1 六条潟

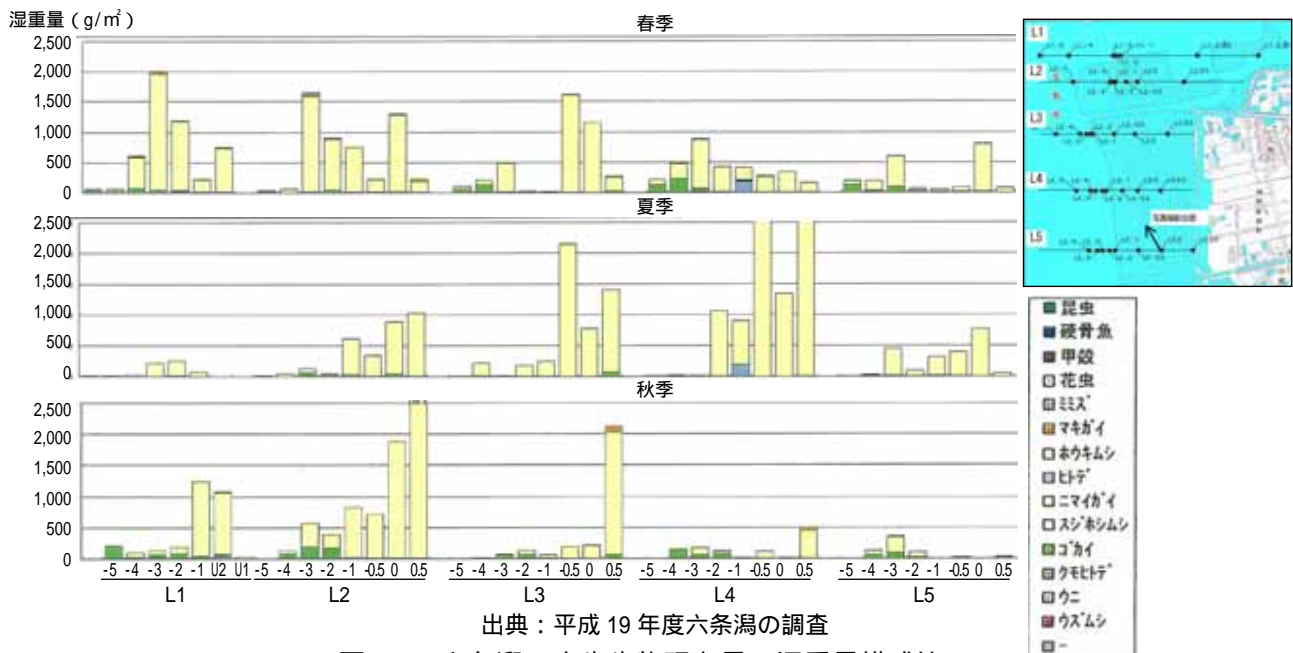


図 2.9 六条潟の底生生物現存量（湿重量構成比）

2.4 造成候補地

三河湾奥部には、水質浄化に寄与するアサリ等の二枚貝が多く生息する自然干潟が存在するとともに、これまでの海域環境改善を目的とした干潟・浅場造成によって、アサリ等の底生生物の加入が見られるなど、干潟・浅場造成による海域環境の改善効果が期待できる海域である。

一方、底質の悪化や生物の生息環境を脅かす貧酸素水塊の影響が湾内で最も大きい場所であるため、三河湾の環境改善を図り「きれいな海」を実現するためには、湾奥部の環境改善が重要となる。

このため、三河湾の自然条件、港湾や漁業活動による水域利用計画等を踏まえ、干潟・浅場の造成候補地を三河湾奥部の竹島～神野地先として検討を行った。なお、実際の施工箇所の選定にあたっては、関係者と十分調整した上で決定する必要がある。

3 . 干潟・浅場造成の施工基本検討

造成のねらい、造成候補地の自然条件、これまでの施工実績等を踏まえ、類型化した地形毎の標準的な造成形状等を検討した。なお、実際の施工にあたっては、関係者と調整のもと施工範囲、規模、造成形状等を決定していく必要がある。

3.1 干潟・浅場の基本形状

懸濁物除去機能の効果が高いアサリやバカガイなど二枚貝にとって好適な生息水深は、平均干潮位程度と考えられ、この他にも環形動物など多様な生物が生息する水深帯である（図 3.1）。

また、三河港奥部の豊川河口域に広がる六条潟は、良好なアサリ稚貝の生息場所であり、干潟・浅場造成地形のモデルケースとして参考になる。

六条潟は岸から 800m 程 D.L.0 ~ -1m 程度のテラスが発達し、沖端から 1/50（場所によっては 1/100）程度の斜面となっている（図 3.2）。安定した形状を保ち、底生生物が豊かな六条潟を参考にすると、高い水質浄化機能が発揮されると期待できる干潟・浅場の天端高は D.L.0m 程度であると評価できる。

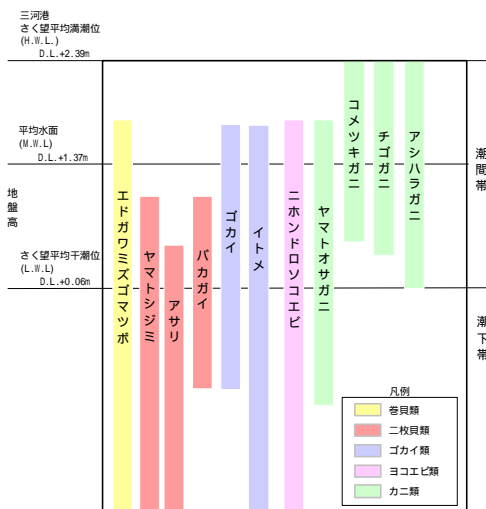


図 3.1 代表的な底生生物の地盤高好適範囲
「港湾における干潟との共生マニュアル」（財団法人港湾空間高度化センター，1998）西浦干潟におけるモニタリング結果及び人工干潟造成効果高度化試験（愛知県水産試験場提供資料）等から作成

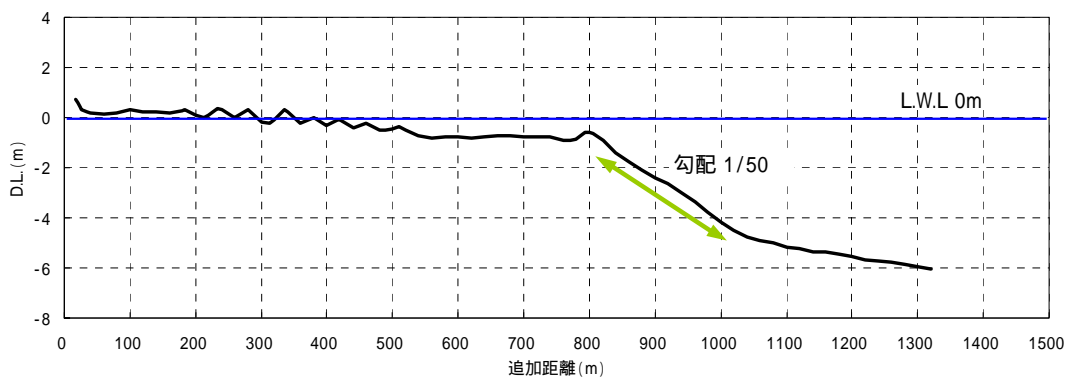


図 3.2 六条潟の断面形状

なお、干潟・浅場の勾配は、六条潟では 1/50 程度であるが、三谷地先等では 1/100 程度の箇所も見られる。干潟・浅場造成では、各地先の特性に応じたセルフデザインを基本として、造成形状を検討する。

3.2 安定形状の検討

干潟の前浜勾配は波を主とする外力によって決定されるため、地域の安定した事例を参考に整理することができる。前述の通り、六条潟は勾配 1/50 で安定した形状を保っている。また、これまで実施したシーブルー事業ではスワートの評価式を採用し、三谷地区をはじめとした干潟・浅場の造成勾配を 1/50 としており、現在まで地形がおおむね保持されている（図 3.3）。

六条潟の自然勾配や安定勾配の評価式に基づくと、三河湾における浅場・干潟の安定勾配は 1/50 が適当である。

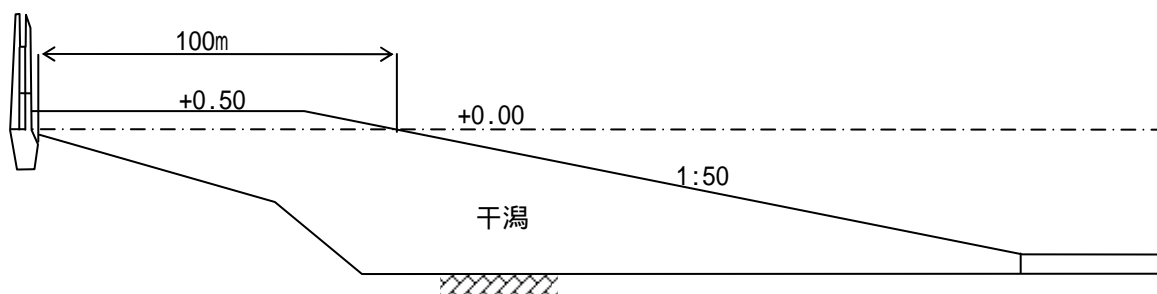


図 3.3 三谷地区干潟・浅場の造成断面

3.3 造成土砂性状の検討

(1) 安定土砂性状

シーブルー事業で造成された浅場・干潟は、中山水道で掘削された中央粒径 0.18mm、シルト・粘土含有率 3%の均質な細砂を利用しており、造成後の変形はあるものの概ね設計勾配の 1/50 が保たれている。スワートの評価式において、三河湾の 1 年間確率波を想定したとき、中央粒径 0.2mm の砂の場合には勾配 1/50 で安定形状であると評価される。

また、六条潟の中央粒径は 0.2 ~ 0.4mm 程度であり（図 3.4）、安定した形状が維持されている。こうした実態を踏まえると、造成土砂は中央粒径 0.2mm 程度のシルト・粘土含有率が少ないものが適している。

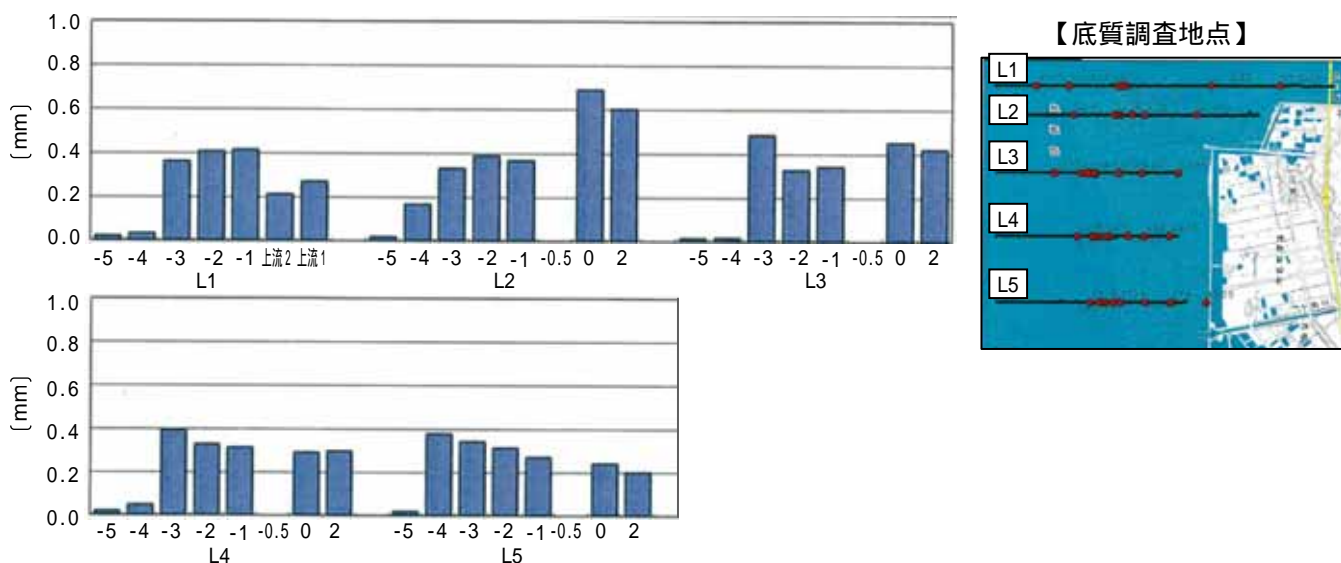


図 3.4 六条潟の土質性状（中央粒径）

(2) 底生生物の好適土砂性状

アサリやバカガイなどの二枚貝を中心とした底生生物相を増加させるためには、シルト・粘土分が数%～50%の範囲であることが望ましい。バカガイが好む土砂性状(シルト・粘土分は1～2%、中央粒径は0.33～7.5mm)及びアサリが好む土砂性状(シルト・粘土分は2～50%、中央粒径は0.086～0.35mm)を考え合わせると、アサリとバカガイの双方が生息するような干潟・浅場造成に用いる土砂性状は、シルト・粘土分は1～2%で、中央粒径が0.33mm程度(中砂)のものとなる。なお、この土砂性状は、神野地先に位置する六条潟の土砂性状とおおむね同じである。

表 3.1 各地点の土砂性状と二枚貝出現状況

	三谷地先	大塚地先	神野地先		豊川河口地先		
	St.3	国 St.26	St.12	国 St.10	St.9	St.10	国 St.11
中央粒径(mm)	0.3462	6.8504	0.3282	0.2917	0.0855	0.3697	0.4018
礫分(%)	7.5	71.8	0	0	0	67.2	2.7
砂分(%)	87.7	25.9	98.1	98.6	48	20.6	95.4
シルト・粘土分	4.8	2.3	1.9	1.4	52	12.2	1.9
主な二枚貝の出現状況	アサリ	アサリ	アサリ	アサリ バカガイ	アサリ	アサリ	アサリ バカガイ

備考：国とは、国土交通省三河港湾事務所調査データを示す。データは冬季(平成21年12月)調査結果を使用。

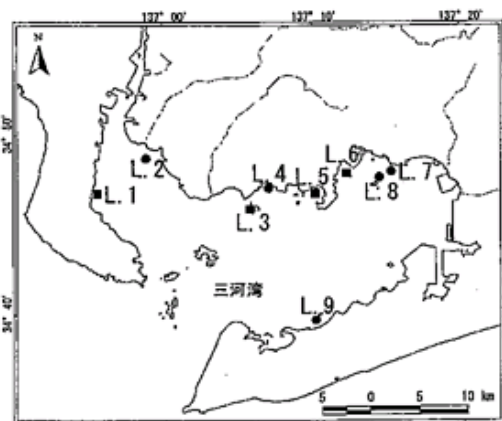
3.4 貧酸素水塊を避ける水深

基盤環境調査及び現地調査結果に基づくと、三河港では水深-3m 付近に躍層が形成され、躍層以深では貧酸素水塊の影響により底生生物の生息に厳しい環境である。したがって、造成する浅場・干潟は躍層より浅い水深帯とすることで、底生生物の生残に有効であると考えられる。

今尾・鈴木(2008)は、三河湾沿岸の9地点(L1～L9)において、現地での水質連続調査を基にしたアサリ生残率モデルを適用し、貧酸素水塊の影響を避けることのできる地盤高を検討した。アサリ生残率70%以上を確保できると判断できる水深は、三谷地先のL7でD.L.-2.3mである。水質浄化機能に寄与するアサリ等二枚貝の生残を図るため、貧酸素水塊の影響を軽減できる水深帯をD.L.-2.3m以浅とし、この水深を基準にして造成形状を検討する。

表 3.2 浅場造成地盤高(D.L.)の検討結果(アサリ生残率70%以上)

地区名	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9
浅場造成地盤高	-3.8		-2.6	-3.4	-3.2	-1.3	-2.3	-2.4	



出典：今尾和正・鈴木輝明(2008)底生生物群集から見た造成効果を左右する浅場造成地盤高の決定方法・平成20年度日本水産工学秋季シンポジウム「内湾における環境修復の方向性と新手法」講演要旨集

3.5 断面形状の要件

造成に活用できる航路浚渫砂、ダム砂・河川砂などは、それぞれに安定供給の課題があるため、干潟・浅場は様々な造成材の供給量・性状をみながら、多様な底生生物が生息し水質浄化機能が高い効果的な方法により段階的に整備する。標準的な段階的施工の考え方として、以下の2段階の造成断面を検討する。

テラスを 100m 程度設けて傾斜勾配を 1/50 とする (第1段階)

テラスを 300m 程度に拡張し傾斜勾配を自然勾配とする (第2段階)

表 3.3 干潟浅場の造成要件の整理

項目	設計要件	理由
天端高	D.L.0m	<ul style="list-style-type: none"> 三河湾奥部にある既存の自然干潟では、D.L.0~-1mのテラス部があり、生物生息密度が高い。 L.W.L(=D.L.0.06m)付近は水質浄化に寄与するアサリなど懸濁物食者の好適な生息水深である。
天端長	100m (第1段階) 300m (第2段階)	<ul style="list-style-type: none"> 事業の実現性、全国の自然干潟の形状及び人工干潟の造成事例等に基づき、天端長は最大 300m程度とする。 施工実績、投資効果の早期発現も踏まえ第1段階では天端長 100m程度とする。
勾配	1/50 竹島及び三谷地先の第2段階は 1/100	<ul style="list-style-type: none"> 三河湾奥部における既存の干潟・浅場の傾斜部勾配は 1/50~1/100程度である。 シーブルー事業の造成事例では、スワートの評価式に基づいて安定勾配を 1/50としており、現在まで地形が保たれている。 第2段階では、竹島及び三谷地先の傾斜部を、現地形の自然勾配に合わせて 1/100とする。 大塚、御津、神野地先は、良好な自然干潟の形状に倣い、第2段階の勾配を 1/50とする。
粒径	0.2~0.4mm	<ul style="list-style-type: none"> 粒径 0.2mm程度の砂で安定勾配 1/50が保たれる。 アサリとバカガイの生息に好適な土砂性状は、中央粒径が 0.33mm程度、シルト・粘土分は 1~2%である。
評価水深	D.L.-2.3m	<ul style="list-style-type: none"> アサリ生残率モデルでは、70%以上の生残率となる水深が三河湾奥部では D.L.-2.3m以浅と評価されている。 既存知見および現地調査の結果から、成層期には水深-3m付近に躍層が見られ、これ以深では貧酸素水塊の影響により底生生物の生息が制限されている。
	D.L. 0m	<ul style="list-style-type: none"> L.W.L(=D.L.0.06m)付近は水質浄化に寄与するアサリなど懸濁物食者の好適な生息水深であり、この範囲を広く確保することにより生物の生息域が拡大する。
施工段階	2段階施工	<ul style="list-style-type: none"> 発生土量に応じて段階的に施工する。 第1段階で天端長 100m程度、最終段階で天端長 300m程度とする。
留意点	-	<ul style="list-style-type: none"> 地域の自然勾配や自然環境に適合した設計に留意する。 順応的管理を採用し、モニタリングに基づいて適正な維持管理策を適宜行う。 各地区の造成にあたっては、港湾や漁業活動等による水域利用計画に留意する。 浚渫土砂の有効活用のため、必要に応じて、地盤環境や船舶の航行安全にも留意して潜堤の設置を検討する。 テラスの延長については、水環境の変化にも留意する。

3.6 基本断面形状

三河港内の各造成候補地の現地形は3形状に大別できる。

- ・ 竹島及び三谷地先のように砂浜からなだらかに傾斜する地形
- ・ 大塚及び御津地先のように埋立地前面に位置し、岸寄りから深い地形
- ・ 神野地先のように既存の干潟がある地形

第1段階では各地先ともに、テラス部 100mを設け、勾配 1/50 の傾斜地形とする。第2段階ではテラス部 300mを設け、竹島及び三谷地先の2箇所は現地形の自然勾配に合わせて勾配 1/100 とし、大塚、御津、神野地先の3箇所は自然干潟を参考に勾配 1/50 と同程度とする(図 3.6)。

神野地先については既存の干潟が良好な底生生物生息環境であることを考慮し、干潟自体は変更しないで縁辺部を沖に拡張する形で造成断面を検討する。

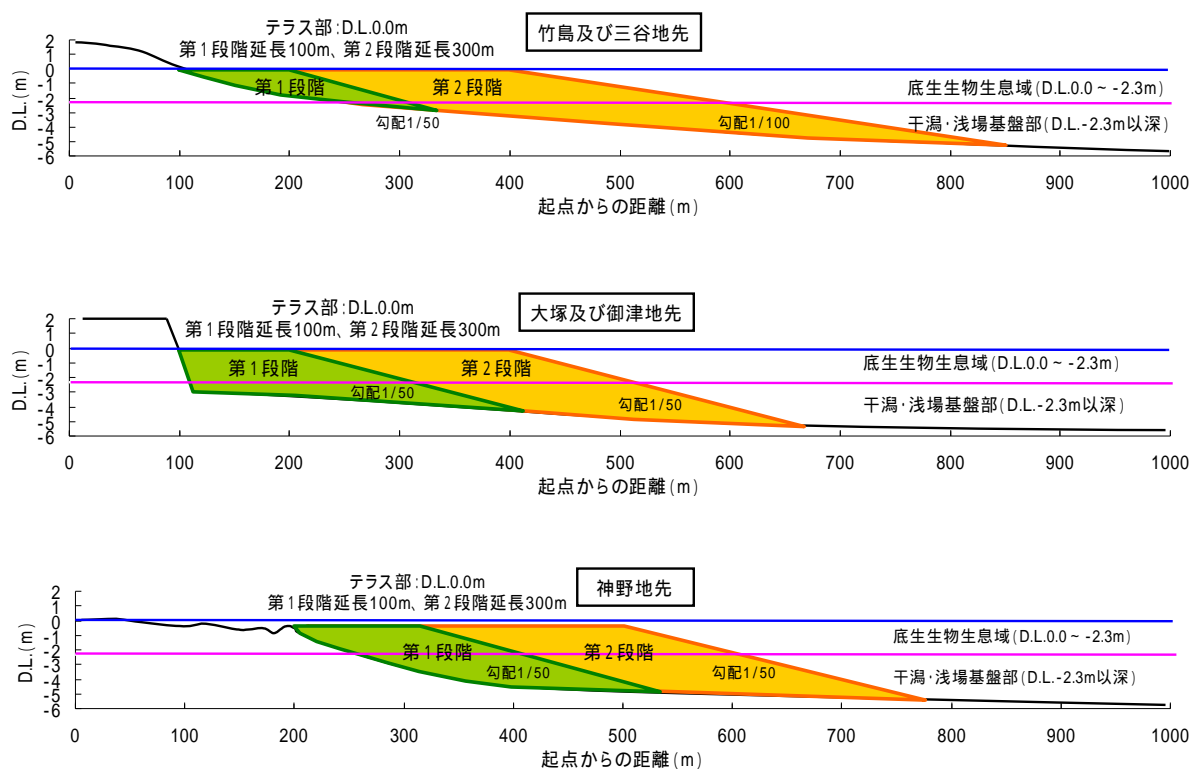


図 3.5 造成断面の基本形状

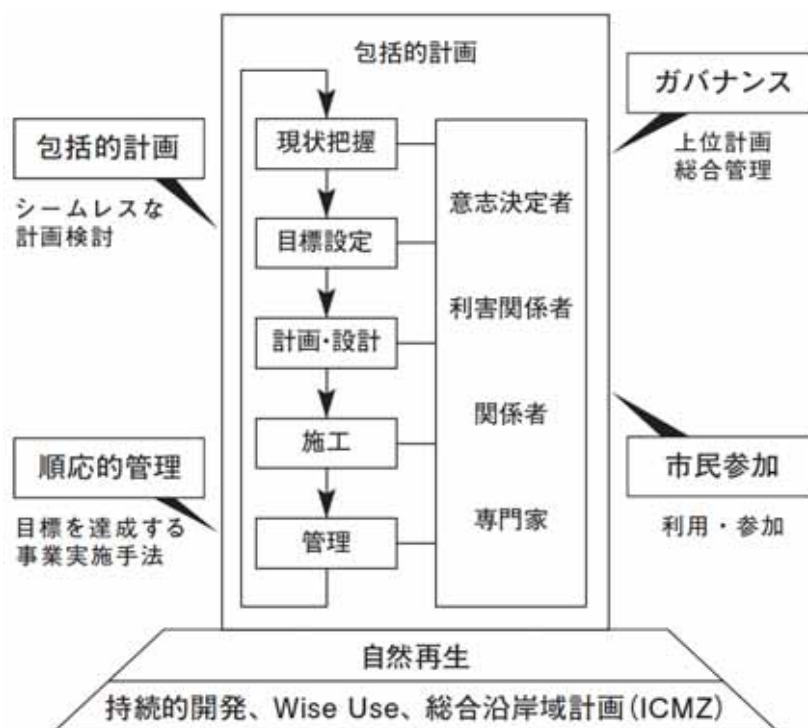
3.7 順応的管理

干潟・浅場造成において環境修復を図る場合に対象となる生態系は非常に複雑なものであり、科学的に解明されていない仕組みや反応、関連性がある。そのため、事業による環境の変化に伴って、当初の想定に無かった変化・変動を生じる可能性もあり、事業結果の予測には常に不確実性を伴うことになる。海辺の自然再生の計画にあたっては、自然の応答を考慮しながら適切な維持管理策を施す「順応的管理」手法が必要不可欠である（図 3.6）。

【順応的管理の定義】

自然の環境変動により当初の計画では想定していなかった事態に陥ることや、歴史的な変化、地域的な特性や事業者の判断等により環境保全・再生の社会的背景が変動する可能性があることを考慮し、それらへの対処をあらかじめ管理システムに組み込んでおくことが重要である。

出典：国土交通省港湾局・海の自然再生ワーキンググループ（2007）順応的管理による海辺の自然再生．294pp



出典：海の自然再生ワーキンググループ（2003）海の自然再生ハンドブック（第1巻総論編）．ぎょうせい，p107

図 3.6 順応的管理の位置づけ

順応的な管理を行うことにより、自然再生事業の管理者は、経験から学ぶこと、特性に影響する要因の変化に対応すること、管理手法を継続的に改善すること、管理が適正になされていることを示すことなどが可能となる。

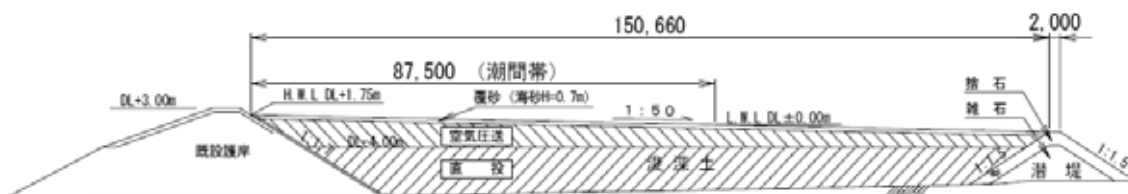
干潟・浅場造成においても段階的な施工とし、自然環境の変動をモニタリングによって検証しながら柔軟に対応する順応的管理を基本にして整備を進める。

3.8 発生土砂の有効活用

限られた造成材で干潟・浅場を造成するには、航路浚渫等で発生するシルト・粘土質の土砂を中詰材として活用するなど、有効利用を検討する必要がある。近年の造成事例等を参考にして、シルト・粘土を活用した浅場・干潟造成方法を検討した。

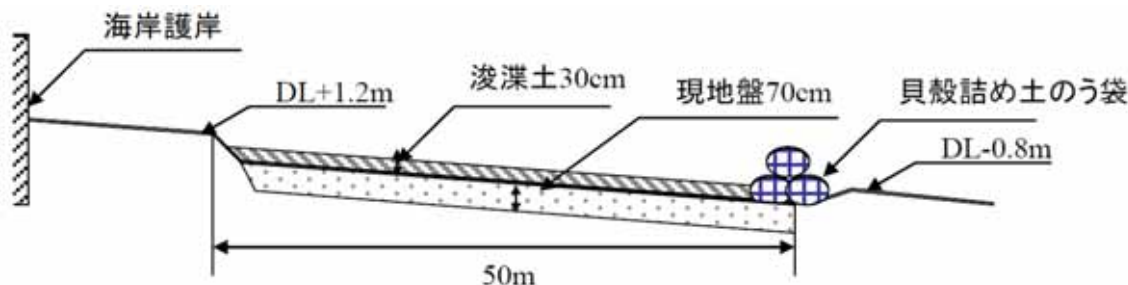
阪南2区（図3.7）や英虞湾立神浦（図3.8）などの干潟造成のように、干潟・浅場造成の基礎に浚渫土を利用し、アサリなど二枚貝が生息する表面に覆砂する工法が考えられる。ただし、基礎地盤としてシルト・粘土を利用するには、この事例のように流出を防ぐバリアの設置が不可欠である。

また、浚渫土を利用した基礎部が厚い場合には、覆砂の際に砂が基礎部に埋没することや、造成後の圧密による地盤の沈降なども懸念される。覆砂の沈下を防ぐために、生分解性シートを基礎部表面に敷設する工法も実用化されており、こうした技術開発によって浚渫土を基礎材として利用する造成方法が期待される。



出典：高橋武一・工藤公秀・鶴ヶ崎和博・大石富彦・原口和靖（2004）浚渫粘土を用いた人工干潟造成における地表面勾配の検討．土木学会第59年次学術講演会，493-494

図3.7 阪南2区の干潟造成断面



出典：国分秀樹・奥村宏征・上野成三・高山百合子・湯浅城之（2005）英虞湾における浚渫ヘドロを用いた大規模造成干潟の底質と底生生物の特性について．海岸工学論文集第52巻，1996-1200

図3.8 英虞湾の立神浦の干潟造成断面