

藻場造成型防波堤の藻場形成の特性

CHARACTERISTIC OF SEAWEED FORESTS ON THE FISHING PORT CONSTRUCTION HARMONIZED WITH THE ECOSYSTEM

安藤 亘¹・中村憲司²・星場順之³
Wataru ANDO, Kenji NAKAMURA and Yoriyuki HOSHIBA

¹正会員 社団法人 水産土木建設技術センター (〒104-0045 東京都中央区築地 2-14-5 サイスタビル 3F)

²シャトー海洋調査 (〒534-0025 大阪府大阪市都島区片町1-4-2)

³石川県羽咋土木事務所 (〒925-0026 石川県羽咋市石野町へ 31 番地)

Elgrass and seaweed beds are important places for ecosystem of coastal zone, and also fishing industry in Japan. Therefore, We have tried creating seaweed bed on the wave dissipating concrete blocks and the rubble mound of breakwater, at Togi fishing port in Isikawa prefecture. We were able to get four information about the design from monitoring the seaweed bed type breakwater. The first is the necessity of setting up the substratum of seaweed in accordance with maturity time of seaweed. The second is that of predicting the transportation range of its spores. The third is that of detailed investigation and development of measuring apparatus for the propagation of specific seaweed. The fourth is that of examining comprehensively the relation between seaweed bed succession and herbivorous benthos.

Key words: fishing port, seaweed bed formation, Sargassum, shore current

1. はじめに

水深 20mほどまでの海底に大型の海藻草類が密生している場所を藻場と呼ばれている。藻場は、沿岸域の第一次生産をささえるとともに、藻場生態系として豊かな生物がみられ、魚介類の稚魚などの産卵・育成場となっている。また、地球温暖化の原因である二酸化炭素や富栄養化の原因である栄養塩類を吸収する働きから沿岸域の水質浄化にも役立っています。しかし、埋立てや水質悪化等により藻場の面積は急激に減少しており、近年の水産資源の減少に少なからず影響を及ぼし始めている。

こうしたことを受けて、漁港整備長期計画(1994～2001)より新たに「美しい海辺環境の保全と創造」を達成するため、自然環境と調和した構造物・工法の採用を総合的に行う自然調和型漁港づくり推進事業を創設し、実施を進めてきたところである。この事業は、工事前に周辺の環境を把握する事前調査、施工中・後のモニタリング調査が実施できる特徴を持ち、採用した構造や工法の検証とともに技術的な知見を集積するようになっている。

石川県の能登半島外浦沿岸の中央部に位置する富来漁港(写真-1)は、生物にやさしく、そして良好な自然環境を創造することを目的に、用地造成等に

よって消失するガラモ場(14,500 m²)を天然藻場近くの砂浜域に復元させるために、防波堤の構造を工夫して、積極的に藻場の復元を図る藻場造成型防波堤(L=190m)を整備した。

我々は、この藻場造成型防波堤の効果の検証と知見の集積を目的に、平成 11 年 3 月から平成 15 年 3 月の間に計 10 回のモニタリング調査を実施した。

本論では、藻場造成型防波堤の事例を紹介しながら、今後の設計・施工に係わる問題点について以下に述べるものとする。

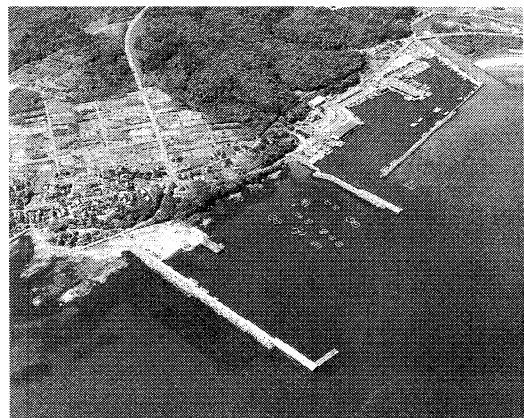


写真-1 富来漁港

2. 防波堤の特徴

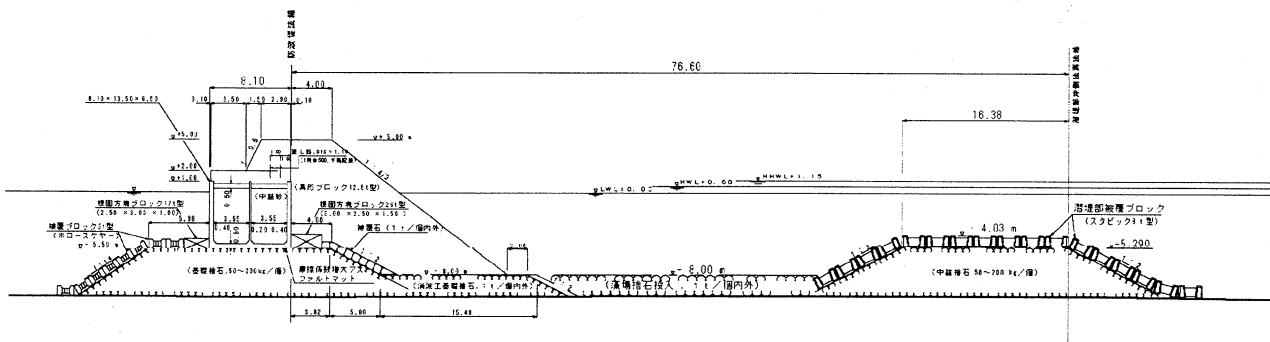


図-1 藻場造成型防波堤の標準断面

防波堤の構造は図-1 に示すとおりである。藻場マウンドの高さは、周辺のホンダワラ類で構成される海藻群落のガラモ場の濃生から密生で繁茂する水深帯（およそ4m～10m）を確保するように、図-2 に示す植生模式図¹⁾を用いて藻場マウンドに着生する海藻種を予測して天端高を決定した。

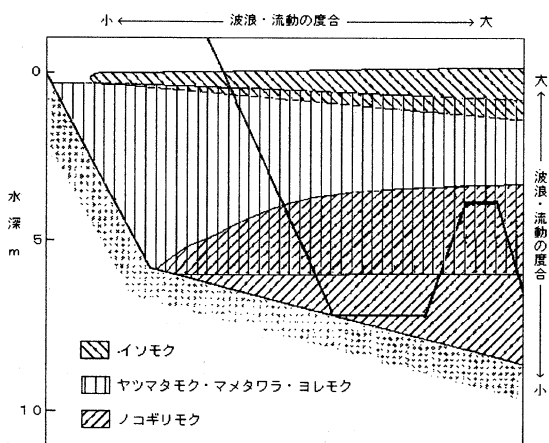


図-2 植生模式図 (一部改変)

また、本体工については、水理模型実験²⁾を実施し、①低天端幅広潜堤による波高低減効果、②衝撃碎波の検討、③遊水部に用いる着生基質の挙動を確認しながら基本設計を行った。その他、潜堤の被覆ブロック（以下、ブロック）には、ブロックの藻礁効果を把握するために、7種類のブロックを採用することにした³⁾。

3. 調査結果と考察

(1) 据付時期により藻場の遷移が異なる理由

a) 調査結果の概要

施工が始まって、翌春の3月（およそ1年後）からモニタリング調査を開始した。この平成11年3月調査時点までに、藻場マウンドはL=75mが完了し

ていた。藻場の分布は、潜堤の天端1=40m間でイソモクが密生状態で確認された（図-3）。しかし、40mを境にしてその先は、大型海藻の出現がみられず、この状態はその後2年ほど続くことになった。

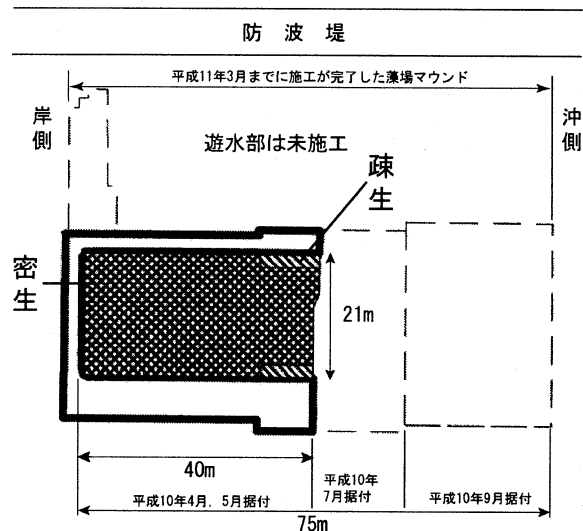


図-3 平成11年3月の藻場分布

b) 考察

藻場が形成されている場所とそうでない場所は隣接していることから、水深（光環境）、水質、ブロック形状による違いはみられていない。しかし、それぞれの施工状況を施工業者の作業日報から調べると、天端1=40m間までは4月、5月に据付けられ、その先の天端1=35m間は7月、9月に据付けられていた。

富来漁港周辺の主要なホンダワラ類は、初夏までに成熟期を迎え、夏期に成熟した藻体は枯れあるいは消失する。そして、秋期から幼芽が出現し、冬期～春期にかけて生長あるいは再生長する生活環を繰り返す。このことから、天端1=40m間は成熟期にブロックを据付け、天端1=35m間は動物の繁殖期にブロックを据付けたことになる。これを現しているのが写真-2で10月に据付けたブロックは現在

でもカキに覆われ小型海藻しか繁茂していない。その後の調査でも、ホンダワラ類の成熟期を外して基質を据付けたブロックは、ホンダワラ類が出現するまでに2年以上かかることもわかった³⁾⁴⁾。

以上のことから、藻場形成には施工時期が大きく関係し、基質を競合する生物が先に優占すると海藻の遷移が遅くなることが明らかとなった。したがって、海藻の基質となるブロックや石材を設置する際には、海藻の成熟時期に合わせて施工することが藻場造成にとっては有効な方法である。そして、そのためには従来のブロック製作工・据付工の施工計画を見直す必要がある。

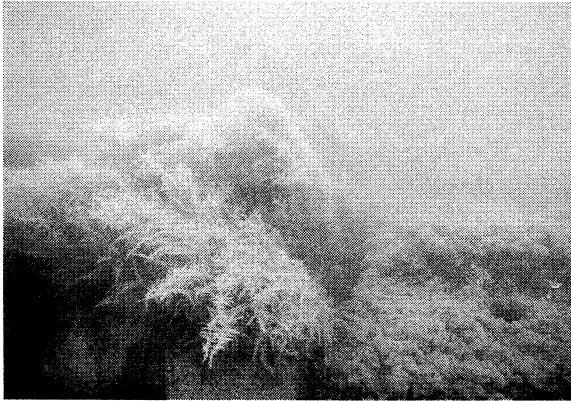


写真-2 海藻の着生が異なるブロック

右：平成11年10月に据付けしたブロック
左：平成12年4月に据付けしたブロック
□ブロックは同形状

(2) 遊水部の藻場形成が遅れた理由

a) 調査結果の概要

富来漁港のガラモ場の主要な構成種は、浅い方からイソモク、ヨレモク、ヤツマタモク、ノコギリモクの順に带状分布している。この内イソモク、ヨレモク、ヤツマタモクは、当初から藻場マウンドでの出現が確認されたが、深い水深帯（-8~-10m）に優占しているノコギリモクの出現は遅れていた（写真-3）。

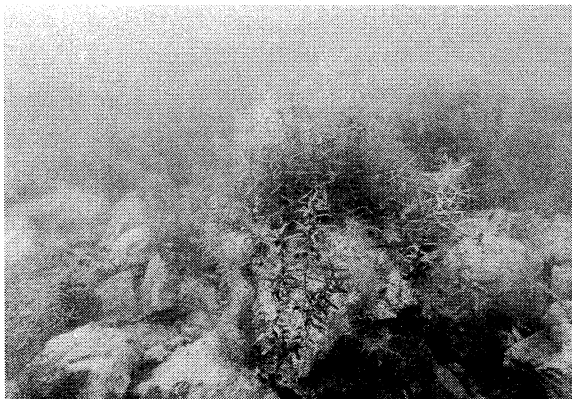


写真-3 遊水部の藻場分布（施工後約3年）

b) 考察

ノコギリモクの幼胚の供給状況を探るために、成熟期の流れ（藻場マウンド上1点、15昼夜）を観測したところ、期間平均流は2.0cm/secと小さいことが確認された。さらに、自然岩礁の成熟したノコギリモクの分布域から幼胚を一定の時間間隔で放出させ、実測流速時系列によって水平2方向に移流させつつ幼胚を沈降（ノコギリモクの沈降速度0.019cm/sec）させて幼胚の着底地点の分布を数値的に計算してみた⁵⁾⁶⁾。その結果の一部が図-4である。天然のノコギリモク群落と藻場マウンドの間は10m程度しか離れていないのに係わらず、幼胚は藻場マウンドの縁辺部までしか届いていないことがわかる。

この結果から、幼胚の供給範囲を無視した造成は、上述した競合生物に基質を奪われることとなり、藻場形成の長期化を招く恐れがあると示唆された。したがって、適正な規模の計画、あるいは幼胚が供給されない場合の対策（母藻の移植など）を事前に検討しておくことが必要である。

なお、ホンダワラ類の幼胚が遠くに飛ばないことは水産系技術者の常識的な知識であるが、藻場の知識が乏しい土木技術者にとっては、このような検討は事象を理解する上で有効な方法と思われる。

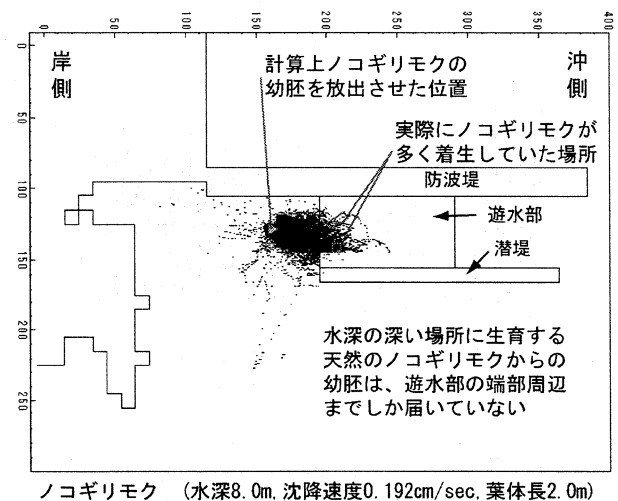


図-4 ノコギリモクの幼胚の分布

(3) 環境条件と適応種の関係

a) 調査結果の概要

潜堤（ $l=40m$ ）の天端（ $h=4.0m$ ）は、当初から濃密なガラモ場が安定して形成されている。しかし、種の構成は経年的に変化しており、据付後1年目の優占種はイソモク・マメタワラ、2年目からイソモクは減少してヤツマタモク・マメタワラが優占、現在に至ってはヤツマタモク・ヨレモクが優占して天然藻場と同様の植生に遷移が進んできた（図-5、写真-4）。

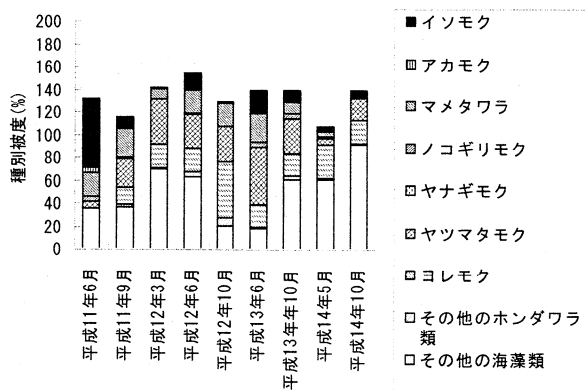


図-5 海藻類の種別被度の経年変化

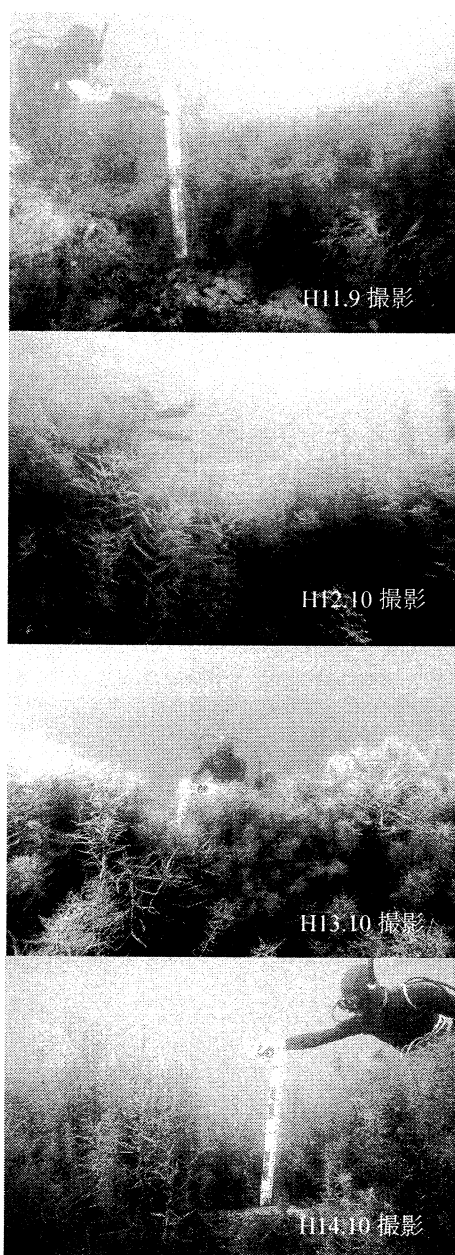


写真-4 潜堤天端の海藻遷移

b) 考察

調査期間中の水質は表-1 のとおりである。水質の値は海域の一般的な値であり、流れもあまり大きい

な値ではない。

表-1 海域の水質・流動条件

項目	5-6月	10月	3月
水温(°C)	16.3-21.2	21.3-22.3	10-10.1
塩分	32.4-33.6	32.4-33.3	32.7-33.1
濁度	0	0	0
透明度(m)	8<	8<	8<
底面波浪流速(m/sec)	0.11	0.20	0.22

注)水温～透明度までは、平成12年5月～平成14年10月までの観測結果より。底面波浪流速は、金沢港と輪島港のNOWPHAS 波高観測結果の月別平均有義波を用いて、潜堤天端上(-4m)の底面波浪流速を計算した値である。

海藻は種類によって、水温、塩分、光、波浪などの環境条件に対する適応能力または性質が異なることは知られている⁷⁾。イソモクは、浅い場所に生育し幼胚も沈降速度が遅いため、他の海藻に比べて遠くへ大量の幼胚を供給することが可能と考えられ初期入植には有利な種と言える。しかし、着生した場所が水深-4mであったために、好適な光環境を得られなかったと推察される。また、藻体の形態から考えても、茎に細い主枝が1本ずつ生えるイソモクに対して、茎から複数の主枝をもつマメタワラ・ヤツマタモクは、光環境が有利であるに加えて広く基質を覆うことができるので、イソモクにとってさらに不利な条件であったのではないだろうか。

以上のことは、まだ未解明な点が多いため、調査と再考が必要ではあるが、その場の環境に適していない種が優占しても、いずれその場所に適した種に遷移することは十分窺える。したがって、例えば特定の海藻を狙った藻場造成を行う場合は、対象種に有利に働く環境が何であるかつきとめる詳細な調査や機器の開発が必要であり、加えて施工においても十分な配慮が必要である。

(4) 藻場分布と藻食性底生動物の関係

a) 調査結果の概要

藻場面積とサザエの個体数の経年変化を図-6に示す。藻場面積は当初から順調に分布面積を拡げている。そして、これまでのところ消失した藻場 14,500 m²に対して 10,509 m²(71.0%)の復元が確認された。また、この藻場は当初想定した藻場とほぼ同様の植生になりつつある。ただし、よく見ると2年前当たりから面積の拡がり方が緩くなり始め、これと併せてサザエの増集が目立ち始めている。このことについて、我々は、平成14年5月に藻場の拡大を促すために上述したカキ殻に覆われたブロックや幼胚の輸送が期待できない遊水部に対して、カキ殻の除去およびスポアバックの設置を試みている。しかし、結果は幼体の着生を確認できなかった。

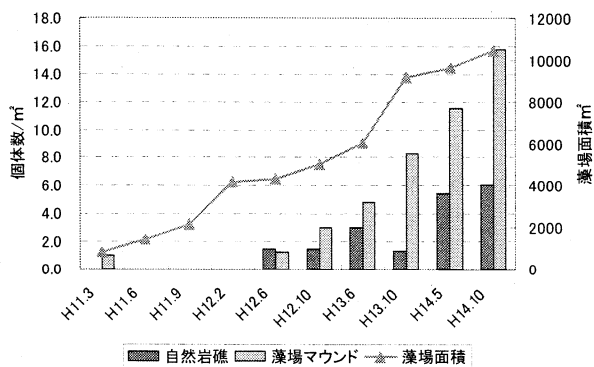


図-6 藻場面積とサザエの個体数の経年変化

b) 考察

施工が始まって5年経過した現在の藻場分布を図-7に示す。図-7から分かるとおり、潜堤と遊水部の一部が白くなって藻場が形成されていない。この藻場の分布が期待したように拡がらない原因として、サザエやムラサキウニ等の藻食性の底生生物による幼芽の摂食が考えられた。

日本海側のサザエは、高水温期（夏～秋）に最も成長がよく、この時期の餌料海藻の現存量によって成長が左右されている。また、ホンダワラ類の多くは、春から初夏にかけて成熟し幼胚の放出後、夏までに主枝を流出するため、夏季のガラモ場の現存量は急激に減少する。このことから、サザエは餌料海

藻が減れば餌場を求めて移動する、あるいは減耗して個体数が減るはずである。しかし、サザエは高密度で藻場マウンド上に蟄集していることから、藻場マウンド上は彼らが維持できるだけの餌料海藻が存在していると推察される。

荻谷ら⁸⁾が、京都府青島地先で夏から秋のサザエの胃の内容物を調べたところ、ホンダワラ類の幼体がかかり頻繁に摂餌されていることが確認され、夏季に大量に存在するホンダワラ類の幼体によって、サザエの成長が維持促進されていると報告している。また、北海道中央水産試験場が寿都湾で行った調査でもフシスジモクの幼芽が出現する前にウニを駆除することで一定の群落が保つことができるようになったと報告している⁹⁾。

平成15年3月の調査によれば、藻場マウンドや沖側の遊水部にサザエやムラサキウニが広範囲に分布し、その棲息場所は海藻が濃密な場所の中よりも大型海藻の生えていないブロックの隙間に集中して分布していた。さらには、カキ殻を削った箇所はコシダカガンガラやウニが這い回り、その表面は10ヶ月経過しても削った時とほとんど変わらずきれいな状態のものが多かった。

以上のことから、これまで藻場が形成されない場所は、サザエやウニの格好の餌場となり、藻場形成が抑制されたと推察している。幼体の食害については予想外の結果であり、現在、採捕・駆除などの対策を検討しているところである。

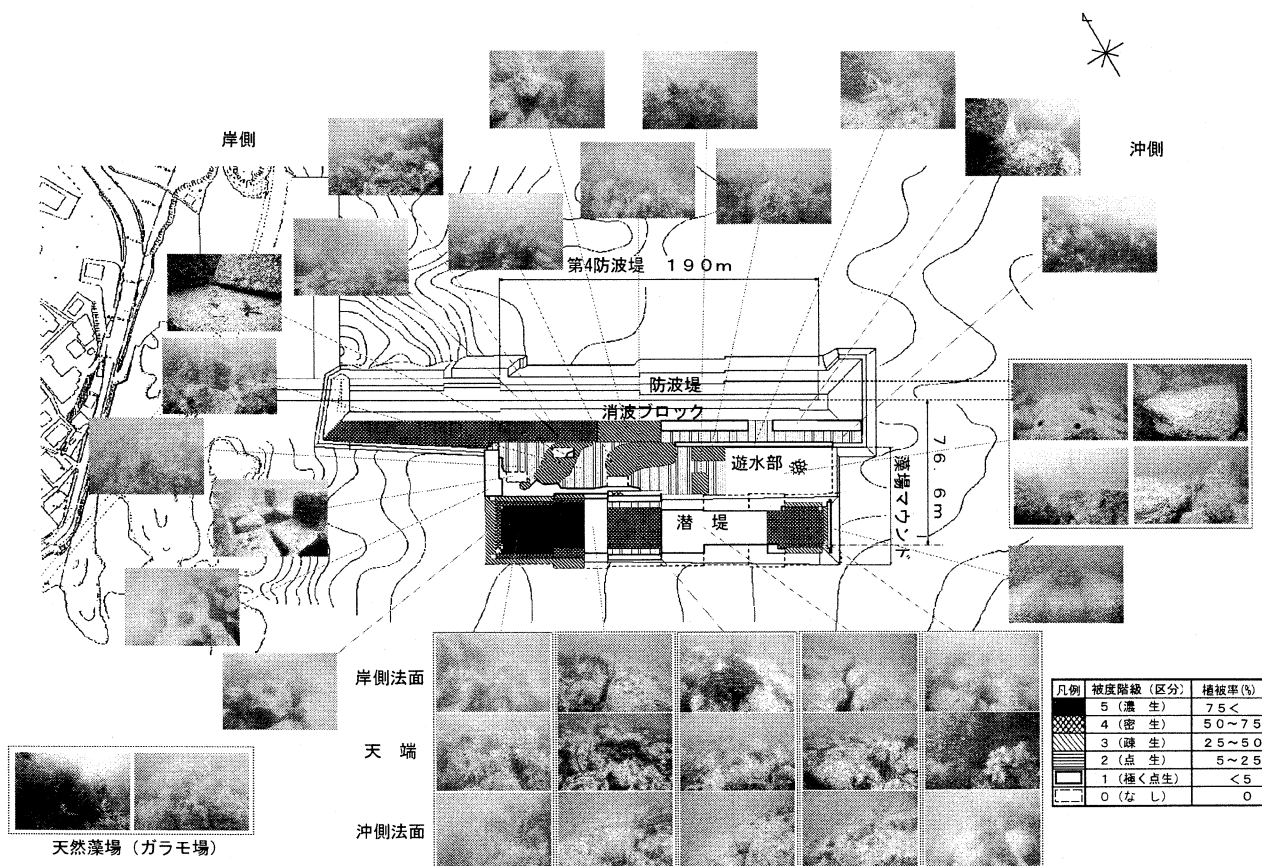


図-7 富来漁港 藻場造成型防波堤の藻場分布図（平成15年3月）

4. おわりに

調査から得られた主要な結論を以下に示す。

- ① 海域の海藻の成熟時期に合わせて、基質となるブロック等を施工することが藻場造成には有効である。
- ② 造成規模・配置は、天然藻場の位置と成熟期の流動環境を把握して決定すべきである。
- ③ 狙った種を生育させるには、まだ未解明な点が多いので環境条件を正確に把握できる調査手法・機器の開発が必要である。
- ④ 藻場ができることで磯根資源が増殖したことは望んでいた効果ではあったが、藻場の分布までを制限するとは予想できなかった。藻場の遷移には、競合・食害動物との関係を含めた総合的な検討が必要である。

今後も、我々は潜堤の一部と遊水部の沖側の一部を藻場にして行くことを技術的な課題としている。そのためには、原因であるサザエ等についても、なぜ増集するのかも含めて調査をして行きたいと考えている。

最後に、現状の71%の藻場の復元は、引き続きモニタリングをしながら評価して行きたい。ただし、生物相の乏しかった海底を改変したことで天然藻場以上の魚介類の増集が確認できたことは、自然共生型技術の可能性を示唆していると評価している。

謝辞：長期間に亘る現地調査に際し、多大なご協力と有益な情報を頂いた富来湾漁業協同組合の方々に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 置栖孟 尾崎利治 前田英昭 梨村要一：「造成藻場の植生予測法の現地設計適用」, 海講論文集 VOL. 44, pp1211-1215, 1997
- 2) 中山哲厳 大能義寛 安藤亘 堀井高 白土和之：「藻場造成工付防波堤に作用する波力に関する実験的研究」, 水産工学会論文集, pp59-61, 1999
- 3) 安藤亘 石川博行 中村憲司 向井幸則：「自然調和型防波堤の海藻の遷移特性」, 水産工学会論文集, pp5-8, 2000
- 4) 安藤亘 石川博行 中村憲司 向井幸則：「石川県富来漁港における自然調和型防波堤の海藻の遷移特性(第2報)」, 水産工学会論文集, pp37-38, 2001
- 5) 安藤亘 中山哲厳 石川博行 中村憲司：「石川県富来漁港のガラモ場周辺における藻場造成について」, 水産工学会学術講演論文集, pp39-40, 2001
- 6) 安藤亘 金山進 中村憲司 村本信夫：「ホンダワラ類の幼胚の到達範囲」, 海洋開発論文集 Vol. 18 pp. 179・183, 2002
- 7) 小河久朗, 「ホンダワラ類の成熟・発生と環境」, 月刊海洋科学, pp26-31, 1985
- 8) 葭谷護・桑原昭彦・浜中雄一・和田洋蔵. 京都府青島地先におけるサザエの食性. 日本水産学会誌
- 9) 北海道中央水産試験場. 磯焼け漁場有効利用事業. H9~11