

造成干潟における機能発揮要因に関する研究

篠崎 孝¹・羽原浩史²・山本裕規³・明瀬一行⁴
竹口はや人⁵・吉武理恵⁶・土田 孝⁷

本研究では, 現地調査等により造成干潟における機能発揮要因及び物理的必要条件を明らかにした。干潟基盤の性状についてみると底生生物の種類数は, シルト・粘土分が概ね 10 % 程度でピークを示し, 5~20 % において平均値を上回る種類数が出現していた。COD 含有量については概ね 2~3 mg/g 程度でピークを示し, 1~5 mg/g において平均値を上回る種類数が出現していた。強熱減量については概ね 2 % 程度でピークを示し, 1~4 % において平均値を上回る種類数が出現していた。また, 地下水位の低下幅については概ね 10 cm 以下, サクションについては概ね 1 kPa 以下で平均値を上回る種類数が出現していた。

1. はじめに

2003 年より「自然再生推進法」が施行され, 沿岸域においては干潟や藻場の再生 (保全, 修復, 創造) が強く求められている。また, 瀬戸内海においても, これまでの開発等に伴い失われた環境の回復を目指し, 環境修復にかかる施策を総合的かつ計画的に推進するための「瀬戸内海環境修復計画」が平成 17 年 1 月に策定された。この中では, 今後約 20 年間で藻場・干潟等の浅場を約 600 ha 修復することが目標とされている。そのような行政の取り組みをはじめとして, 市民にも瀬戸内海沿岸域の環境修復の必要性及び重要性が認識されつつある。

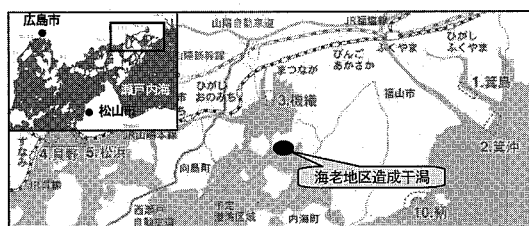
しかし, 藻場・干潟の再生に必要な科学的な知見は不足しており, またそれを実現する為の設計・施工・維持管理技術の確立も不十分である。そのため, 現状では藻場・干潟等の再生に対するニーズと造成技術のギャップが大きく, 造成干潟に対する否定的な評価 (花輪・古南, 2002) も存在する。

一方で, 浚渫土砂を中詰材に活用して造成された尾道糸崎港海老地区造成干潟 (以下, 海老地区造成干潟という。) は, 周辺の自然干潟と同程度の底生生物現存量及び貴重種の生息が報告 (春日井ら, 2003) されており, 自然に近い砂泥質の造成干潟として社会的にも高く評価 (2003 年度土木学会環境賞受賞) されている。しかし, 海老地区造成干潟がなぜ自然に近い生物生息機能を発揮する干潟となったのか, その要因は明らかになっていない。本研究は, 現地調査等により海老地区造成干潟の機能発揮要因とその物理的必要条件を明らかにすることを目的としている。

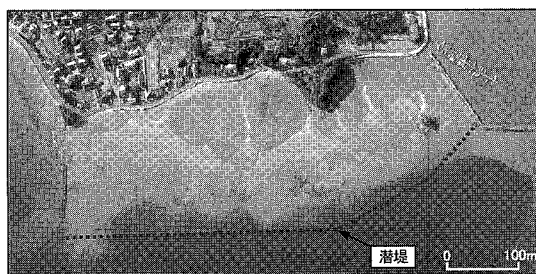
2. 海老地区造成干潟の現地調査

(1) 海老地区造成干潟の概要

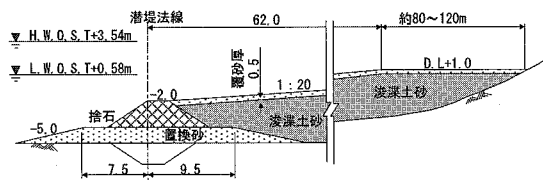
調査対象の海老地区造成干潟は, 広島県尾道市東部の小半島の南岸に位置する (図-1(a))。造成規模は, 面積約 16 ha, 岸沖方向約 200 m, 汀線方向約 600 m である (図-1(b))。断面構造は, 沖側に捨石構造の潜堤を設置し, 中詰材に尾道糸崎港の港湾整備で発生したシルト・粘土分主体の浚渫土砂を有効活用している (図-1(c))。



(a) 海老地区造成干潟の位置



(b) 海老地区造成干潟の平面形状



(c) 海老地区造成干潟の断面形状

図-1 海老地区造成干潟の位置, 平面形状及び断面形状

- | | |
|---------------|--------------------|
| 1 正 会 員 | 復建調査設計株式会社環境技術部 |
| 2 正 会 員 工 博 | 復建調査設計株式会社環境技術部長 |
| 3 正 会 員 修 (工) | 復建調査設計株式会社環境技術部 |
| 4 正 会 員 | 国土交通省宇野港湾事務所 |
| 5 | 国土交通省広島港湾空港技術調査事務所 |
| 6 | 国土交通省中国地方整備局港湾空港部 |
| 7 正 会 員 工 博 | 広島大学教授 大学院工学研究科 |

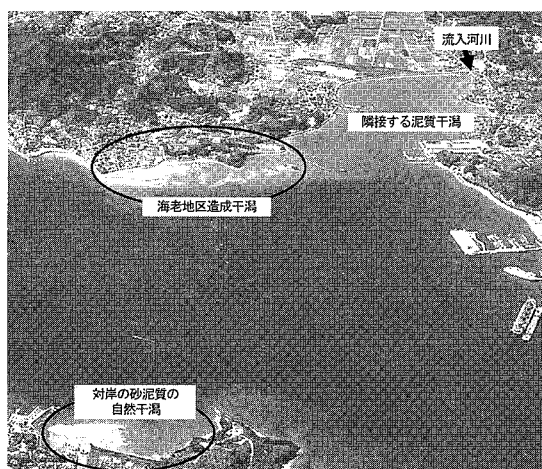
(2) 調査方法

図-2(a)、図-2(b)に示す海老地区造成干潟の15地点及び対岸の砂泥質の自然干潟3地点において干潟基盤表層の底生生物、地盤高、底質及び保水性等について夏季、秋季及び冬季の3回の現地調査を実施した。

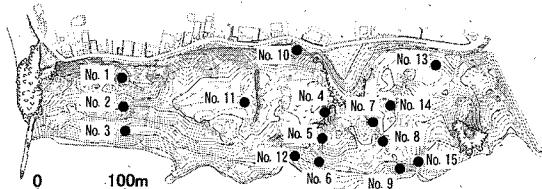
底生生物の試料採取は、各調査地点においてステンレス製採泥器(25 cm×25 cm)を用いて干潟表面から20 cmの深さまでの底質を採取し1 mm 目のふるいに残ったマクロベントスの種類数、個体数及び湿重量の計測を行った。

底質は、底生生物と同時期に同一地点、同一層の土壌を採取し、粒度組成、COD 及び強熱減量の分析を行った。

干潟基盤表層の保水性は、多孔塩ビパイプを干潟表面に突き刺し、地下水の見える深さまでパイプ内の土壌を取り除き、安定のために1時間程度放置した後、最干潮時を中心に干潟基盤表面からの地下水位の低下幅を計測した。また、サクシオンについては埋設型土壌水分センサー(佐々・渡部, 2005)及び携帯型土壌水分センサーにより最干潮時を中心に計測した。サクシオンとは土壌間隙中の水分保持の程度を評価する指標であり、間隙空気圧 U_a と間隙水圧 U_w の差(サクシオン = $U_a - U_w$)で定義される。干潟基盤表層の水分保持の程度とサクシオンの概略的な対応は、サクシオンの値が小さい程、水分保持の程度が高く、サクシオンの値が大きい程、水分保持の程度が低い状態を示す。



(a) 海老地区造成干潟と周辺の自然干潟の位置関係



(b) 海老地区造成干潟の地形及び調査地点

図-2 海老地区造成干潟の周辺地形及び調査地点

なお、造成時(平成元年)の覆砂材料中には0.3%しか含有されていなかったシルト・粘土分が、現状においては干潟基盤表層の覆砂中に10%程度含有されている。想定される覆砂中へのシルト・粘土分含有の供給源としては以下の3つが挙げられる。

供給源① 中詰材に活用した浚渫土砂からの供給

供給源② 海老地区造成干潟背後陸域からの供給

供給源③ 隣接する泥質干潟及び流入河川からの供給

シルト・粘土分の供給源を明らかにするために、以上想定される各供給源の底質から抽出されたシルト・粘土分について走査型電子顕微鏡(JEOL JSM-5900LV(日本電子株式会社製))により粒子形状及び含有される珪藻の微化石等の観察を行うとともに、表-1に示す項目について蛍光X線測定装置(Rigaku 3030(株式会社リガク))による鉱物組成分析を実施した。さらに、定方位連続地層採取法(原口ら, 2004)により造成干潟表層から浚渫土砂に至る連続した不攪乱地層採取を実施した。

表-1 鉱物組成分析項目

項目	試験項目									
分析成分	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅

3. 調査結果及び解析

調査結果の解析では、今回実施した調査に加え既存調査の結果も含めて解析した。(運輸省, 1998, 1999; 国土交通省, 2001)

(1) 干潟基盤の地形的安定

海老地区造成干潟の場合、平常時で平均波高10 cm程度、台風等の異常時においても有義波高50 cm未満の非常に静穏な海域に立地している。そのため図-3に示すとおり、造成当初、在来地盤及び浚渫土砂の圧密沈下が要因と推定される約1 m程度の地盤低下が観測されたものの、造成後約4年程度で収束し、その後は砂州地形等の一部を除いて全体としては短期的及び長期的にも10~20 cm程度の地形変化であり、侵食または堆積への一方向への地形変化はみられず、長期的に安定した地形を維持している。

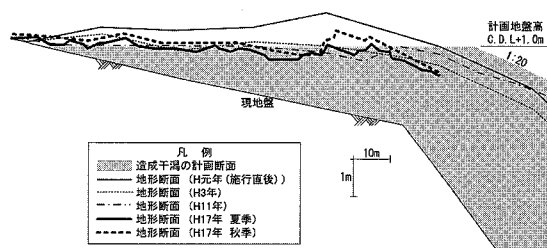


図-3 海老地区造成干潟の経年的な地形変化

(2) 干潟基盤の物理的条件と底生生物の関係

図-4に、底生生物の種類数と地盤高の関係を示す。底生生物の種類数は、地盤高が概ね平均水面 M.S.L+2.06 m より低い場合に平均値を上回る種類数が出現している。

図-5、図-6及び図-7に、底生生物の種類数とシルト・粘土分、COD含有量及び強熱減量の関係を示す。底生生物の種類数は、シルト・粘土分が概ね10%程度でピークを示し、5~20%において平均値を上回る種類数が出現している。また、COD含有量が概ね2~3 mg/g程度でピークを示し、1~5 mg/gにおいて平均値を上回る種類数が出現している。強熱減量についても概ね2%程度でピークを示し、1~4%において平均値を上回る種類数が出現している。以上、地盤高及び干潟基盤表層の性状(シルト・粘土分含有量、COD含有量及び強熱減量)と生物生息との関係に関する知見は、既存の調査・研究事例(桑江, 2005; 国分ら, 2004; 上野ら, 2004)でも報告されており、同様の傾向が海老地区造成干潟においても確認された。

図-8に、底生生物の種類数と干潮時の干潟基盤表面からの地下水位の低下幅及びサクシンの関係を示す。干潟基盤表層の保水性が高い場合、つまり地下水位の低下幅及びサクシンが小さい程、底生生物の種類数は多くなる傾向を示している。干潟と砂浜の基本的な違いとして、一般に干潟では干潮時にも干潟基盤表面からの地下水位の低下幅が小さく、干潟表層に湿潤な環境が維持される。このことが生物生息の重要な条件であることが、姜ら(2001)によっても指摘されている。

(3) 覆砂中へのシルト・粘土分の供給源の解明

表-2に干潟基盤表層の覆砂に含有されるシルト・粘土分の供給源として想定される各箇所のシルト・粘土分粒子の電子顕微鏡観察結果の概要を示す。また、写真-1に代表的な電子顕微鏡写真を示す。

シルト・粘土分に含有される珪藻の微化石について、造成干潟覆砂表層と造成干潟背後陸域及び隣接する泥質干潟及び流入河川を比較すると、造成干潟覆砂表層は中心目の沿岸性の種類であるのに対して、造成干潟背後陸域及び隣接する泥質干潟及び流入河川は羽状目の淡水~汽水性の種類となっている。一方、造成干潟の覆砂表層、覆砂下層及び中詰材の浚渫土砂についてはシルト・粘土分の粒子形状、含有される珪藻の微化石の種類及び珪質海綿骨針の含有量には有意な相違は認められない。

また、表-3に示す鉱物組成分析結果についてクラスター解析による鉱物組成の類似性評価を行った。なお、SiO₂は珪藻等の植物プランクトンの被殻、CaOは貝類の殻等を構成する主要物質であり、造成後の生物生息の影響を受けている可能性があることから解析データから

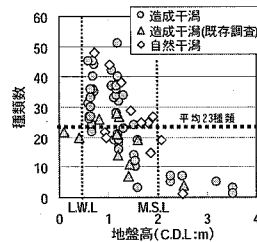


図-4 干潟基盤の地盤高と底生生物種類数の関係

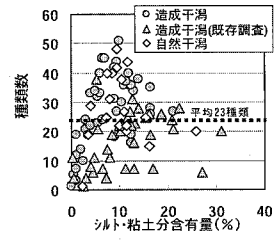


図-5 干潟基盤のシルト・粘土分含有量と底生生物種類数の関係

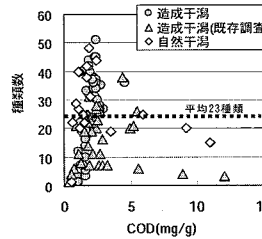


図-6 干潟基盤のCOD含有量と底生生物種類数の関係

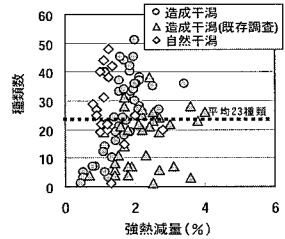


図-7 干潟基盤の強熱減量と底生生物種類数の関係

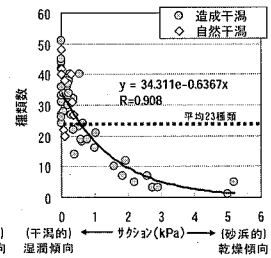
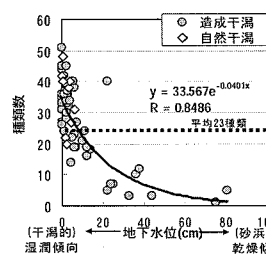


図-8 干潟基盤の保水性(地下水位の低下幅及びサクシン)と底生生物種類数の関係

表-2 シルト・粘土分粒子の電子顕微鏡観察結果の概要

調査地点		試料番号	粒子形状		珪藻							珪質海綿骨針
					目	特徴的な種類						
						羽状目	コアミケイソウ属	タイコケイソウ属	タラシオシラ属	フナガタケイソウ属	ササノハケイソウ属	
シルト・粘土分粒子の採取地	表層	U-1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		U-2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		U-3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	下層	M-1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		M-2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		M-3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	中詰材の浚渫土砂	L-1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		L-2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		L-3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	海老地区背後陸域 (小水路河床堆積物)	C-1	○	○	○	○	○	○	○	○	×	
C-2		○	○	○	○	○	○	○	○	×		
C-3		○	○	○	○	○	○	○	○	×		
隣接する泥質干潟及び流入河川（河口部河床堆積物）	R-1	○	○	○	○	○	○	○	○	△		
	R-2	○	○	○	○	○	○	○	○	△		
	R-3	○	○	○	○	○	○	○	○	×		

※: 粒子形状、珪藻については該当または確認されたものを○としている。
珪質海綿骨針については、○: 多く含む、△: まれに含む、×: 含まない

除外した。また、サンプリング誤差を低減するために各地点3検体分析を実施し、その平均値を用いて解析した。図-9にクラスター解析結果を示す。覆砂表層と覆砂下層及び中詰材の浚渫土砂に含有されるシルト・粘土分の鉱物組成は比較的類似している。しかし、覆砂表層と造成干潟背後陸域及び隣接する泥質干潟及び流入河川の河床堆積物に含有されるシルト・粘土分は、ほとんど類似していない。つまり、覆砂表層のシルト・粘土分は、造成干潟背後陸域や隣接する泥質干潟及び流入河川から供給された可能性は低く、中詰材の浚渫土砂から供給された可能性が高い。この結果は顕微鏡観察の結果とも良く整合する。

次に中詰材の浚渫土砂のシルト・粘土分が覆砂表層に含有されることとなった要因について考察する。

図-10に海老地区造成干潟の覆砂表層のシルト・粘土分含有量の経年変化を示す。覆砂材料のシルト・粘土分含有量の初期値0.3%が、造成後最初の調査(平成2年)には2.7%、平成3年には4.5%、そして平成7年には11.3%となり、その後不規則に増減しつつ概ね10%前後で推移している。海老地区造成干潟の覆砂の施工は、水搬施工によって実施されている。水搬施工は、覆砂材を大量の水と一緒に排砂管より噴出する工法であり、施工時に浚渫土砂表面のシルト・粘土分の巻き上げが発生したと考えられる。つまり、覆砂工事完了(平成元年10月)から約半年後の平成2年3月のシルト・粘土分含有量の初期増加は、覆砂施工時の浚渫土砂の巻き上げによる覆砂中への混入が要因である可能性が高い。しかし、平成3年以降の時間経過に伴うシルト・粘土分含有量の増加は、覆砂施工時以外の要因によるものと考えられる。その要因として、定方位連続地層採取法により採取した海老地区造成干潟の鉛直方向の地層において、スナモグリ類の巣穴が覆砂から覆砂下位の浚渫土砂にまで到達していることが確認された(写真-2)。スナモグリ類は巣穴を形成する際、下方の堆積物を上方へ移動させて巣穴外部へ運搬する。今回の調査によると海老地区造成干潟のスナモグリ類の生息密集度は、平均約19個体/m²が確認されている。

干潟造成後に中詰材の浚渫土砂のシルト・粘土分が覆砂中へ供給された要因の一つとして、波浪等による物理的外力の作用に加えて、スナモグリ類をはじめとする底生生物による擾乱作用が存在することが明らかとなった。

4. 造成干潟の機能発揮要因と物理的必要条件

調査・解析結果より、海老地区造成干潟における生物生息機能発揮の連関を整理すると図-11のとおりとなる。

まず、海老地区造成干潟の立地条件として、波浪が非常に静穏な海域にあるため干潟基盤は10~20cm程度

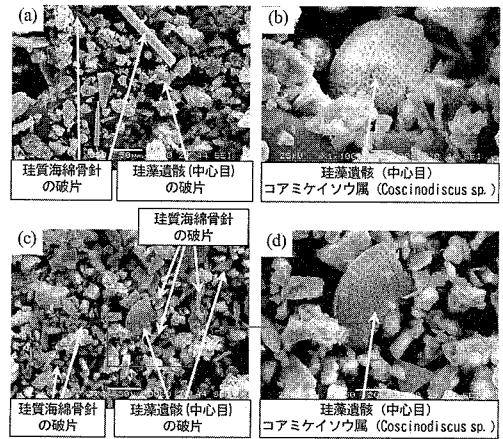


写真-1 干潟基盤覆砂表層(a), (b)と中詰材の浚渫土砂(c), (d)のシルト・粘土分粒子の電子顕微鏡写真

表-3 鉱物組成分析結果

調査地点	試料番号	Al ₂ O ₃ wt. %	Fe ₂ O ₃ wt. %	MnO wt. %	MgO wt. %	Na ₂ O wt. %	K ₂ O wt. %	TiO ₂ wt. %	P ₂ O ₅ wt. %
海老地区造成干潟	表層 U	15.57	4.97	0.09	2.09	3.13	2.39	0.62	0.12
	下層 M	16.51	5.51	0.11	2.39	3.16	2.47	0.65	0.12
	中詰材の浚渫土砂 L	17.17	5.52	0.10	2.19	2.56	2.50	0.66	0.09
海老地区背後陸域(小水路河床堆積物)	C	15.11	5.28	0.23	0.78	2.72	2.01	0.46	0.73
隣接する泥質干潟及び流入河川(河口部河床堆積物)	R	15.27	5.72	0.12	1.37	2.12	2.39	0.83	0.23

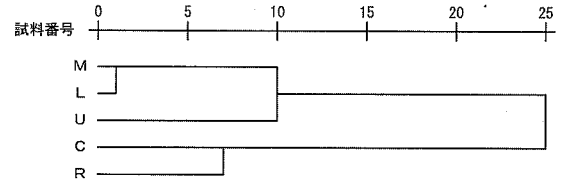


図-9 鉱物組成分析に基づくクラスター解析結果(試料番号は表-3に示されるとおりである。)

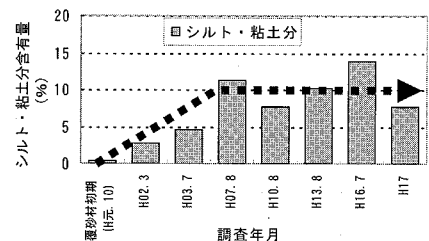


図-10 海老地区造成干潟覆砂表層のシルト・粘土分含有量の経年変化

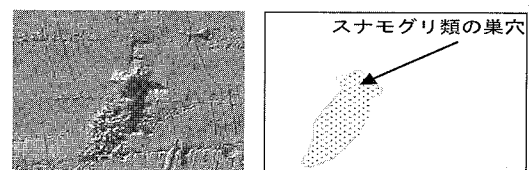


写真-2 中詰材の浚渫土砂中の生物擾乱の痕跡

の地形変化(浸食/堆積)を繰り返しつつも、長期的に安定した地形を維持していると考えられる。

次に、造成後約4年程度で収束したと推定される圧密沈下後の干潟基盤の地盤高が生物生息に適した平均潮位よりも低い地盤高を形成したのと考えられる。

また、覆砂施工時に、水搬施工により中詰材に活用された浚渫土砂表面のシルト・粘土分が巻き上げられ、覆砂中に一部混入した。その後時間経過とともに生物擾乱等の作用により、中詰材の浚渫土砂からシルト・粘土分が覆砂中に徐々に供給・含有され、それらシルト・粘土分は有機物の吸着を促し、生物生息に適した干潟基盤の性状に変化したのと考えられる。

更に、覆砂中のシルト・粘土分は覆砂部分の透水性を低下させ、中詰材の浚渫土砂は覆砂下位の不透水層として機能して地下水位の低下を抑制するとともに、サクシオンによる水分保持の効果により保水性の高い干潟基盤を形成したのと考えられる。

以上、整理すると図-12に示すとおり、海老地区造成干潟では、静穏な波浪条件による干潟基盤(地形)の安定、生物生息に適した干潟基盤の地盤高、干潟基盤表層の性状(シルト・粘土分及び有機物含有量)及び保水性の4つの物理的必要条件を満足することにより、干潟基盤の長期的な安定及び干潟生態系の復元力の発揮が可能となり、自然に近い生物生息機能を発揮する造成干潟になったのと考えられる。

5. ま と め

本研究の主要な結論は以下のとおりである。

- (1) 海老地区造成干潟の機能発揮要因とその物理的必要条件について明らかにした。
- (2) これまで知見のなかった干潟基盤表層の保水性と底生生物の現存量との関係を明らかにした。今回の調査結果によると、地下水位の低下幅については概ね10 cm 以下、サクシオンについては概ね1 kPa 以下で平均値を上回る種類数が出現している。
- (3) 覆砂下位の中詰材として活用された浚渫土砂は、覆砂中へのシルト・粘土分の供給源として機能している可能性が高いことを明らかにした。従来、浚渫土砂は、干潟を経済的に造成するための材料として認識される一方で、造成後の沈下の要因や土砂処分としてのマイナスイメージがあったが、生物生息機能の発揮の視点からも有効な材料と考えられる。
- (4) 本研究によって明らかとなった海老地区造成干潟における機能発揮要因とその物理的必要条件に着目することにより、自然に近い生物生息機能を発揮する干潟を造成する設計手法の開発が可能となる。

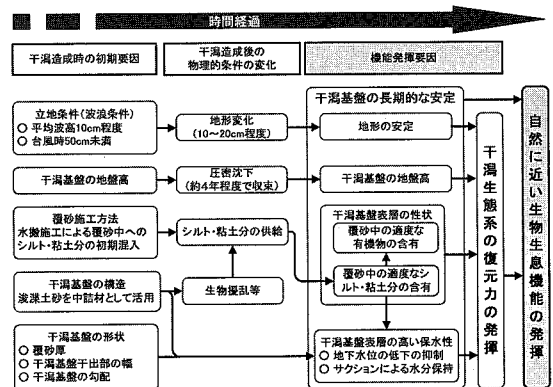


図-11 海老地区造成干潟の機能発揮の連関図 (インパクト・レスポンス・フロー)

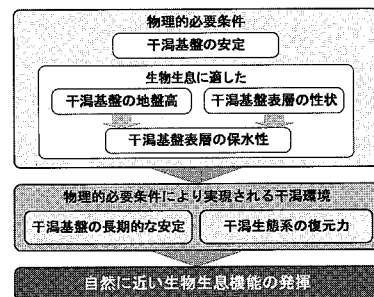


図-12 海老地区造成干潟の機能発揮要因とその物理的必要条件の関係

参 考 文 献

- 上野成三・高山百合子・湯浅城之(2004): 人工干潟の設計資料として整理した三番瀬干潟における底生生物の出現特性, 海岸工学論文集, 第51巻, pp. 1006-1010.
- 運輸省第三港湾建設局(1998), 尾道糸崎港人工干潟における生物生息状況調査報告書, 平成10年10月.
- 運輸省第三港湾建設局(1999), 平成11年度 尾道糸崎港人工干潟総合取りまとめ調査, 平成11年11月.
- 春日井康夫・久本忠則・中山康二・松本英雄(2003): 広島県尾道糸崎港における干潟再生事業, 海洋開発論文集, Vol. 19 pp. 107-112.
- 姜関寿・高橋重雄・奥平敦彦・黒田豊和(2001): 自然・人工干潟の地形及び地盤に関する現地調査, 港研資料, No. 1010.
- 桑江朝比呂(2005): 造成された干潟生態系の発達過程と自律安定性, 土木学会論文集, No. 790/VII 35, pp. 25-35.
- 国土交通省中国地方整備局(2001), 平成13年度尾道糸崎港干潟における生物生息状況等調査報告書, 平成14年1月.
- 国分秀樹・奥村宏征・上野成三・高山百合子・湯浅城之(2004): 英虞湾における浚渫ヘドロを用いた干潟造成実験から得られた干潟底質の最適条件, 海岸工学論文集, 第51巻, pp. 1191-1195.
- 佐々真志・渡部要一(2005), 砂質干潟の土砂環境場におけるサクシオン動態とその果たす役割, 海岸工学論文集, 第52巻, pp. 981-985.
- 花輪伸一・古南幸弘(2002): 人工干潟の問題点と課題, 海洋開発論文集, 第18巻, pp. 43-48.
- 原口強・畠山浩晃・木村晃・高木俊男・市原季彦・高田圭太(2004), 海底砂質堆積物の定方位連続地層採取方法及び河口テラスの形成過程, 海岸工学論文集, 第51巻, pp. 566-570.