

平成 21 年度環境技術実証事業

閉鎖性海域における
水環境改善技術

実証試験結果報告書

実証機関 : 呉市
環境技術開発者 : 五洋建設株式会社（外 3 社）
技術・製品の名称 : 複合的沿岸環境改善技術

目次

全体概要	1
本編	
1. はじめに	8
2. 実証試験参加組織と実証試験参加者の責任分掌	8
3. 実証試験実施場所の概要	9
3-1. 実証試験実施場所の名称・所在地・管理者	9
3-2. 海域の概要	10
3-2-1. 実証試験実施場所周辺海域の概要	10
3-2-2. 水質	11
3-2-3. 底質	11
3-2-4. 物理環境	14
3-3. 実証対象技術の配置	15
4. 実証対象技術の概要	16
4-1. 実施対象技術の概要(原理と期待される将来像)	16
4-2. 対象技術の仕様	17
4-2-1. 水平くぼみによる生物多様性向上技術(五洋建設株式会社)	17
4-2-2. 鉄鋼スラグを用いた生物生息場の創出技術(日新製鋼株式会社)	18
4-2-3. リサイクル材を用いた付着生物多様性向上技術(株式会社マリンアース)	19
4-2-4. 貝殻を用いた生物付着促進技術(海洋建設株式会社)	20
4-3. 各実証対象技術及び空間的配置のねらい	21
5. 実証試験の方法	23
5-1. 試験期間	23
5-2. 実証対象技術の設置及び回復に関する留意事項	23
5-3. 目標及び調査項目	24
5-3-1. 目標	24
5-3-2. 調査項目	25
5-4. モニタリング調査	26
5-4-1. 生物目視調査	26
5-4-2. 生物採取調査	26
5-4-3. 蛸集調査	26
5-4-4. 大型ベントス調査	26
5-4-5. 造粒砂の分析	26

5-5. 周辺海域調査	27
5-5-1. 連続水質調査	27
5-6. 調査概要	28
5-6-1. 試験区における調査概要	28
5-6-2. 対照区における調査概要	29
5-7. 計測機器の仕様	30
5-8. 維持管理	31
5-9. 品質管理	31
6. 実証試験結果	32
6-1. 生物採取調査	32
6-1-1. 水平くぼみ	32
6-1-2. リサイクルブロック (D. L. -1m)	36
6-1-3. リサイクルブロック (D. L. -3m)	40
6-1-4. 貝殻基質 (D. L. -1m)	44
6-1-5. 貝殻基質 (D. L. -3m)	48
6-1-6. 造粒砂 (D. L. +1m)	52
6-1-7. 造粒砂 (D. L. -1m)	53
6-1-8. 造粒砂 (D. L. -3m)	54
6-1-9. 対照区 (D. L. +1m)	55
6-1-10. 対照区 (D. L. -1m)	57
6-1-11. 対照区 (D. L. -3m)	59
6-2. 生物目視調査	60
6-2-1. 水平くぼみ	60
6-2-2. リサイクルブロック (D. L. -1m)	61
6-2-3. 貝殻基質 (D. L. -1m)	61
6-2-4. リサイクルブロック (D. L. -3m)	62
6-2-5. 貝殻基質 (D. L. -3m)	62
6-3. 蛸集調査	63
6-4. 大型ベントス調査	67
6-5. 造粒砂の分析	69
6-6. 連続水質調査	71
7. 評価	72
7-1. 各実証対象技術及び空間的配置の効果	73
7-1-1. 各構造物の効果	73
7-1-2. 空間的配置の効果	74
7-2. 湿重量による評価	78

7-3. 年間炭素固定量による評価	79
7-4. 周辺の大型ベントスを考慮した年間炭素固定量による評価	80
8. 実証試験の結論	81
9. 技術実証委員会の見解	81

参考資料 写真集（構造物周辺にて確認された生物）

全体概要

実証対象技術／環境技術開発者	複合的沿岸環境改善技術／五洋建設株式会社(外 3 社)
実証機関	呉市
実証試験期間	平成 20 年 7 月 25 日～平成 21 年 12 月 31 日
実証内容	構造物・資源を複合的に組み合わせた場合の生物生息環境改善への影響
実証の目的	個々の技術が適切に効果を発揮して、全体の環境改善に資すること。

1. 実証対象技術の概要

技術の模式図

原理

本実証試験の各種生物生息環境改善技術は、それぞれ効果のあることが、適用実験や実証実験により確認されている。各技術は、それぞれ機能、ねらいが異なっており、それらを複合的に配置することにより、各機能が関連し、相乗的な効果(シナジー効果)が生まれることが期待されるが、複合的に配置した場合の効果の評価までは行われていない。そこで本実証試験では、各技術を複合的に配置し、その効果を評価することとした。

本実証試験は、瀬戸内海沿岸で典型的な泥質海底と直立護岸に対して、各技術を配置することにより、通常の直立護岸部よりも多様性が高く、かつ、生物量の多い群集が形成され、出現した濾過食性及び有機物食性ベントスの生物活動により水質が改善されることを期待している。また、複雑な空間を有する構造物が配置されることや付着生物、堆積物食者が増加することにより、それら生物の上位捕食者となる魚類、底生生物による蠕集、捕食活動が活発になることが考えられ、上位捕食者が移動又は漁獲されることによる系外除去効果も期待できる。

各技術の概要

技術名	概要	
水平くぼみ	概要	直立護岸の付着生物着生促進のため、くぼみや小型タイドフールを設けた構造物
	ねらい	鉛直護岸以上の生物多様性の確保
	設置	直立護岸部に設置
造粒砂	概要	生物生息状況に合わせて粒径等を調整した砂
	ねらい	砂地を必要とする生物の生息環境の創造
	設置	海底に設置
リサイクルブロック	概要	焼却灰等の副産物を安全に固化した、付着生物や海藻が着生しやすい基質
	ねらい	大型藻類や付着動物の生息環境の創造
	設置	海底に設置
貝殻基質	概要	貝殻を材料とした多孔質構造を持つ生物着生基質
	ねらい	小型藻類や付着動物、埋在性ベントスの生息環境の創造
	設置	海底に設置

2. 実証試験の概要

○実証試験実施場所の概要

海域の名称 主な利用状況 規模	【呉市阿賀マリノポリス地区B-2護岸】 現在、広島中央テクノポリス圏域を対象とした複合一貫輸送に対応した内貿コンテナターミナル、マリーナや緑地を核とした海洋性レクリエーション施設の整備を進行。 実証試験場所は、水深 D.L.+1.0m～D.L.-3.0m、延長約 100m、岸沖方向約 15m。	
海域の課題	ひっ迫する課題は見当たらないが、瀬戸内海沿岸に多く見られる閉鎖性が強く、埋め立て等的人為的な改変を強く受けた泥質海底と直立護岸に囲まれた海域である。極度に悪化した海域の改善には、多くの費用と時間を労する。改善効果があがりやすく、かつ、瀬戸内海に多く見られるこのような環境を有する海域において実証試験を行い、成果を広く活用していくものである。	
海域の状況	水質	海域は非常に静穏であり、濁りが強い。照度は、水深 4m で表層の 1 割程度となる。DO は、夏季に環境基準を下回る(5.8mg/l)が、貧酸素水塊の発生は見られない。
	底質	静穏度が高く濁りの強い海域であるため、浮泥が堆積しやすい状態である。実験の対象となる護岸前面は捨石マウンドである。泥質はシルト、強熱減量は 8.9%、COD は 22.9mg/g であった。広島湾の強熱減量の平均値が 9.2%、COD の平均値が 25mg/g であり、広島湾の平均値より若干低い程度であった。
	生物生育環境	【底生生物】防波堤設置前の調査によれば、ダルマガカイやシズクガイのような富栄養化海域の指標種となるような底生生物が確認されていた。また、広島湾内近傍の干潟ではイソゴカイやヒメスナホリムシが優占している。 【海藻藻類】防波堤内において、ワカメやホンダワラ類の生育が確認されている。

○実証対象技術の設置状況

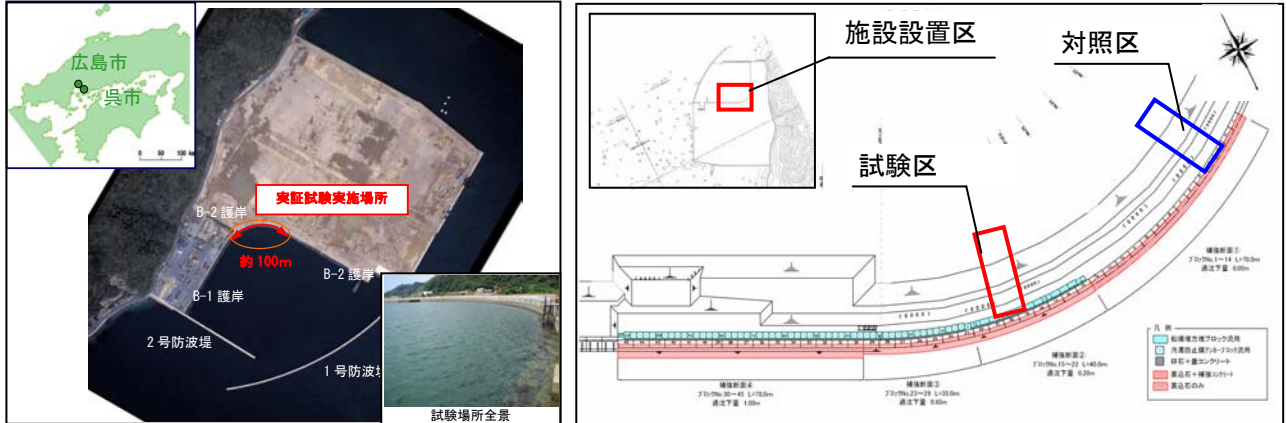
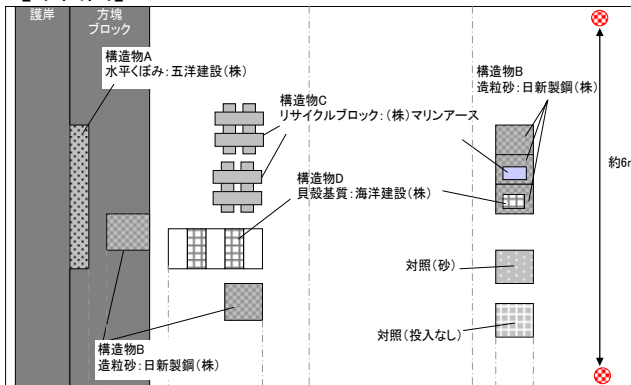


図1 調査位置

【平面図】



【断面図】

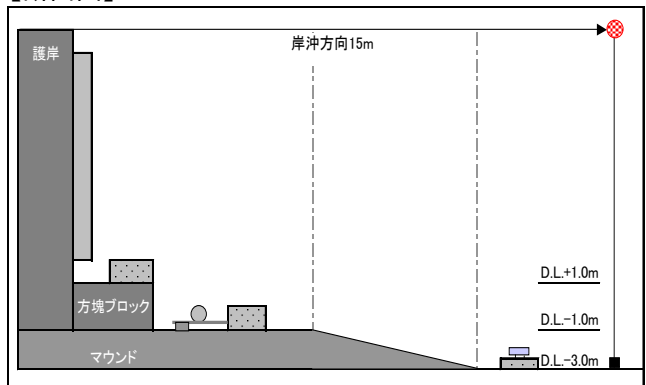


図2 試験区における実証対象技術の配置図

○実証対象技術の仕様及び処理能力

項目	仕様及び処理能力			
名称 ／型式	構造物A: 水平くぼみによる生物多様性向上技術	構造物B: 鉄鋼スラグを用いた生物生息場の創出技術	構造物C: リサイクル材を用いた付着生物多様性向上技術	構造物D: 貝殻を用いた生物付着促進技術
サイズ (mm)	幅 2300 × 高さ 1150 × 奥行き 440	縦 500 × 横 500 × 高さ 300	縦 170 × 横 170 × 長さ 570	直径 150 × 長さ 300
設置基数 と場所	1 基、護岸部 (D.L.+1m)	5 基、方塊ブロック上 (D.L.+1.0m)、方塊ブロック直下 (D.L.-1.0m)、マウンド直下 (D.L.-3.0m)	9 基、方塊ブロック直下 (D.L.-1.0m)、マウンド直下 (D.L.-3.0m)	3 基、方塊ブロック直下 (D.L.-1.0m)、マウンド直下 (D.L.-3.0m)
運転時間 等	なし	なし	なし	なし

3. 維持管理にかかる技術情報

○使用資源量・生成物処理量

項目	単位(適宜設定)	結果
消耗品及び電力消費量	-	消耗品及び電力消費はない。
汚泥や廃棄物の物理化学的特性と発生頻度数	-	汚泥や廃棄物の発生はない。

○維持管理項目

管理項目	技術者の必要性	一回あたりの作業量	管理頻度
維持管理に必要な作業項目	<input type="checkbox"/> 要 <input checked="" type="checkbox"/> 不要	-	-
使用者に必要な維持管理技能	<input type="checkbox"/> 要 <input checked="" type="checkbox"/> 不要	-	-

4. 実証試験結果

○実証試験の目標と結果

調査項目	目標水準
生物	対照区以上の生物量を確保する。

4. 1. 実証試験結果

(1)試験期間中の水質(水質連続計測結果)

試験期間中の環境は、塩分は 32.5psu 前後、水温は 11~27℃前後であり安定した状態であった。DO は 6~10mg/l 前後であり、8 月~10 月に低い値となったが、貧酸素状態に至ることはなかった。

(2)生物採取調査結果

生物採取調査で採取した付着生物量(湿重量)を試験区と対照区で比較した(図3)。比較にあたっては、試験区は採取量の合計値を、対照区については構造物の合計投影面積 2.91m²と同面積に換算した値を用いた。

付着動物、藻類ともに、1 月と 5 月は試験区の方が多かった。7 月は、付着動物はオオヘビガイやマガキといった重い種が多く出現したため、対照区の方が多かったが、藻類は試験区の方が多かった。

各技術について見ると、水平くぼみ、リサイクルブロック、貝殻基質などの生物を付着させることをねらいとする構造物は、対照区と比較して多様な生物が付着していた。造粒砂は、生物量としては対照区と比較して有意な差は見られなかったが、キュウセンが生息の場として利用していることが確認された。

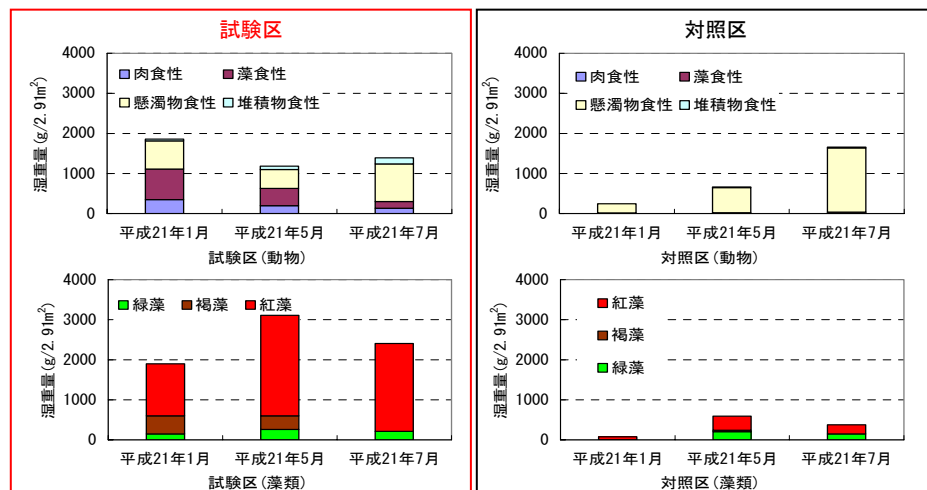


図3 試験区と対照区の付着生物量

(3)蛸集調査結果(刺網調査)

平成20年10月、平成21年5月、9月に蛸集(刺網:80m)調査を実施した。試験区では、合計13種25個体5,592g捕獲され、対照区の12種21個体3,991gと比較して種類数、個体数、湿重量ともに多かった。特に、マエソ、ヒラメ、イシガニなど、食物連鎖の上位生物が多く確認された。

(4)蛸集調査結果(目視調査)

平成20年9月から平成21年9月まで計6回の魚類目視観察(各300m²)を行った。試験区では、合計21種確認され、対照区の13種と比較して多くの魚類が観察された。特に、カサゴなどの根付魚、チャガラやメバルの稚魚が観察され、各技術が魚類にとって生息場所、採餌場所、稚魚の成育の場として機能していることが考えられる。

(5)大型ベントス調査結果

平成21年5月、7月、9月に試験区及び対照区(各300m²)において大型ベントス調査を実施した。試験区では、合計8種26個体3559g捕獲され、対照区の2種4個体397gと比較して、種類数、個体数、湿重量ともに多かった。特に、マダコの大型個体が採取されたほか、イトマキヒトデやマナマコが多く確認され、各技術の付着生物が、これら大型ベントスに捕食されていることが考えられる。

4. 2. 評価

本試験における各実証対象技術は、各材質、構造に応じたねらいを持っている。また、各技術はより効果が高まることを考え、空間的に配置されている。各技術の空間的配置のねらいを整理し、ねらいに対し予測された効果が発現されているかを検討した。さらに、本実証試験の目的である「対照区以上の生物量の確保」が達成されているかどうかを湿重量及び年間炭素固定量によって評価した。

(1)各実証対象技術の空間的配置のねらいと効果

①各実証対象技術及び空間的配置のねらい

各実証対象技術及びそれらの空間的配置のねらい(機能の連関)を図4に示す。
各技術を空間的に配置することにより、以下の効果が期待される。

- ・ 各技術を空間的に配置することにより、多様な付着生物や藻類が生育する環境を創造する。
- ・ 多様な生物の活動により、水質・底質の改善が期待される。
- ・ 魚類や大型ベントスによる鉛直、水平方向の物質循環、系外排出が期待される。

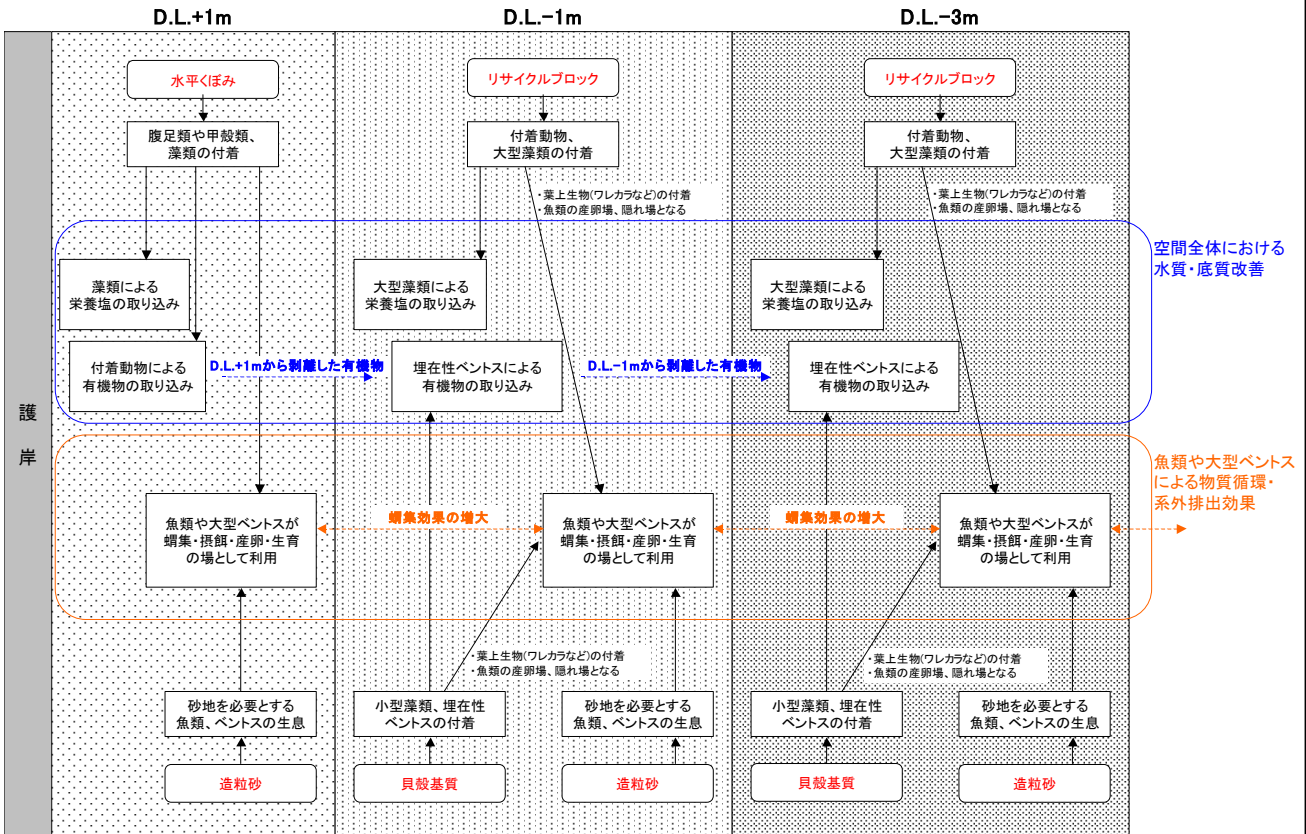


図4 空間的配置のねらい(機能の連関)

②各実証対象技術及び空間的配置の効果

空間的配置の効果は、各技術がそれぞれねらい通りの効果を発揮し、それらが連関することにより発現される。生物採取調査結果及び目視調査結果より、各技術が効果を発揮しているかどうかを検証した。

D.L.+1mの水平くぼみでは、対照区では出現していない藻類や甲殻類が確認され、対照区に比べ、多様な生物種が確認された(図5)。これは、水平面にくぼみが存在することで、干潮の干出時であっても、くぼみ内部に溜まった海水が湿潤な状態を保つため、乾燥に弱い生物も生息できる環境が創造されているためであると考えられる。

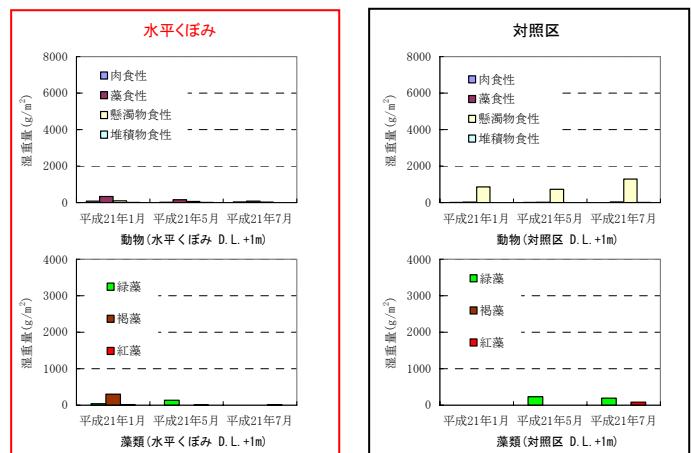


図5 水平くぼみと対照区の付着生物量(D.L.+1m)

D.L.-1mのリサイクルブロックは、動物の付着量は少なかったが、緑藻・褐藻・紅藻のいずれの海藻も多く付着していた。一方、貝殻基質では動物の付着量が多く、これらの異なる特性の技術が存在することで多様な生物の生息環境が創出されたと考えられる。特に、貝殻基質では、対照区ではほとんど見られない堆積物食性や肉食性の動物が多く確認され、D.L.-1mから落ちてくる糞や死骸などの有機物の分解に寄与しているものと考えられる(図6)。

また、両基質に多く付着していた海藻には、ワレカラなども多く付着しており、周辺で確認された稚魚や大型ベントスの餌として利用されていることがうかがえる。

造粒砂は、生物量としては対照区と比較して有意な差は見られなかったが、冬季にキュウセンの潜砂が多く確認され、泥質である周辺と異なる生物の生息環境を創造していた。

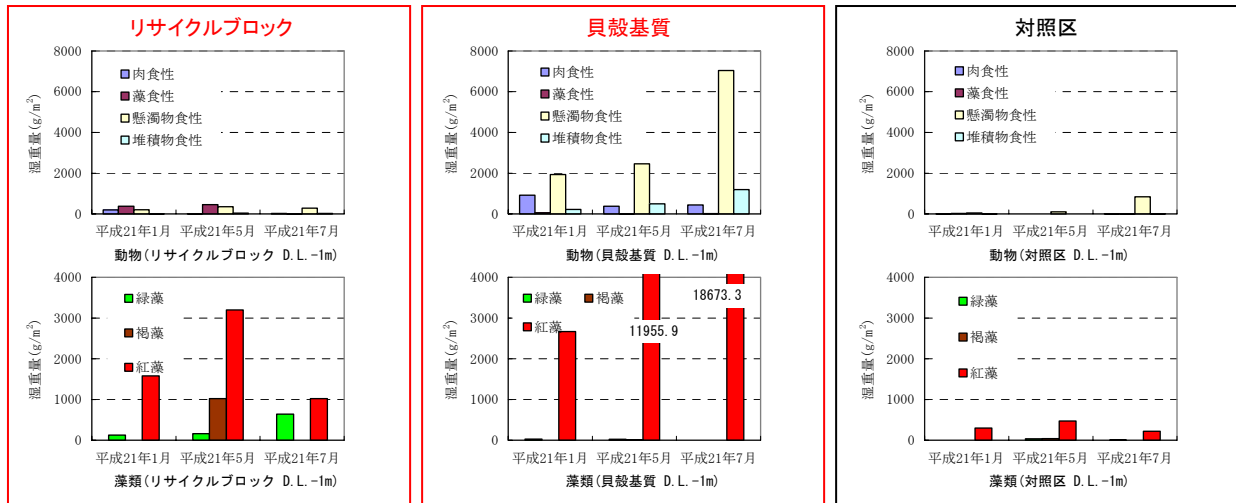


図 6 リサイクルブロック、貝殻基質、対照区の付着生物量(D. L. -1m)

D.L.-3m では、他の水深に比べてリサイクルブロック、貝殻基質ともに生物量は少なかったが、付着生物の出現する時期や種類が両基質で異なっており、これらの異なる特性の技術が存在することで多様な生物の生息環境が創出されたと考えられる。一方、対照区では全く確認されなかった藻類が両基質とも確認されており、これらのことから多様な生物の生息環境が創出されたと考えられる(図 7)。

各技術周辺には、対照区の同水深では見られないカサゴなどの捕食者が観察されたことから、D.L.-3m に構造物を設置したことによる蛸集・系外排出効果がうかがえる。

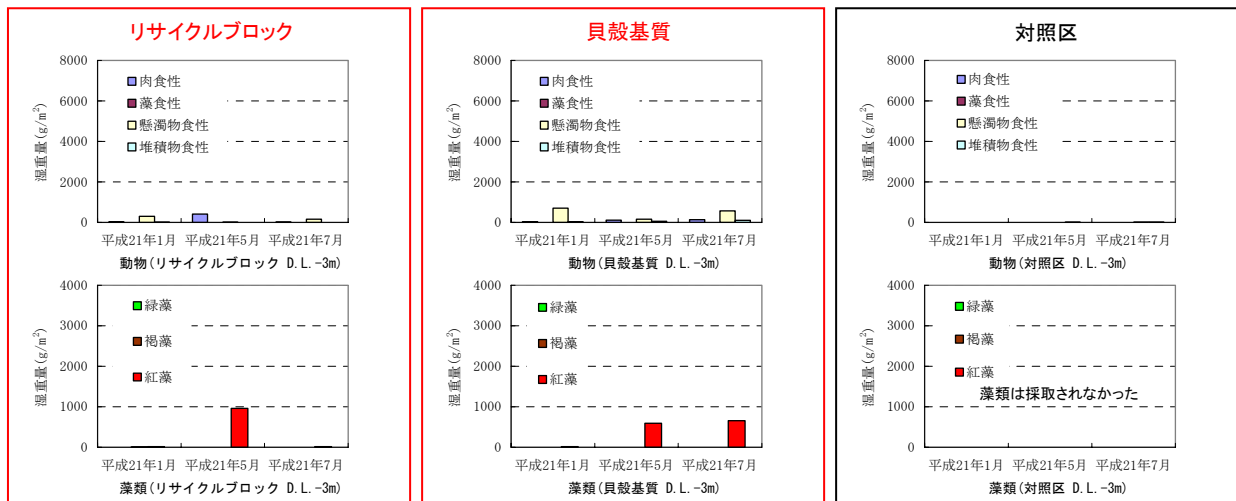


図 7 リサイクルブロック、貝殻基質、対照区の付着生物量(D. L. -3m)

以上より、空間的に設置した各技術は、それぞれ効果を発揮しており、それらの効果は互いに連関していることが考えられる。よって、本実証試験における各技術とその空間的配置は、おおむねその目的を達成しており、物質循環のシステムが構築されつつあると考えられる。

(2)対照区以上の生物量の確保

①湿重量による評価

生物採取調査で採取した付着生物量(湿重量)を試験区と対照区で比較した。1月、5月は付着動物、藻類ともに試験区の方が多かった。7月は付着動物については対照区の方が多かったが、藻類は試験区の方が多かった。付着動物と藻類を合わせた湿重量は常に試験区の方が多く、対照区以上の生物量が確保されているといえる。

②年間炭素固定量による評価

各技術に付着した動物と藻類を合わせた生物生産量により、各技術の複合的配置の効果を評価するため、試験区、対照区における付着生物の年間炭素固定量を推定し、比較した。各技術(総面積 2.91m²)に付着した生物の食性別最大現存量を合計し、試験区の食性別年間最大現存量とした。対照区については、試験区の各技術と同水深の付着生物量を、各技術と同面積に換算し合計した。その結果、試験区の炭素固定量は、対照区と比較すると3.3倍となり、付着生物の生産量においても対照区以上となっていた(表1)。

表1 試験区、対照区における年間炭素固定量

	最大現存量 (g/2.91m ²)		P/B _{max}	炭素/湿重量比	炭素固定量 (g-C/y/2.91m ²)	
	試験区	対照区			試験区	対照区
肉食性	459.29	43.98	1.70	0.10	78.08	7.48
藻食性	789.89	37.78	1.70	0.10	134.28	6.42
懸濁物食性	1490.67	1734.09	1.70	0.09	228.07	265.32
堆積物食性	168.67	155.32	1.70	0.10	28.67	26.41
藻類	5470.03	609.61	3.00	0.05	820.50	91.44
					合計炭素固定量 (g-C/y/2.91m ²)	
					1289.61	397.06

③周辺の大型ベントスを考慮した年間炭素固定量による評価

本試験では複数の技術を空間的に配置しており、各技術を単独で設置した場合と異なり、空間全体に、付着生物を捕食する大型ベントスなどを蝟集させる相乗的な効果(シナジー効果)があると考えられる。よって、付着生物に確認された大型ベントスを加え、②と同様に年間の炭素固定量を算出し比較した。試験区の年間炭素固定量は対照区の4.7倍となり(表2)、対照区との差は付着生物のみで算出した結果以上となった。各技術を空間的に配置した場合、単独で設置した場合に比べ、大型ベントスなどの蝟集効果が高まり、生物量が増加することが考えられる。

表2 シナジー効果を考慮した年間炭素固定量

	最大現存量 (g/300m ²)		P/B _{max}	炭素/湿重量比	炭素固定量 (g-C/y/300m ²)	
	試験区	対照区			試験区	対照区
肉食性	12334.29	6293.98	1.70	0.10	2096.83	1069.98
藻食性	1664.89	37.78	1.70	0.10	283.03	6.42
懸濁物食性	1490.67	1734.09	1.70	0.09	228.07	265.32
堆積物食性	20168.67	155.32	1.70	0.10	3428.67	26.41
藻類	5470.03	609.61	3.00	0.05	820.50	91.44
					合計炭素固定量 (g-C/y/300m ²)	
					6857.11	1459.56

4.3. まとめ

- ・ 試験区では、目標である「対照区以上の生物量の確保」が確認できた。
- ・ 試験区では、魚類や大型ベントスなど食物連鎖の上位捕食者が多く確認でき、各技術の空間的配置により、蝟集効果が高まったことが考えられる。
- ・ 各技術を複合的・空間的に配置することで、多様な生物生息空間の創造が確認でき、生物の働きによる水質・底質の改善、魚類や大型ベントスによる物質循環、系外排出が期待される(図8)。
- ・ 今後は、この技術を、人為的な改変を強く受けた泥質海底と直立護岸に囲まれた海域に適用し、生物生息環境の改善、水質の改善に役立てていきたいと考える(図9)。
- ・ 今回の実証試験海域と規模、地形、水質、生物生息環境などについて、大きく条件が異なる海域に適用する際には、設置水深や規模など、より詳細な検討が必要となる。

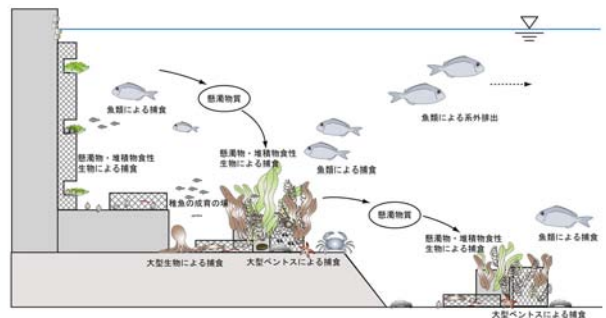


図8 期待される物質循環のシステムイメージ



図9 今後期待される展開イメージ

○実証試験の結論

試験区の生物量は湿重量、炭素固定量ともに対照区以上であり、また、生物種も対照区に比べ多様となっていた。各技術を単体ではなく複合的・空間的に配置することで、多様な生物生息空間を創造すること、また、魚類や大型ベントスの蝟集効果を高めることが確認できた。

○実証試験についての技術実証委員会の見解

対照区以上の生物量の確保は、現地調査結果からも明らかである。また、蝟集調査や大型ベントス調査で、系外排出が期待できる高次生物の生息が確認できていることから、現在配置されている技術が適切に機能していることがうかがえる。

本編

1. はじめに

実証試験は、「環境技術実証モデル事業 閉鎖性海域における水環境改善技術実証試験要領 (平成 20 年 2 月 16 日 環境省水・大気環境局)(以下「実証試験要領」という。)」に基づいて選定された実証対象技術について、実証機関、環境技術開発者及び実証試験実施場所の管理者の 3 者が協議、合意の上、実証試験要領に準拠して実施したものである。

2. 実証試験参加組織と実証試験参加者の責任分掌

実証試験参加組織を図 2-1 に、実証試験参加者の責任分掌を表 2-1 に示す。

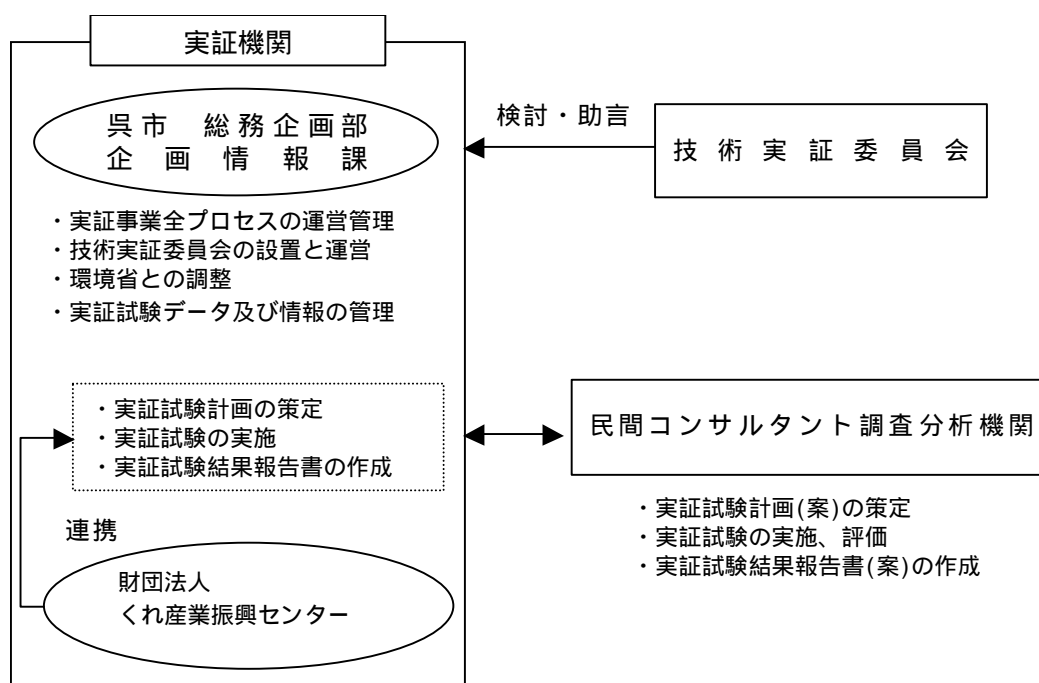


図 2-1 実証試験参加組織

表 2-1 実証試験参加者の責任分掌

区分	実証試験参加機関	責任分掌	参加者
実証機関	(中核機関) 呉市総務企画部企画情報課	実証事業全プロセスの運営管理	(統括者) 参事
		技術実証委員会の設置と運営	
		実証試験計画の策定	副部長
		実証試験の実施	課長
		実証試験データ及び情報の管理	課長補佐
		実証試験結果報告書の作成	企画員 主事
(連携機関) (財)くれ産業振興センター	実証試験計画の策定補助	所長	
	実証試験の実施補助	コーディネーター	
	実証試験結果報告書の作成補助		
品質管理グループ	呉市総務企画部総務課	内部監査の総括	課長
環境技術開発者	五洋建設(株) 外 3 社	実証対象技術の準備、運搬、設置及び撤去並びに当該業務に係る経費負担	(代表) 五洋建設土木本部 環境事業部部長 各社担当者

3. 実証試験実施場所の概要

3-1. 実証試験実施場所の名称・所在地・管理者

実証試験実施場所の名称、所在地、管理者を表 3-1 に示す。また、実証試験実施場所を図 3-1 に、実証試験実施場所の全景を図 3-2 に示す。

表 3-1 実証試験実施場所の名称、所在地、管理者

名称	呉市阿賀マリノポリス地区B-2護岸
所在地	呉市阿賀南7丁目地先
管理者	呉市

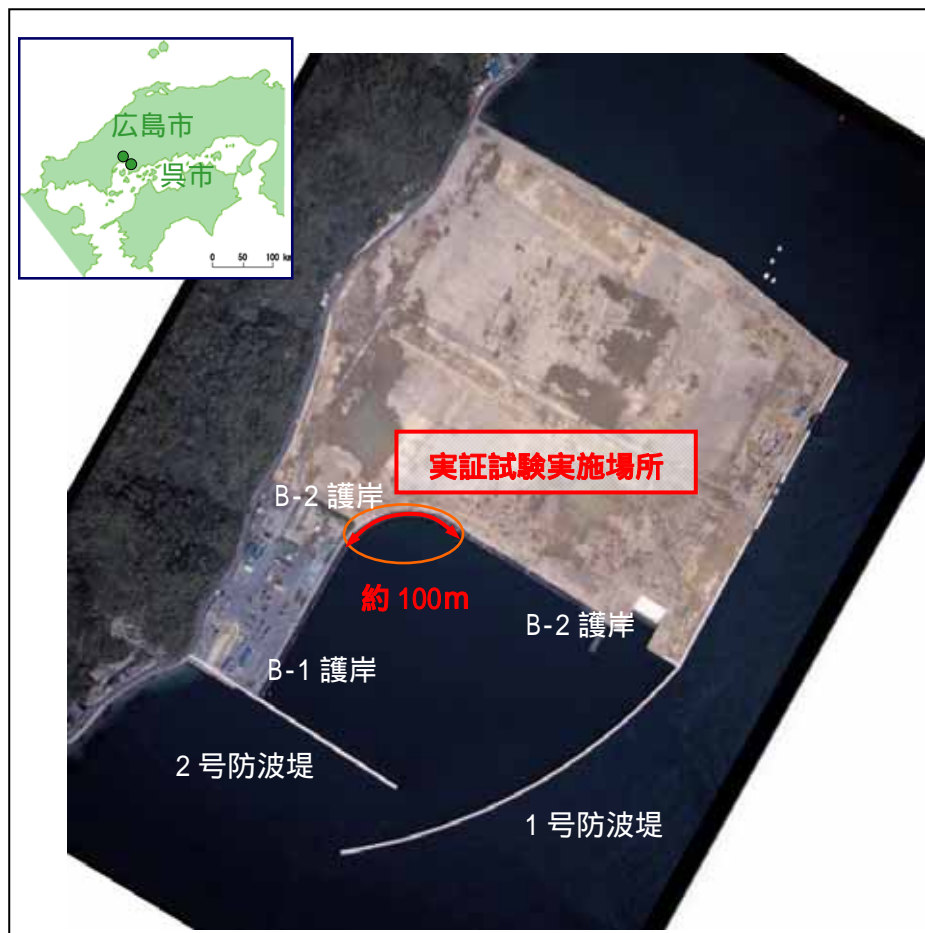


図 3-1 実証試験実施場所



図 3-2 実証試験実施場所全景 (B-2 護岸より B-1 護岸を望む)

3-2. 海域の概要

3-2-1. 実証試験実施場所周辺海域の概要

実証試験実施場所周辺海域の概要を表 3-2 に示す。なお、水質、底質、物理環境について、次頁以降に示す。

表 3-2 実証試験実施場所周辺海域の概要

海域の主な利用状況	現在、広島中央テクノポリス圏域を対象とした複合一貫輸送に対応した内貿コンテナターミナル、マリーナや緑地を核とした海洋性レクリエーション施設の整備を進めている。
実証試験場所の規模	実証試験場所のB-2護岸前面の水深は、方塊ブロック上ではD.L.+1.0m、マウンド上ではD.L.-1.0m、マウンド下はD.L.-3.0mである。実証試験場所の範囲は、延長約100m、岸沖方向約15mである。
水質の状況	防波堤設置後、海域は非常に静穏であり、濁りが強い。DOは、夏季に環境基準を下回ることがあるが、貧酸素水塊の発生は見られない。(1)
底質の状況	静穏度が高く濁りの強い海域であるため、浮泥が堆積しやすい状態である。実験の対象となる護岸前面は捨石マウンドである。(1) 平成5年の調査によると、泥質はシルト、ILは8.9%、CODは22.9mg/gであった。(2)
生物生息環境	【底生生物】 防波堤設置後の生物調査の結果報告は特に確認されていない。防波堤設置前の過去の文献・調査によれば、ダルマゴカイやシズクガイのような富栄養化海域の指標種となるような底生生物が確認されていた。(1) 【海草藻類】 防波堤設置後の生物調査の結果報告は特に確認されていない。防波堤設置前の過去の文献・調査によれば、アマモ群落やホンダワラ類の生育が確認されていた。現在においても防波堤内において、ワカメやホンダワラ類の生育が確認されている。(1)
海域の課題	ひっ迫する課題は見当たらないが、瀬戸内海沿岸に多く見られる閉鎖性が強く、埋立て等の人為的な改変を強く受けた泥質海底と直立護岸に囲まれた海域である。
実証試験環境	【実証対象機器等の搬入路】 埋立地内の道路は未整備であるが、近傍の道路から車両の乗り入れは可能である。 【電気】 使用できない。 【試料採取】 可能である。

(1) 平成 15 年度呉市環境調査報告書による

(2) 平成 5 年度呉市調査による

3-2-2. 水質

平成 18 年度、平成 19 年度に実証試験実施場所周辺海域で実施した水質調査結果のうち、水温、塩分、D0 の調査期間平均値を表 3-3 に示す。水温の調査期間平均値 17.3 、塩分は 32.6psu、D0 は 8.2mg/l であった。塩分値 23.0 psu は降雨後の計測結果であり、降雨の影響で塩分濃度が通常より下がったことが考えられる。

表 3-3 水質調査結果

項目	調査期間平均値(最小値～最大値)
水温()	17.3(10.6～30.1)
塩分(psu)	32.6(23.0～33.7)
D0(mg/l)	8.2(5.8～10.5)

3-2-3. 底質

平成 5 年に呉市が実証試験実施場所周辺海域(調査位置：図 3-3)において実施した底質調査結果を表 3-4、5 に示す。実証試験実施場所である St.3 の泥質はシルトであり、溶出試験の結果では、亜鉛、ふっ素が見られるものの、水底土砂判定基準(亜鉛 5mg/l、ふっ素 15mg/l)以下であった。

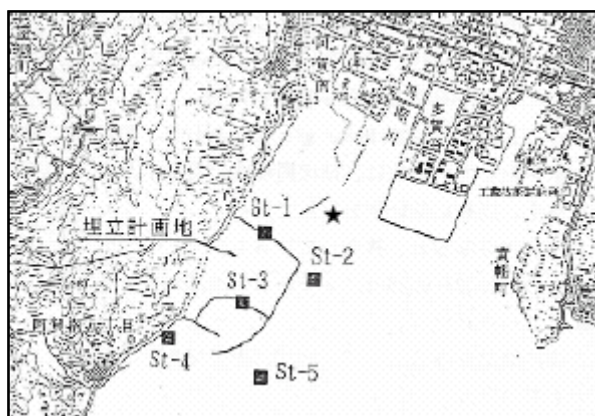


図 3-3 底質調査位置図(呉市調査 平成 5 年)

表 3-4 含有試験結果(呉市調査 平成 5 年)

項目		定量下限	St-1	St-2	St-3	St-4	St-5
基礎項目	気温()	0.1	7.8	7.9	7.9	8	7.9
	泥温()	0.1	12.7	12.8	13.4	12.5	12.4
	泥質	-	シルト	シルト	シルト	砂混シルト	シルト
	臭気	-	無	無	無	無	無
一般項目	pH	-	8.8	8.6	8.7	8.8	8.6
	COD(mg/g)	0.4	20.3	22.4	22.9	12.5	21.4
	硫化物(結合)(mg/g)	0.01	0.02	0.12	0.05	0.04	0.04
	硫化物(遊離)(mg/g)	0.01	0.18	0.26	0.2	0.17	0.23
	IL(%)	0.1	8.3	8.6	8.9	5.7	8.6
	n-ヘキサン抽出物質(mg/kg)	100	251	330	ND	ND	298
	T-N(mg/kg)	10	1390	1670	1860	935	1700
	T-P(mg/kg)	1	563	604	596	405	624
有害項目	Cd(mg/kg)	0.05	0.14	0.22	0.2	0.15	0.17
	CN(mg/kg)	0.5	ND	ND	ND	ND	ND
	O-P(mg/kg)	0.1	ND	ND	ND	ND	ND
	Pb(mg/kg)	0.2	16.1	24	23.3	16.7	22.9
	Cr ⁶⁺ (mg/kg)	2	ND	ND	ND	ND	ND
	As(mg/kg)	0.5	8.5	7.9	6.9	4.8	6.6
	T-Hg(mg/kg)	0.01	0.18	0.16	0.17	0.11	0.16
	R-Hg(mg/kg)	0.01	ND	ND	ND	ND	ND
	PCB(mg/kg)	0.01	ND	ND	ND	ND	ND
	トリクロロエチレン(mg/kg)	0.01	ND	ND	ND	ND	ND
テトラクロロエチレン(mg/kg)	0.005	ND	ND	ND	ND	ND	
特殊項目	Cu(mg/kg)	0.2	19.9	25.3	26.4	17.5	24.9
	Zn(mg/kg)	1	113	155	161	116	160
	F(mg/kg)	5	99	132	119	185	115

ND: 定量下限以下

表 3-5 溶出試験結果(呉市調査 平成 5 年)

項目	定量下限	St-1	St-2	St-3	St-4	St-5
Cd(mg/l)	0.001	ND	ND	ND	ND	ND
CN(mg/l)	0.1	ND	ND	ND	ND	ND
O-P(mg/l)	0.1	ND	ND	ND	ND	ND
Pb(mg/l)	0.02	ND	ND	ND	ND	ND
Cr ⁶⁺ (mg/l)	0.04	ND	ND	ND	ND	ND
As(mg/l)	0.005	ND	ND	ND	ND	ND
T-Hg(mg/l)	0.0005	ND	ND	ND	ND	ND
R-Hg(mg/l)	0.0005	ND	ND	ND	ND	ND
PCB(mg/l)	0.0005	ND	ND	ND	ND	ND
Cu(mg/l)	0.005	ND	ND	ND	ND	ND
Zn(mg/l)	0.01	0.1	0.07	0.07	0.04	0.04
F(mg/l)	0.1	0.4	0.3	0.2	0.4	0.4
トリクロロエチレン(mg/l)	0.005	ND	ND	ND	ND	ND
テトラクロロエチレン(mg/l)	0.002	ND	ND	ND	ND	ND
油分(mg/l)	5	ND	ND	ND	ND	ND

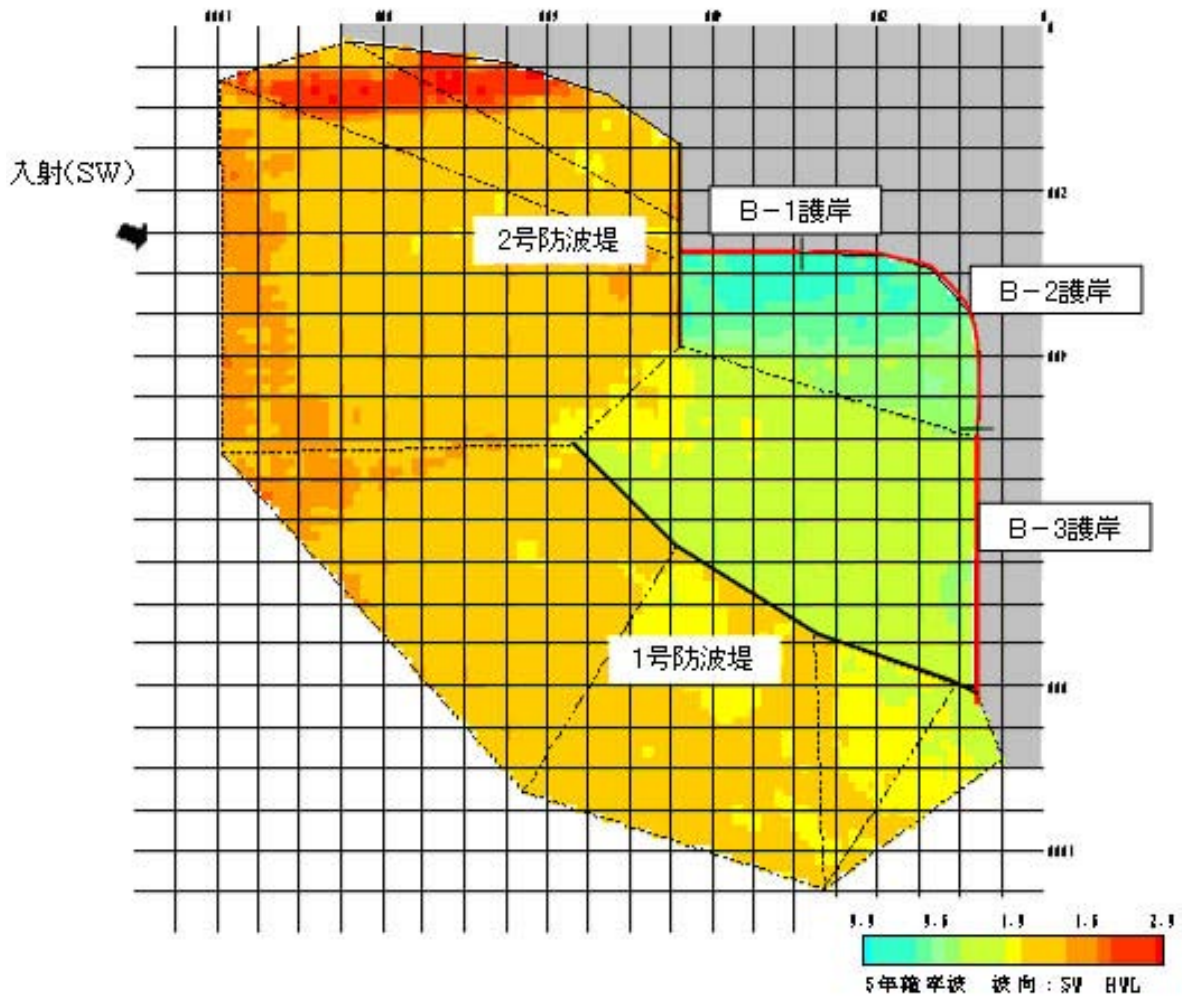
ND: 定量下限以下

3-2-4. 物理環境

実証試験実施場所周辺海域の静穏度について、表 3-6 に示す諸元で計算した結果を図 3-4 に示す。実証試験実施場所である B-2 護岸は、波高比が低く静穏な海域である。

表 3-6 沖波の諸元

		SW
風速(m/s)	U	15.40
吹送距離(km)	F	5.80
有義波高(m)	H1/3	0.82
有義波周期(s)	T1/3	2.91
波長(m)	L	13.22



潮位:H.W.L.+3.89m、波向:SW 方向として計算

(五洋建設株式会社資料より)

図 3-4 静穏度解析

3-3. 実証対象技術の配置

実証試験は図 3-5 で示す調査海域で実施した。調査海域には実証対象技術を配置した試験区と、試験区との比較のための対照区を設けた。試験区における実証対象技術の配置を図 3-6 に示す。

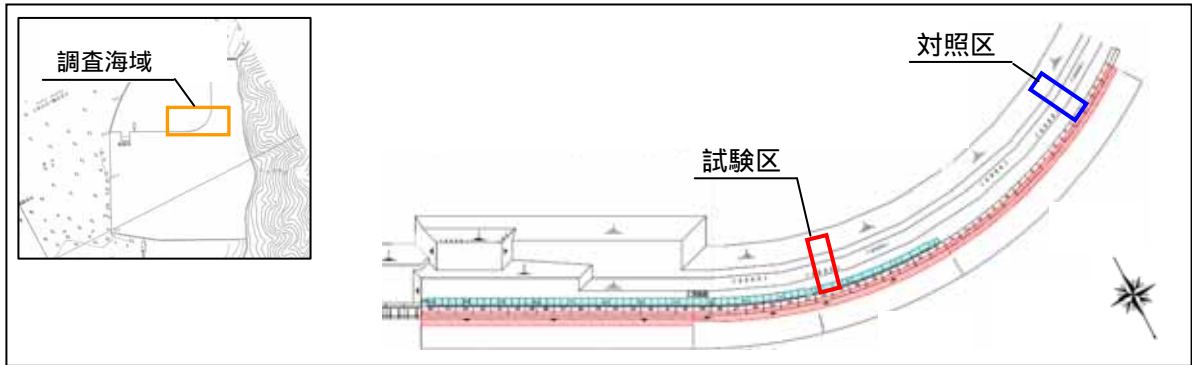


図 3-5 試験区と対照区の位置(調査海域)

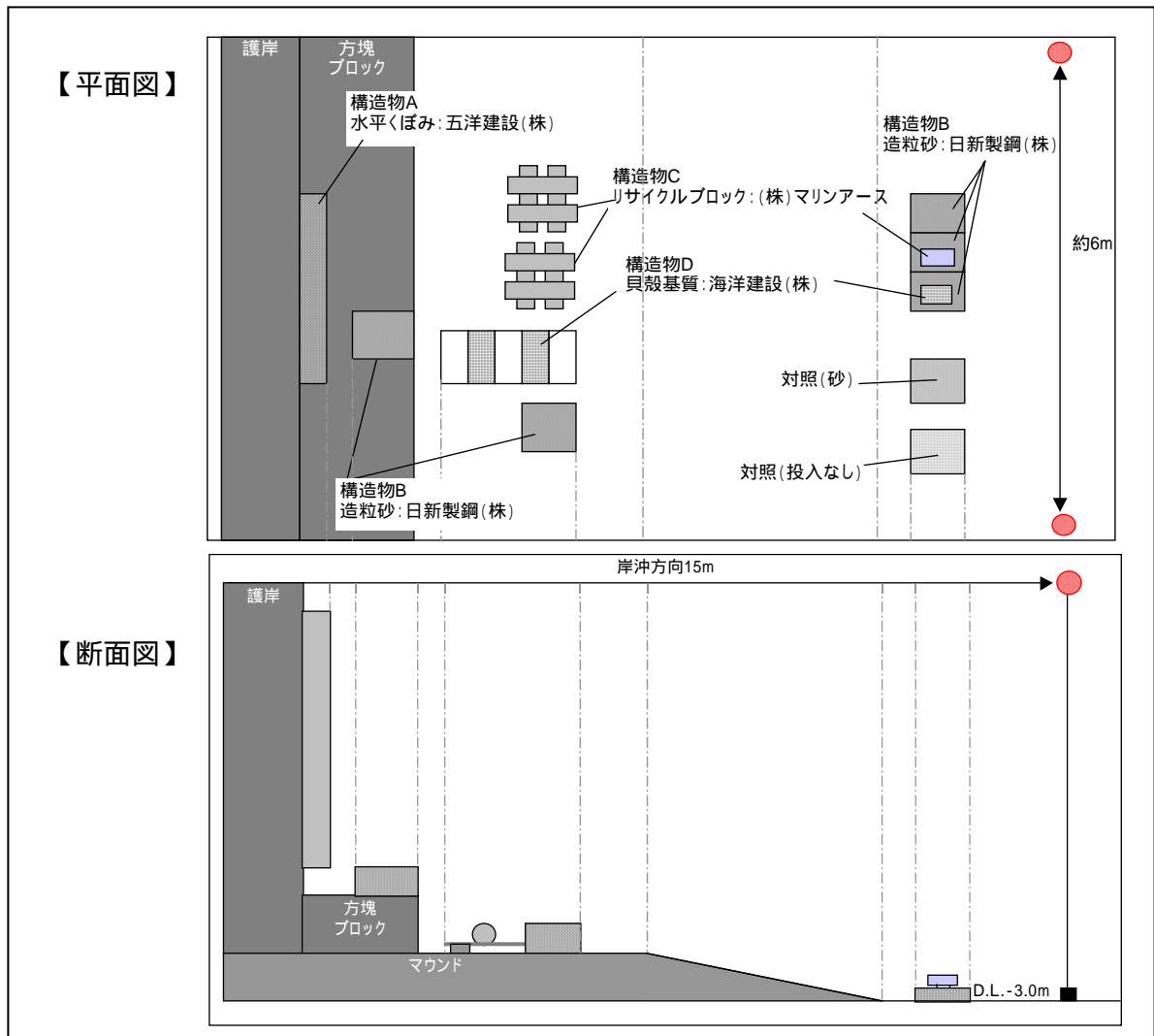


図 3-6 試験区における実証対象技術の配置図

4. 実証対象技術の概要

4-1. 実施対象技術の概要(原理と期待される将来像)

本実証試験の各種生物生息環境改善技術は、それぞれ効果のあることが、適用実験や実証実験により確認されている。各技術は、それぞれ機能、ねらいが異なっており、それらを複合的に配置することにより、各機能が連関し、相乗的な効果(シナジー効果)が生まれることが期待されるが、複合的に配置した場合の効果の評価までは行われていない。そこで本実証試験では、各技術を複合的に配置し、その効果を評価することとした。

本実証試験は、瀬戸内海沿岸で典型的な泥質海底と直立護岸に対して、各技術を配置することにより、通常の直立護岸部よりも多様性が高く、かつ、生物量の多い群集が形成され、出現した濾過食性及び有機物食性ベントスの生物活動により水質が改善されることを期待している。また、複雑な空間を有する構造物が配置されることや付着生物、堆積物食者が増加することにより、それら生物の上位捕食者となる魚類、底生生物による蛸集、捕食活動が活発になることが考えられ、上位捕食者が移動又は漁獲されることによる系外除去効果も期待できる。図 4-1 に期待される将来像のイメージ図を示す。

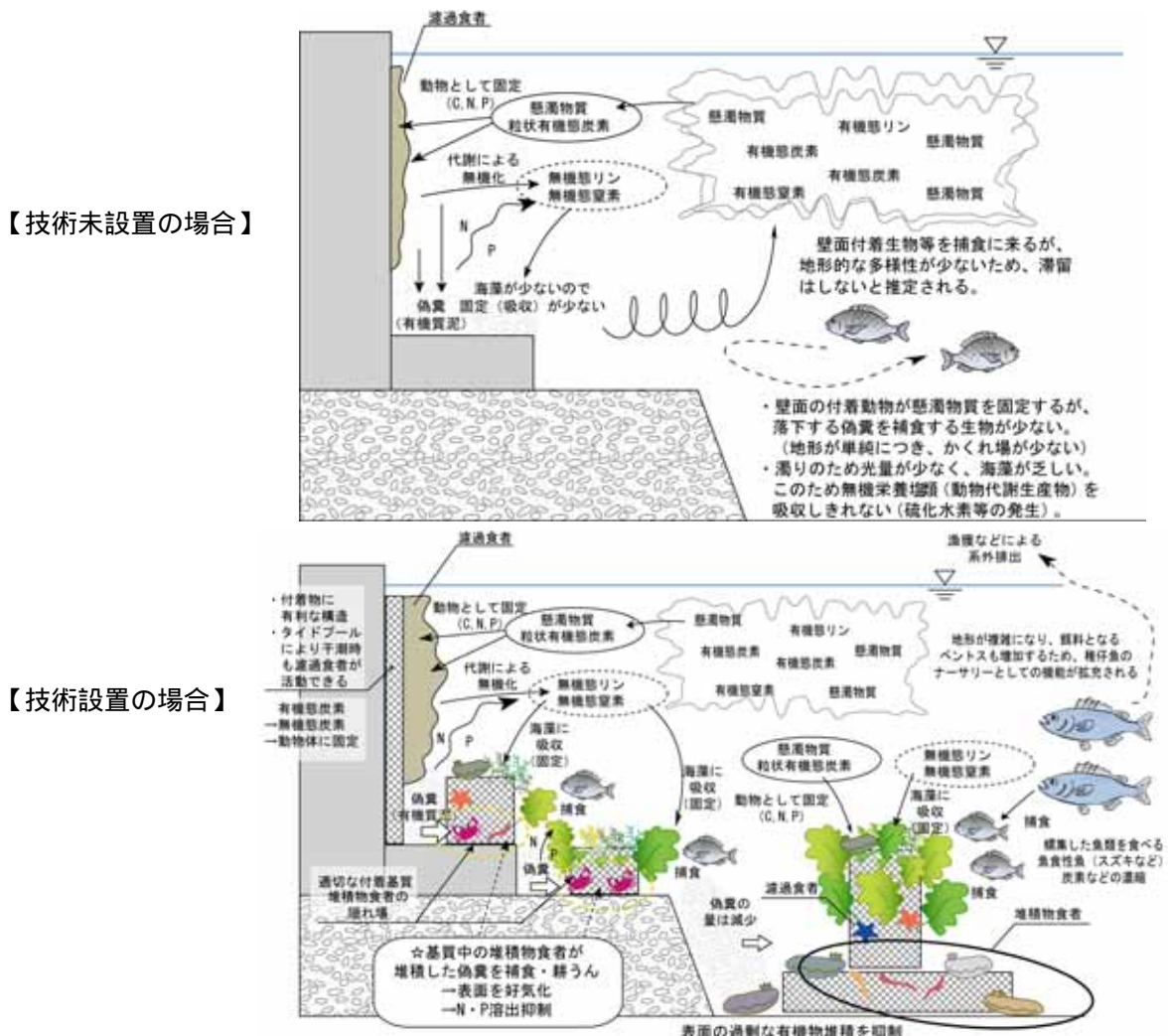


図 4-1 期待される将来像

4-2. 実証対象技術の仕様

4-2-1. 水平くぼみによる生物多様性向上技術(五洋建設株式会社)

水平くぼみによる生物多様性向上技術(以下「水平くぼみ」という。)は、直立護岸の付着生物着生促進のために、直立護岸でも水分の保持ができるようにくぼみや小型タイドプールを設けたコンクリート製プレキャスト構造物であり、付着生物量の増加が期待される。

構造物の概要を図 4-2 に、また、技術の維持管理に関する必要性を表 4-1 に示す。

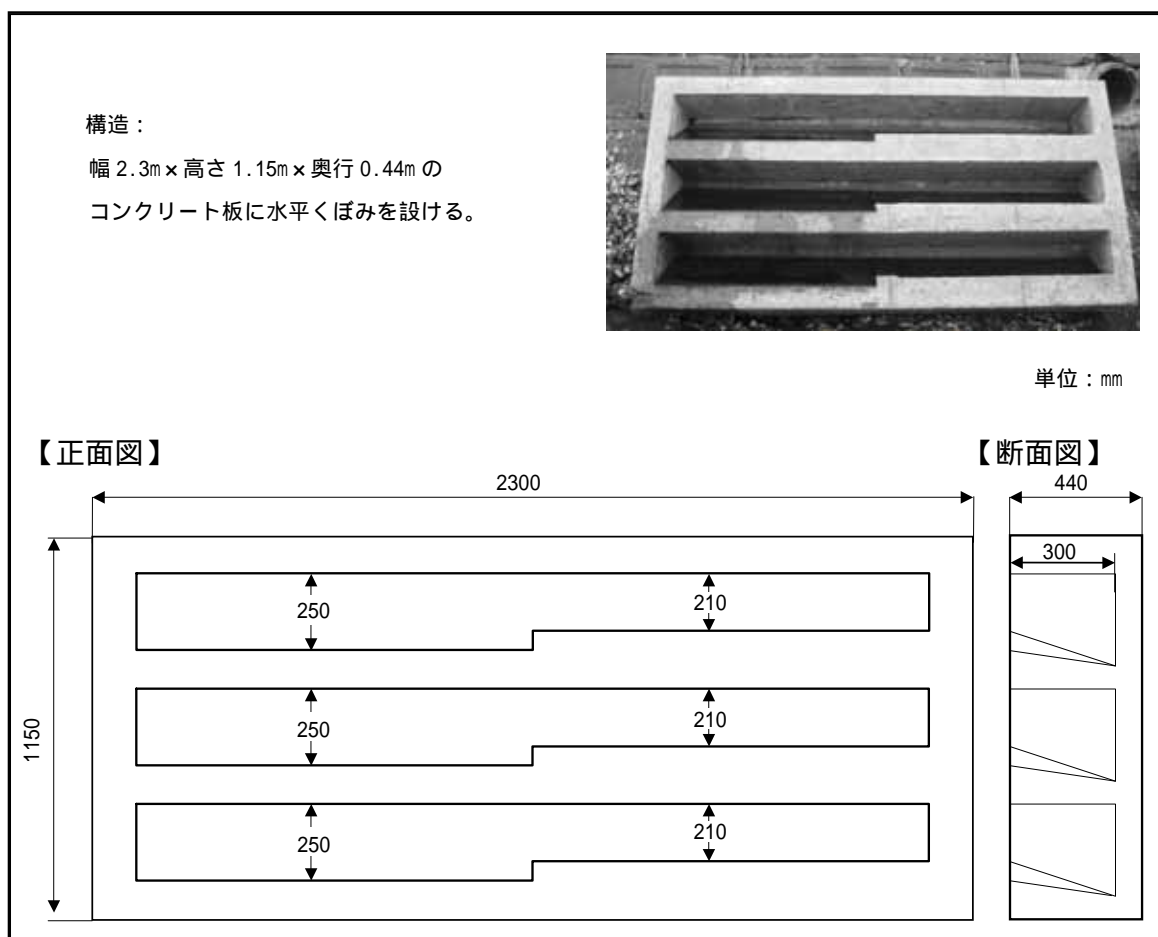


図 4-2 水平くぼみプレート構造

表 4-1 維持管理に必要な作業及び技能等の必要性

項目	必要性及び発生の有無
消耗品及び電力消費量	無
実証対象機器の維持管理に必要な作業項目	無
汚泥や廃棄物の物理化学的特性と発生頻度等	無
実証対象機器の使用者に必要な維持管理技能	無

4-2-2. 鉄鋼スラグを用いた生物生息場の創出技術(日新製鋼株式会社)

鉄鋼スラグを用いた生物生息場の創出技術(以下「造粒砂」という。)は、生物の生息状況に合わせて粒径等を調整した造粒砂であり、藻場・干潟の再生材として底生生物の生息を促すことが期待される。

構造物の概要を図 4-3 に、また、技術の維持管理に関する必要性を表 4-2 に示す。

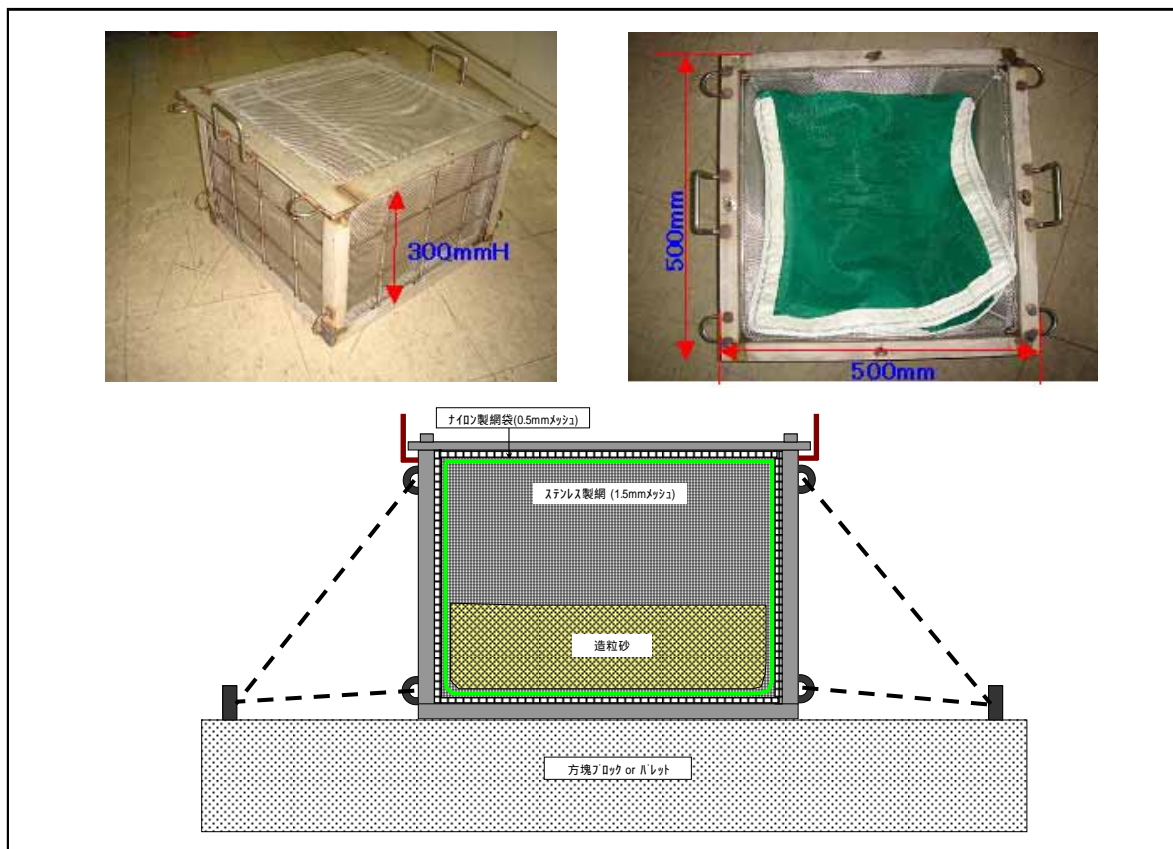


図 4-3 造粒砂設置状況

表 4-2 維持管理に必要な作業及び技能等の必要性

項目	必要性及び発生の有無
消耗品及び電力消費量	無
実証対象機器の維持管理に必要な作業項目	無
汚泥や廃棄物の物理化学的特性と発生頻度等	無
実証対象機器の使用者に必要な維持管理技能	無

4-2-3. リサイクル材を用いた付着生物多様性向上技術(株式会社マリンアース)

リサイクル材を用いた付着生物多様性向上技術(以下「リサイクルブロック」という。)は、焼却灰等の副産物を安全に固化した、付着生物や海藻が着生しやすい基質であり、海域の生物量の増加を図ることが期待される。

構造物の概要を図 4-4 に、また、技術の維持管理に関する必要性を表 4-3 に示す。

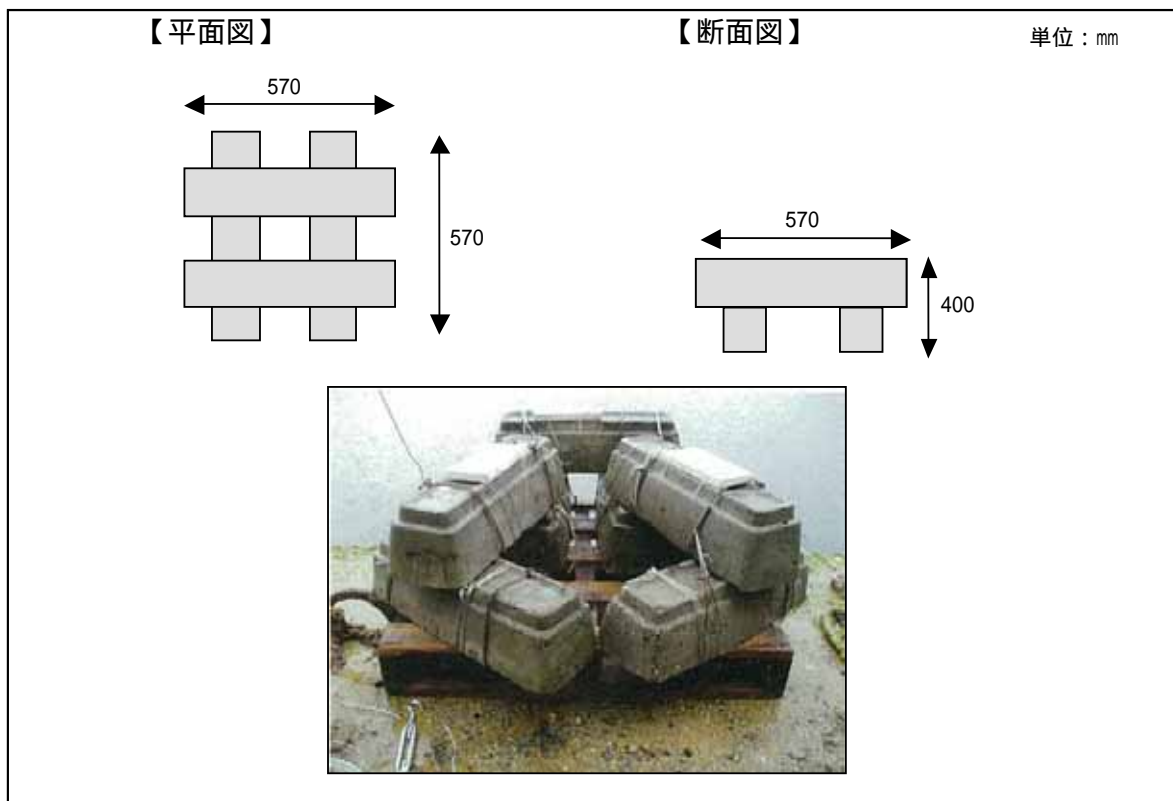


図 4-4 マリンアース混和剤によるリサイクルコンクリートブロック

表 4-3 維持管理に必要な作業及び技能等の必要性

項目	必要性及び発生の有無
消耗品及び電力消費量	無
実証対象機器の維持管理に必要な作業項目	無
汚泥や廃棄物の物理化学的特性と発生頻度等	無
実証対象機器の使用者に必要な維持管理技能	無

4-2-4. 貝殻を用いた生物付着促進技術(海洋建設株式会社)

貝殻を用いた生物付着促進技術(以下「貝殻基質」という。)は、瀬戸内海で多産する貝殻を材料とした多孔質構造を持つ生物着生基質であり、表面への海藻や付着動物の着生のみならず、多孔質内に濾過食性及び有機物食性ベントスが生育することが期待される。これにより表面の付着生物による濾過効果に加え、濾過食性及び有機物食性ベントスによる懸濁物成分の捕食・固定が期待できる。

構造物の概要を図 4-5 に、また、技術の維持管理に関する必要性を表 4-4 に示す。

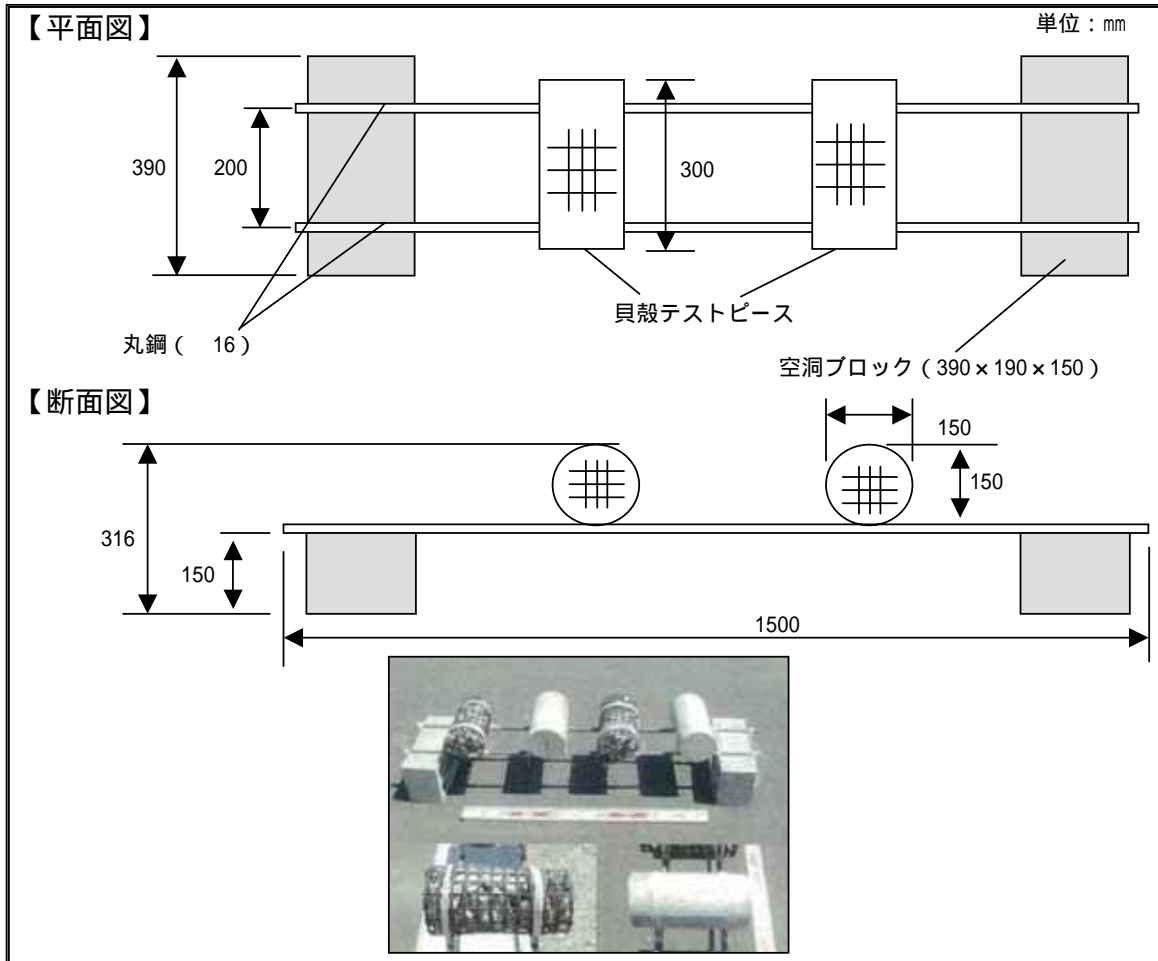


図 4-5 貝殻を材料とした生物付着基質

表 4-4 維持管理に必要な作業及び技能等の必要性

項目	必要性及び発生の有無
消耗品及び電力消費量	無
実証対象機器の維持管理に必要な作業項目	無
汚泥や廃棄物の物理化学的特性と発生頻度等	無
実証対象機器の使用者に必要な維持管理技能	無

4-3. 各実証対象技術及び空間的配置のねらい

本実証試験では、それぞれねらいを持った実証対象技術を単体ではなく、複合的・空間的に配置することにより、それぞれの機能が関連し、相乗的な効果(シナジー効果)が生まれることを期待している。

各実証対象技術のねらい、また、それらの空間的配置のねらいについて以下に整理した。

・水平くぼみのねらい

通常の垂直護岸は構造が単純であり、フジツボやマガキなどの懸濁物食性生物のみの生物相になりやすい。水平くぼみでは、奥行き方向に空間を設け、部分的に保水性を持つ構造となっており、藻食性の腹足類や堆積物食性の甲殻類、また、海藻などが付着し、多様な生物相となることが期待される。

・リサイクルブロックのねらい

リサイクルブロックは生物が付着しやすい基質であり、大型の海藻や懸濁物食性であるフジツボなどが付着し、多様な生物相となることが期待される。

・貝殻基質のねらい

貝殻基質は貝殻を材料として多孔質構造を持つ基質であり、表面に小型の海藻が付着すること、また、多孔質内には堆積物食性の甲殻類などが付着し、リサイクルブロックとは異なる生物相となることが期待される。

・造粒砂のねらい

造粒砂は、他の実証対象技術と異なり、海域の岩礁や泥質の底質環境に砂地を提供し、砂地を必要とする生物の生息環境を創造することを目的としている。

表 4-5 各技術のねらい

実証対象技術	ねらい
水平くぼみ	鉛直護岸以上の生物多様性の確保
リサイクルブロック	大型藻類や付着動物の生息環境の創造
貝殻基質	小型藻類や付着動物、 埋在性ベントスの生息環境の創造
造粒砂	砂地を必要とする生物の生息環境の創造

・各技術の空間的配置のねらい

護岸部分(D.L.+1m)に各技術を設置することにより、鉛直護岸には生息していない生物を付着させる。

護岸直下(D.L.-1m)に各技術を設置することにより、生物量を増やし、生物多様性を高める。また、それら生物の働きにより水平くぼみや鉛直護岸から剥離した生物や排泄物などを取り込み、分解する。

沖側(D.L.-3m)に各技術を設置することにより、D.L.-1mと異なる生物種の生息環境を創造し、生物多様性を高めるとともに、水平・鉛直方向へ移動する物質の消費の場を造る。

このように各技術を空間的に設置することにより、多様な付着動物や藻類が生育する環境を創造し、それら生物による水質・底質の改善が期待される。また、鉛直、水平方向の物質循環が生まれ、魚類や大型ベントスによる系外排出が期待される(図4-6)。

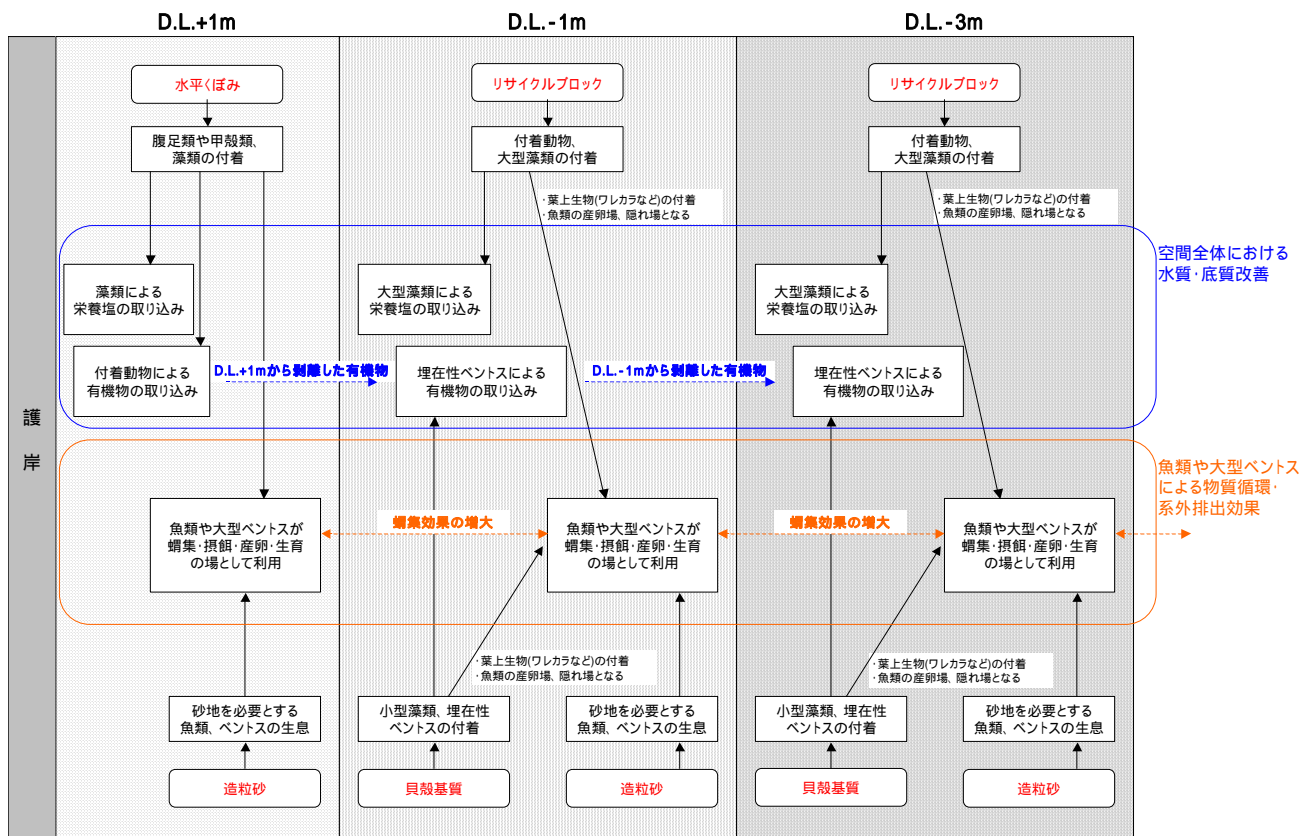


図 4-6 空間的配置のねらい(機能の連関)

5. 実証試験の方法

5-1. 試験期間

本試験は昨年度の実証試験を継続し、実施するものである。

調査実施工程を昨年度の工程と合わせて表 5-1 に示す。

表 5-1 実施工程

項目	平成20年度									平成21年度												
	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
実証試験計画の策定	■									■												
準備期間	■									■												
モニタリング調査	生物目視調査																					
	生物採取調査																					
	蠣集調査																					
	大型ベントス調査																					
	造粒砂の分析																					
周辺海域調査	連続水質調査	■									■											
	潮流調査			■																		
	堆積物調査			■			■															
データ整理・解析			■								■											
報告書の作成							■												■			

蠣集調査の ■ は捕獲調査を示す。

5-2. 実証対象技術の設置及び回復に関する留意事項

実証対象技術の撤去にかかる日数は最長でも 5 日程度であり、撤去後は完全に現状復帰が可能である。

5-3. 目標及び調査項目

5-3-1. 目標

本実証試験は、既に実績のある各技術を複合的に配置することにより、通常の直立護岸部よりも多様性が高く、かつ、生物量の多い群集が形成されること、また、出現した濾過食性及び有機物食性ベントスの生物活動により水質が改善されることを期待している。ただし、本実証試験では、フィールドの広さに対して対象技術の規模が小さく、調査期間における水質改善効果の検証は難しいと考えられる。よって、本実証試験の評価対象は生物とし、評価目標は試験区において対照区以上の生物量を確保することとした(表 5-2)。

表 5-2 実証項目及び目標

実証項目	目標水準
生物	対照区以上の生物量を確保する。

本実証試験は、上記目標で実施した昨年度の試験を延長し、実施するものである。昨年度の秋季、冬季調査において、目標である「試験区における対照区以上の生物量の確保」は達成したが、生物生産量の多い春季、夏季のデータを得ていないため、生物生産サイクルや生物量の最大値は把握できていない。

よって、それらを把握し、より正確な年間炭素固定量を推定するため、また、系外除去効果や技術の組み合わせによるシナジー効果を推定するため、昨年度の試験を延長し、本実証試験を実施した。

本実証試験の要点を以下に示す。

- ・ 春季、夏季調査を実施し、昨年度の秋季、冬季調査と合わせた4シーズンのデータを取得する。
- ・ 試験区に出現する食物連鎖の上位捕食者を把握する。

5-3-2. 調査項目

各技術の効果やその組み合わせによるシナジー効果を把握するため、昨年度調査に引き続き、試験区及び対照区において、モニタリング調査と周辺海域調査を実施した。本年度実施した調査項目を昨年度の実施回数と合わせて以下表 5-3 に示す。

表 5-3 調査項目一覧

調査区分	項目	方法・対象	平成20年度	平成21年度
モニタリング調査	生物目視調査	すべての構造物に対して目視観察を実施。 生物種類、個体数(被度)を調査し、写真撮影を実施。	4回 8月、9月、11月、1月	3回 5月、7月、9月
	生物採取調査	すべての構造物に対して生物採取を実施。 生物種類、個体数、湿重量を同定。	1回 1月	2回 5月、7月
	蛸集調査	各設置物に蛸集する魚類について目視観察を実施。 生物種類、個体数を調査し、写真撮影を実施。	4回 9月、10月、11月、1月	3回 5月、7月、9月
	大型ベントス調査	調査海域に蛸集する底生生物について目視観察を実施。 生物種類、個体数を調査し、写真撮影を実施。		3回 5月、7月、9月
	造粒砂の分析	設置した造粒砂を採取し分析を実施。 分析項目は粒度組成、IL。	2回 8月、1月	1回 7月
周辺海域調査	連続水質調査	水温・塩分・DOの連続計測を実施。 2週間に1回程度、点検・清掃を実施。	連続計測 7月～4月	連続計測 4月～9月

5-4. モニタリング調査

5-4-1. 生物目視調査

生物目視調査は、潜水土等により各技術に出現した生物の目視観察及び写真撮影を行い、種類と個体数又は被度を記録した。

5-4-2. 生物採取調査

生物採取調査は、潜水土等により各技術に付着する生物の剥ぎ取りを実施し、種の同定及び種類数、個体数、湿重量の計測を行った。

5-4-3. 蝸集調査

蝸集調査は、どのような種の魚類がどの程度蝸集しているかを把握するため、潜水土等により目視調査、捕獲調査(各調査区に80mの刺網を設置)を実施した。

5-4-4. 大型ベントス調査

大型ベントス調査は、どのような種の上位捕食者(大型のベントス)がどの程度生息しているかを把握するため、試験区、対照区の調査範囲300m²において、潜水土等により目視調査を実施し、各区画に生息する上位捕食者を確認した。調査範囲を図5-1に示す。

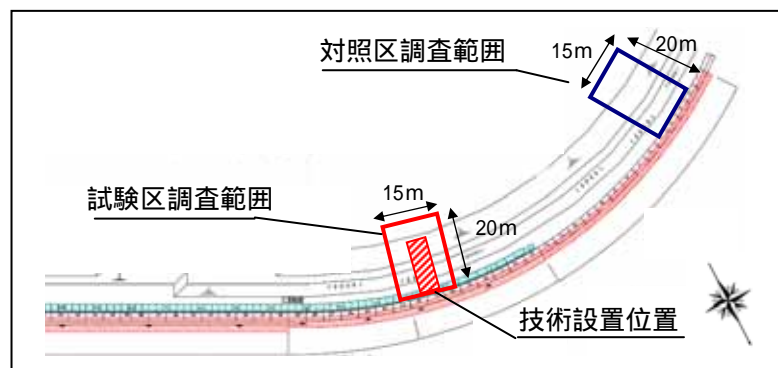


図 5-1 大型ベントス調査の調査範囲

5-4-5. 造粒砂の分析

造粒砂の分析は、設置直後と今回の分析結果を比較することにより、試験期間中に造粒砂の組成がどの程度変化したかを把握するため、潜水土により設置した造粒砂を採取し、分析(粒度組成とIL)を行った。

5-5. 周辺海域調査

5-5-1. 連続水質調査

調査海域の水質を把握するため、試験区のL.W.L.以下の場所に水質計を設置し、水温、塩分、DOの連続観測を実施した。水質計の設置位置を図5-2に示す。

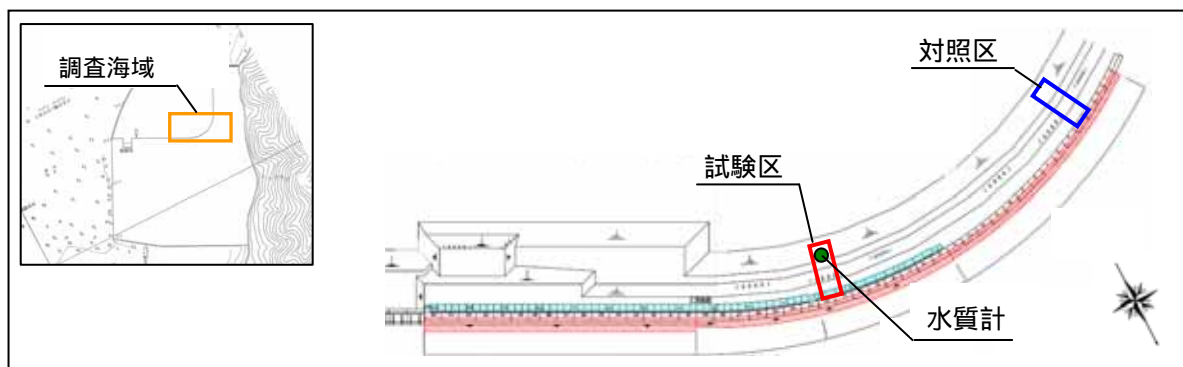


図 5-2 水質計設置位置

5-6. 調査概要

5-6-1. 試験区における調査概要

試験区における調査概要を図 5-3 に示す。

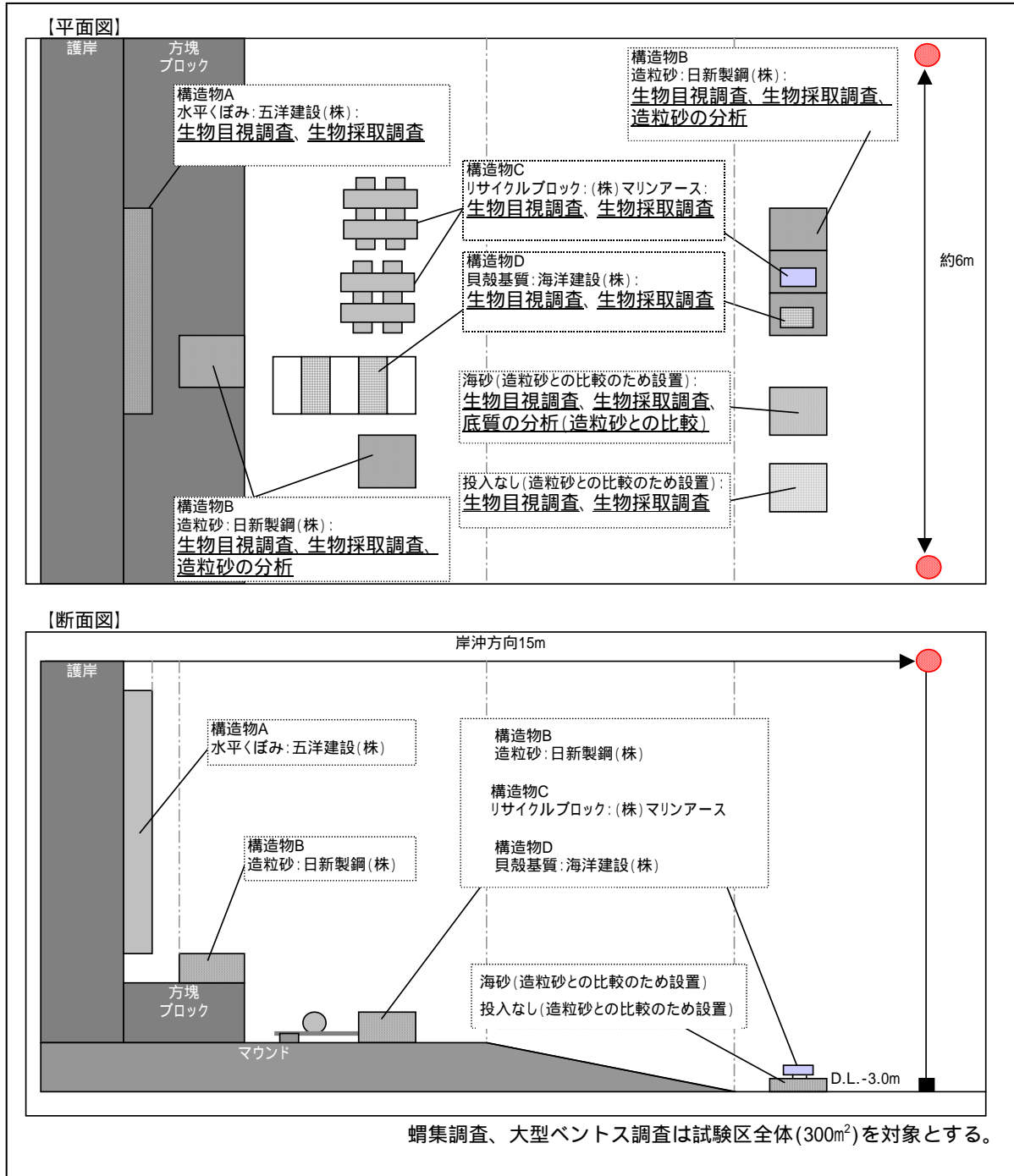


図 5-3 試験区各設置物における調査概要

5-6-2. 対照区における調査概要

対照区は、周辺環境が試験区と酷似すると考えられる阿賀マリノポリス地区湾内で、試験区より約 100m 程度離れた同じ B-2 護岸前面とした。なお、対照区は、試験区との生物条件を同じにするため、試験区設置日に、対照区既設護岸において幅 1m の範囲の付着生物を除去した。対照区における調査概要を図 5-4 に示す。

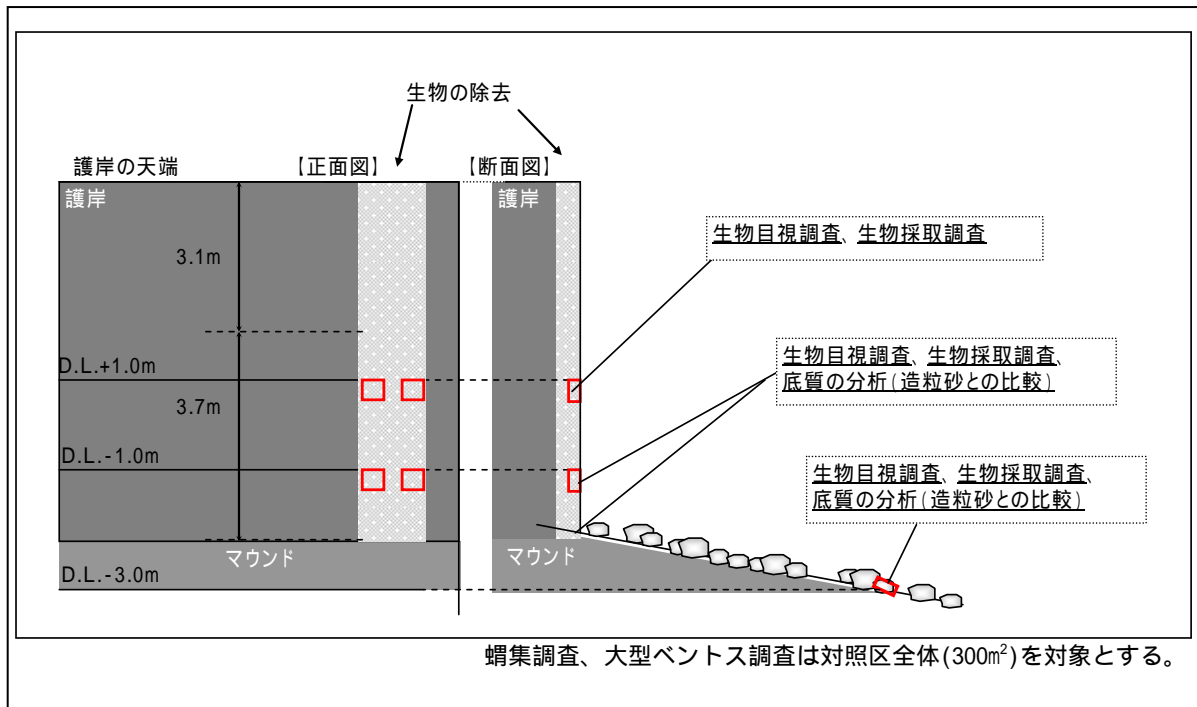


図 5-4 対照区既設護岸における調査概要

5-7. 計測機器の仕様

使用機器を以下に示す。

水温塩分計 COMPACT-CT(アレック電子社製)

仕様

センサ仕様	分析項目	水温	電気伝導度
	タイプ	サーミスタ	電磁誘導セル
	レンジ	- 5 ~ 40	0 ~ 60ms/cm
	分解能	0.001	0.001ms/cm
	精度	± 0.02	± 0.02ms/cm
ハードウェア	材質	チタニウム	
	寸法	直径 40mm 全長 193mm	
	重量	空中重量 500g 水中重量 265g	
	耐圧性能	200m水深相当	



小型メモリーDO計 COMPACT-DOW(アレック電子社製)

仕様

センサ仕様	分析項目	水温	DOセンサ
	タイプ	サーミスタ	ガルバニ電極
	レンジ	- 5 ~ 40	0 ~ 20mg (0 ~ 200%)
	分解能	0.001	0.001mg/L
	精度	± 0.05	± 1%FS
	その他	-	電極内部のサーミスタにより、自動温度補正 メンブラン/内部液交換方式
ワイパー	回転数	約30rpm (1分間に30回転)	
	取付羽	1枚・・・電極掃除用シリコンゴム 2枚・・・攪拌用プラスチック板	
ハードウェア	寸法	直径 60mm 全長 242mm	
	重量	空中重量 1200g 水中重量 620g (電池装着重量)	
	耐圧性能	200m水深相当	



5-8. 維持管理

実証機関は、施設が試験期間を通じ効果を維持するために、調査実施時には施設の設置状況や周囲の状況を確認した。今後の試験の継続に問題がある場合は、速やかに環境技術開発者に連絡を取り、協議の上、措置を決定するものとした。

5-9. 品質管理

本業務の品質管理は、呉市実証試験業務品質マニュアルに従って実施した。

6. 実証試験結果

6-1. 生物採取調査

6-1-1. 水平くぼみ

平成 21 年 1 月 6、7 日と 5 月 29 日及び 7 月 29 日に生物採取調査を実施した。

(1) 1 月調査結果

1 月の調査結果を表 6-1、図 6-1 に示す。冠水時間が短く、保水性がない上段左側のくぼみではタマキビが多く採取された。下段のくぼみや保水性のある右側のくぼみにおいては、動物ではツルヒゲゴカイやスガイが多く、藻類ではヒジキが多く採取された。

表 6-1 生物調査結果概要(水平くぼみ、1 月)

種類数	動物：95種 藻類：16種
優占種	動物：タマキビ、ツルヒゲゴカイ 藻類：ヒジキ、アオサ属
生物量 (湿重量)	動物：508.2g/m ² 藻類：355.9g/m ²

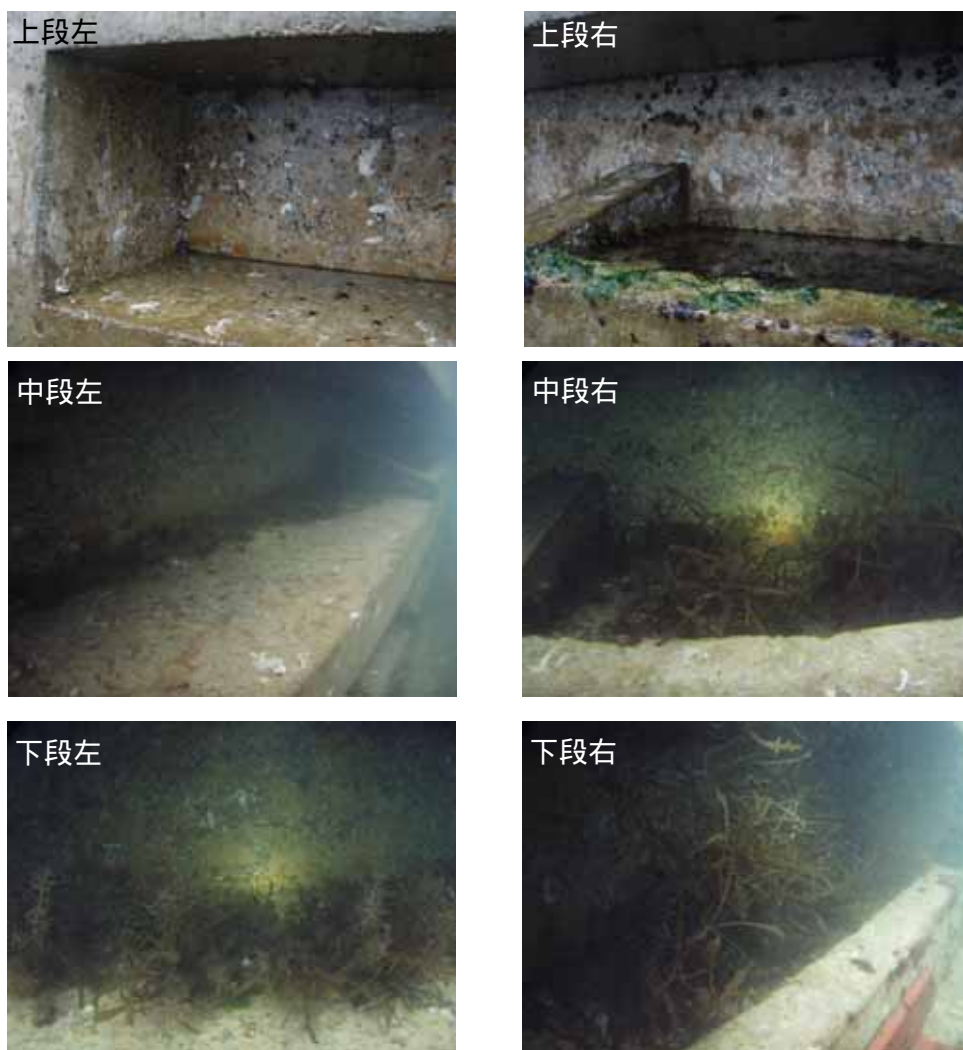


図 6-1 1 月調査時の水平くぼみの様子

(2)5月調査結果

5月の調査結果を表6-2、図6-2に示す。冠水時間が短く、保水性がない上段左側のくぼみでは生物はほとんど採取されなかった。下段のくぼみや保水性のある右側のくぼみにおいては、動物ではヤッコカンザシやスガイが多く、藻類ではアオサ属が多く採取された。

表 6-2 生物調査結果概要(水平くぼみ、5月)

種類数	動物：101種 藻類：13種
優占種	動物：ヤッコカンザシ、スガイ 藻類：アオサ属
生物量 (湿重量)	動物：242.5g/m ² 藻類：145.3g/m ²

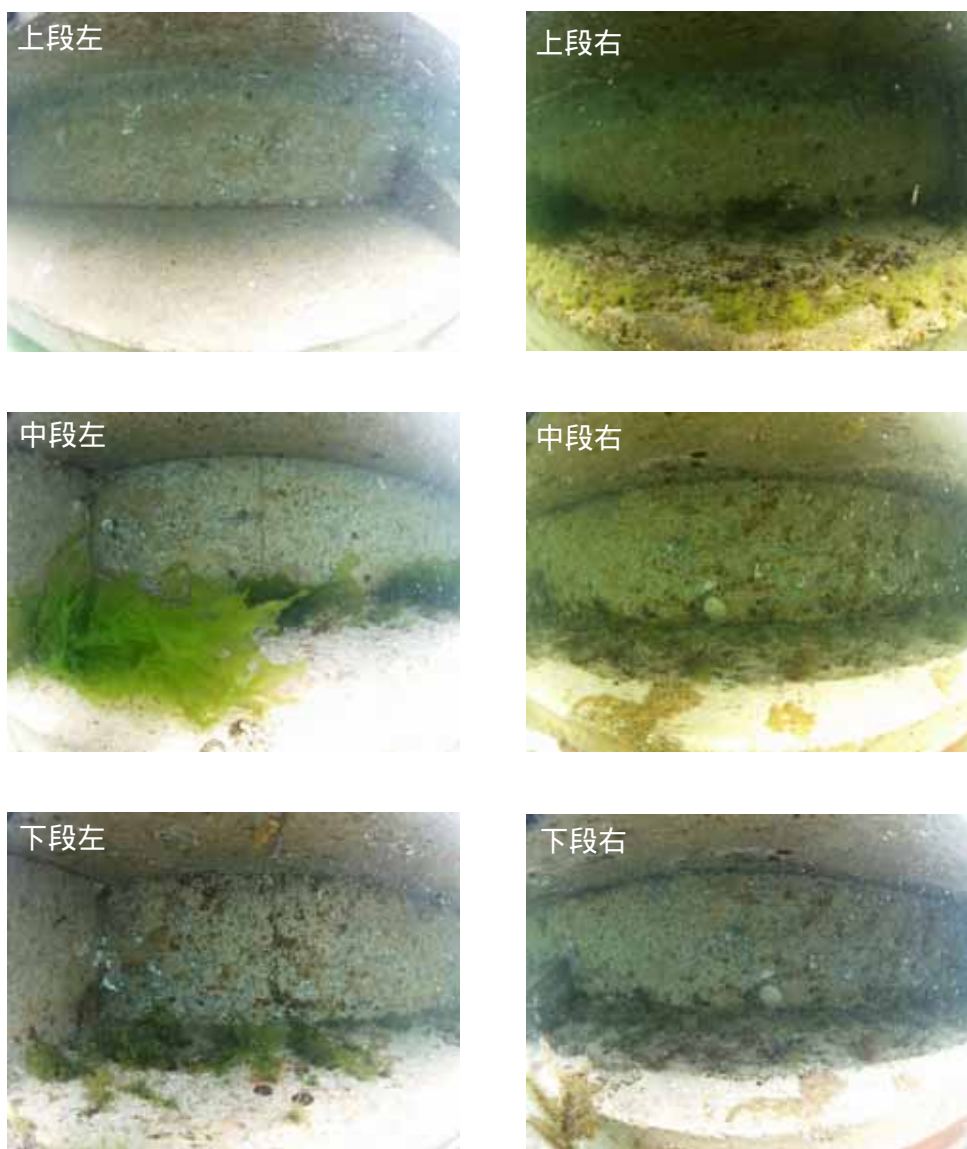


図 6-2 5月調査時の水平くぼみの様子

(3)7月調査結果

7月の調査結果を表6-3、図6-3に示す。動物・藻類ともに1月、5月調査に比べて生物量が少なかった。冠水時間が短く、保水性がない上段左側のくぼみではマガキの小型個体が多く採取された。下段のくぼみや保水性のある右側のくぼみにおいては、動物ではヤッコカンザシや Corophium 属(ドロクダムシの仲間)が多く、藻類ではヒメテングサが多く採取された。

表 6-3 生物調査結果概要(水平くぼみ、7月)

種類数	動物：85種 藻類：7種
優占種	動物：ヤッコカンザシ Corophium属(ドロクダムシの仲間) 藻類：ヒメテングサ
生物量 (湿重量)	動物：137.6g/m ² 藻類：10.9g/m ²



図 6-3 7月調査時の水平くぼみの様子

水平くぼみに付着した生物量の推移を表 6-4、図 6-4 に示す。1 月調査では、藻食性の巻貝であるスガイが多く出現したため、他の調査時に比べて付着動物の湿重量が多かった。また、藻類についても 1 月は褐藻のヒジキが多く出現したため、他の調査時に比べて藻類の湿重量が多かった。

表 6-4 水平くぼみで採取した付着動物(上段)と藻類(下段)の湿重量

(単位: g/m²)

付着動物	平成21年1月	平成21年5月	平成21年7月
肉食性	77.1	17.3	32.4
藻食性	330.9	159.5	80.8
懸濁物食性	95.1	59.7	20.8
堆積物食性	5.1	6	3.6
合計	508.2	242.5	137.6

藻類	平成21年1月	平成21年5月	平成21年7月
緑藻	41.2	137.7	0.6
褐藻	300.1	1.9	0.7
紅藻	14.6	5.7	9.6
合計	355.9	145.3	10.9

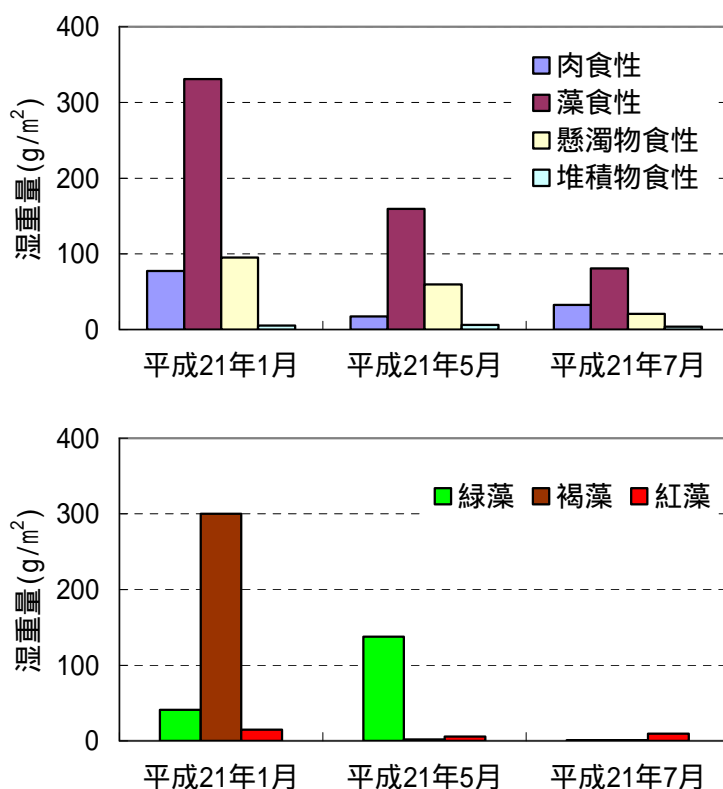


図 6-4 水平くぼみで採取した付着動物(上段)と藻類(下段)の湿重量の推移

6-1-2. リサイクルブロック(D.L.-1m)

(1)1月調査結果

1月の調査結果を表6-5、図6-5に示す。付着動物では巻貝のタマツボが多く採取されたほか、クマドリゴカイやサンカクフジツボなどが採取された。また、大型の藻食性ベントスであるクロアワビ(図6-6)が採取された。藻類ではカバノリが多く採取された。

表 6-5 生物調査結果概要(リサイクルブロック(D.L.-1m)、1月)

種類数	動物：81種 藻類：14種
優占種	動物：タマツボ、クマドリゴカイ 藻類：カバノリ
生物量 (湿重量)	動物：785.8g/m ² 藻類：1710.7g/m ²



図 6-5 1月調査時のリサイクルブロック(D.L.-1m)の様子



図 6-6 リサイクルブロック(D.L.-1m)に付着していたクロアワビ

(2)5月調査結果

5月の調査結果を表6-6、図6-7に示す。付着動物ではワレカラの仲間の *Caprella* 属やウロコムシの仲間の *Hamothoe* 属が多く採取された。また、1月調査に続きクロアワビ(図6-8)が採取された。藻類ではワカメ、カバノリが多く採取された。

表 6-6 生物調査結果概要(リサイクルブロック(D.L.-1m)、5月)

種類数	動物：78種 藻類：9種
優占種	動物： <i>Caprella</i> 属(ワレカラの仲間) <i>Hamothoe</i> 属(ウロコムシの仲間) 藻類：ワカメ、カバノリ
生物量 (湿重量)	動物：1115.8g/m ² 藻類：4389.0g/m ²



図 6-7 5月調査時のリサイクルブロック(D.L.-1m)の様子



図 6-8 リサイクルブロック(D.L.-1m)に付着していたクロアワビ

(3)7月調査結果

7月の調査結果を表6-7、図6-9に示す。付着動物では小型な巻貝のチグサガイ、ムギガイやカマキリヨコエビの仲間の *Ericthonius* 属が多く採取された。藻類ではオゴノリ属、タオヤギソウが多く採取された。

表6-7 生物調査結果概要(リサイクルブロック(D.L.-1m)、7月)

種類数	動物：61種 藻類：11種
優占種	動物：チグサガイ、ムギガイ <i>Ericthonius</i> 属(カマキリヨコエビの仲間) 藻類：オゴノリ属、タオヤギソウ
生物量 (湿重量)	動物：342.9g/m ² 藻類：1669.2g/m ²

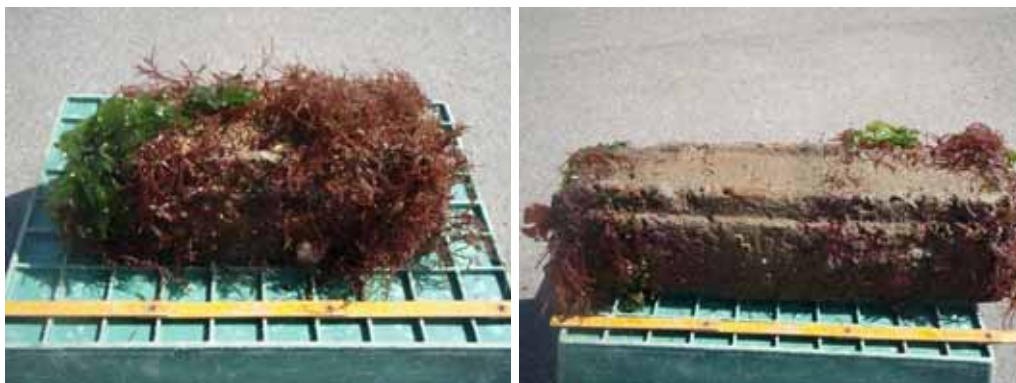


図6-9 7月調査時のリサイクルブロック(D.L.-1m)の様子

リサイクルブロック(D.L.-1m)に付着した生物量の推移を表6-8、図6-10に示す。1月調査では、イボニシが多く出現したため、5月、7月調査時と比べて肉食性動物の湿重量が多かった。また、1月、5月はクロアワビが付着したため、藻食性動物の湿重量が多かった。藻類については5月調査時の湿重量が最も多かったが、これは褐藻のワカメと紅藻のオゴノリが繁茂していたためで、この2種で全体の90%以上を占めていた。

表6-8 リサイクルブロック(D.L.-1m)で採取した
付着動物(上段)と藻類(下段)の湿重量

(単位:g/m²)

付着動物	平成21年1月	平成21年5月	平成21年7月
肉食性	194.5	11.1	21.8
藻食性	374.9	464.9	4.4
懸濁物食性	208.9	354.2	291.3
堆積物食性	7.5	39.3	25.4
合計	785.8	869.5	342.9

藻類	平成21年1月	平成21年5月	平成21年7月
緑藻	128.5	163.7	643.7
褐藻	0	1026.3	0
紅藻	1582.2	3199	1025.46
合計	1710.7	4389	1669.16

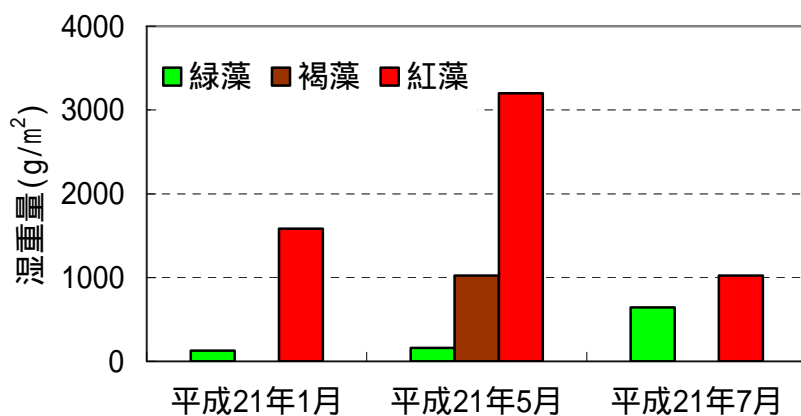
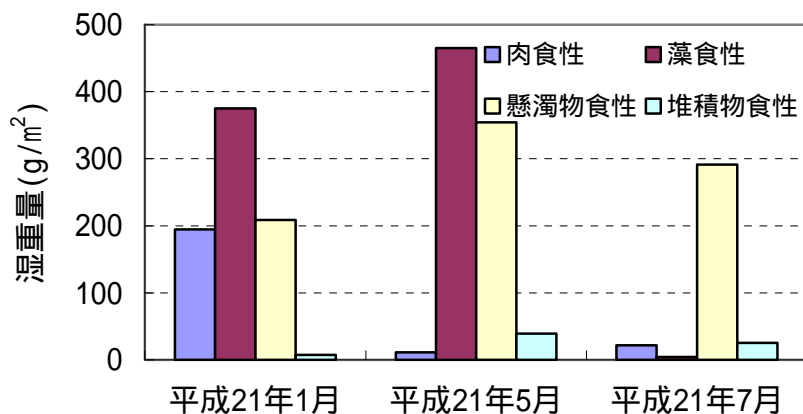


図6-10 リサイクルブロック(D.L.-1m)で採取した
付着動物(上段)と藻類(下段)の湿重量の推移

6-1-3. リサイクルブロック(D.L. -3m)

(1)1月調査結果

1月の調査結果を表6-9、図6-11に示す。付着動物ではサンカクフジツボやイタボガキ科のコケゴロモなどが採取された。藻類ではカバノリが採取されたほか、大型の褐藻類であるワカメが採取された。

表6-9 生物調査結果概要(リサイクルブロック(D.L. -3m)、1月)

種類数	動物：67種 藻類：8種
優占種	動物：サンカクフジツボ、コケゴロモ 藻類：カバノリ、ワカメ
生物量 (湿重量)	動物：333.4g/m ² 藻類：16.9g/m ²



図6-11 1月調査時のリサイクルブロック(D.L. -3m)の様子

(2)5月調査結果

5月の調査結果を表6-10、図6-12に示す。付着動物ではワレカラ科の *Caprella* 属やカマキリヨコエビ科の *Ericthonius* 属などが多く採取された。また、食物連鎖の上位捕食者であるマヒトデやイトマキヒトデも採取された。藻類ではオゴノリ属が多く採取された。

表6-10 生物調査結果概要(リサイクルブロック(D.L.-3m)、5月)

種類数	動物：47種 藻類：2種
優占種	動物：Caprella属(ワレカラの仲間) Ericthonius属(カマキリヨコエビの仲間) 藻類：オゴノリ属
生物量 (湿重量)	動物：417.3g/m ² 藻類：958.9g/m ²



図6-12 5月調査時のリサイクルブロック(D.L.-3m)の様子

(3)7月調査結果

7月の調査結果を表6-11、図6-13に示す。付着動物ではサンカクフジツボが多く採取された。藻類ではカバノリが採取された。

表6-11 生物調査結果概要(リサイクルブロック(D.L.-3m)、7月)

種類数	動物：51種 藻類：4種
優占種	動物：サンカクフジツボ 藻類：カバノリ
生物量 (湿重量)	動物：175.5g/m ² 藻類：12.2g/m ²



図6-13 7月調査時のリサイクルブロック(D.L.-3m)の様子

リサイクルブロック(D.L.-3m)に付着した生物量の推移を表6-12、図6-14に示す。1月、7月調査時はサンカクフジツボなどの懸濁物食性動物が多かった。5月はマヒトデ、イトマキヒトデの大型個体が出現したため、肉食性動物の湿重量が多かった。藻類については5月調査時の湿重量が最も多かった。

表 6-12 リサイクルブロック(D.L.-3m)で採取した
付着動物(上段)と藻類(下段)の湿重量

(単位:g/m²)

付着動物	平成21年1月	平成21年5月	平成21年7月
肉食性	27.6	408.6	13
藻食性	0	0	1.7
懸濁物食性	294.3	6.1	157.4
堆積物食性	11.5	2.6	3.4
合計	333.4	417.3	175.5

藻類	平成21年1月	平成21年5月	平成21年7月
緑藻	0	0	0
褐藻	5.9	0	0.2
紅藻	11	958.9	12
合計	16.9	958.9	12.2

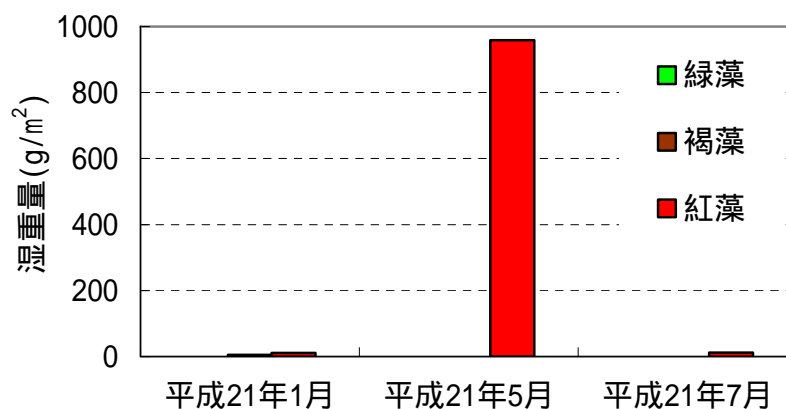
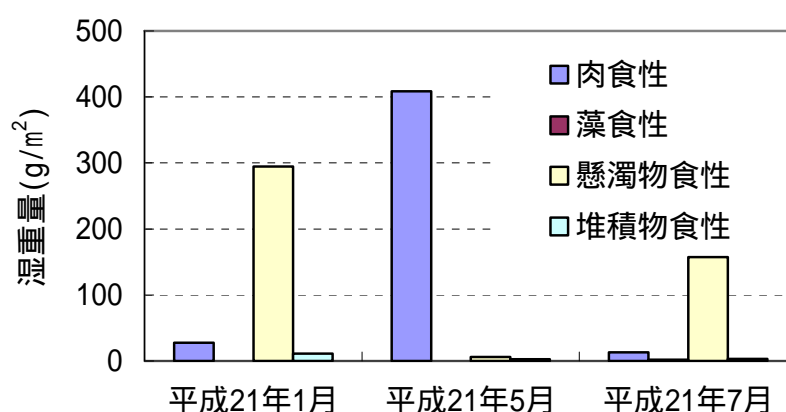


図 6-14 リサイクルブロック(D.L.-3m)で採取した
付着動物(上段)と藻類(下段)の湿重量の推移

6-1-4. 貝殻基質(D.L.-1m)

(1) 1月調査結果

1月の調査結果を表6-13、図6-15に示す。動物ではサンカクフジツボやフトウデネジレカニダマシなどが多く採取された。藻類ではカバノリが採取された。

表6-13 生物調査結果概要(貝殻基質(D.L.-1m)、1月)

種類数	動物：85種 藻類：11種
優占種	動物：フトウデネジレカニダマシ サンカクフジツボ 藻類：カバノリ
生物量 (湿重量)	動物：3136.9g/m ² 藻類：2697.9g/m ²



図6-15 1月調査時の貝殻基質(D.L.-1m)の様子

(2)5月調査結果

5月の調査結果を表6-14、図6-16に示す。動物ではフトウデネジレカニダマシやモエビの仲間の Heptacarpus 属などが多く採取された。藻類ではカバノリが多く採取された。

表 6-14 生物調査結果概要(貝殻基質(D.L.-1m)、5月)

種類数	動物：56種 藻類：10種
優占種	動物：フトウデネジレカニダマシ Heptacarpus属(モエビの仲間) 藻類：カバノリ
生物量 (湿重量)	動物：3338.0g/m ² 藻類：11955.9g/m ²



図 6-16 5月調査時の貝殻基質(D.L.-1m)の様子

(3)7月調査結果

7月の調査結果を表6-15、図6-17に示す。動物ではフトウデネジレカニダマシなどが多く採取された。藻類ではタオヤギソウが多く採取された。

表6-15 生物調査結果概要(貝殻基質(D.L.-1m)、7月)

種類数	動物:74種 藻類:5種
優占種	動物:サンカクフジツボ フトウデネジレカニダマシ Heptacarpus属(モエビの仲間) 藻類:タオヤギソウ
生物量 (湿重量)	動物:8686.2g/m ² 藻類:18673.3g/m ²



図6-17 7月調査時の貝殻基質(D.L.-1m)の様子

貝殻基質(D.L. -1m)に付着した生物量の推移を表 6-16、図 6-18 に示す。7 月調査時はサンカクフジツボなどの懸濁物食性動物が多かった。藻類については 7 月調査時の湿重量が最も多かった。

表 6-16 貝殻基質(D.L. -1m)で採取した付着動物(上段)と藻類(下段)の湿重量
(単位:g/m²)

付着動物	平成21年1月	平成21年5月	平成21年7月
肉食性	920.4	376	441.3
藻食性	60	6.9	16.7
懸濁物食性	1935.3	2459.3	7038.4
堆積物食性	221.2	495.8	1189.8
合計	3136.9	3338	8686.2

藻類	平成21年1月	平成21年5月	平成21年7月
緑藻	27.6	22.8	0
褐藻	0	6.2	0
紅藻	2670.3	11926.9	18673.3
合計	2697.9	11955.9	18673.3

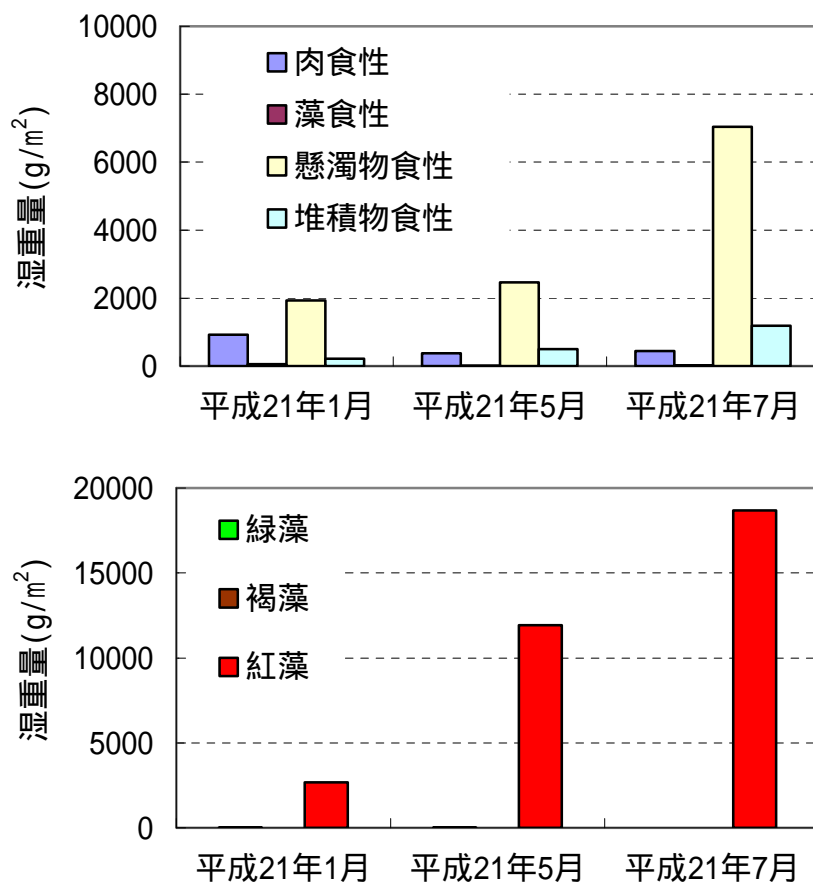


図 6-18 貝殻基質(D.L. -1m)で採取した付着動物(上段)と藻類(下段)の湿重量の推移

6-1-5. 貝殻基質(D.L. -3m)

(1)1月調査結果

1月の調査結果を表6-17、図6-19に示す。動物ではサンカクフジツボやコケゴロモなどが多く採取された。藻類ではカバノリが多く採取された。

表6-17 生物調査結果概要(貝殻基質(D.L. -3m)、1月)

種類数	動物:74種 藻類:6種
優占種	動物:コケゴロモ サンカクフジツボ 藻類:カバノリ
生物量 (湿重量)	動物:765.8g/m ² 藻類:10.6g/m ²

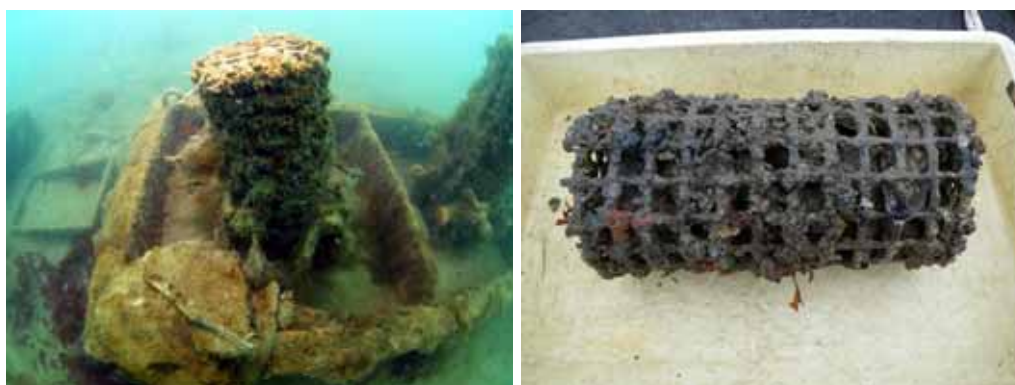


図6-19 1月調査時の貝殻基質(D.L. -3m)の様子

(2)5月調査結果

5月の調査結果を表6-18、図6-20に示す。動物ではフトウデネジレカニダマシやスピオの仲間の Prionospio 属などが多く採取された。藻類ではススカケベニが多く採取された。

表 6-18 生物調査結果概要(貝殻基質(D.L.-3m)、5月)

種類数	動物:60種 藻類:3種
優占種	動物:フトウデネジレカニダマシ、 Prionospio属(スピオの仲間) 藻類:ススカケベニ
生物量 (湿重量)	動物:307.1g/m ² 藻類:591.4g/m ²



図 6-20 5月調査時の貝殻基質(D.L.-3m)の様子

(3)7月調査結果

7月の調査結果を表6-19、図6-21に示す。動物ではフトウデネジレカニダマシなどが多く採取された。藻類ではススカケベニが多く採取された。

表6-19 生物調査結果概要(貝殻基質(D.L.-3m)、7月)

種類数	動物:68種 藻類:6種
優占種	動物:サンカクフジツボ フトウデネジレカニダマシ、 盤殻科(シャミセンガイの仲間) 藻類:ススカケベニ
生物量 (湿重量)	動物:789.5g/m ² 藻類:655.4g/m ²



図6-21 7月調査時の貝殻基質(D.L.-3m)の様子

貝殻基質(D.L. -3m)に付着した生物量の推移を表 6-20、図 6-22 に示す。1 月、7 月調査時はサンカクフジツボなどの懸濁物食性動物が多かった。

表 6-20 貝殻基質(D.L. -3m)で採取した付着動物(上段)と藻類(下段)の湿重量
(単位:g/m²)

付着動物	平成21年1月	平成21年5月	平成21年7月
肉食性	34	105.4	128.7
藻食性	0.7	0	0.2
懸濁物食性	702.6	155.1	564.6
堆積物食性	28.5	46.6	96
合計	765.8	307.1	789.5

藻類	平成21年1月	平成21年5月	平成21年7月
緑藻	0.3	0	0.6
褐藻	0	0	0
紅藻	10.3	591.4	654.8
合計	10.6	591.4	655.4

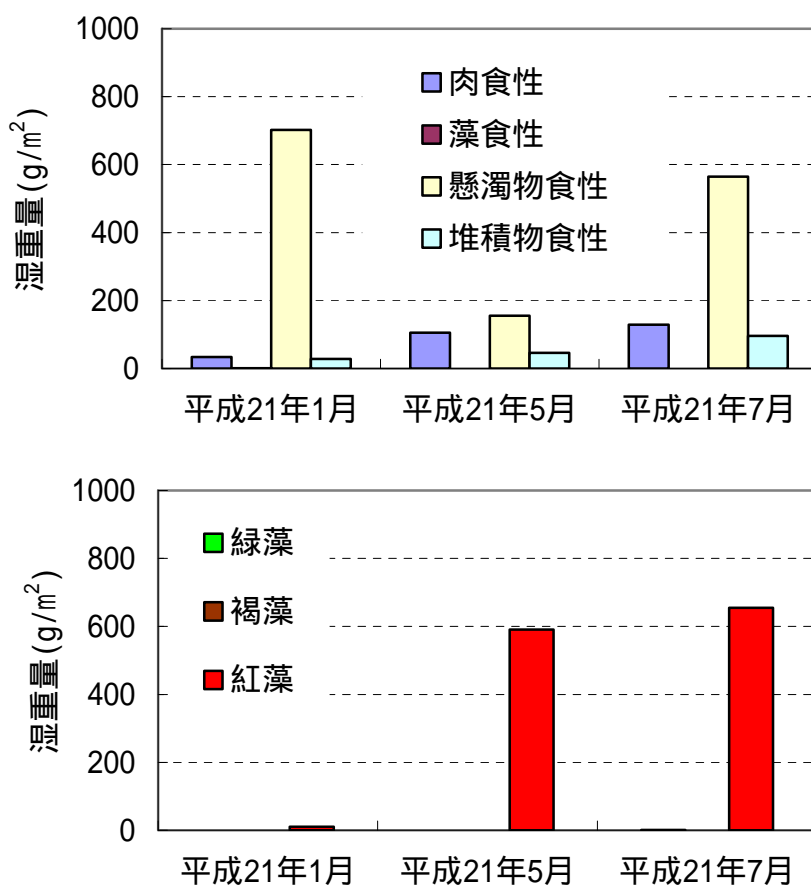


図 6-22 貝殻基質(D.L. -3m)で採取した付着動物(上段)と藻類(下段)の湿重量の推移

6-1-6. 造粒砂(D.L.+1m)

(1)1月調査結果、5月調査結果、7月調査結果

造粒砂(D.L.+1m)の調査結果を表 6-21、図 6-23 に示す。いずれの調査時にもフサゴカイの仲間が比較的多く見られた。藻類の付着は見られなかった。

表 6-21 生物調査結果概要(D.L.+1m)

	1月	5月	7月
種類数	動物:14種 藻類:0種	動物:15種 藻類:0種	動物:22種 藻類:0種
優占種	動物:Eupolymnia属 (フサゴカイの仲間)	動物:フサゴカイ科	動物:フサゴカイ科 スガイ
生物量 (湿重量)	動物:85.8g/m ²	動物:193.9g/m ²	動物:180.4g/m ²



図 6-23 各調査時の造粒砂(D.L.+1m)の様子

生物量の推移を表 6-22、図 6-24 に示す。藻食性動物の湿重量が多かったが、これはスガイやコシダカガンガラなど貝殻の厚い種が出現したためである。

表 6-22 造粒砂(D.L.+1m)で採取した動物の湿重量
(単位:g/m²)

付着動物	平成21年1月	平成21年5月	平成21年7月
肉食性	1.4	1.3	0
藻食性	73.8	170.7	176.6
懸濁物食性	0	0	0.3
堆積物食性	10.6	21.9	3.5
合計	85.8	193.9	180.4

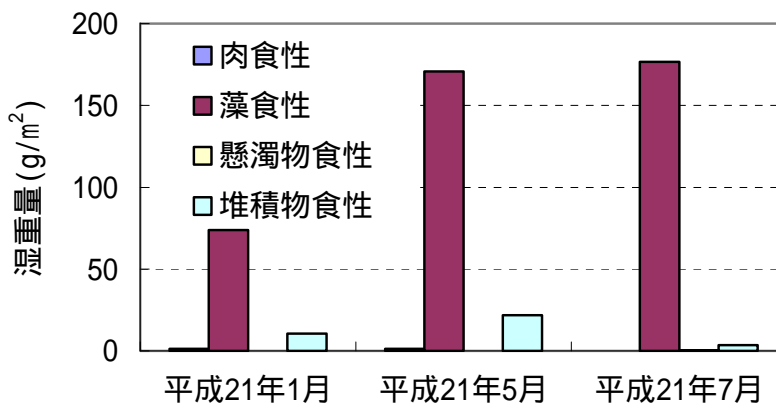


図 6-24 造粒砂(D.L.+1 m)で採取した動物の湿重量の推移

6-1-7. 造粒砂(D.L.-1m)

(1)1月調査結果、5月調査結果、7月調査結果

造粒砂(D.L.-1m)の調査結果を表 6-23、図 6-25 に示す。フサゴカイの仲間が比較的多く見られた。藻類の付着は見られなかった。

表 6-23 生物調査結果概要(D.L.-1m)

	1月	5月	7月
種類数	動物:12種 藻類:0種	動物:15種 藻類:0種	動物:22種 藻類:0種
優占種	動物:ヒライソガニ	動物:フサゴカイ科	動物:フサゴカイ科
生物量 (湿重量)	動物:24.2g/m ²	動物:18.0g/m ²	動物:27.0g/m ²



図 6-25 各調査時の造粒砂(D.L.-1m)の様子

生物量の推移を表 6-24、図 6-26 に示す。

表 6-24 造粒砂(D.L.-1m)で採取した動物の湿重量

(単位:g/m²)

付着動物	平成21年1月	平成21年5月	平成21年7月
肉食性	22.1	11.5	3.8
藻食性	0.5	1.1	1
懸濁物食性	0	0	1.9
堆積物食性	1.6	5.4	20.3
合計	24.2	18	27

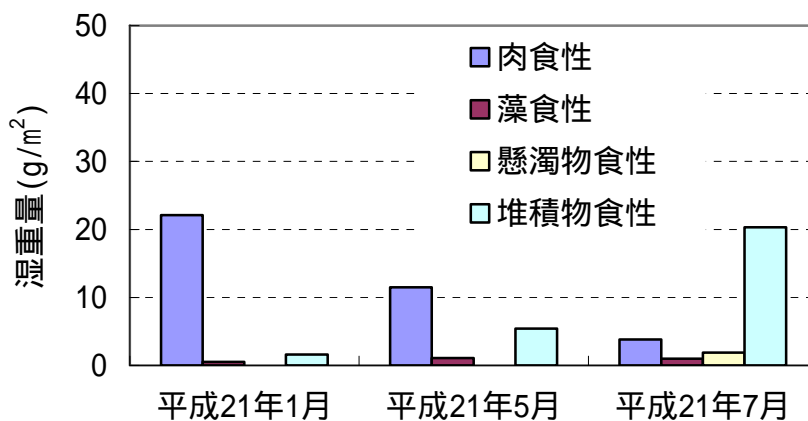


図 6-26 造粒砂(D.L.-1m)で採取した動物の湿重量の推移

6-1-8. 造粒砂(D.L.-3m)

(1)1月調査結果、5月調査結果、7月調査結果

造粒砂(D.L.-3m)の調査結果を表 6-25、図 6-27 に示す。藻類の付着は見られなかった。

表 6-25 生物調査結果概要(D.L.-3m)

	1月	5月	7月
種類数	動物:7種 藻類:0種	動物:7種 藻類:0種	動物:8種 藻類:0種
優占種	動物:-	動物:ギボシイソメ科	動物:シズクガイ
生物量 (湿重量)	動物:5.1g/m ²	動物:5.9g/m ²	動物:1.6g/m ²

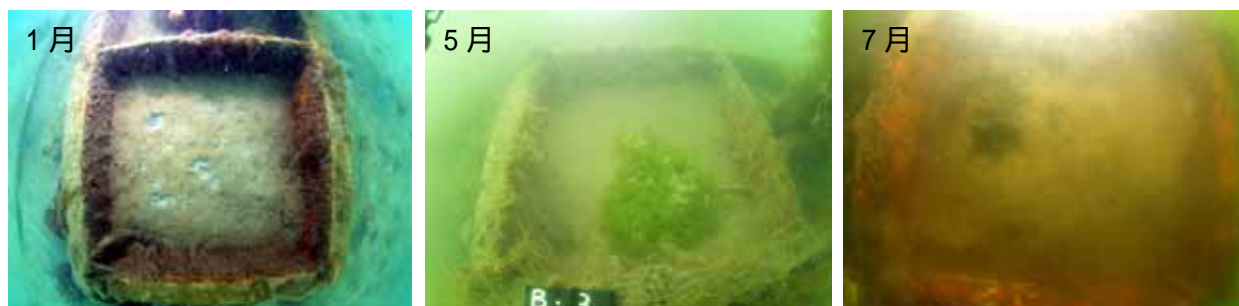


図 6-27 各調査時の造粒砂(D.L.-3m)の様子

生物量の推移を表 6-26、図 6-28 に示す。

表 6-26 造粒砂(D.L.-3m)で採取した動物の湿重量

(単位:g/m²)

付着動物	平成21年1月	平成21年5月	平成21年7月
肉食性	2.2	4.8	0
藻食性	0	0	0
懸濁物食性	0	0	1.4
堆積物食性	2.9	1.1	0.2
合計	5.1	5.9	1.6

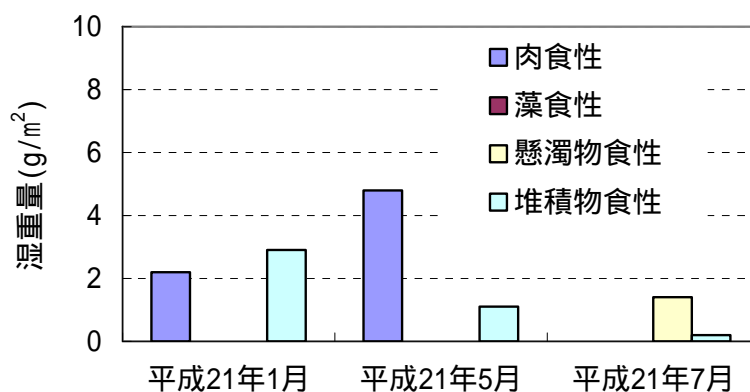


図 6-28 造粒砂(D.L.-3m)で採取した動物の湿重量の推移

6-1-9. 対照区(D.L.+1m)

(1)1月調査結果、5月調査結果、7月調査結果

対照区(D.L.+1m)の調査結果を表 6-27、図 6-29 に示す。付着動物は、1月にはタテジマフジツボやシロスジフジツボが多く採取された。5月にはマガキ、ヤッコカンザシが多く採取され、7月にはオオヘビガイ、クマドリゴカイが多く採取された。藻類は1月は湿重量が少なかったが、5月、7月調査時にはアオサ属が多く採取された。

表 6-27 生物調査結果概要(D.L.+1m)

	1月	5月	7月
種類数	動物:19種 藻類:4種	動物:35種 藻類:1種	動物:62種 藻類:9種
優占種	動物:タテジマフジツボ シロスジフジツボ 藻類:なし	動物:マガキ ヤッコカンザシ 藻類:アオサ属	動物:オオヘビガイ クマドリゴカイ 藻類:アオサ属
生物量 (湿重量)	動物:892.3g/m ² 藻類:2.0g/m ²	動物:753.8g/m ² 藻類:234.8g/m ²	動物:1336.1g/m ² 藻類:274.0g/m ²



図 6-29 各調査時の対照区(D.L.+1m)の様子

対照区(D.L.+1m)に付着した生物量の推移を表 6-28、図 6-30 に示す。付着動物ではいずれの調査時も懸濁物食性動物が多く採取された。藻類は 5 月、7 月調査時に緑藻類が多く採取された。

表 6-28 対照区(D.L.+1m)で採取した付着動物(上段)と藻類(下段)の湿重量

(単位:g/m²)

付着動物	平成21年1月	平成21年5月	平成21年7月
肉食性	6.4	7.4	2.6
藻食性	28.1	17	33.9
懸濁物食性	857.4	728.2	1290.6
堆積物食性	0.4	1.2	9
合計	892.3	753.8	1336.1

藻類	平成21年1月	平成21年5月	平成21年7月
緑藻	1.2	234.8	192.5
褐藻	0	0	0
紅藻	0.9	0	81.5
合計	2.1	234.8	274

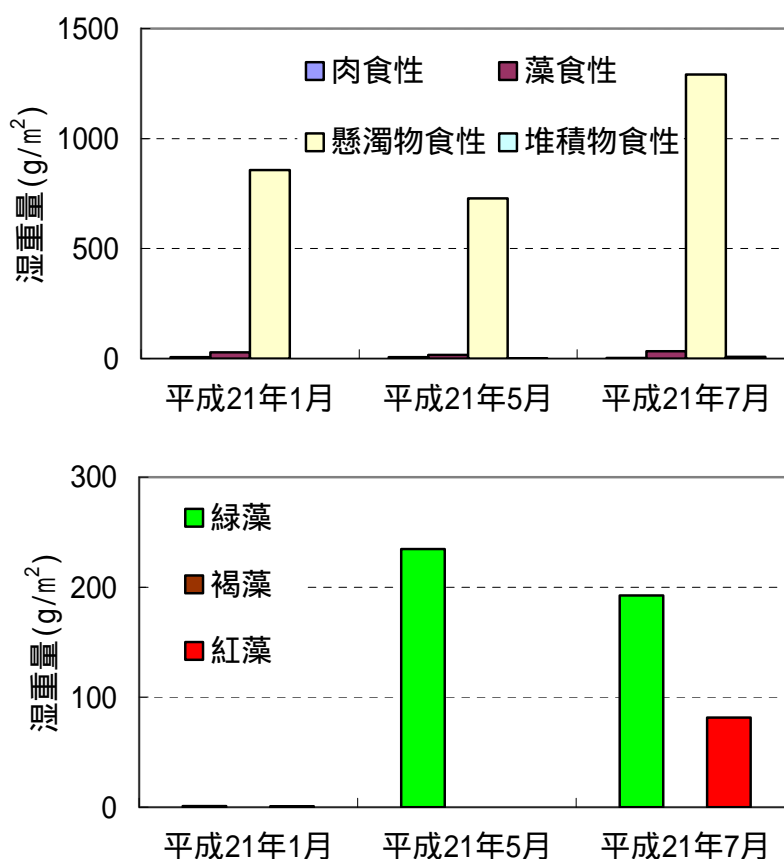


図 6-30 対照区(D.L.+1m)で採取した付着動物(上段)と藻類(下段)の湿重量の推移

6-1-10. 対照区(D.L.-1m)

(1)1月調査結果、5月調査結果、7月調査結果

対照区(D.L.-1m)の調査結果を表 6-29、図 6-31 に示す。付着動物は、1月にはツルヒゲゴカイやフサゴカイなどが多く採取された。5月にはカマキリヨコエビの仲間である、Erichthonius 属やワレカラの仲間である Caprella 属が多く採取された。7月にはオオヘビガイやワレカラの仲間である Caprella 属が多く採取された。藻類はタオヤギソウやカバノリが多く採取された。

表 6-29 生物調査結果概要(D.L.-1m)

	1月	5月	7月
種類数	動物:49種 藻類:7種	動物:54種 藻類:11種	動物:64種 藻類:10種
優占種	動物:ツルヒゲゴカイ フサゴカイ科 藻類:カバノリ タオヤギソウ	動物:Erichthonius属 (カマキリヨコエビの仲間) Caprella属 (ワレカラの仲間) 藻類:タオヤギソウ	動物:オオヘビガイ Caprella属 (ワレカラの仲間) 藻類:カバノリ
生物量 (湿重量)	動物:88.4g/m ² 藻類:299.5g/m ²	動物:113.3g/m ² 藻類:553.4g/m ²	動物:865.3g/m ² 藻類:223.6g/m ²



図 6-31 各調査時の対照区(D.L.-1m)の様子

対照区(D.L.-1m)に付着した生物量の推移を表 6-30、図 6-32 に示す。付着動物は 1 月、5 月には少なかったが、7 月調査時にはオオヘビガイが多く採取されたため、懸濁食性動物の湿重量が多かった。藻類はどの調査時にも紅藻類が多く採取された。

表 6-30 対照区(D.L.-1m)で採取した付着動物(上段)と藻類(下段)の湿重量

(単位:g/m²)

付着動物	平成21年1月	平成21年5月	平成21年7月
肉食性	7.9	2.5	4.5
藻食性	22.2	0.5	11.2
懸濁物食性	52.6	106.9	842.6
堆積物食性	5.7	3.4	7
合計	88.4	113.3	865.3

藻類	平成21年1月	平成21年5月	平成21年7月
緑藻	0.3	37	2.6
褐藻	0.5	42.6	0
紅藻	298.7	473.8	221
合計	299.5	553.4	223.6

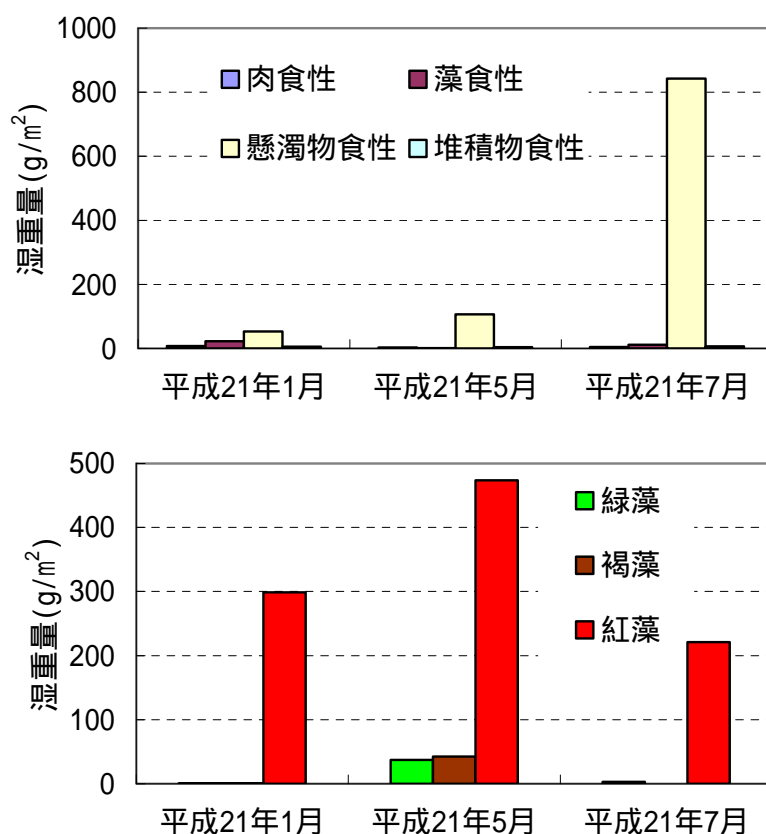


図 6-32 対照区(D.L.-1m)で採取した付着動物(上段)と藻類(下段)の湿重量の推移

6-1-11. 対照区(D.L. -3m)

(1)1月調査結果、5月調査結果、7月調査結果

対照区(D.L. -3m)の調査結果を表 6-31、図 6-33 に示す。付着動物は、1月、5月にはギボシイソメ科が多く、7月にはシズクガイが多く採取された。藻類は見られなかった。

表 6-31 生物調査結果概要(D.L. -3m)

	1月	5月	7月
種類数	動物:13種 藻類:0種	動物:14種 藻類:0種	動物:15種 藻類:0種
優占種	動物:ギボシイソメ科	動物:ギボシイソメ科	動物:シズクガイ
生物量 (湿重量)	動物:6.8g/m ²	動物:9.9g/m ²	動物:18.1g/m ²



図 6-33 各調査時の対照区(D.L. -3m)の様子

対照区(D.L. -3m)に付着した生物量の推移を表 6-32、図 6-34 に示す。

表 6-32 対照区(D.L. -3m)で採取した動物の湿重量

(単位:g/m²)

付着動物	平成21年1月	平成21年5月	平成21年7月
肉食性	1	0	1
藻食性	0	0	0
懸濁物食性	2.3	0	12.3
堆積物食性	3.5	9.9	4.8
合計	6.8	9.9	18.1

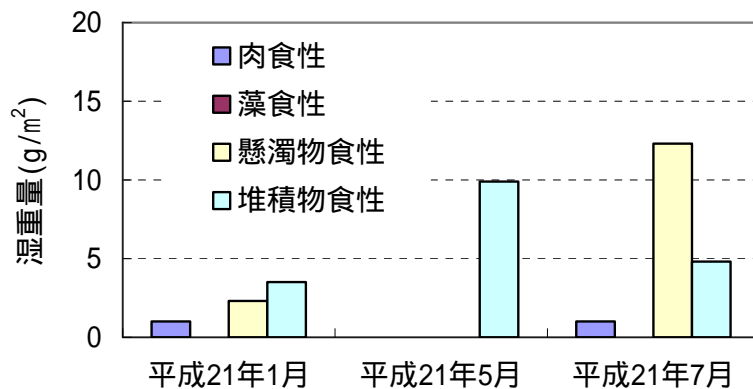


図 6-34 造粒砂(D.L. -3m)で採取した動物の湿重量の推移

6-2. 生物目視調査

6-2-1. 水平くぼみ

調査結果を図 6-35 に示す。付着動物は藻食性生物が多く、藻類は褐藻類が多く見られた。

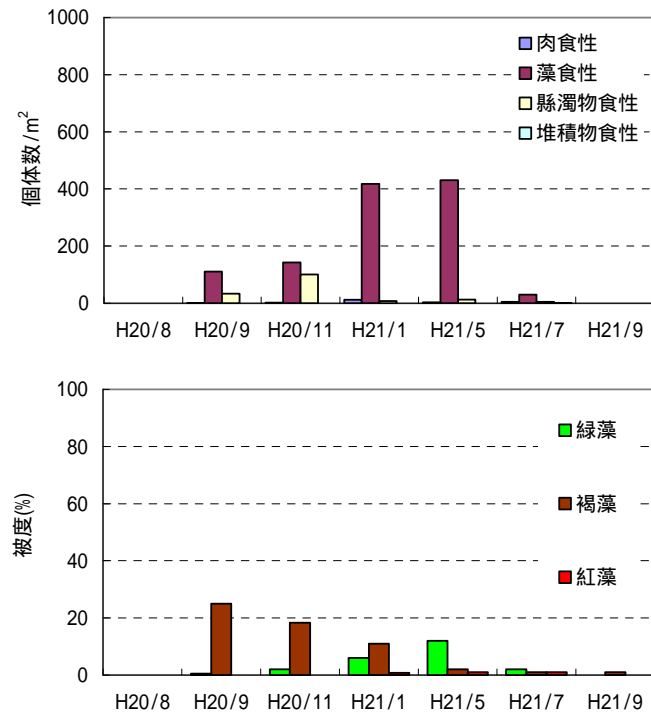


図 6-35 水平くぼみの付着動物(上段)と藻類(下段)の目視観察結果

6-2-2. リサイクルブロック(D.L.-1m)

調査結果を図 6-36 に示す。付着動物は懸濁物食性が多く、藻類は紅藻類が多く見られた。

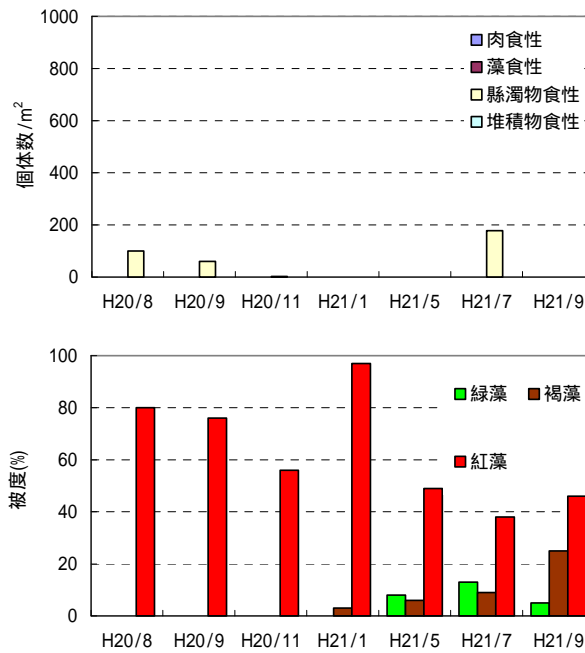


図 6-36 リサイクルブロック(D.L.-1m)の付着動物(上段)と藻類(下段)の目視観察結果

6-2-3. 貝殻基質(D.L.-1m)

調査結果を図 6-37 に示す。付着動物は懸濁物食性が多く、藻類は紅藻類が多く見られた。

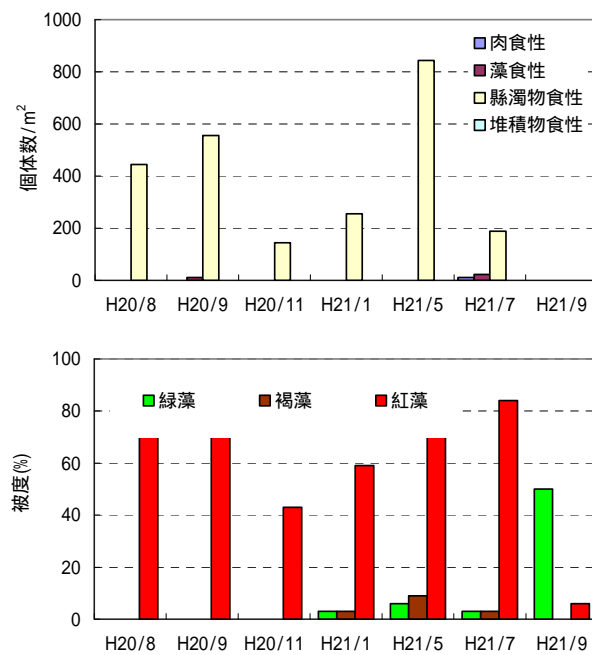


図 6-37 貝殻基質(D.L.-1m)の付着動物(上段)と藻類(下段)の目視観察結果

6-2-4. リサイクルブロック(D.L. -3m)

調査結果を図 6-38 に示す。付着動物は懸濁物食性が多く、藻類は紅藻類が多く見られた。

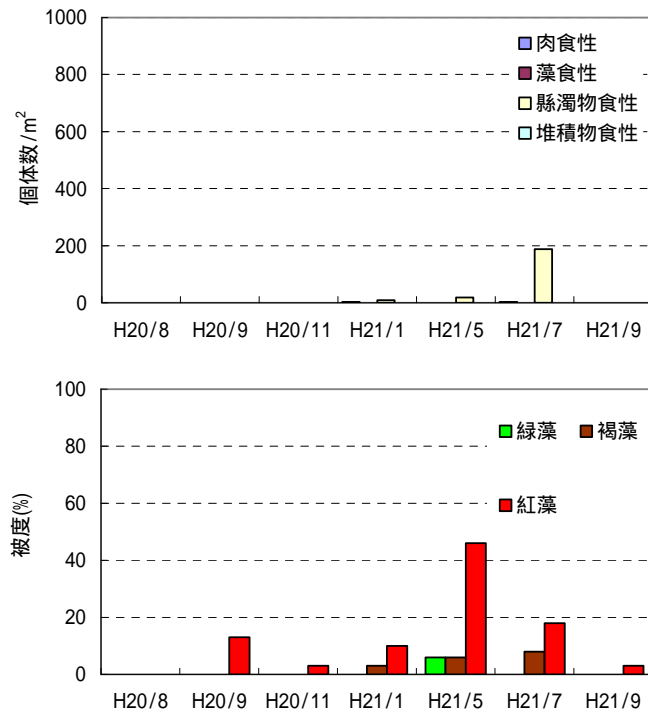


図 6-38 リサイクルブロック(D.L. -3m)の付着動物(上段)と藻類(下段)の目視観察結果

6-2-5. 貝殻基質 (D.L. -3m)

調査結果を図 6-39 に示す。付着動物は懸濁物食性が多く、藻類は紅藻類が多く見られた。

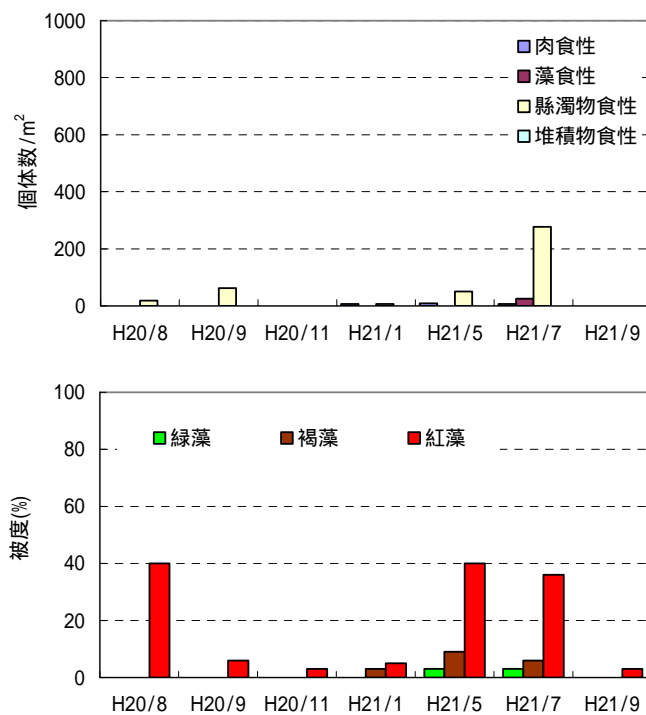


図 6-39 貝殻基質(D.L. -3m)の付着動物(上段)と藻類(下段)の目視観察結果

6-3. 蛸集調査

平成20年10月、平成21年5月、9月に蛸集(刺網)調査を実施した。

捕獲した魚介類のうち、他の魚類や底生動物などを餌としている、いわゆる捕食者と考えられるものを表6-33に示す。試験区では、いずれの時期も対照区と比較して捕獲量が多く、特に、マエソ、ヒラメ、イシガニなど、食物連鎖の上位生物も多く確認された(図6-40)。

表6-33 刺網で捕獲した魚介類(80mの刺網による捕獲量)

試験区		平成20年10月		平成21年5月		平成21年9月	
		個体数	湿重量(g)	個体数	湿重量(g)	個体数	湿重量(g)
1	アカエイ			1	120		
2	マエソ			1	404	1	180
3	カサゴ	2	210			1	66
4	メバル	1	90				
5	アイナメ	1	310				
6	キジハタ	1	190			1	480
7	マダイ			1	76		
8	ヒラメ			3	503	2	1,760
9	シマウシノシタ			1	79		
10	ウマヅラハギ	2	150				
11	ヒガンフグ	1	210	1	164		
12	アオリイカ	1	220				
13	イシガニ			2	298	1	82
	合計	9	1,380	10	1,644	6	2,568

対照区		平成20年10月		平成21年5月		平成21年9月	
		個体数	湿重量(g)	個体数	湿重量(g)	個体数	湿重量(g)
1	マエソ			1	317	1	460
2	カサゴ	2	110			2	232
3	メバル			1	96		
4	マゴチ					1	31
5	アイナメ	1	260				
6	ノミノクチ			1	123		
7	シログチ			2	762		
8	マコガレイ	1	250				
9	ヒガンフグ					1	340
10	コウイカ	1	90				
11	ガザミ	4	230				
12	台湾ガザミ					2	690
	合計	9	940	5	1,298	7	1,753



アカエイ



マエソ



メバル



ノミノケチ



ヒラメ



イシガニ

図 6-40 刺網で捕獲された主な魚介類

平成 20 年 9 月から平成 21 年 9 月までの期間で 6 回の魚類目視観察を行った。

調査結果を表 6-34 に示す。試験区では、いずれの時期も対照区と比較して多くの魚類が観察された。特に、カサゴなどの根付魚、チャガラやメバルの稚魚が観察され(図 6-41)、各技術が魚類にとって生息場所、採餌場所、稚魚の成育の場として機能していることが考えられる。

表 6-34 蛸集調査結果(各調査区 300m²あたりの目視調査結果)

試験区

	平成20年 9月	平成20年 11月	平成21年 1月	平成21年 5月	平成21年 7月	平成21年 9月
アカオビシマハゼ						
アサヒアナハゼ						
マハゼ						
アゴハゼ						
チャガラ						
キヌバリ						
ハゼ科の一種						
ゴンズイ						
ギンボ						
メバル						
カサゴ						
アイナメ						
クロダイ						
マダイ						
ウミタナゴ						
ボラ						
キュウセン						
ホンベラ						
アミメハギ						
クサフゲ						
イシガニ						

対照区

	平成20年 9月	平成20年 11月	平成21年 1月	平成21年 5月	平成21年 7月	平成21年 9月
アカオビシマハゼ						
アサヒアナハゼ						
マハゼ						
チャガラ						
ハゼ科の一種						
ゴンズイ						
キヌバリ						
ハオコゼ						
メバル						
カサゴ						
アイナメ						
キュウセン						
ホンベラ						



キヌバリ



メバルの稚魚



メバルの稚魚



チャガラの稚魚



メバル



カサゴ

図 6-41 試験区で観察された魚類

6-4. 大型ベントス調査

平成21年5月、7月、9月に試験区及び対照区において大型ベントス調査を実施した。

調査結果を表6-35に示す。試験区では対照区と比較して、種類数、個体数、湿重量ともに多かった。試験区ではマダコの大型個体が採取されたほか、イトマキヒトデやマナマコが多く確認され(図6-42)、各技術の付着生物が、これらの大型ベントスに捕食されていることが考えられる。

表6-35 大型ベントス調査結果(各調査区 300m²あたりの調査結果)

試験区

	平成21年5月		平成21年7月		平成21年9月	
	個体数	湿重量(g)	個体数	湿重量(g)	個体数	湿重量(g)
レイシ	2	19			2	16
アカニシ			1	30	1	20
フリトゲアメフラシ	1	35				
マダコ	1	1500				
イシガニ			1	25	1	30
イトマキヒトデ	2	140	6	420	1	25
マヒトデ	1	42				
マナマコ	2	457	4	800		

対照区

	平成21年5月		平成21年7月		平成21年9月	
	個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量
アカニシ			1	120		
イトマキヒトデ	1	67	1	130	1	80



マダコ



アカニシ



イトマキヒトデ



マナマコ

(中央はコシダカガンガラ)



イシガニ



マヒトデ

図 6-42 大型ベントス調査で採取した主な生物

6-5. 造粒砂の分析

造粒砂の分析調査は、平成 20 年 8 月、平成 21 年 1 月、7 月に行った。平成 20 年 8 月調査では、初期データとして試験区において造粒砂と海砂を採取し、強熱減量の分析と粒度試験を行った。その後の平成 21 年 1 月調査、7 月調査では、試験区において各水深帯に設置した造粒砂のほか、他の基質と組み合わせた造粒砂、海砂をそれぞれ採取し、強熱減量の分析と粒度試験を行った。また、対照区においても底泥を採取し、同様に分析を行った。

粒度試験結果を図 6-43、表 6-36 に示す。粒度分布は、対照区底質、試験区海砂、試験区造粒砂で異なり、対照区底質の粒径が最も細かく、造粒砂が最も大きい。すべての試料において調査期間中、大きな変化は見られなかった。

強熱減量分析結果を図 6-44、表 6-37 に示す。強熱減量は、対照区底質、試験区海砂、試験区造粒砂で異なり、対照区底質が最も多く、海砂が最も少ない。試験区では 7 月は、1 月に比べ全体的に 1%前後増加している傾向がみられるが、大きな変化は見られなかった。

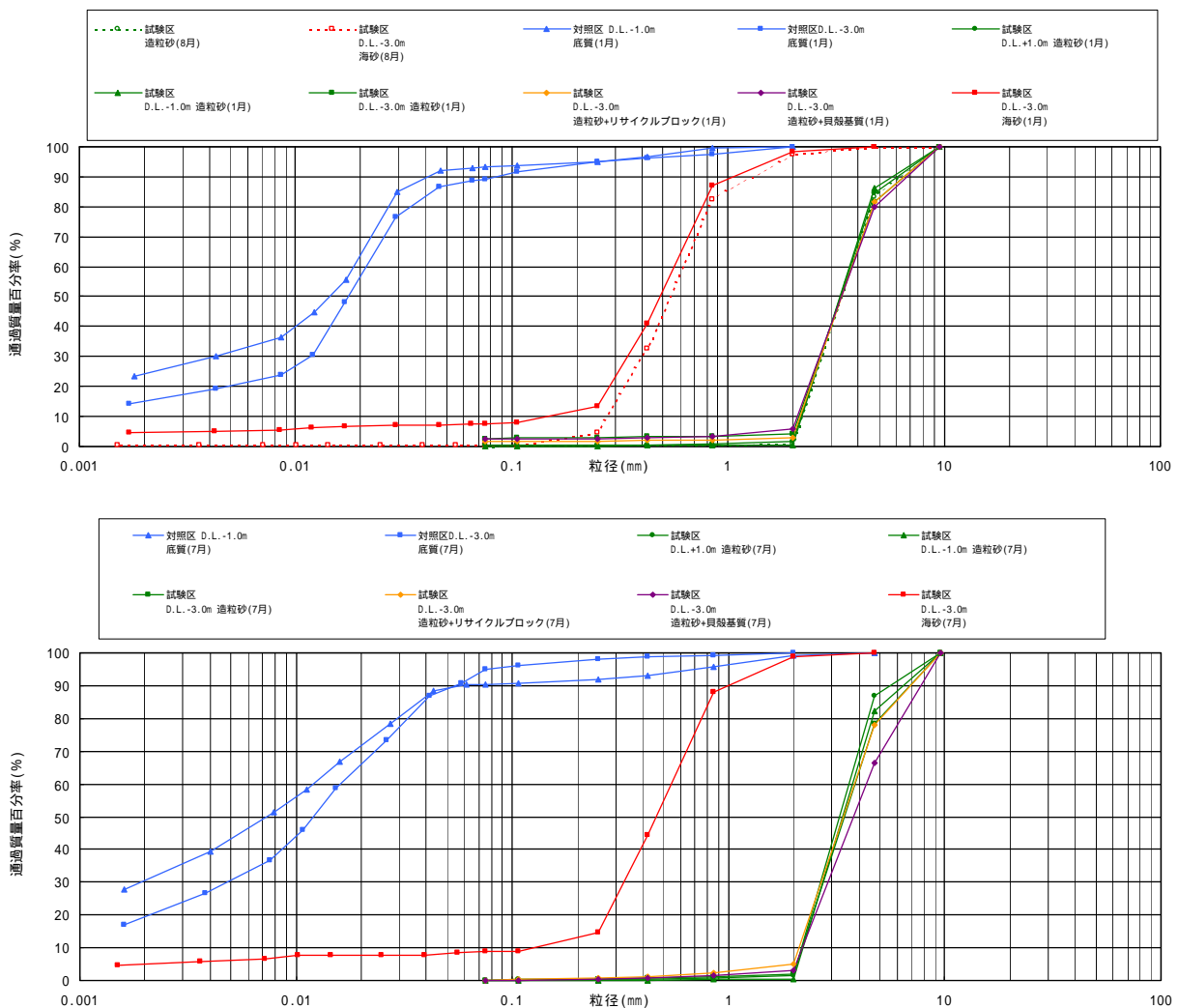


図 6-43 粒度試験の結果(粒度分布)

表 6-36 粒度試験の結果概要

試料採取日		平成20年8月20日		平成21年1月6日						
試料番号	試験区 造粒砂(8月)	試験区 D.L.-3.0m 海砂(8月)	対照区 D.L.- 1.0m 底質(1月)	対照区D.L.- 3.0m 底質(1月)	試験区 D.L.+1.0m 造 粒砂(1月)	試験区 D.L.-1.0m 造 粒砂(1月)	試験区 D.L.-3.0m 造 粒砂(1月)	試験区 D.L.-3.0m 造粒砂+リサイ クルブロック (1月)	試験区 D.L.-3.0m 造粒砂+貝殻 基質(1月)	試験区 D.L.-3.0m 海砂(1月)
石分(75mm以上)	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
礫分(2~75mm)	%	99.2	2.4	0.0	0.0	98.4	99.4	95.8	96.9	94.1
砂分(0.075~2mm)	%	0.6	97.2	6.8	10.7	1.3	0.4	1.5	1.4	3.5
細粒分(0.075mm未満)	%	0.2	0.4	93.2	89.3	0.3	0.2	2.7	1.7	2.4
最大粒径	mm	9.50	9.50	2.00	2.00	9.50	9.50	9.50	9.50	9.50
60%粒径 D ₆₀	mm	3.76	0.66	0.02	0.02	3.68	3.65	3.73	3.74	3.76
均等係数 U _c		1.68	2.32	-	-	1.68	1.66	1.75	1.73	1.79

試料採取日		平成21年7月29日							
試料番号		対照区 D.L.- 1.0m 底質(7月)	対照区D.L.- 3.0m 底質(7月)	試験区 D.L.+1.0m 造 粒砂(7月)	試験区 D.L.-1.0m 造 粒砂(7月)	試験区 D.L.-3.0m 造 粒砂(7月)	試験区 D.L.-3.0m 造粒砂+リサイ クルブロック (7月)	試験区 D.L.-3.0m 造粒砂+貝殻 基質(7月)	試験区 D.L.-3.0m 海砂(7月)
石分(75mm以上)	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
礫分(2~75mm)	%	0.9	0.0	98.4	99.5	98.0	95.0	96.9	1.2
砂分(0.075~2mm)	%	8.7	4.9	1.6	0.5	2.0	4.9	3.1	90.1
細粒分(0.075mm未満)	%	90.4	95.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	8.7
最大粒径	mm	4.75	2.00	9.50	9.50	9.50	9.50	9.50	4.75
60%粒径 D ₆₀	mm	0.01	0.02	3.62	3.75	3.86	3.84	4.36	0.54
均等係数 U _c		-	-	1.66	1.70	1.76	1.81	1.98	4.36

強熱減量(%)

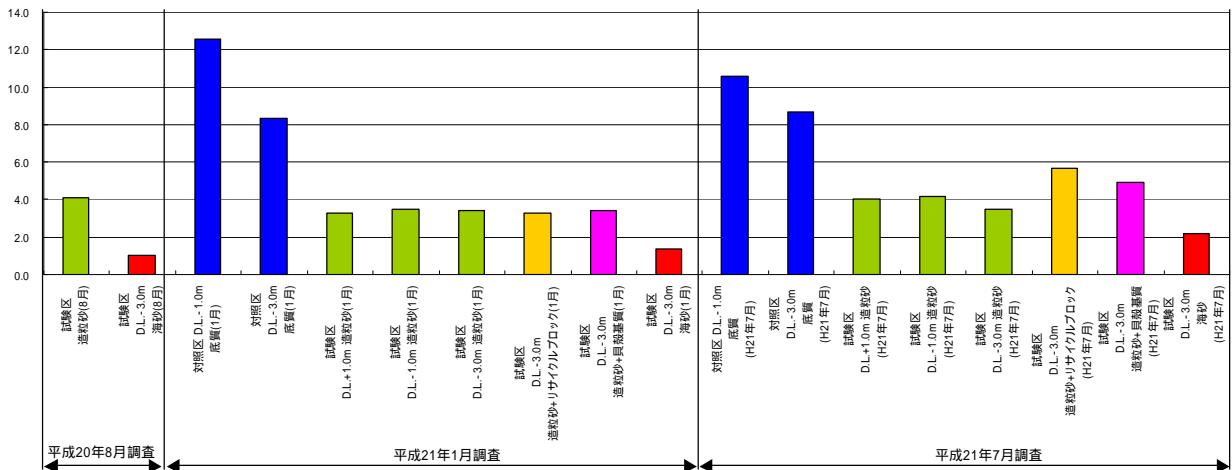


図 6-44 強熱減量の分析結果

表 6-37 強熱減量の分析結果

試料採取日		平成20年8月20日		平成21年1月6日						
	試験区 造粒砂(8月)	試験区 D.L.-3.0m 海砂(8月)	対照区 D.L.-1.0m 底質(1月)	対照区 D.L.-3.0m 底質(1月)	試験区 D.L.+1.0m 造粒砂(1月)	試験区 D.L.-1.0m 造粒砂(1月)	試験区 D.L.-3.0m 造粒砂(1月)	試験区 D.L.-3.0m 造粒砂+リサイ クルブロック (1月)	試験区 D.L.-3.0m 造粒砂+貝殻 基質(1月)	試験区 D.L.-3.0m 海砂(1月)
強熱減量(%)	4.1	1.0	12.6	8.3	3.3	3.5	3.4	3.3	3.4	1.4

試料採取日		平成21年7月29日							
		対照区 D.L.-1.0m 底質(7月)	対照区 D.L.-3.0m 底質(7月)	試験区 D.L.+1.0m 造粒砂(7月)	試験区 D.L.-1.0m 造粒砂(7月)	試験区 D.L.-3.0m 造粒砂(7月)	試験区 D.L.-3.0m 造粒砂+リサイ クルブロック (7月)	試験区 D.L.-3.0m 造粒砂+貝殻 基質(7月)	試験区 D.L.-3.0m 海砂(7月)
強熱減量(%)		10.6	8.7	4.0	4.2	3.5	5.7	4.9	2.2

6-6. 連続水質調査

連続水質調査は、平成 20 年 7 月 25 日から平成 21 年 9 月 30 日の間、試験区 D.L.-3m の底上 1m に自記式水質計を設置し、水温、塩分、D0 の連続計測を行った。計測結果を図 6-45 ~ 図 6-47 に示す。

試験期間中の周辺環境は、塩分は 32.5psu 前後、水温は 11 ~ 27 前後であり安定した状態であった。D0 は 6 ~ 10mg/l 前後であり、8 月 ~ 10 月に低い値となったが、貧酸素状態(*)に至ることはなかった。

(*)水産用水基準においては 4.3mg/l が「底生物の生息状況に変化を引き起こす臨界濃度」とされている。

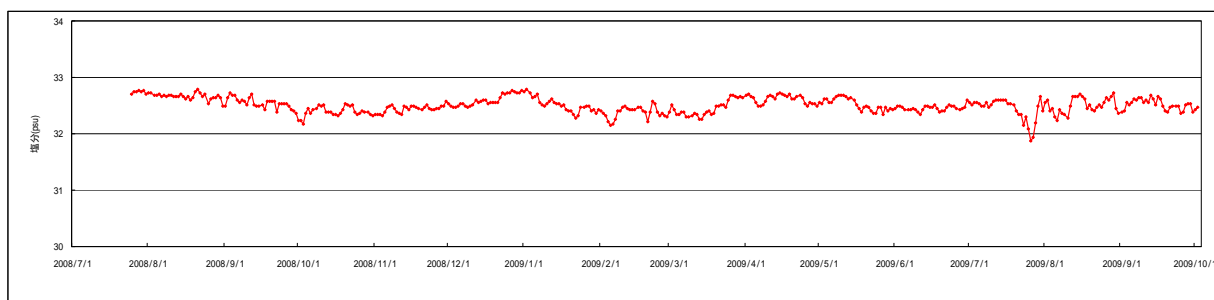


図 6-45 塩分の経日変化

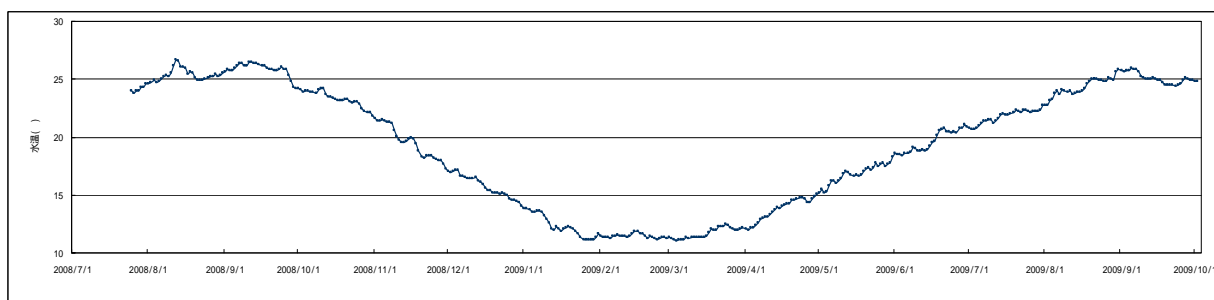


図 6-46 水温の経日変化

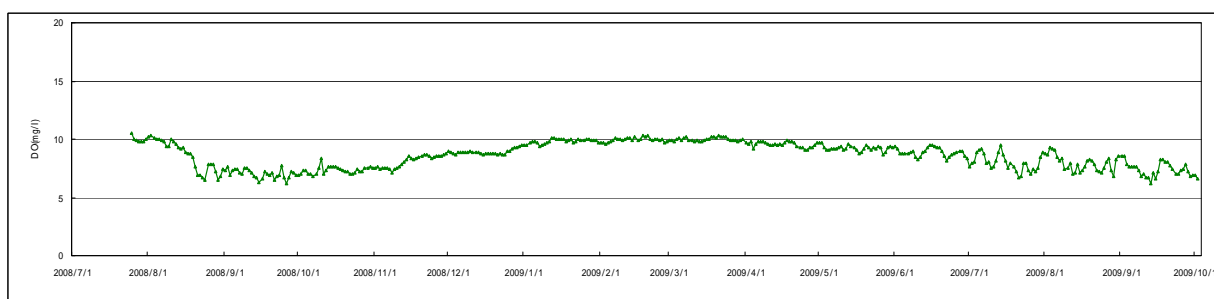


図 6-47 DO の経日変化

7. 評価

今回の実証対象技術である各構造物や造粒砂は、それぞれの基質・構造の特徴に応じたねらい(目的)を持っている。また、空間的により効果が高まることを考え、それぞれの技術は複合的に設置されている(4-3.参照)。各技術及び空間的配置のねらいに対して予測された効果が発現されているかを検証した。

また、本実証事業の目的である「対照区以上の生物量の確保」が達成されているかどうかを湿重量及び年間炭素固定量によって評価した。

7-1. 各実証対象技術及び空間的配置の効果

各実証対象技術及び空間的配置の効果は、各技術がそれぞれねらい通りの効果を発揮し、それらが連関することにより発現される。生物採取調査結果及び目視調査結果より、各技術が、それぞれ連関する効果を発揮しているかどうかを検証した。

7-1-1. 各構造物の効果

試験区に設置した水平くぼみ、リサイクルブロック、貝殻基質、造粒砂についてその効果を検証した。

- ・ 水平くぼみでは生物量は少ないものの、対照区の同水深では出現しない藻類や甲殻類が採取されており、水平くぼみのねらいである「鉛直護岸以上の生物多様性の確保」はおおむね達成されていたと考えられる。
- ・ リサイクルブロックではサンカクフジツボやコケゴロモなどの付着動物が確認されたほか、大型の海藻食者であるクロアワビも確認された。また、カバノリや大型の褐藻類であるワカメが確認された。したがって、リサイクルブロックのねらいである「大型藻類や付着動物の生息環境の創造」は達成できたと考えられる。
- ・ 貝殻基質ではサンカクフジツボなどの付着動物のほか、フトウデネジレカニダマシやモエビの仲間などの底生動物が確認された。また、藻類ではカバノリ、タオヤギソウ、ススカケベニなどが確認され、リサイクルブロックとは生物相が異なっていた。したがって、貝殻基質のねらいである「小型藻類や付着動物、埋在性ベントスの生息環境の創造」は達成できたと考えられる。
- ・ 造粒砂は、生物量としては対照区と比較して優位な差は見られなかったが、造粒砂中に潜るキュウセンが確認された(図 7-1)。底質が泥である対照区ではこのような例は確認できなかったことから、造粒砂のねらいである「砂地を必要とする生物の生息環境の創造」はおおむね達成されていたと考えられる。



図 7-1 造粒砂中(D.L. -1m)から確認されたキュウセン

7-1-2. 空間的配置の効果

空間的配置の効果は、空間的に配置された各技術の効果が連関することにより発現される。空間的に配置された各技術が、それぞれの水深で互いに連関する効果を発揮しているかどうかを検証した。

- D.L.+1m に設置した水平くぼみと対照区の生物採取調査結果を図 7-2 に示す。

水平くぼみでは、対照区では出現していない藻類や甲殻類が確認され、対照区に比べ、多様な生物種が確認された。これは、水平面にくぼみが存在することで、干潮の干出時であっても、くぼみ内部に溜まった海水が湿潤な状態を保つため、乾燥に弱い生物も生息できる環境が創造されているためであると考えられる。

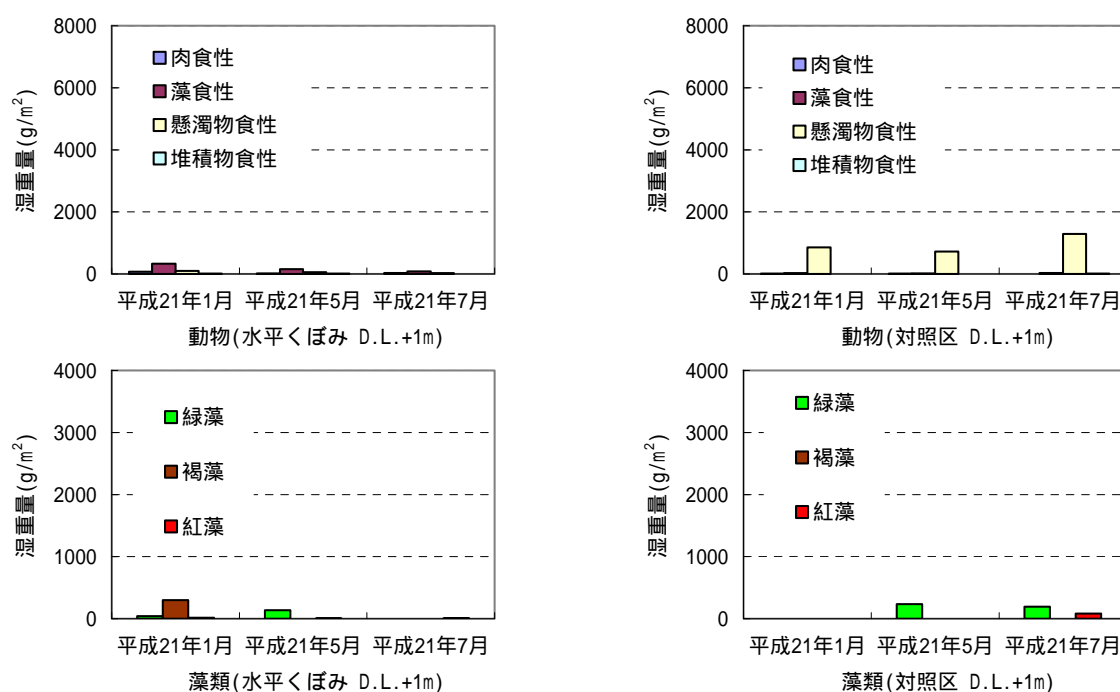


図 7-2 生物採取調査結果

(左：水平くぼみ(D.L.+1m)、右：対照区(D.L.+1m))

- ・ D.L. -1m に設置したリサイクルブロック、貝殻基質、対照区の生物採取調査結果を図 7-3 に示す。

リサイクルブロックは、動物の付着量は少なかったが、緑藻・褐藻・紅藻のいずれの海藻も多く付着していた。一方、貝殻基質では動物の付着量が多く、これらの異なる特性の技術が存在することで多様な生物の生息環境が創出されたと考えられる。特に、貝殻基質では、対照区ではほとんど見られない堆積物食性や肉食性の動物が多く確認され、D.L. -1m から落ちてくる糞や死骸などの有機物の分解に寄与しているものと考えられる。

また、両基質に多く付着していた海藻には、ワレカラなども多く付着しており、周辺で確認された稚魚や大型ベントスの餌として利用されていることがうかがえる。さらに、貝殻基質の近くでイカの卵嚢(コウイカの卵と思われる(図 7-4))が観察され、構造物が産卵場としても機能していることがうかがえた。

造粒砂は、生物量としては対照区と比較して優位な差は見られなかったが、冬季にキュウセンの潜砂が多く確認され、泥質である周辺と異なる生物の生息環境を創造していた。

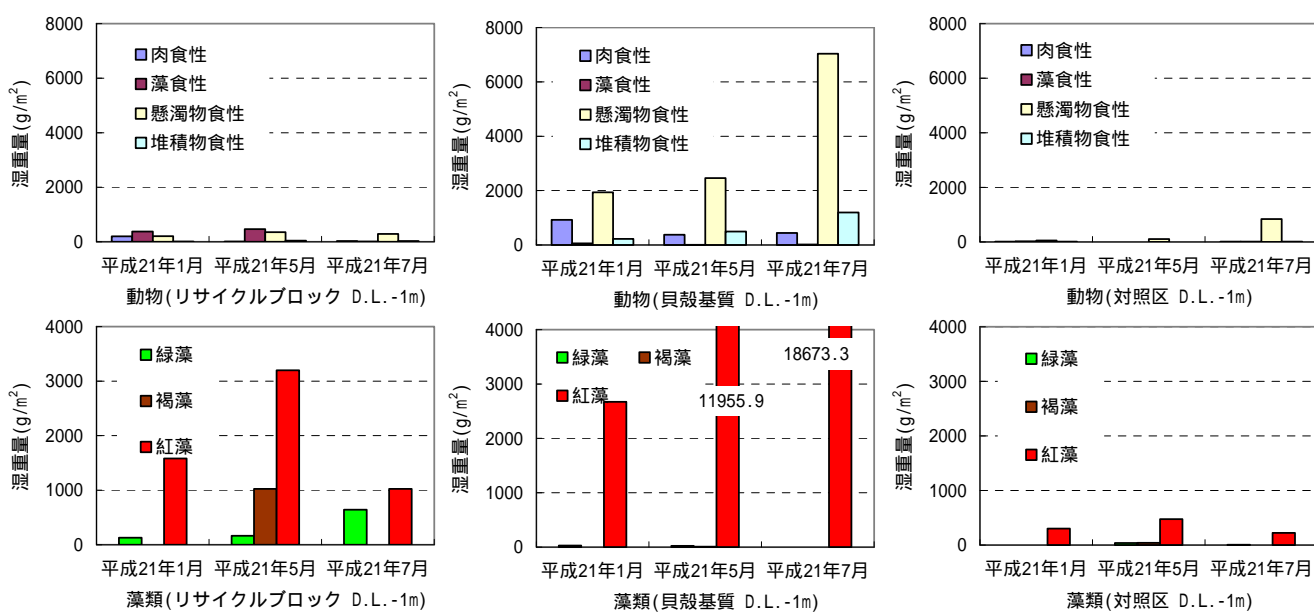


図 7-3 生物採取調査結果

(左：リサイクルブロック(D.L. -1m)、中央：貝殻基質(D.L. -1m)、右：対照区(D.L. -1m))



図 7-4 貝殻基質(D.L. -1m)近くに生みつけられたイカの卵嚢

- ・ D.L. -3m に設置したリサイクルブロック、貝殻基質、対照区の生物採取調査結果を図 7-5 に示す。

D.L. -3m では、他の水深に比べてリサイクルブロック、貝殻基質ともに生物量は少なかったが、付着生物の出現する時期や種類が両基質で異なっており、これらの異なる特性の技術が存在することで多様な生物の生息環境が創出されたと考えられる。一方、対照区では全く確認されなかった藻類が両基質とも確認されており、これらのことから多様な生物の生息環境が創出されたと考えられる。

D.L. -3m に設置した各技術周辺には、対照区の同水深では見られないカサゴなどの捕食者が観察されたことから(図 7-6)、D.L. -3m に構造物を設置したことによる蛸集・系外排出効果がうかがえる。

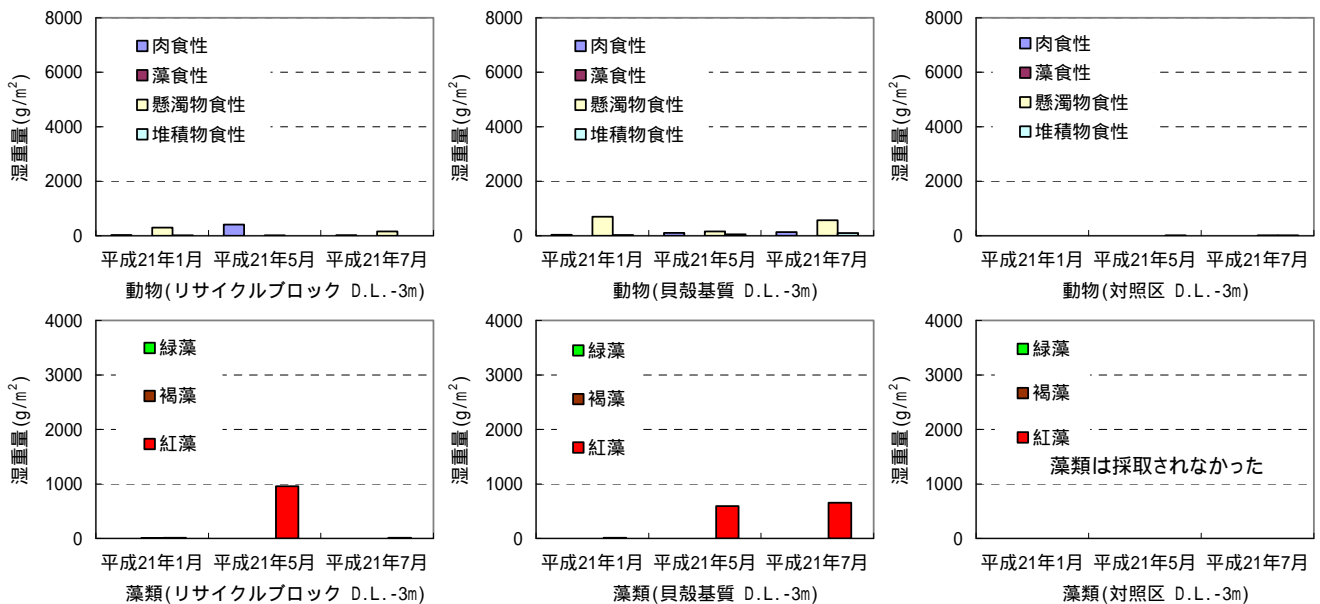


図 7-5 生物採取調査結果

(左：リサイクルブロック(D.L. -3m)、中央：貝殻基質(D.L. -3m)、右：対照区(D.L. -3m))



図 7-6 リサイクルブロック(D.L. -3m)で確認されたカサゴ

以上より、空間的に設置した各技術は、それぞれ効果を発揮しており、それらの効果は互いに連関していることが考えられる。よって、本実証事業における各技術とその空間的配置は、おおむねその目的を達成しており、図 7-7 に示すような物質循環のシステムが構築されつつあると考えられる。

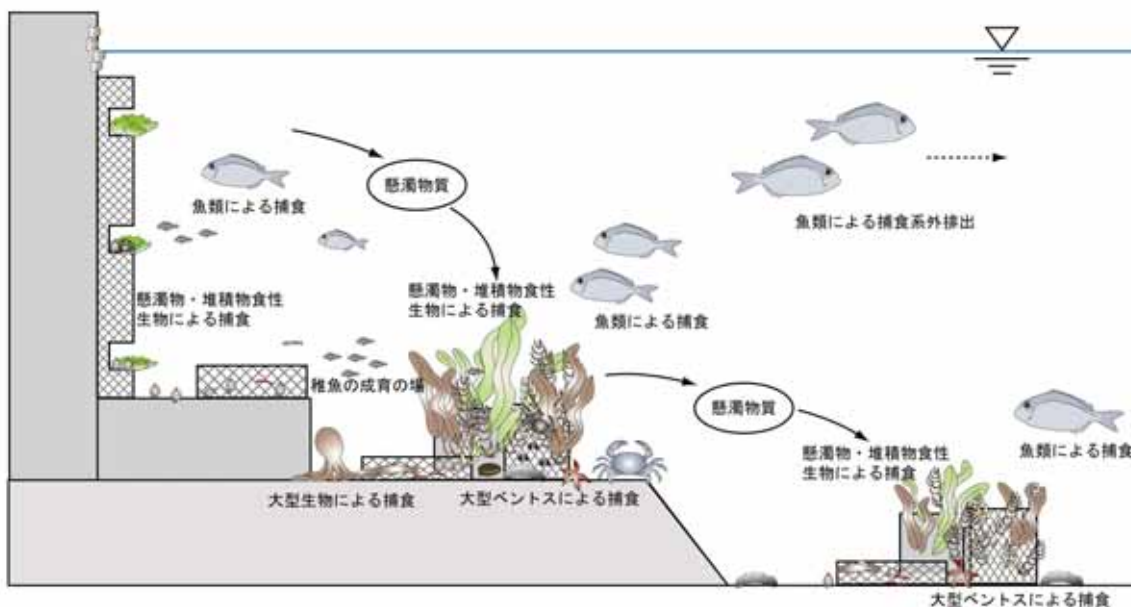


図 7-7 物質循環のシステムイメージ

7-2. 湿重量による評価

生物採取調査で採取した付着生物量(湿重量)を試験区と対照区で比較した(図 7-8)。比較にあたっては、試験区は採取量の合計値を、対照区については構造物の合計投影面積 2.91m²と同面積に換算した値を用いた。1月と5月は付着動物、藻類ともに試験区の方が多かった。7月は、付着動物についてはオオヘビガイやマガキといった貝殻の重い種が多く出現したため、対照区のほうが多かったが、藻類は試験区の方が多かった。

付着動物と藻類を合わせた湿重量は常に試験区の方が多く、対照区以上の生物量が確保されているといえる。

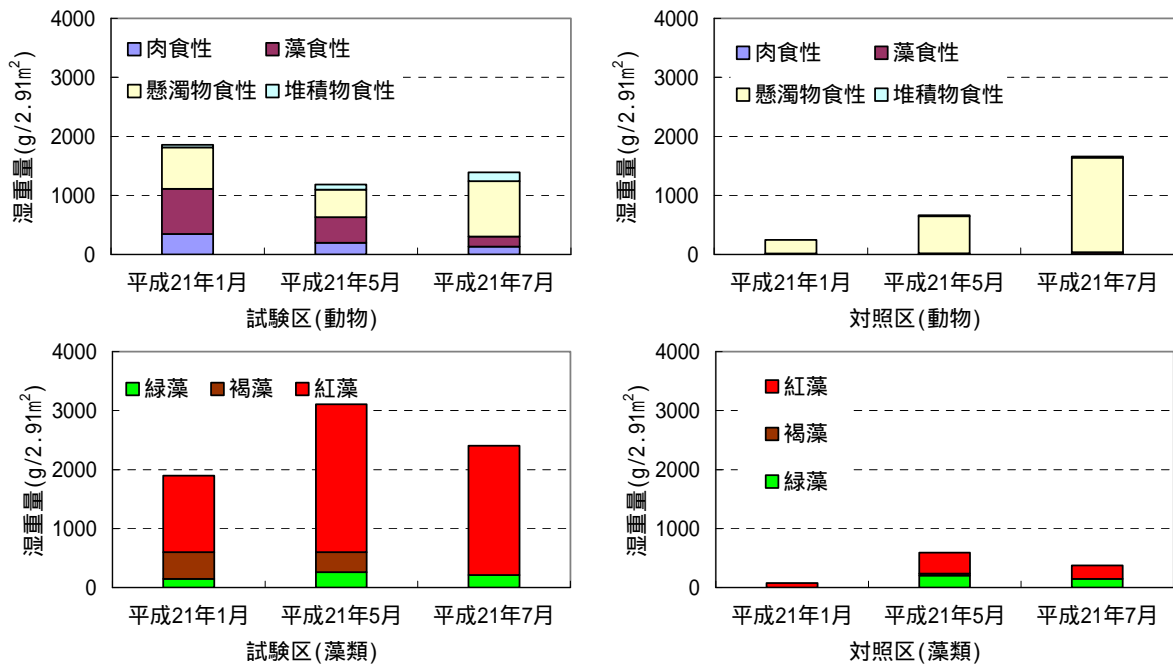


図 7-8 試験区と対照区の付着生物量の比較

7-3. 年間炭素固定量による評価

各技術に付着した動物と藻類を合わせた生物生産量により、各技術の複合的配置の効果を評価するため、試験区、対照区における付着生物の年間炭素固定量を推定し比較した。

各技術(総面積 2.91m²)に付着した生物の食性別の最大現存量を合計し、試験区の食性別年間最大現存量とした。対照区については、試験区の各技術と同水深の生物量を、構造物と同面積に換算し合計した。年間炭素固定量の算出式は大塚(2008)に従い以下とした。

$$Fc = \sum B_{\max i} P/B_{\max i} C_i$$

ここで、Fc は年間炭素取り込み量(g-C/y)、B_{maxi} は各生物の年間最大現存量(g-wet)、P/B_{maxi} は各生物の P/Bmax 比、C_i は各生物の炭素含有量(g-C/g-wet)である。

生物採取調査結果より算出した年間炭素固定量を表 7-1 に示す。試験区の炭素固定量は、対照区と比較すると 3.3 倍となり、付着生物の生産量においても対照区以上となっていた。

表 7-1 年間炭素固定量の比較

	最大現存量 (g/2.91m ²)		P/B _{max}	炭素/湿重量比	炭素固定量 (g-C/y/2.91m ²)	
	試験区	対照区			試験区	対照区
肉食性	459.29	43.98	1.70	0.10	78.08	7.48
藻食性	789.89	37.78	1.70	0.10	134.28	6.42
懸濁物食性	1490.67	1734.09	1.70	0.09	228.07	265.32
堆積物食性	168.67	155.32	1.70	0.10	28.67	26.41
藻類	5470.03	609.61	3.00	0.05	820.50	91.44
					合計炭素固定量 (g-C/y/2.91m ²)	
					1289.61	397.06

7-4. 周辺の大型ベントスを考慮した年間炭素固定量による評価

本事業では複数の技術を空間的に配置している。よって、各技術を単独で設置した場合と異なり、空間全体において、付着生物を補食する大型ベントスなどを蝟集させる相乗的な効果(シナジー効果)があると考えられる。

実際に、試験区ではマナマコやイトマキヒトデなどが見られた(図 7-9)。大型ベントス調査で確認されたこれらの生物は、このシナジー効果によって蝟集したことが考えられるため、付着生物に大型ベントスを加え、年間の炭素固定量を推定した。炭素固定量は、7-3.と同様の方法で算出した。結果を表 7-2 に示す。

試験区の年間炭素固定量は対照区の 4.7 倍となり、付着生物のみで計算した場合よりも対照区との差が大きくなった。

各技術を空間的に配置した場合、単独で設置した場合に比べ、大型ベントスなどの蝟集効果が高まり、生物量が増加することが考えられる。



図 7-9 構造物周辺で観察されたマナマコ(左)とイトマキヒトデ(右)

表 7-2 シナジー効果を加味した年間炭素固定量の比較

	最大現存量 (g/300m ²)		P/B _{max}	炭素/湿重量比	炭素固定量 (g-C/y/300m ²)	
	試験区	対照区			試験区	対照区
肉食性	12334.29	6293.98	1.70	0.10	2096.83	1069.98
藻食性	1664.89	37.78	1.70	0.10	283.03	6.42
懸濁物食性	1490.67	1734.09	1.70	0.09	228.07	265.32
堆積物食性	20168.67	155.32	1.70	0.10	3428.67	26.41
藻類	5470.03	609.61	3.00	0.05	820.50	91.44
					合計炭素固定量 (g-C/y/300m ²)	
					6857.11	1459.56

8. 実証試験の結論

試験区では、湿重量、炭素固定量ともに対照区以上となっており、目標である「対照区以上の生物量の確保」が確認できた。

昨年度の調査を延長し、春季、夏季のデータを取得したことにより、各技術、設置水深、シーズンごとに異なる生物が付着することが確認され、各技術を空間的に配置した効果が確認された。

各技術を設置した試験区では、魚類や大型ベントスなど食物連鎖の上位捕食者が多く確認でき、各技術を空間的に配置したことにより、蛸集効果が高まったことが考えられる。

本実証試験により、各技術を単体ではなく複合的・空間的に配置することで、多様な生物生息空間を創造すること、また、魚類や大型ベントスの蛸集効果を高めることが確認できた。多様な生物の働きによる水質・底質の改善、魚類や大型ベントスによる物質循環、系外排出が期待される。

今後は、この技術を、埋め立て等の人為的な改変を強く受けた泥質海底と直立護岸に囲まれた海域に適用し、生物生息環境の改善、水質の改善に役立てていきたいと考える(図 8-1)。ただし、今回の実証試験海域と規模、地形、水質、生物生息環境などについて、大きく条件が異なる海域に適用する際には、設置水深や規模など、より詳細な検討が必要となる。

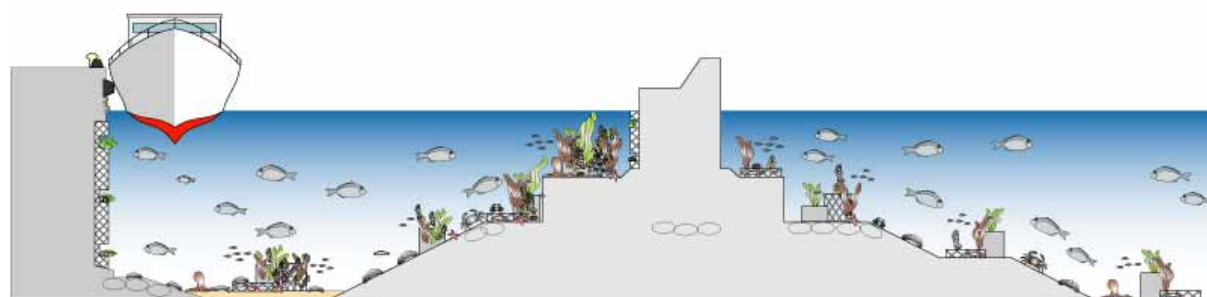


図 8-1 今後期待される展開イメージ

9. 技術実証委員会の見解

対照区以上の生物量の確保は、現地調査結果からも明らかである。また、蛸集調査や大型ベントス調査で、系外排出が期待できる高次生物の生息が確認できていることから、現在配置されている技術が適切に機能していることがうかがえる。