

松材魚礁に関する研究-II 魚礁形状と蝸集状態の経年変化

肥後 伸夫*

Study on the Pine Reef - II Chronological Changes in Configuration and Fish Aggregation

Nobio HIGO*

Abstract

We studied chronological changes in the configuration of artificial reefs made from black pine (*Pinus thunbergii*) and loblolly pine (*Pinus taeda*), as well as fish aggregation surrounding the pine reefs. Black pine reefs were made from wood which had been damaged by pine bark beetles. Observations were made between Oct. 23, 1997 ~ Nov. 4, 1999 by scuba diving. Changes in the porosity of the wood were measured with an X-ray CT Scanner.

At the three Kagoshima sites, sea breams (*Evynnis japonica*, *Pagrus major*, *Acanthopagrus latus*) and sea basses (*Epinephelus chlorostigma*) were abundant, while at the two Amamioshima sites, some large fish (*Decapterus lajang*, *Seriola purpurascens*) and tropical fishes were noticed.

Ship-worm (*Teredo navalis japonica*) pores significantly reduce the life span of artificial pine reefs. Black pine reefs had 30% porosity after 1 year, while loblolly pine showed 27% porosity after 4 years. The life span was estimated at 6~7 years through changes in the porosity of the wood. Covering the cut-face of the wood with cement can reduce the effect of ship-worms.

Key words: artificial reef, pine reef, fish aggregation, porosity

緒 言

人工魚礁の利用は、昭和50年頃までは低調であったが、昭和53年から58年に至る間に急速な伸びを見せた。水産庁の調査によると、その間全操業場に対する人工魚礁への出漁割合は、15.3%から31.9%に、漁獲割合も14.3%から27.4%にと上昇している。昭和60年以降になると、操業場は優れた魚礁に集中するようになり、現在では、人工魚礁は沿岸漁業にとって不可欠な存在となっている。しかし最近、漁場環境の悪化と資源の減少により、人工魚礁周辺での漁獲効率が低下してきており、水産関係者を憂慮させている。これは資源減少という事態にも拘わらず、単一素材のみを用いた現在の人工魚礁漁場造成法にもその一因があるのではないかと思料され

* 5758-23, Hirakawa-cho, Kagoshima, 891-0133, Japan

る。鹿児島県沿岸では、天然素材の松材を使用した人工魚礁（以下、松材魚礁と称す）を平成6年度に出水市が、平成7年度に鹿児島県がそれぞれ設置し、実用化に向けた試験が開始された。¹⁾ 松材は、古くから枕木や木船の材料に使われる等、水に対する抵抗性の強い樹種であるが、木材である以上、そのまま海中に浸漬しておくと、フナクイムシ *Teredo navalis japonica* によって短期間に激しい食害を受ける。筆者は、松材魚礁の実用化に向けた問題点を探るため、設置から追跡調査を行っており、本報では、松材魚礁のフナクイムシ食害による形状変化と蛸集状態の経年変化について報告する。

材料と方法

ここでは人工魚礁の最小単位である単体を魚礁単体、魚礁単体を複数配置して魚

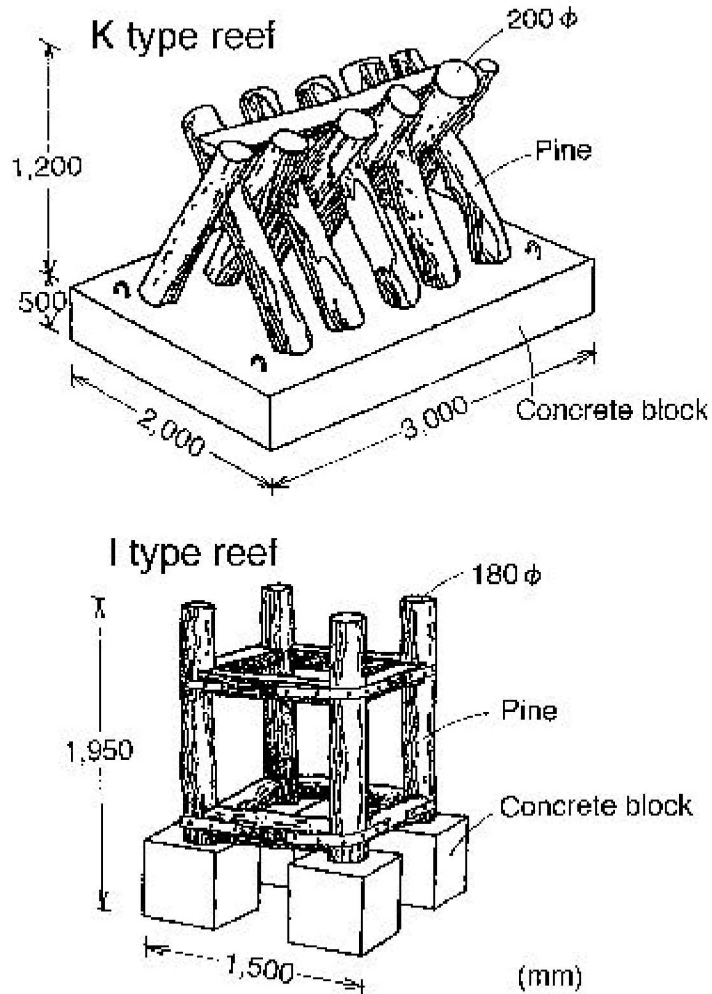


Fig. 1 Structure of pine reefs.

礁間の相乗効果を図ったものを魚礁群と呼ぶ。²⁾ 調査対象とした二種類の松材魚礁単体の構造を、Fig.1に示す。平成6年に出水市が同市沖に設置した出水市型魚礁単体（I型）は、直径約180mmのテーダマツ *Pinus taeda* 丸太4本を垂直に立て、下部をコンクリート方塊に埋め込み、上部横材の半割丸太、下部横材の丸太を金属金具を用いて組んだ立方体構造で、上方に長さ40cmの4本の角を持つ。なおこの単体は高さの異なる二つの型がある。平成7年に鹿児島県が指宿市沖に設置した鹿児島県型魚礁単体（K型）は、長さ200cm、直径200mmのクロマツ *Pinus thunbergi* のまつくいむし被害材丸太10本を切り妻型に組み合わせ、棟の部分に半割丸太を配置した構造で、下部はコンクリート方塊に埋め込まれている。設置場所は、Fig.2に示すようにK型が指宿市指宿漁港沖（ K_i 礁）、串木野市島平沖（ K_k 礁）、奄美大島瀬戸内町諸鈍湾内（ K_s 礁）および同町渡連沖（ K_D 礁）、I型が出水市黒ノ瀬戸東口沖（ I_i 礁）の計5ヶ所である。設置に関する諸条件および潜水調査日をTable 1に示す。魚礁群の平面設置形状は三型あり、 K_i 礁、 K_s 礁はK型魚礁単体を底建網状のP字型に配置したもの、 I_i 礁はI型魚礁単体を一山型に密集させて配置したもので、 K_k 礁、 K_D 礁はK型魚礁単体を二山型に密集させて配置したものである。なお魚礁群の大きさは、単体構造物の外接面によって囲まれた体積（空 m^3 ）の総和で示す。

設置された松材魚礁の形状変化と魚群の蛸集状況の経年変化の調査は、スキューバ潜水による目視観察によって行った。

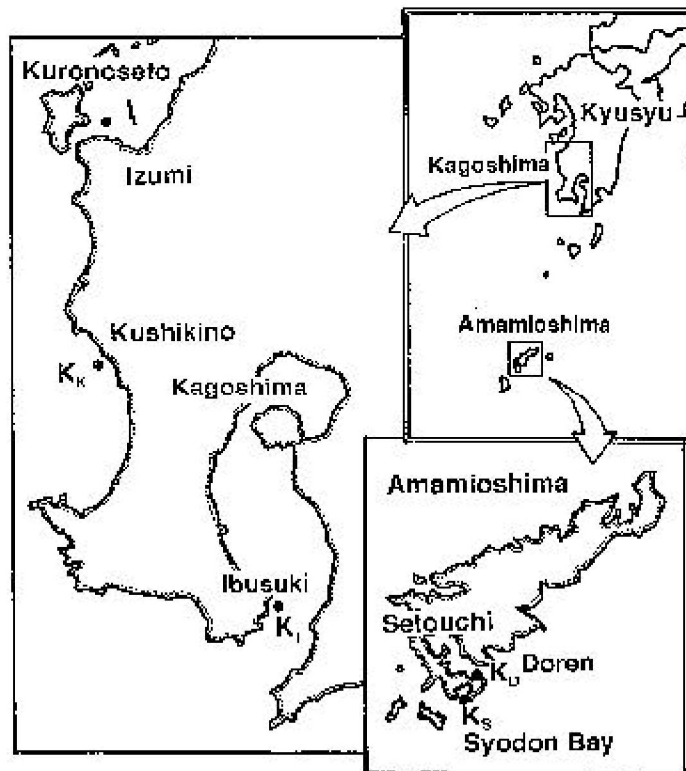


Fig. 2 Map of the experimental sites.

Table 1. Pine reefs and observation dates

Station	K _I	I _I	K _R	K _S	K _D
Location	Ibusuki City Off Ibusuki Fishing Port	Izumi City Kuronoseto	Kushikino City Shimabira	Setouchi Town Shodon Bay	Setouchi Town Doren
Dates of set	Dec. 21, 1995	Sep. 27, 1994~ Mar. 27, 1997	Feb. 27, 1997	Jan. 21, 1998	Feb. 8, 1999
Depth (m)	29	27	17	32	32
Type	K	I	K	K	K
Number of nauts	37	27	69	50	32
Total capacity (m ³)	291	92	542	393	252
Observation dates	Mar. 5, 1996* Mar. 23, 1996* Nov. 1, 1996* Oct. 23, 1997 Mar. 6, 1998 Oct. 30, 1998 Mar. 1, 1999 Oct. 19, 1999 (1,408)	Mar. 23, 1995* Apr. 5, 1996* Nov. 20, 1996* May. 1, 1997 Oct. 22, 1997 Oct. 14, 1998 Nov. 4, 1999 (1,864)	Nov. 10, 1997 (256)	Sep. 1, 1998 (223)	Oct. 27, 1999 (261)

N.Higo (1997)

() Total elapsed period (dates)

Table 2. Test pieces examined with X-ray CT Scanner

Test piece	Black pine	Loblolly pine	Loblolly pine	Loblolly pine
Quality	Damaged by pine bark beetle	fine	fine	fine (covered cut-faces)
Habitat	Tsujigatake, Yamagawa Twon	Tsubakibaru, Izumi City	Tsubakibaru, Izumi City	Tsubakibaru, Izumi City
Period of drying (days)	39	1	1	1
Number of unit	10	1	1	1
Diameter×Length (mm)	200×650	190×340	150×400	140×400
Location	K _I	Izumi Fishing Port	Izumi Fishing Port	Izumi Fishing Port
Date of set	Dec. 21, 1995	Apr. 19, 1993	Sep. 3, 1997	Sep. 3, 1997
Soak method	Fixed on pine reef	Hung by rope	Hung by rope	Hung by rope
Observation dates (Elapsed days)	Nov. 4, 1996(314) Mar. 9, 1998(809) Mar. 2, 1999(1,167)	Fed. 6, 1997(1,389)	Mar. 9, 1998(187) Mar. 2, 1999(545)	Mar. 9, 1998(187) Mar. 2, 1999(545)

海中における松材のフナクイムシによる食害の影響を調査するため、まつくいむし被害材とテーダマツそれぞれの海中浸漬実験も行った。供試材の初期条件および観察日を Table 2 に示す。まつくいむし被害供試材は、長さ650mm、直径200mmの丸太で、K_I 礁設置時に鉄製かすがいで魚礁単体本体に固定した。テーダマツ供試材は、長さ340~400mm、直径140~190mmの丸太で、出水市名護漁港の岸壁から

海中に索で垂下した。海中浸漬実験は二回行い、一回目の実験は、まつくいむし被害供試材とテーダマツ供試材の材質の違いによる食害の進捗の違いを観察することを目的とした。二回目の実験では、テーダマツ供試材を用いて食害の進行抑止を目的に、両木口を水中ボンドで被覆した供試材と被覆しない供試材との比較実験を行った。

回収された供試材は、フナクイムシ食害の進捗状況を鹿児島県工業技術センターに依頼して X 線断層装置 (SCT-4500T, 島津製作所) による観察 (以下, CT 観察と称す) を行った。食害の進捗状況は, CT 観察によって得られた断面構造写真より, 供試材中央横断面積に対する空隙面積の割合を求め, 空隙率として示した。また食害による供試材表面の脆化については, 浸漬前供試材の中央縦断面積に対する残存材部の最大中央縦断面積の割合を求め, 残存率として示した。

結 果

魚礁単体形状の経年変化 K_I 礁は, 設置後 1 年 10 ヶ月の調査では樹皮は固く, 木口部も角張っており, 毀損や材質の脆化は見られなかった。しかし設置後 2 年 10 ヶ月では, 半数の単体の木口がフナクイムシによる食害のため尖ったり, あるいは丸みを帯びた円錐体状に変化していた。漁具の羅網およびその痕が魚礁群内 8 カ所で確認され, 羅網痕がある単体は半壊状態となっていた。設置後 3 年 10 ヶ月では, 樹皮の剥落や刺網の残存が更に多くなり, 1/4 の単体は大破もしくは消滅に近いが, 残り 3/4 の単体は崩壊しつつあるものの存在していた。

I_I 礁は, 設置後 2 年 7 ヶ月の調査では魚礁単体の外観には変化なく安定した状態であった。設置後 3 年では, 漁具の羅網により 2 単体が破損, 1 単体が約 5 m 移動していたが, その他の単体は毀損や材質の脆化は見られず, 樹皮の剥落もなかった。設置後 5 年では, ほとんどの単体は一部に毀損は見られるものの存在し, 上部横材の半割丸太も痩せてはいるが残っていた。松材とコンクリートブロックの結合部および金具による松材同士の結合部は, 松材の脆化は見られるものの緊結状態はいずれも堅固であった。

フナクイムシによる食害の経年変化 第一回目の海中浸漬実験において, まつくいむし被害供試材は, 浸漬日数 314 日では樹皮の剥落など外観に変化は見られなかったが, CT 観察の結果では内部にフナクイムシによる穴が多数確認された。この時期の食害は, 固い材質の節や年輪の晩材部を避け, 木口から繊維に沿って材質の柔らかい早材部に侵入しており, 樹皮側から丸太の内部への横方向の侵入はほとんどなかった。浸漬日数 809 日では, 木口部の脆化が激しくなり, 最初に食害したフナクイムシは材中心部まで食い込み, 内部で穴径もかなり大きくなっていった。浸漬日数 1,167 日では, 両木口とも円錐体状に尖り, 食害は木材全体に及んでいた。一方テーダマツ供試材も, 浸漬日数 1,389 日では樹皮は固く木部に付着し, 外観には大きな変化は見られなかったが, CT 観察では内部にフナクイムシの食害による直径 3~7 mm の丸い穴が多く確認された。これよりフナクイムシの食害は, 主として木口から始まり, 樹皮で覆われた周囲部分からの侵入が少ないことがわかった。また海底に接して樹皮の表面が土砂で覆われていた約 1/3 周長の内部には, 食害による

穴は見られなかったことから、材を海水から遮断することにより、食害の進行を押し止めることができることがわかった。

次にフナクイムシ侵入口となる木口を被覆した供試材と被覆していない供試材の食害の進捗度を比較した第二回目の海中浸漬実験において、浸漬日数187日では、被覆していない供試材の木口および樹皮近くには食害による穴が数カ所認められ、その深さは95~120mmに達し、深くなるにつれて穴径が大きくなるのが認められたが、被覆供試材の木口には食害は認められなかった。浸漬日数545日では、両供試材ともサンカクフジツボ *Balanus trigonus* が付着した樹皮は堅く剥落も見られなかったが、木口を被覆していない供試材では食害がさらに進行していた。

フナクイムシによる食害の進捗状況を比較するため、CT観察より得たまつくいむし被害供試材、テーダマツ供試材、および木口被覆テーダマツ供試材の三種類の供試材の空隙率の経年変化を Fig.3 に示す。フナクイムシによる食害を空隙率で比較すると、まつくいむし被害供試材は浸漬後急速に進行し、1年間で約30%に達した後、横ばいとなった。テーダマツ供試材はまつくいむし被害材に比べ食害の進行が鈍く、浸漬後3年半で28%に達したが、その後は横ばいとなり、半年後も同様の値を示した。木口を被覆したテーダマツ供試材はさらに食害の進行は鈍く、浸漬3年半では被覆しないテーダマツ供試材の半分にしかなかった。これより木口を被覆することによって、フナクイムシの侵入をある程度制限できることがわかった。

同じく三種類の供試材の脆化の経年変化を Fig.4 に示す。脆化の割合を示す残存率は、まつくいむし被害供試材では浸漬後3年で80%となり、その後急激に低下して4年10ヶ月で消滅した。これは浸漬後3年間で急速に食害が進み、それが落ち着いたところで換わって流れなどの外力の影響を強く受ける木口から崩落が始まり、脆化が顕著に進捗するためである。一方テーダマツの場合、浸漬後3~4年では残

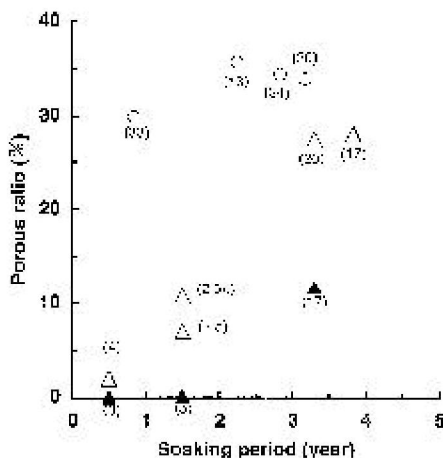


Fig. 3 Change in porous ratio for test pieces caused by ship-worm (*Teredo navalis japonica*).

- : Black pine (damaged by beetles)
- △ : Loblolly pine
- ▲ : Loblolly pine with covered cut-faces
- () : Length from cut-face (cm)

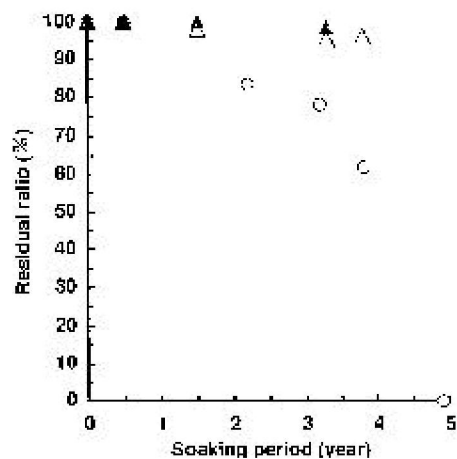


Fig. 4 Change in residual ratio for test pieces.

- : Black pine
- △ : Loblolly pine
- ▲ : Loblolly pine with covered cut-faces

Table 3. Fish aggregation observed on pine reefs

Reefs	K _I					K _R	K _S	K _D	I _I			
	Oct.	Mar.	Oct.	Mar.	Oct.				Nov.	Sep.	Oct.	May.
Observation date	Oct. 23 1997	Mar. 6 1998	Oct. 30 1998	Mar. 1 1999	Oct. 19 1999	Nov. 10 1997	Sep. 1 1998	Oct. 27 1999	May. 1 1997	Oct. 22 1997	Oct. 14 1998	Nov. 4 1998
Soaking period (years)	1.8	2.2	2.9	3.2	3.9	0.7	0.6	0.7	2.6	3	4	5.1
Family jacks and pompanos	◎		○			⊙	○	○		◎	○	
herrings			◎				○					
sea breams	◎	◎	◎			◎				◎	◎	◎
sea basses	○	⊙	⊙	⊙	○	⊙	⊙	⊙		⊙	⊙	
kinfejaws						◎						
bastard halibuts										⊙		⊙
grunts								○			⊙	
snappers						⊙	○					
surgeonfishes						◎						
tigerperches										⊙		
scorpionfishes					⊙	⊙	⊙	⊙	○	⊙		⊙
parrotfishes							⊙					
cardinalfishes							⊙		⊙	◎		◎
filefishes			○	⊙			⊙		⊙	⊙	⊙	
spadefishes								⊙				
wrasses	⊙	⊙	⊙		⊙		○	⊙		⊙		⊙
moorish idols	⊙		○			⊙	○	⊙		⊙	⊙	
halfmoons	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	◎					⊙	
sandperches			○	⊙	⊙		○					
damsel fishes							○	⊙				
butterfly fishes									⊙	⊙	⊙	
angelfishes							⊙			⊙	⊙	
goatfishes	⊙				○							
lizardfishes			⊙									
boxfishes								⊙				
moray eels					⊙							
stingrays		⊙										
unknown	⊙			◎	⊙							
octpuses		⊙										
swimming crabs											⊙	
spiny lobsters					⊙							

Circles show fish school sizes (⊙, small ; ○, medium ; ◎, large).

存率は95~96%と高く、まつくいむし被害供試材より脆化の程度は穏やかであった。また木口を被覆した場合は、食害が酷くないため、高い残存率がさらに長く続いた。

蛸集状況の経年変化 K_I礁、K_K礁、K_S礁、K_D礁、I_I礁において平成9~11年度の調査で観察された魚種を、Table 3に示す。K_I礁、K_K礁、I_I礁の魚礁で最も多く観察された魚種は、大・中型魚ではチダイ *Euymis japonica*、ホウセキハタ *Epinephelus chlorostigma*、イラ *Choerodon azurio*、小型魚ではカゴカキダイ *Microcanthus strigatus* の他、ひめじ類、べら類であった。蛸集量の多い魚種を魚礁別にあげると、K_I礁ではチダイ、ホウセキハタ、キビナゴ *Spratelloides japonicus*、K_K礁ではチダイ、イシダイ *Oplegnathus fasciatus*、ニザダイ *Prionurus microlepidotus*、I_I礁ではマアジ *Trachurus japonicus*、チダイ、ネンブツダイ *Apogon semilineatus*、キチヌ *Acanthopagrus latus*、メバル *Sebastes inermis* であった。このうち K_I礁のチダイ、キビナゴと I_I礁のキチヌは、密群を形成していた。K_I礁では、設置当初のたい類を中心とする蛸集状態¹⁾から、最近では岩礁性のはた類や小型魚に移行する兆候を見せ始めている。また一時漁具による被害を受けたがその後釣漁場として管理されてきた I_I礁は、5年を経過した現在でも好漁場として利用されている。

設置後7~9ヶ月の K_S礁と K_D礁には、いずれも礁上にムロ *Decapterus lajang* が蛸集し、K_S礁にはシマアジ *Caranx delicatissimus*、コモンハタ *Epinephelus epistictus*、ヨコスジフエダイ *Lutjanus kasmira*、カサゴ *Sebastiscus marmoratus* 等の若年魚やアマミスズメダイ *Chromis chrysurus* 等の熱帯性魚類が、K_D礁にはコロダイ *Plectorhynchus pictus*、シロクラベラ *Choerodon shoeneleii*、ミナミハタ *Gracila polleni* 等の大型魚が多く蛸集していた。このように新たに設置された K_S礁と K_D礁も、K_I礁及び I_I礁の設置当初¹⁾とほぼ同等の蛸集状態を示していた。

考 察

コンクリートブロック魚礁は、造形が容易で高耐久性のため、1930年代より人工魚礁の主流となり、³⁾ これまで多くの実績を挙げている。^{4,6)} しかし近年の人工魚礁の漁獲効率が低下しており、今後は対象魚種に焦点を合わせた特徴ある人工魚礁造り³⁾が必要となる。木材魚礁がタイ類の集魚に優れていると言う記録は、約200年前の築磯の記録にも残っている。⁷⁾ 松材魚礁の魅力は、従来のコンクリートブロック魚礁に比し、蛸集の魚種数が多く、特にチダイ、マダイ、キチヌ等のたい類の蛸集能力が優れていることである。¹⁾ 吉永⁸⁾によると、K_I礁から引き上げた供試材の付着生物で最も多いものは、二枚貝類では木部を食害するフナクイムシ、甲殻類ではサンカクフジツボ、多毛類ではツルヒゲゴカイ *Platynereis bicanaliculata* であり、それらの最多出現部位は樹皮に接した早材部としている。このように松材魚礁とコンクリートブロック魚礁の蛸集魚種が異なる最大の要因は、松材魚礁表面にできる材自体の凹凸部やフナクイムシによる食害痕に多くの匍匐性動物が付着棲息し、蛸集魚にとって格好の摂餌場所となっているためと推察される。また K_I礁では、イカ類が産卵期に来遊することも確認されており、¹⁾ 天然素材を用いた魚礁の有効性を示すものでもある。

佐藤⁹⁾は、人工魚礁材料に必要な条件をとして (1) 生物に有害な物質を長期に

わたって溶出し続けないこと、(2) 入手が容易で大量に供給できるもの、(3) 品質、規格が一定範囲内にあるもの、(4) 長年月後に自然に戻るもの、(5) 構造物にした場合、耐久性があること、(6) 造形が容易で製作・加工・組み立て・運搬・投入費を含めて全体の経費が安価なものの6つを挙げている。これらの条件を天然素材である松材を魚礁材とする場合に当てはめると、(1)~(4)の条件は充されているが、(5)、(6)の条件については今後十分検討しなければならない。

結果より(5)、(6)の条件についてみると、木材魚礁の耐久性向上には、浸漬実験より、木質部が硬く、樹液および樹脂等を多く含んだ健材を使用することが望ましいことがわかった。フナクイムシによる食害の急激な進行は、設置直後の木口への食害によって木口面積が拡大し、木材に取り付くフナクイムシの数が増加することが原因でもある。古くは木材は栈橋等の支柱等に使われてきたが、これらも樹皮を付けた状態で設置した方が、フナクイムシの食害をある程度防ぐことができた。¹⁰⁾ よって食害防止には、樹皮を残したままとし、フナクイムシの主な侵入口である木口を被覆して食害の進行を低く抑えることが大切である。森¹¹⁾によればフナクイムシによる食害は、材の傾斜角度が小さい程大きいことから、魚礁単体の構造を垂直もしくは傾斜を持つ柱を主体とした立体構造とするのも一考である。ただし、設置初期の蛸集にはある程度の食害も必要であるため、強度上問題のない部材には水平材を使用して設置後から積極的にフナクイムシを侵入させ、構造上強度が必要である部材には、木口等を被覆して徐々にフナクイムシを侵入させて付着生物をより長時間付着させることにより、蛸集のより長期的な維持を計るように設置することが望ましい。また水深360mの海底に沈む戦艦大和の木甲板が54年以上も存在していることから、¹²⁾ フナクイムシによる食害や台風や季節風等による波浪の影響を受けない深所に設置することも松材魚礁の有効な応用法の一つと考える。さらに松材魚礁単体の構造が保持されれば、魚礁群としての蛸集能力の持続が可能であることから、単体構造や材質による耐久性向上以外にも、漁具を釣や曳縄のみに規制したり、底延縄および刺網を松材魚礁をまたがるように設置しないよう漁業者に周知させるなど、漁場管理を徹底することも耐用年数の延長には効果がある。なお K_I 礁および I_I 礁の耐用年数を推定すると、平成12年10月及び12月の調査^{13、14)}において、3~4基の残存する単体を両礁で確認出来たことから、これまでの経過年数にそれぞれ1年を加算して、 K_I 礁が約6年、 I_I 礁が約7年という数字になる。

しかし松材魚礁単体は、その強度改善や漁場管理を行っても天然素材であることから耐用年数には限度がある。 K_I 礁では、魚礁単体の崩壊が一段と進捗した結果、最近ではこれまで魚礁周辺域で形成されてきた集魚形態が、たい類を中心としたものから岩礁性のはた類や小型魚に移行する兆候を見せ始めた。これは魚礁の食害による形状変化とそれに伴う付着生物の生息環境の変化による餌生物の多様化により、蛸集魚種が交替されつつあることを示している。埋没が極度に進捗した高さ50cm以下のコンクリートブロック魚礁でも、多くの魚種を蛸集させていることから、^{15、16)} 耐久性の低い松材魚礁でも、崩壊後も残されたコンクリート方塊が新たな魚礁となるようあらかじめ設計して設置しておけばよい。例えば、今後の技術改良により松材魚礁単体の耐用年数を10年と仮定するならば、設置10年後に重ねて再投入することによって20年間継続した利用が可能である。またその場合、松材消滅後は残ったコンクリートブロック群が全高約1mの二段積み平板型コンクリートブ

ロック魚礁として新たに機能を発揮することになる。さらに松材魚礁単体の保護と魚礁群の継続的利用を計るためには、マダイ専用の魚礁¹⁷⁾に見られるような松材魚礁と高耐久性のコンクリートブロック魚礁等を組み合わせた複合型魚礁として設置することも検討に値する。

一方、耐久性向上と共に問題となるのが製作設置費の削減である。金具による大型木材緊結法を早期に確立して製作費の削減を計ると共に、内部空間の大きな大型単体の製作および設置法を早期に確立することが望まれる。

松材魚礁は、松材の劣化を考慮に入れた設置計画を立て、適切な管理により蝟集能力が高いという利点を持続させながら、緩やかにその役割を変化させるという魚礁として設置されることを提案する。また併せて木材を用いた人工魚礁造成には、漁業者に積極的漁場管理の必要性をも提唱するものである。

謝 辞

本研究は鹿児島県、出水市および瀬戸内漁業協同組合より調査の委託を受け、また関係各漁業協同組合の協力を得て実施したものである。なお松材供試材の X 線 CT 観察は鹿児島県工業技術センター木材工業部遠矢良太郎部長および日高富男主任研究員に、供試材の浸漬実験は出水市農林水産課水産係および瀬戸内町商水観光課水産係の各位に、さらに魚礁の潜水観察、底土資料の採取、供試材の回収は深海サルベージ株式会社の吐師弘社長にお願いした。共に厚くお礼申し上げる次第である。

文 献

- 1) 肥後伸夫 1997. 松材魚礁に関する研究-I. 初期の集魚効果について. 南太平洋研究, 18 (1): 1-15.
- 2) 全国沿岸漁業振興開発協会 1986. 沿岸漁場整備開発事業人工魚礁漁場造成計画指針: 7.
- 3) 佐藤 修 1987. 人工魚礁構造物の歴史と問題点. 月刊海洋科学, 19 (3), 海洋出版株式会社: 132-136.
- 4) 肥後伸夫 1980. 潜水観察による人工魚礁の実態について-VII. 枕崎市沖合海域の場合. 鹿児島大学水産学部紀要, 29: 51-63.
- 5) 肥後伸夫 1983. 潜水観察による人工魚礁の実態について-XI. 薩摩半島吹上浜沖合海域の場合. 鹿児島大学水産学部紀要, 32: 211-223.
- 6) 肥後伸夫 1984. 潜水観察による人工魚礁の実態について-XIII. 坊津町沖合海域の場合. 鹿児島大学水産学部紀要, 33 (1): 135-139.
- 7) 農商務省水産局編 1983. 日本水産捕採誌 (復刻版). 岩崎美術社, 東京: pp 224-227.
- 8) 吉永圭輔 1999. 松材魚礁の付着生物. 鹿児島大学水産学部紀要, 48: 7-10.
- 9) 佐藤 修 1977. 人工礁に関する諸問題. 沿岸海洋研究ノート, 14: 88-100.

- 10) B.J.King 1989. Protection of piling against marine organisms by means other than preservatives. Bull.AM.Railw.Eng.Assoc.90 (721) : 210-221.
- 11) 森 主一 1958. 水中における木板の傾斜度と木船害虫の加害度の関係. 木船木材蝕害とその防除(岡田要編). 日本学術振興会, 東京 : pp78-80.
- 12) テレビ朝日出版部編 1999. 戦艦大和一海底探査全記録— テレビ朝日事業局出版部, 東京 : p152.
- 13) 肥後伸夫 2001. 指宿地区松くい虫被害材の潜水調査報告書 鹿児島県 : 2-5.
- 14) 肥後伸夫 2001. 木材魚礁の潜水調査報告書. 出水市 : 2-4.
- 15) 肥後伸夫 1986. 潜水観察による人工魚礁の実態について-XIV. 薩摩半島江口浦沖合海域の場合. 鹿児島大学水産学部紀要, 35 (1) : 53-67.
- 16) Nobio Higo, David Plotner 1990. On the Fish Gathering Effect of the Artificial Reefs Ascertained by the Diving Observation-XIX. At the reefs offshore of Tanegashima, Kagoshima Prefecture, South Pacific Study, 10 (2) : 241-251.
- 17) 肥後伸夫 1979. 潜水観察による人工魚礁の実態について-III. 鹿児島市谷山沖合海域の場合. 鹿児島大学水産学部紀要, 28 : 92-97.