

兵庫県丸山漁港自然調和型防波堤の生物相の変化

CHANGES IN BIOTA ON BREAKWATERS IN AN ATTEMPT TO HARMONIZE FISHING PORT STRUCTURES WITH NATURE

川嶋 憲¹・中村秀一²・綿貫 啓³・廣瀬紀一⁴・伴登昭夫⁵・山本慎一⁶

Ken KAWASHIMA, Syuichi NAKAMURA, Akira WATANUKI, Norikazu HIROSE, Akio BANDO, Shinichi YAMAMOTO

¹(株) 日本港湾コンサルタント 関西支社 (〒651-0084 神戸市中央区磯辺通 3-1-2)

²工修 (株) 日本港湾コンサルタント 関西支社 (〒651-0084 神戸市中央区磯辺通 3-1-2)

³正会員 工修 (株) テトラ テトラ総合技術研究所 (〒300-0006 土浦市東中貫町 2-7)

⁴(株) テトラ テトラ総合技術研究所 (〒300-0006 土浦市東中貫町 2-7)

⁵東洋水研 (株) 技術部 (〒101-0054 東京都千代田区神田錦町 3-19)

⁶前兵庫県淡路県民局 洲本農林水産振興事務所 (〒656-0021 兵庫県洲本市塩屋 2-4-5)

Development in the coastal zone was focused on from functional aspects such as utilization and protection. In recent years, responding to the social demand for nature conservation, numerous projects have been carried out, seeking ways of coexistence with nature. This report presents an outline of the planning, design, construction and monitoring of such an experiment on how breakwaters can be harmonized with nature. Three types of breakwaters were constructed at Maruyama Fishing Port in Hyogo prefecture to compensate for the loss of seaweed beds due to reclamation. In a survey carried out for three years after construction, the situation was judged to have reached mid succession as the number of species and the diversity index of the seaweeds and phytal animals had increased.

Key Words : Breakwater, Environmentally friendly fishing port, Monitoring, Seaweed bed restoration

1. はじめに

これまでの沿岸域では、高潮や波浪に対する防護面や産業・交通の拠点といった利用面など機能性に重点をおいた開発が進められ、漁港でも安全かつ円滑な漁業活動による生産性の向上を最優先した施設整備が実施されてきた。しかし近年では、自然環境保全等の環境問題への関心が高まり、沿岸構造物に対しても本来の機能に加え多様な付加的機能が求められている。

このような背景から、水産庁では藻場の形成や水質の保全等に配慮した構造、工法を積極的に取り入れた「自然調和型漁港づくり推進事業」が、多くの漁港で実施されている。この事業の特徴は、事業主体が工事実施前において整備対象海域の環境調査を行い、これを基礎資料とし、さらに事業の効果までの検証を行い、これらの成果を知見とし、環境保全型整備技術の確立を目指している。

本稿では、そのうち兵庫県で実施された丸山漁港（兵庫県三原郡西淡町：平成11～15年度）における「自然調和型防波堤」の整備事例について、計画から設計、事後調査（モニタリング）までの概要を紹介する。

2. 丸山漁港と周辺海域の状況

丸山漁港は図-1 に示す兵庫県淡路島の南西に位置する第2種漁港（管理者：兵庫県）であり、約5 km南側にはうず潮で有名な鳴門海峡と四国への玄関口となる大鳴門橋が眺望できる。ブランド品である鳴門わかめをはじめタイやヒラメが多く水揚げされており、自然に恵まれた海域である。

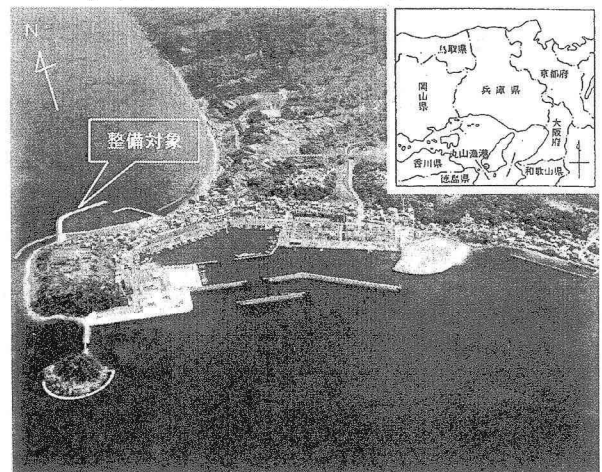


図-1 丸山漁港南側からの航空写真
(平成15年11月撮影)

当漁港の地形的な特性としては、丸山崎と呼ばれる小高い丘のある岬と、海釣り公園として解放している弁天島を挟むように南北に分かれて整備されていることが挙げられる。

南側には水産活動の拠点となる本港があり、多くの漁船の係留施設や水産加工場などの漁港関連施設が整備され有効に利用されている。北側は本事業の埋立計画地となっており、将来は小型漁船の休憩用岸壁や漁具等の保管用地として利用される予定である。その南北の漁港施設の間に位置する丸山崎沿岸は、失われつつある自然海岸の中でも貴重な岩礁地帯を有しており、隣に位置する弁天島と並んで独特な美しい景観が形成されている。

整備海域の自然特性として、計画地は播磨灘に面した海域であり、特に冬季には北西～西からの風浪の影響を頻繁に受け、台風期を想定した設計波高は3m程度となっている。前面海域の流況は、平成11年9月に実施した15昼夜の調査結果によると、西向きの流れが卓越しており平均流速で約10cm/sec、大潮期の測得最大流速値では約30cm/secを示している。整備海域の海底水深は概ね2～5mで比較的浅く、地盤は堆積粘性土の少ない良質な砂礫地盤である。

また、整備前の平成11年5月に実施した海域環境調査（以下、「事前調査」とする）によると、水質は透明度も高く、清浄海域である。底質も有機物の堆積が少なく環境基準を十分に満たしている。

海生生物の生育状況は、このような良好な海域環境に恵まれ、計画地西側に隣接する丸山崎沿岸の岩礁地帯には、天然のガラモ場が形成されており多様な生物生息空間となっている。計画地の砂礫地盤でも、事前調査においてアカモクをはじめとするホンダワラ類を中心に比較的大型の海藻類の繁茂状況が確認されており、藻場が形成され生息する生物量も豊富である。

3. 整備計画の経緯と考え方

丸山漁港では平成9年度より、第9次漁港整備長期計画による新たな漁港施設用地（約1ha）と係船施設（2.0m物場場：施設延長190m）の確保のため、施設築造計画を進めてきた。この計画は地元漁業関係者にとっては、漁業生産量や水産活動の効率化を向上させるためには必要不可欠であった。整備する適地について立地条件や漁業者の利便性などを勘案し検討した結果、本港北側の公有水面埋立により用地造成し施設整備を実施することとなった。

しかし、事前調査により埋立計画地には大型海藻類が繁茂しており、生物相も多様で良好な藻場が形成されていることが判明した。このため自然環境保全の見地から計画地の再検討を行ったが代替適地は無く、関係者と調整した結果、埋立に伴い消失する

藻場を、ミティゲーションの代償措置の考え方に沿って何らかの手法により藻場の再生を試みる方向で、当初計画地において整備を開始することとなった。

こうした中、現存する藻場の移植を試みる手法などを含めて検討した結果、今回、整備する防波堤構造体に藻場を付加できる対策を施すこととし、水産庁から「自然調和型漁港づくり推進事業」の認可を得、整備を進めることとなった¹⁾。図-2に計画地の整備前の状況と、整備後の計画平面図を示す。

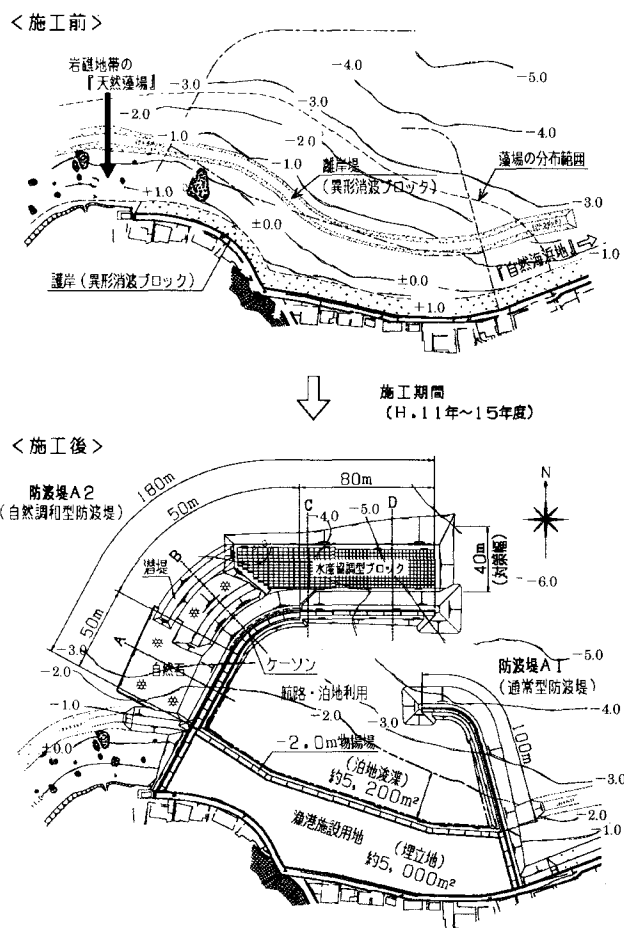


図-2 漁港整備前後の平面図

4. 設計の考え方と対策構造の選定

自然調和型漁港研究会等でまとめた「自然調和型漁港づくり」に関する計画・設計の考え方を基本に、本港では図-3のフローに従い事前調査から対策規模や位置設定、施設の設計を実施した。現在（平成16年3月）の工事状況は防波堤を含む埋立外周施設は完成している段階で、今後は埋立土砂を投入し竣功に向かう予定である。

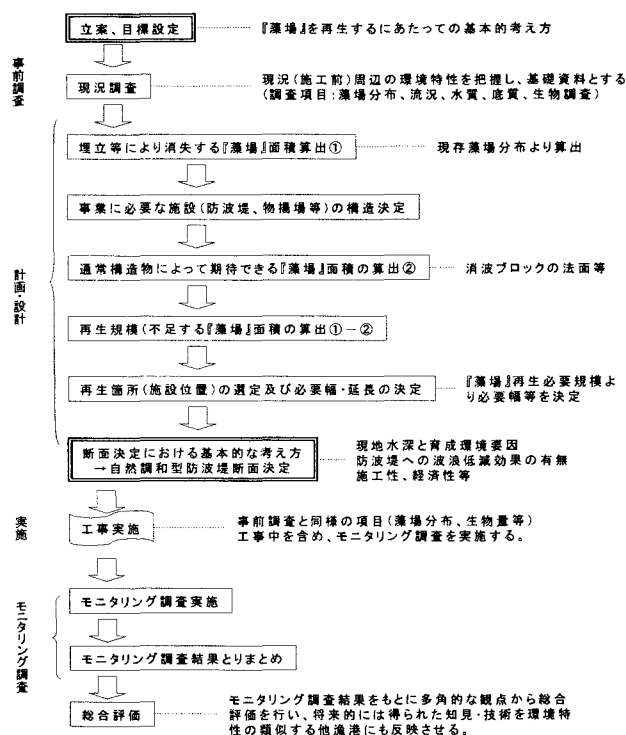


図-3 計画・設計および調査フロー

(1) 立案, 目標設定

消失する藻場には、アカモク等のホンダワラ類が優占するガラモ場やワカメ場が主として形成されていたことから、同じ海域で極端に異なる生物相に変化することを避けるため、藻場再生の目標として現存藻場と同種を対象とした。

また整備後の維持管理はメンテナンスフリーを基本とし、再生する規模は消失する藻場と同程度を目標とした。

(2) 藻場再生規模の設定

埋立や泊地浚渫等によって消失する現存藻場面積(約 11,700 m²)から、通常の構造物でも海藻類の付着生育が期待できる面積(約 3,400 m²)を除き、約 8,300 m²を藻場として再生が必要であると判断した。

(3) 藻場再生位置の選定

防波堤に囲まれる港内部では海藻類の生育条件として水質条件が好ましくないため、再生位置は防波堤の外側に計画した。また対策対象の防波堤は2カ所あったが、残存する天然藻場との距離が近く幼胚の着生が期待できること、さらに西向きの流れが卓越している流況から東側防波堤(A1)の外側へ砂の堆積が懸念されたこと等を勘案して、西側防波堤(A2)を藻場の再生位置として選定した。

(4) 対策施設の基本構造選定

対策を施す防波堤の水深は、概ね-2~-5mに変化し、計画延長 180m(対策部の重心長は約 210m)であるため、対策幅を約 40mとして藻場再生目標規模(約 8,300 m²)を確保した。防波堤前面には既に海生生物の付着した既設離岸堤の異形消波ブロックを消波工として流用し、対策部には海藻類の生育水深環境の調整(現存の藻場は水深-1~-3m付近に形成されていた)や複数の構造による対策効果を試みるため、図-4に示す3タイプ(測線C・Dはブロックの違い)の構造を選定した。

対策基盤の構造を大別すると、海藻類の付着基質として実績のある大型の自然石と、消波機能を有する水産協調型のコンクリート製ブロックとなる。測線別の構造選定理由を表-1にまとめる。

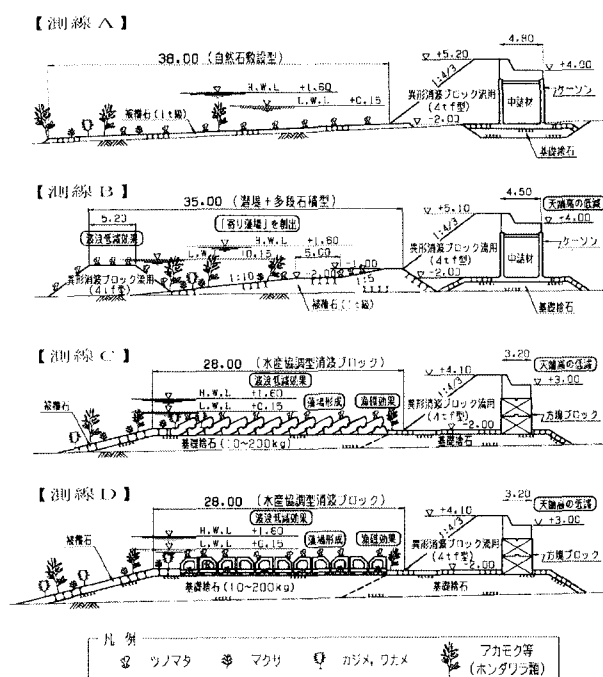


図-4 対策を施した防波堤断面図

表-1 測線別の構造選定理由

測線	対策構造	選定理由および目的
A	自然石敷設タイプ	・水深が浅くマウンド形成が困難であること。 ・必要最小限の捨石厚さで自然石を敷設する。 ⇒ 海底勾配に合わせた自然な付着基盤を形成
B	潜堤付多段式 石積タイプ	・既設ブロックを有効流用した潜堤の設置が可能。 ・自然石による多段マウンド形状効果の試み。 ・測線Aとは違った生物生息環境の創出。 ⇒ 寄り藻場による動物類の餌場として期待
C・D	水産協調型 消波ブロックタイプ	・水深が深くマウンド形成が可能。 ・マウンド上に消波機能を有するブロックを使用。 ・消波効果による防波堤本体のコスト縮減。 ⇒ ブロック壁面内外への多様な海藻類付着と魚礁効果にも期待

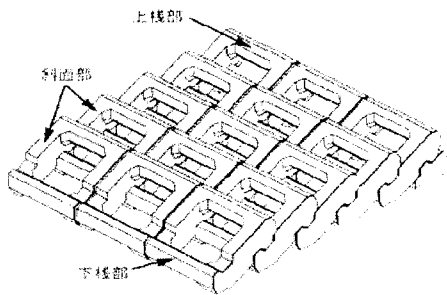


図-5 測線Cのブロック(アクアリーフ)

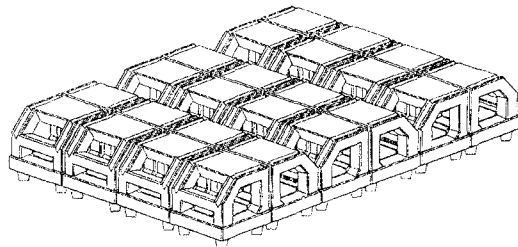


図-6 測線Dのブロック(アパロン)

5. モニタリング調査

(1) 調査方法

モニタリング調査は海藻類が繁茂する毎年5月に潜水調査により、各測線に沿った被度調査(ベルトトランセクト)、各測線の中央付近での50×50cmの方形枠を用いた坪刈調査を実施している。被度調査では、上記のブロック下の捨石面の付着生物も観察している。その他に、潮間帯の付着生物調査、藻食動物調査、魚類調査、底質、水質調査等を行っている。

事前調査を平成11年に実施しており、以下の説明では、測線A～Dと同程度の水深帯の3箇所を坪刈して得た海藻・付着動物のデータを平均し、事前調査結果として扱うことにする。

(2) 水質・底質調査結果

港外部の水質はpH、COD、DO等の一般項目でA類型、水質汚濁に係わる環境基準でもⅡ類型であり、透明度も4.9～9.3m以上と海底地盤までを示し清浄な海域である。また、底質は砂・礫分(粒径75μm以上)が約90%以上を占め、有機物の堆積が少ない状態である。砂中生物は多毛類と小型甲殻類が多い。

(3) 海藻類の坪刈調査結果

図-7、8に各測線の中央部分に着生していた海藻の湿重量と種数の変化を示す。図-7では、平成13年の測線Bと14年の測線Aが約6kgと湿重量が多いが、平成15年は1～2kg程度とどの測線も湿重量は少ない。これは平成13、14年に測線A、Bで優占していたアカモク、タマハハキモク等のホンダ

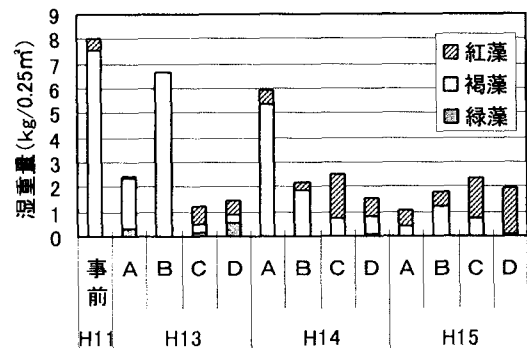


図-7 海藻類の湿重量(0.25m²あたり)の変化

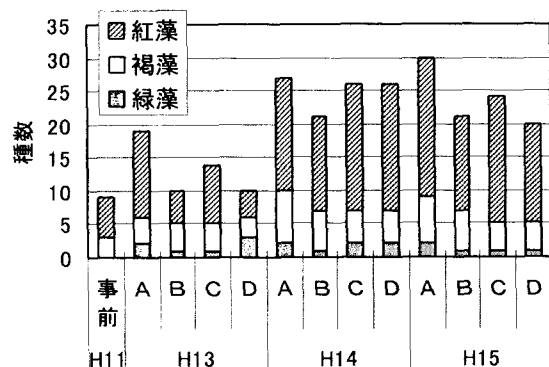


図-8 海藻類の種数の変化

ワラ類が減少したためである。天然藻場から距離のある測線C、Dへのホンダワラ類の加入は施工3年後でもまだ少ない。全体的にホンダワラ類が少なくなったこともあるが、これらの幼胚は粒径が大きく沈降しやすく、拡散しにくいことも影響している。

種数では、平成13年度は10～18種であるが、平成14年に21～27種に増加し、平成15年は平成14年からさほど変化はない。全体的に紅藻類が増える傾向にある。

図-9に各測線の主な種の湿重量の推移を示す。測線Aではタマハハキモクが3年間の調査を通して多く見られている。また、平成14年に最も多く見られたアカモクが平成15年には確認されていない。測線Bでは、当初優占していたアカモクやタマハハキモクのホンダワラ類が平成15年には減少し、紅藻のマクサや褐藻のワカメが増加してきている。測線Cでは平成13、14年と小型の海藻が優占していたが、15年には大型褐藻のカジメが採取された。測線Dでは初期には緑藻のアナアオサが優占したが、全般的には褐藻のウミウチワや紅藻のツノマタ、スギノリ等の小型海藻が優占する傾向にある。

漁港整備前にはガラモ場が形成されていたが、平成15年度では14年に比べ、ホンダワラ類は減少し、カジメやワカメ等が増加してきている。現状では遷移の途中相と考えられ、今後も継続調査の必要がある。

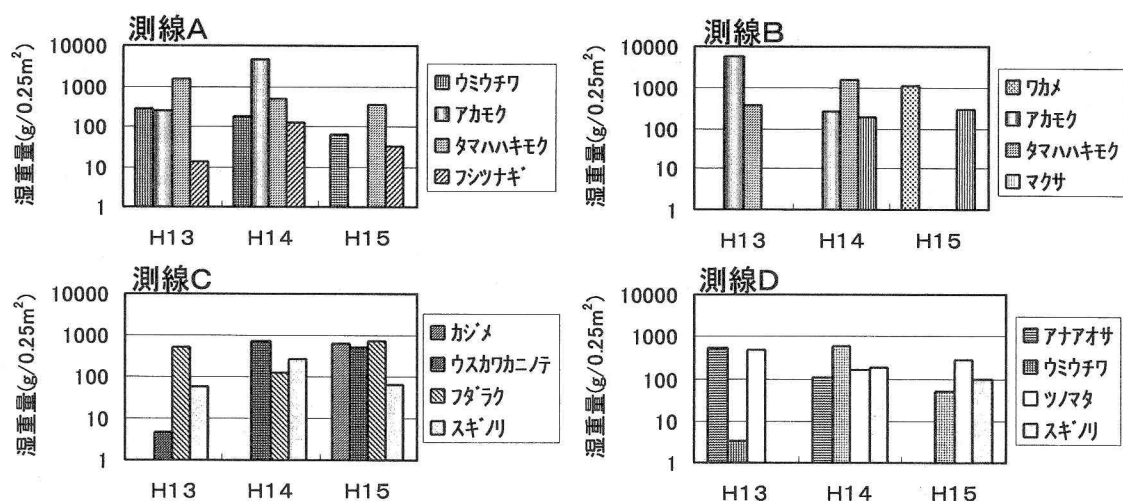


図-9 各測線に着生した優占種（上位4種）の湿重量(0.25m²当たり)の推移

生物群集の多様性を表す多様度指数は、一般に種数と種毎の個体数の関係から求めるので動物の多様性を表現する場合に使用される。海藻類では、個体数の代わりに現存量を用いて多様度指数を計算した事例²⁾もある。ここでは、海藻類の種数、現存量からシンプソンの単純度指数 λ を求め、 $1-\lambda$ を多様度指数とした(図-10)。これは0～1の値を取り、値が1に近いほど多様度が高いことを示す。事前調査時の多様度指数が低いのは、事前調査時に大型で重量の大きいアカモクが優占した極相群落が形成されていたことによる。測線A、Bは次第に多様度指数が高くなる傾向がある。特に、平成15年の測線Aの多様度指数が高いが、それまで多く見られていたアカモクが減少したので多様度指数が大きくなったと考えられる。測線C、Dは同様なパターンであり、多様度指数は平成14年でピークになり、平成15年はわずかに減少した。大型の褐藻類が繁茂する海域では多様度指数が減少する傾向にあり、測線Cにはカジメが入植し始めているので、今後、安定した藻場となり、極相状態へ向かっているものと考えられる。

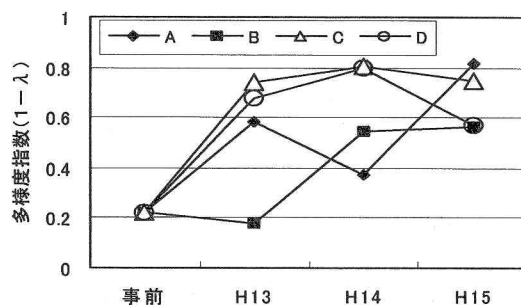


図-10 海藻類の湿重量による多様度指数の推移

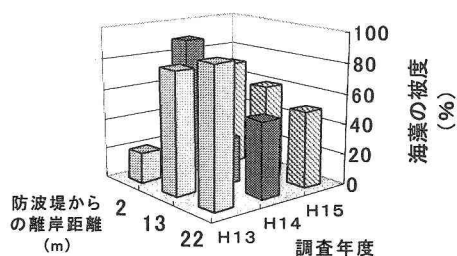


図-11 測線Cのブロック下における捨石上の海藻類の被度(%)の経年変化

(4) ブロック下の捨石上の海藻類

測線Cのブロックは、開口部を有し(図-5)、太陽光が捨石上に入射するので、ブロック下でも海藻類が着生できる³⁾。図-11は防波堤の消波工を起点として離岸距離2、13、22mの地点でのブロック直下における捨石上の被度の経年変化を示す。平成13年ではフクロノリ、アナアオサといった小型で短命な海藻が入植し、沖側の離岸距離22mでは被度90%となった。平成14年度はツノマタ、ユカリ、マクサのような紅藻類が優占して、離岸距離22mではわずかにカジメが入植し、被度は30～90%であった。平成15年は紅藻類に加えて褐藻類のカジメが観察され、特に離岸距離22の捨石上には被度階級3(被度41～60%)のカジメが観察された。ブロック下の捨石に海藻が分布することは、捨石に生息するアワ

ビ・サザエ等の藻食動物の餌料場としての機能に期待が持てる。

(5) 付着動物調査

各測線の中央付近の付着動物について、湿重量、種数、個体数を図-12～14に示す。全体的には平成13年から14年にかけては全測線で増大し、14年から15年にかけてはほぼ同程度か微増、微減である。ただし、測線Dの湿重量は大きく減少し、個体数は逆に増加した。これは平成14年では個体数が少なくても重量の大きなホヤ類が多かったことによる。

測線毎に比較すると、湿重量、個体数は測線D、種数は測線Aが大きい。測線Dではフジツボ類が重

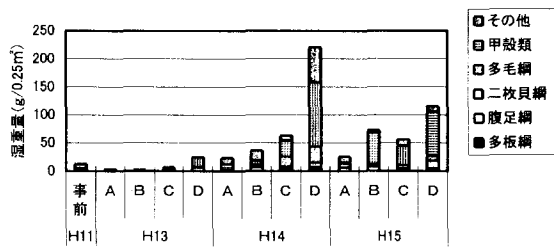


図-12 付着動物の湿重量(g/0.25 m²)の変化

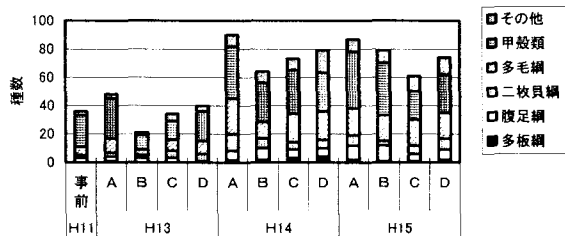


図-13 付着動物の種数の変化

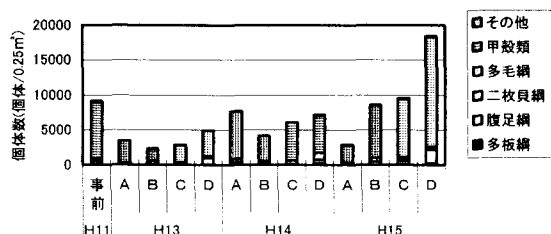


図-14 付着動物の個体数(/0.25 m²)の変化

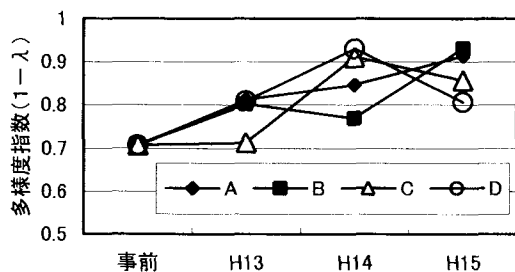


図-15 動物類の多様度指数 $1 - \lambda$ の推移

量全体の45%以上、個体数ではカマキリヨコエビ科、ワレカラ科で50%以上を占めている。平成15年の測線Aの種数は平成14年と同程度だが、個体数は平成14年よりも減少した。ホンダワラ類が減少したため葉上動物が減少したと考えられる。なお、平成15年には湿重量、種数、個体数とも事前調査の結果に比べ概ね大きい値となった。

各測線の付着動物の種数と個体数からシンプソ

ンの λ を計算し、多様度指数 $1 - \lambda$ の経年変化を図-15に示した。海藻類と同様に事前調査時の多様度が最も低い。事前調査時の海藻類の優占種であるホンダワラ類は葉上生物の良い生息場であり、カマキリヨコエビ、ワレカラ科が優占したので、多様度指数は小さくなったと考えられる。構造物の築造後、徐々に動物の湿重量、種数、個体数が増加しているが、測線C、Dの多様度指数は平成15年に減少した。これは、平成15年にカマキリヨコエビやワレカラ科が1,600~7,000個体/0.25 m²と優占して出現したためである。すなわち、ブロック上の付着動物は次第に事前調査時の結果に近づく傾向にあると推察される。

6. まとめ

施工から3年を経たが、海藻、動物とも遷移の途中相であり、今後、多年生の大型海藻が優占すると、安定した藻場が防波堤に形成されると推察される。

平成15年の調査では、以下のことが確認された。

- ①原因は不明だが、平成14年まで優占したホンダワラ類が減少した。また、天然藻場からの距離がある測線C、Dでは施工3年後でもホンダワラ類の加入が少ない。
- ②海藻や動物の種数は施工後3年で安定してきた。
- ③海藻類ではワカメやカジメの現存量が多くなってきたが、まだ遷移の途中相であると考えられる。
- ④測線Cのブロックでは、開口部より捨石に太陽光が入射し、平成15年では捨石上に被度階級3（被度41~60%）のカジメが見られた。
- ⑤付着動物は湿重量、種数、個体数ともほぼ事前調査の値以上となった。測線C、Dではワレカラ科やカマキリヨコエビが優占して多様度指数が減少した。

事前調査では当海域にガラモ場が形成されていたが、平成15年の調査ではホンダワラ類が減少し、ワカメ、カジメ等が増加してきた。現在、遷移の途中相と考えられるが、人的行為による新たな着生基盤が海生生物に変化をもたらした可能性も疑われる。しかしながら、年々、周辺の天然藻場の組成も大きく変化しているので、同一年による現状の天然藻場と施設上の藻場との対比を実施する必要がある。

参考文献

- 1) 宮内勇児・山本慎一：兵庫県丸山漁港における自然調和型漁港づくり，月刊建設，No. 6，pp15-17，2001。
- 2) 赤池章一・津田藤典・桑原久実：北海道岩内沿岸における天然コンブ群落の形成と維持，北水試研報，63，pp. 41-54，2002。
- 3) 齋藤正文・綿貫啓・錦織和紀郎：多様な生物環境を想像する新型人工リーフの安定性および水産効果に関する研究，海岸工学論文集，第48巻，pp. 946-950，2001。