

# ヒメジャコ養殖基盤の開発 (沿岸漁場整備開発調査事業)

久保弘文・横山智光\*・久貝幸作\*・高吉正信\*・岩井憲司

## 1. 目的

ヒメジャコはシャコガイ類の中では特徴的に穿孔性の生態を有し、これまで、その養殖に当たっては、サンゴ礁岩盤への埋め込み作業を伴う地捲き式養殖が主体となってきた。しかしながら、その基盤としてのサンゴ礁岩盤は数限り有り、また私有物にも出来ないため、占有に関わるトラブルも漁業者間で発生している。しかも養殖でありながら天然貝と識別できないという理由から、天然貝同様に漁業調整規則の採捕サイズ制限と禁漁期が適用される。これは需要側のニーズが最も高い観光シーズンと禁漁期（6～8月）が重なること、また高値の望める寿司ネタ最適サイズ（殻長6～7cm）が制限サイズ（8cm以上）なので漁獲出来ないこと等、販売上の大きな障壁となっている。そこで生産者が漁協など公の監視下で適切な在庫管理ができ、養殖貝であることを証明できる区画養殖手法が望まれている。本研究はそうした課題を克服する手法の一つとしてサンゴ礁岩盤に代わる人工養殖基盤を用いた養殖技術の開発を目的とする。

本研究に際し、タカセガイ育成礁を用いた試験では農林水産部漁港漁場課からご理解とご支援を、基盤設置やヒメジャコ定着の諸作業では恩納村漁協貝類生産部会の協力を頂いた。記して謝意を表す。

## 2. 方法

ヒメジャコ人工基盤の開発にあたって以下の3項目について試験を行った。

### (1). 天然ヒメジャコの穿孔に関する予察的観察

天然貝のサンゴ礁石灰岩への穿孔状態を観察し、穿孔部位表面の微細構造を走査型電子顕微鏡SEMで観察した。またハマサンゴはヒメジャコの最も好適な穿孔基質と考えられるが、その内部の微細構造の観察と模倣は理想的な人工基盤の作製のヒントになると考え、内部微細構造をSEMで観察した。

### (2). 非セメント系固化剤を用いた人工基盤による養殖試験

試験用養殖基盤は厚さ4cm、大きさ50cmの角正方形で、2003年10月～2005年9月の間、計3回にわたって、沖縄セメント中城工場またはミヤコン宮古島工場で流し込み法により製作した。基盤上部にはヒメジャコの稚貝を植え付ける長方形の埋め込み穴を5cm角正方形に仕切られた区画の中央に等間隔に配列した。埋め込み穴は長さ15mm幅8mm深さ10mmで養殖基盤の対角線と平行に約45度斜めに配置した(図1)。養殖基盤の固化剤は酸によって溶解できないシリカ分（珪酸カルシウム）の少ない非セメント系固化剤を用いた。上記基盤にヒメジャコ種苗（平均殻長約10～12mm）を埋め込み、陸上水槽で約1週間定着させた後、川平保護水面のリーフ内に沖出し設置した。設置は地盤高約+5cmのハマサンゴ上にステンオールアンカー（Φ11mm）を埋め込み、基盤中央の固定穴を通して、32mm角ワッシャーを18mmボルトナットで挟んで固定した。なお、本基盤の骨材はトラバーチン礫や白砂等の天然素材だけでなく、天然漁場への環境負荷および製作経費を軽減するた

\*1：寄神建設株式会社

\*2：沖縄セメント株式会社

\*3：株式会社 ミヤコン

めに、海生産業廃棄物等のリサイクル骨材を用いた。また、流し込み法の場合、起泡剤を用いて、約10%の空気連行をし、サンゴに似た蜂窩状構造の再現を目指した。あわせて基盤の耐久性を固化剤と骨材の

配合比率で検討した。なお切り出したハマサンゴ岩盤を用いて、天然サンゴの埋め込み時の生残成長を指標にするためコントロール試験区を設けた。

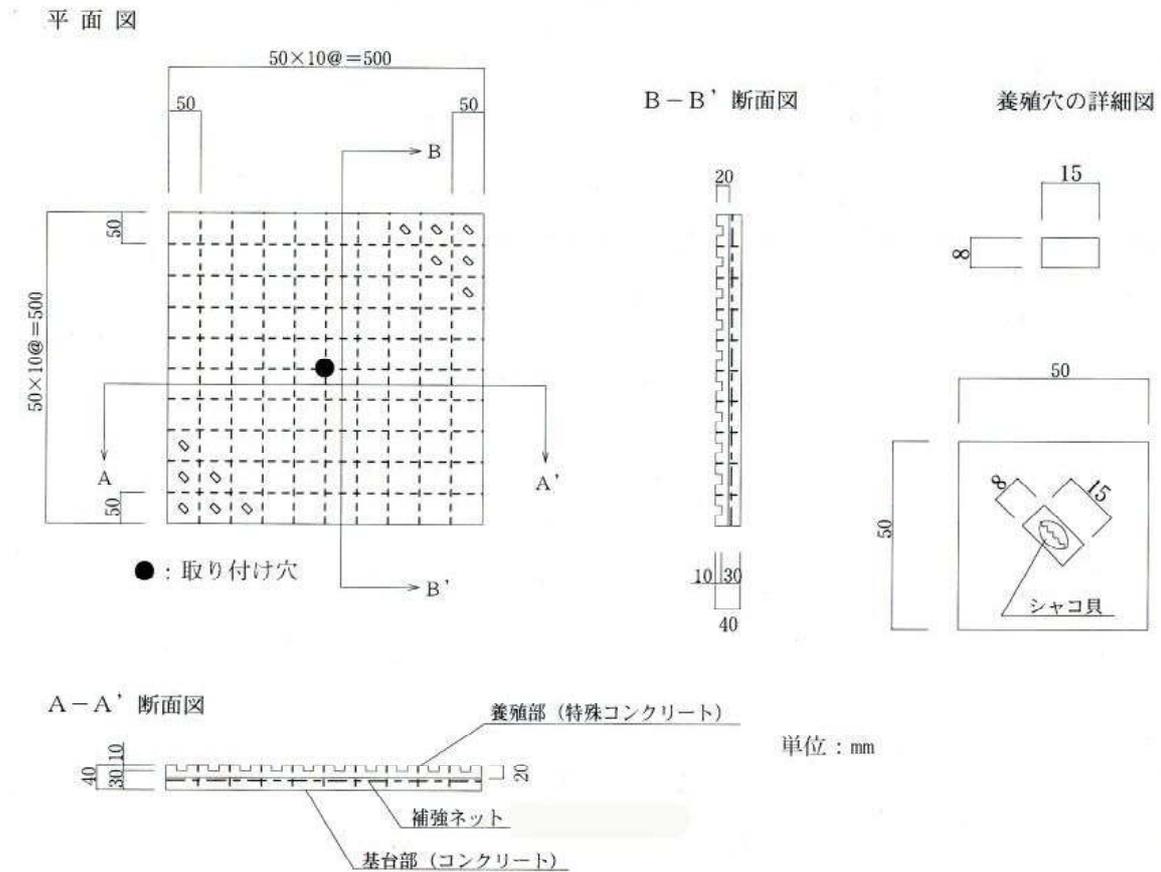


図1. ヒメジャコ養殖基盤の基本設計図

### (3). 養殖基盤の食害防除と好適骨材選定試験

天然サンゴへの地撒き養殖では魚類や甲殻類による食害例が報告されている（沖縄県水産業改良普及所, 1988）。人工基盤においても、(2)の養殖試験において、設置後、一定の期間を経過した時点で、軟質な基盤を中心に集中的な食害を被った。こうした食害を回避するための手法として、基盤上面への鋼製格子やネトロンネット等を用いた防除法を検討した。鋼製格子は10cm, 4cm, 3cmの亜鉛ドブ漬けの方形メッシュ、ネトロンネットはΦ3cmの円形メッシュを用いた。試験区は10cm2区、4cm2区、3cm3区、ネトロン1区の計10区とした。メッシュ位置は養殖基盤上面より約5cmの高さに水平になるよう弁当箱形の鋼製枠を用いて固定した（図2）また(2)の試験を参考に、優れた骨材をより絞り込むための追加的な養殖試験を行った。



図2. 食害防除試験に用いた弁当箱型食害防止枠

### (4). タカセガイ育成礁を活用した養殖基盤試験

県内には沖縄島および先島の4地区に計250基のタ

カセガイ育成礁がある。育成礁はコンクリート製の柵形構造物で、干潮時にはその柵の内面に海水がたまり、人工潮だまり（タイドプール）となる。そのタイドプール底面に約4㎡のコンクリート平面があり、50cm角の養殖基盤を16枚設置できる。試験は2005年3月以降に5回にわたって、育成礁5升に計104枚の養殖基盤を設置した。固定は水中ドリルを使用して穴を開け、オールアンカーを等間隔に打ち込み、ボルトナット留めができるようにした。調査は約3～4ヶ月毎に全個体の生残個体数および1枚あたり約20個体のサイズ測定を行った。

### 3. 結果と考察

#### (1). 天然ヒメジャコの穿孔に関する予察的観察

ヒメジャコのサンゴへの穿孔痕は殻がはまりこんでサンゴと直に接している部分と殻は接していないが外側の外套膜が伸展してサンゴに触れている部分の2つに分別できた（図3）。

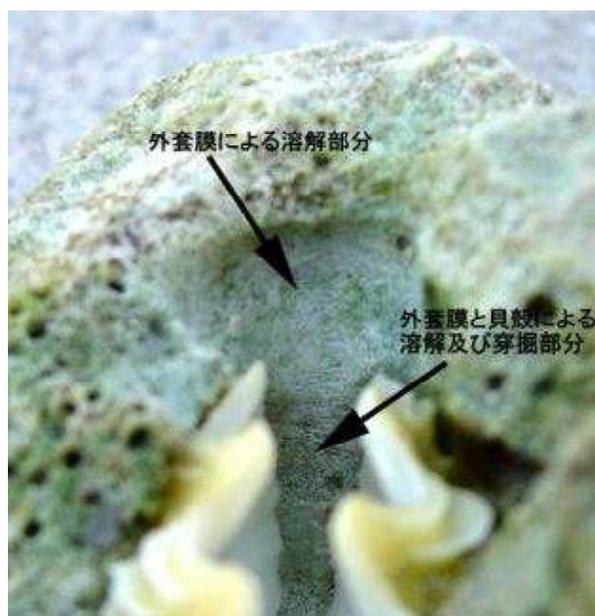


図3. 天然ヒメジャコの穿孔痕

この両部分の表面の微細構造を走査型電子顕微鏡SEMで観察した。殻のはまりこんでいる部分では、サンゴ上に細かい筋状の形態が観察され、殻の摩擦による物理的研磨による痕と推測された（図4A）。一方、外套膜のみが伸展し、接している部位は酸によって溶解した結果と考えられる表面がただれた形態が観察された（図4B）。ヒメジャコの穿孔機構は既に外套膜等から発生する酸による化学的溶解と殻自体の擦りによる物理的研磨作用が推測されてお

り（Hamner and Jones, 1976），本観察結果はその考えを支持する結果であった。ハマサンゴ内部の微細構造は均質な隔壁と綿密な蜂窩状構造を有しており、ヒメジャコの物理的穿孔上に有利な構造であることが判った。

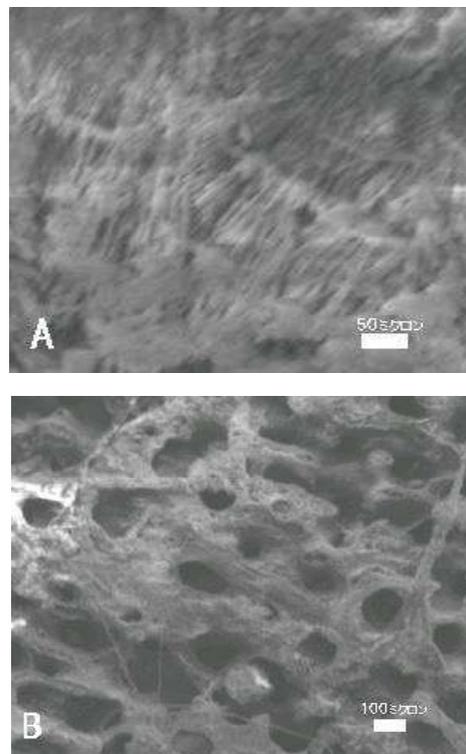


図4. SEMでみたヒメジャコ穿孔痕の微細構造  
A: 貝殻に削られたと推測された部位, B: 外套膜の分泌する酸で溶解されたと推測された部位

#### (2) 非セメント系固化剤とリサイクル骨材を用いた養殖基盤による養殖試験

非セメント系固化剤として焼成マグネシアを主成分とするマグホワイトコンクリートⅢ型（東武化学株式会社製，以下マグホワイトとする）とカルシウムアルミネート（ $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ）を主成分とするアルミナセメント（旭化成セラミックス社製，以下アルミナとする）を用いた。マグホワイトは炭酸マグネシウム鉱石を800℃前後で焼いて製造し，普通セメントの様に珪酸カルシウムを含有せず，水との強アルカリ反応もないため，灰汁抜きも必要なく，農業用土壌改良材として，安価かつ大量に流通しているものである。アルミナセメントは珪酸カルシウム含有量が少なく，水和反応後の強度が水中で進行する特性を持つ。骨材は白砂，トラバーチン，カルシ

ウムペレット、ホタテガイ粉砕物、カキ殻粉砕物を表1の通りの配合比で混合し、流し込み法により製作した。また、すべてに起泡剤ファインフォームを混入して、空気連行処理を施した。なお、トラパーチン（南部粉）は琉球石灰岩を削る際、破砕した礫、カルシウムペレットは宮古島地下ダムの脱カル工程により析出してくる炭酸カルシウムの粒状結晶、ホタテガイ及びカキ殻は養殖貝加工処理後の廃棄物であり、すべてリサイクル素材である。

・第1回試験

設置は基盤1枚のみリーフ内水深約1mのケージに入れ、残りはすべて干出するリーフ内のハマサングゴ上に設置した。試験期間はマグホワイト10区が529日間、アルミナセメント7区が474日間で、その間の生残推移及び成長推移を図5、6に示した。生残率は初期減耗として、総じて60日以内に20%内外減少した。マグホワイト区は160日頃まで急速に低下したが、その後、最終生残率まで30~65%で横這いに推移した。この急速な低下の原因は盤の表面に破壊されたくさび状の痕跡やその周辺に貝殻殻長部を破壊された死殻が散見されたことから、魚類によ

る被食が推察された。一方、アルミナ区は250日頃まで順調に80~90%台で推移したものの、その直後に急落し、30%以下まで低下した。本低下要因については成長と関連すると考えられたので、後述する。

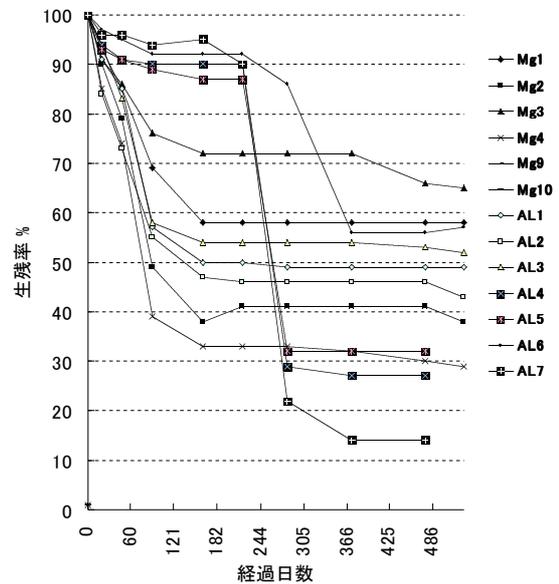


図5. 第1回非セメント系養殖基盤飼育の生残推移

表1. 非セメント系固化剤とリサイクル骨材を用いた養殖基盤による養殖試験（第1回）

試験区	人工基盤材質 配合比kg	水分量 l	起泡剤 cc	試験開始	試験終了	飼育期間	最終生残率 %	日間成長 ミクロン/days	設置場所
Mg1(白)	Mg:0.3/S:0.6	0.21	26	2003OCT.30	2005APR.11	529	58	51.46	ハマサング上
Mg2(トラ)	Mg:0.3/TR:0.6	0.21	26	2003OCT.30	2005APR.11	529	38	41.83	ハマサング上
Mg3(白+トラ)	Mg:0.3/S:0.3/TR:0.3	0.23	30	2003OCT.30	2005APR.11	529	65	45.52	ハマサング上
Mg4(白+ペレ)	Mg:0.3/S:0.3/PE:0.3	0.22	30	2003OCT.30	2005APR.11	529	29	63.45	ハマサング上
Mg8(白+ペレ+トラ)	Mg:0.3/S:0.2/TR:0.2/PE:0.2	0.22	30	2003OCT.30	2005APR.11	529	49	44.34	ハマサング上
Mg9(ホタテ)	Mg:0.3/SC:0.6	0.27	30	2003OCT.30	2005APR.11	529	43	39.72	ハマサング上
Mg10(ホタテ+白)	Mg:0.21/SC:0.6/S:0.09	0.27	30	2003OCT.30	2005APR.11	529	52	43.68	ハマサング上
AL1(白)	AL:0.3/S:0.6	0.21	30	2003OCT.30	2005FEB.15	474	27	16.96	ハマサング上
AL2(白+カキ)	AL:0.3/OY:0.6	0.26	30	2003OCT.30	2005FEB.15	474	32	18.86	ハマサング上
AL3(白+ペレ+トラ)	AL:0.3/PE:0.3/TR:0.3	0.21	30	2003OCT.30	2005FEB.15	474	56	10.98	ハマサング上
AL4(白+ペレ+カキ)	AL:0.3/S:0.3/PE:0.3/OY:0.3	0.23	30	2003OCT.30	2005FEB.15	474	14	16.65	ハマサング上
AL5(ホタテ)	AL:0.3/SC:0.8	0.25	30	2003OCT.30	2005FEB.15	474	44	15.06	ハマサング上
AL6(ホタテ+白)	AL:0.3/SC:0.4/S:0.4	0.25	30	2003OCT.30	2005FEB.15	474	26	13.80	ハマサング上
AL7(ホタテ+白)	AL:0.3/SC:0.4/S:0.4	0.25	30	2003OCT.30	2005FEB.15	474	64	11.11	ケージ内

Mg:マグホワイト, AL:アルミナセメント, TR:トラパーチン, S:白砂, PE:カルシウムペレット, SC:ホタテガイ粉砕物, OY:カキ殻粉末, ※日間成長は474日間で比較

成長は固化剤として軟質に仕上がるマグホワイト製の基盤において高い成長を示し、最も成長が速かったのがMg4区で日間成長65μm/day、次いでMg1区で日間成長58μm/dayあった。これらの区はいずれも骨材に白砂を使用し、Mg4区はこれ以外にカルシウムペレットを混入した区であった。

第1回試験ではマグホワイトとカキ殻粉末を骨材とする基盤が製作中に破損したため、総合評価は後述するが、少なくとも炭酸カルシウムの含有率が高い白砂とカルシウムペレットが成長の点では優れていた。しかし、生残率ではカルシウムペレットを混入した試験区が非常に低く、比較的生残の保持できた

白砂のみの区が最も優れていたと考えられた。一方、アルミナ区では殻長15mmに到達した飼育期間250日頃に全体的に60%近い大きな減耗が生じた。この時点から成長がほぼ頭打ちとなり、明らかな成長阻害が観察された。アルミナセメントは珪酸カルシウムを含有しないのでヒメジャコの化学溶解に対する阻害は無いと考えられるが、水中硬化が進行する特性があるとされ（旭硝子セラミックス技術資料）、現場においての触感でも明らかに硬く、物理的研磨による穿孔を阻害した結果と考えられた。死亡時の250日経過頃は7月末にあたり、大潮時の長時間干出および直射日光に曝される時期であったため、高水温、あるいは基盤の焼けが、成長阻害と重なって、大量斃死に至ったと考えられた。本結果より基盤の固化剤としてアルミナの単独使用は明らか不向きであると考えられ、本試験以降の設定から除外した。一方、マグホワイト区は初期減耗、被食、耐久性など様々な課題が残ったが、今後の改良によって、生残成長とも許容できる結果を得られる見込みがあると考えられた。

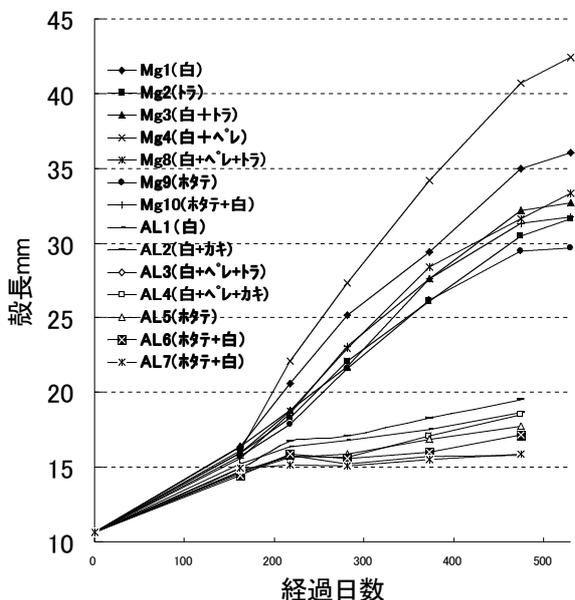


図6. 第1回非セメント系養殖基盤飼育の成長推移

・第2回試験

第1回試験の結果を受け、表2の通り、マグホワイト区に加え、マグホワイトとアルミナセメントを組み合わせ、両者の弱点を中庸させた良い基盤の可

能性を検討するため、両固化剤を混合させた基盤を2区作製した。第1回同様、流し込み法により成形し、すべての区に起泡剤を前回と同様加えた。練り混ぜ時の水量は適度なワーカビリティを得るまで適量加えた。今回は前回作製できなかったカキ殻粉末を骨材とした区を追加し、全部で5試験区を設定した。今回は切り出したハマサンゴ岩盤を用いた天然サンゴへの埋め込み時のコントロール区も新たに設置した。

設置は前回同様、すべて大潮干潮時に干出するリーフ内のハマサンゴ上に設置した。試験は2004年7月に開始し、試験期間は434日間であった。生残推移及び生残率の推移を図7、8に示す。

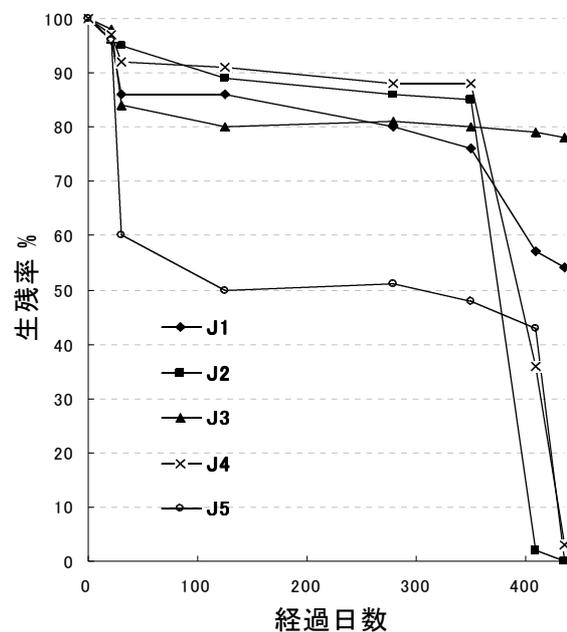


図7. 第2回非セメント系養殖基盤飼育の生残推移

生残率はJ5区が局所的環境条件により、流砂の影響を受け、砂礫の埋没による初期減耗を生じたが、残る4区はいずれ350日まではほぼ80%で高く推移した。しかし、その後、マグホワイトのみを固化剤としたJ2, 4, 5の3区が約1ヶ月でほぼ0%まで急落した。この低下の原因は捕食痕の存在と破壊された死殻が多数周辺に散在していたことから、魚類による食害が疑われた。一方、マグホワイトとアルミナを混合した2区はJ1区が54%、J3区が78%に留まった。成長はカキ殻を骨材としてマグホワイトのみを用いた基盤が最も良く成長し、ついでマグホワイトとトラバーチン粉の区となった。しか

し、今回は第1回試験で有力な骨材と考えられた白砂のみ、ペレットと白砂の組み合わせが上手く脱型出来ず、比較区を設定できなかったため、基盤骨材としてのカキ殻の有効性を検証するにとどまった。

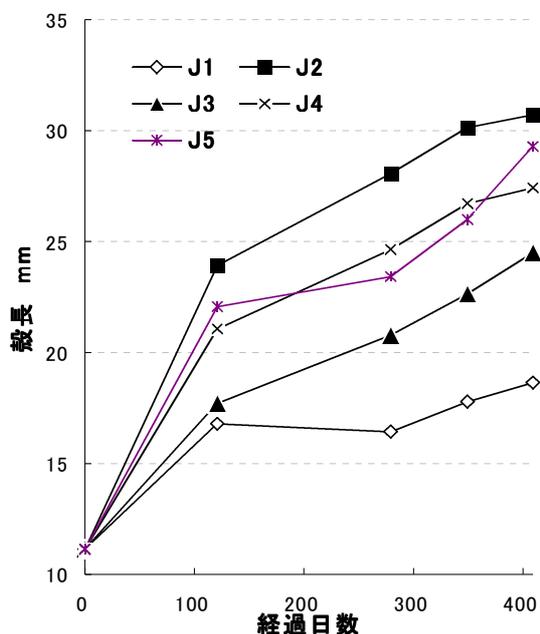


図8. 第2回非セメント系養殖基盤飼育の成長推移

マグホワイトとアルミナ混合で固化剤と骨材の比率を1:1としたJ1区は著しく成長が遅く、日間18  $\mu\text{m/day}$ にとどまった。固化剤比率をJ1区の半分にしたJ3区はマグホワイト単独区には届かないもののJ1区の倍近い成長を示した。第2回の結果は第1回と基本的な傾向は同じで、生残では硬質のアルミナを用い、かつその配合比率の高い基盤が良く、成長ではマグホワイトを用いた軟質の基盤が優れた。しかし、逆に言えば、硬質では成長せず、軟質では被食され、実用性に欠ける結果となった。また両方の中間的性質を持つ、J3区が生残、成長共にある程度、許容範囲内の結果を得た。しかし、固化剤比率を大幅に低下させることは成型時に安定した脱型ができず、工業的大量生産が出来ないという難点がある。よって選択肢としては軟質基盤の被害を防除する別の対策を行い、固化剤として成長の速いマグホワイトを選択した方がよいと考えられた。なお、コントロールとしての天然サンゴ基盤の結果については次項の骨材別成長の検討と関連するので、後述したい。

表2. 非セメント系固化剤とリサイクル骨材を用いた養殖基盤による養殖試験 (第2回)

試験区	人工基盤材質 配合比kg	起泡剤 cc	試験開始	試験終了	飼育期間	最終生残率 %	日間成長 ミクロン/days	設置場所
J1	Mg:7.5/AL:7.5/TR:15.0	150	2004JUN.07	2005SEP.14	434	54	18.4	ハマサンゴ上
J2	Mg:5.0/OY:24	50	2004JUN.07	2005SEP.14	434	0	47.9	ハマサンゴ上
J3	Mg:3.0/AL:3.0/PE:40	60	2004JUN.07	2005SEP.14	434	78	32.8	ハマサンゴ上
J4	Mg:15.0/TR:15.0	150	2004JUN.07	2005SEP.14	434	3	39.9	ハマサンゴ上
J5	Mg:15.0/TR:15.0	150	2004JUN.07	2005SEP.14	434	0	44.5	ハマサンゴ上

Mg: マグホワイト, AL: アルミナセメント, TR: トラバーチン, OY: カキ殻粉末, PE: カルシウムペレット

※日間成長は408日間で比較

### (3) 養殖基盤の被害防除と好適骨材選定試験

(2)の試験結果を受け、養殖基盤の被害防除と好適な骨材を選定するための飼育試験を行った。表3に示した比率で、マグホワイトを固化剤として、カキ殻粗粉末(約 $\Phi$  5mm)と同微粉末( $\Phi$  1mm以下)、またはトラバーチン粉を混ぜた基盤と白砂のみを骨材に基盤を8通り2枚ずつを16枚製作した。しかし、一部の基盤が脱型工程等でうち6枚が破損し、結果的に試験区を10区設けた。これらの基盤に対し、4種(3~10cmメッシュ)の被害防除網を試験区の重複を避けて設定した。

被害防除試験は被害動物が特定されていないため、

防除する対象動物を考慮してメッシュの大きさを設定した。 $\Phi$  3cmネトロン、及び3~4cm鋼製メッシュは小型で扁平な形態をしたバラ類や口吻の尖った形態を持つカワハギ類やフエフキダイ類からの攻撃を想定し、10cmメッシュは顔面が大きなハリセンボンやイシガキフグ等とトビエイを想定した。基盤から防除網の間隔は基盤と防除網の隙間に被害動物が侵入して、その空間で摂食されないよう5cmとした。試験期間は2005年2月から2006年11月の628日間とした。今回の試験ではすべてマグホワイトを用いた軟質基盤であるため、基盤の種類による被害の差は生じないと考えられる。被害は設置後500日頃まで

は殆ど無く、その後、徐々に食害が始まった。食害防止網は天井部と側面4面のうち2面を格子で保護しているが、残り2面は藻食性のヤドカリ類や魚類による掃除を促すために開放していた。開放部分は天井網を基盤の外法10cmまで伸展させて上部から斜め方向への攻撃を回避する計画であった。しかし、全区で食害動物はその開放部から基盤側面を真横から攻撃し、両側面に並んでいるヒメジャコが被食された(図10)。結果として約500日時点で90%以上生残した区が、その後、両側面の分(約10~20個体)が減耗し、600日経過時には70~80%へ低下した(図9)。特に10cmメッシュは590日~630日の約1ヶ月間に上方からも攻撃され、すべて食害された。

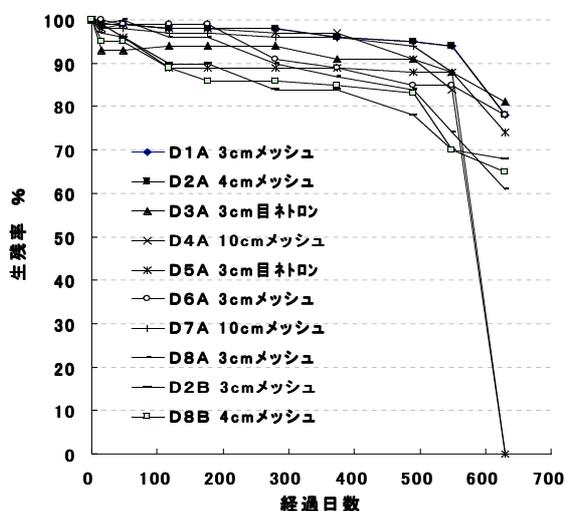


図9. 食害防除と好適骨材選定試験の生残率推移

養殖貝への食害はある一定期間において、貝が殻長3cm程度に成長した後に集中的に捕食される傾向があり、それは(2)の飼育試験でも同パターンであ

表3 養殖基盤の食害防除と最適骨材選定試験設定

試験区	食害防止	人工基盤材質 配合比kg	水分量 l	起泡剤 cc	試験開始	試験終了	飼育期間	最終生残率 %	日間成長 ミクロン/days	設置場所
D1A	3cmメッシュ	Mg:4/OY:16/OF:4	7.3	40	2005FB23	2006NOV13	628	75	41.3	ハマサンゴ上
D2A	4cmメッシュ	Mg:4/OY:14/OF:6	5.3	40	2005FB23	2006NOV13	628	78	41.4	ハマサンゴ上
D3A	3cm目柵	Mg:5/OY:16/OF:4	4.8	50	2005FB23	2006NOV13	628	81	34.1	ハマサンゴ上
D4A	10cmメッシュ	Mg:5/OY:14/OF:6	4.8	50	2005FB23	2006NOV13	628	0	38.9	ハマサンゴ上
D5A	3cm目柵	Mg:5.3/S:20	3.0	53	2005FB23	2006NOV13	628	74	39.5	ハマサンゴ上
D6A	3cmメッシュ	Mg:5/S:20	3.0	50	2005FB23	2006NOV13	628	78	36.1	ハマサンゴ上
D7A	10cmメッシュ	Mg:5/OY:16/TR:4	4.0	50	2005FB23	2006NOV13	628	0	40.2	ハマサンゴ上
D8A	3cmメッシュ	Mg:4/OY:14/TR:6	6.0	50	2005FB23	2006NOV13	628	61	34.8	ハマサンゴ上
D2B	3cmメッシュ	Mg:4/OY:14/OF:6	5.3	40	2005FB23	2006NOV13	628	68	42.5	ハマサンゴ上
D8B	4cmメッシュ	Mg:4/OY:14/TR:6	6.0	50	2005FB23	2006NOV13	628	65	36.6	ハマサンゴ上

Mg: マグホホワイト, S: 白砂, OY: カキ殻粗粉末, OF: カキ殻微粉末, TR: トラバーチン粉  
※日間成長は488日間で比較

った。こうした食害は広範囲に回遊しながら索餌し、餌の存在を認知した時点で集中的に捕食行動をする魚類の仕業である可能性を疑わせる。しかも10cmメッシュの存在下でのみ食害が生じたことから、エイやハリセンボン類は対象として否定され、口吻の突出したカワハギ類やフエフキダイ類等による食害の可能性が高いと考えられた。なお、定在性のあるアカモンガニ類やオニヤドカリ類などの大型肉食甲殻類は10cmメッシュの隙間に納まって捕食しづらい体躯をしており、しかも短期間にすべてのヒメジャコを捕食できるとは考えにくい。



図10. 防除網の開放部からヒメジャコを攻撃した痕

食害防除網は少なくとも4cm角以下の鋼製メッシュで天井部を保護すれば一定の効果が期待できるが、側面に開放部があるとそこから攻撃され、完全に防除するためには基盤周囲もすべて囲い込む方法が考えられる。しかし益動物(掃除動物)の藻食性動物の侵入も阻むため、二次的な弊害も考えられ、むしろ基盤周囲の硬化策を検討する方が有効と考えられ、この対策として考案されたポット式養殖基盤について後述した。

図11に成長推移を示す。骨材別の成長はカキ殻のみで作製した基盤が白砂のみで作製した基盤より若干速い傾向がある。しかし一部のカキ殻基盤 (D3A) は白砂より下回っていた。D3AのみはネトロンネットΦ 3 cmの食害防止網で覆った区で、他の区よりより光が遮蔽され、通水性も劣るため、成長が劣った可能性もある。カキ殻とトラバーチン粉を混合した2区は2つとも成長が遅かった。これはトラバーチン粉を混入したことで硬度が増し、物理的な研磨を阻害した結果と考察する。日間成長量はカキ殻のみの区は平均 $39.65 \pm 3.35 \mu\text{m/day}$ 、白砂のみの区は平均 $37.81 \pm 2.82 \mu\text{m/day}$ 、カキ殻に石粉を混入した区は平均 $37.17 \pm 2.78 \mu\text{m/day}$ でカキ殻の区が最も成長が良かった。

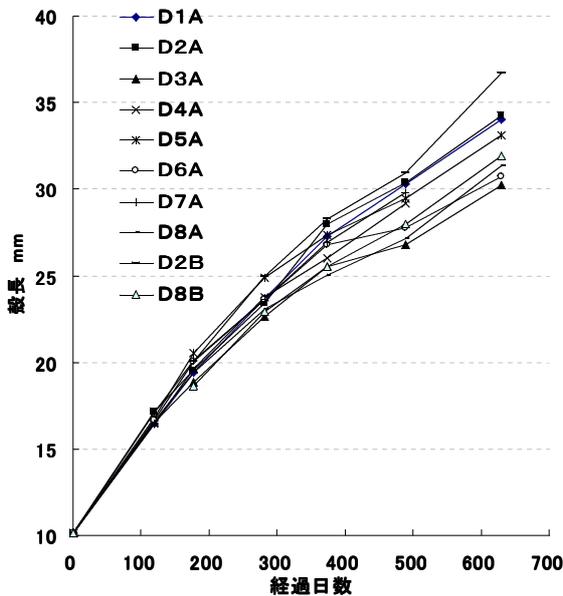


図11. 食害防除と最適骨材選定試験の成長推移

(2)の試験結果も含め、マグホワイトを固化剤として製作した骨材別の成長を、切り出したハマサンゴ岩盤を用いた天然サンゴ基盤区と比較し、その良否を考察する (表3)。

天然サンゴ基盤区は保護網を設けず、川平リーフ内の基盤設置場所と隣接したハマサンゴ上に3区設定した。基盤形態は天然サンゴの切り出しのため、不定型であるが、それぞれ20~30cm角大の垂方形で、1区36個、2区24個、3区37個を人工基盤とほぼ同様の埋め込み間隔で、定着させた。試験結果は2004年6月から2006年3月までの663日間分を示した

(継続調査中)。成長は3区とも酷似した推移を示した。村越, 1994によるハマサンゴ上での成長は2年で平均12mmの種苗が約50mmに達しており、今回の結果はそれより若干遅かった。村越, 1994は干出する環境で成長が遅くなる傾向のあることを指摘しており、本設置場所が大潮時に干出する地盤に設定したことで、成長差がでたと考えられた (図12)。

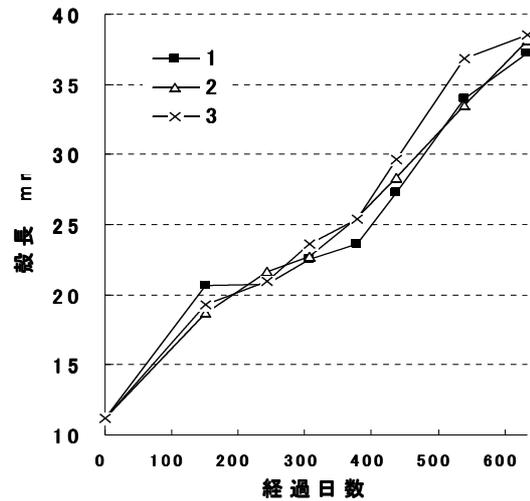


図12 天然サンゴ基盤区の成長推移

生残推移は1区、2区はともに漸減し、600日経過後で78%であった。3区は300日以降に食害を受け、50%台まで低下した。同質の天然基盤においても微妙な設置場所の違いで食害状況が異なる点は先述した索餌回遊する食害魚による捕食が疑われる。

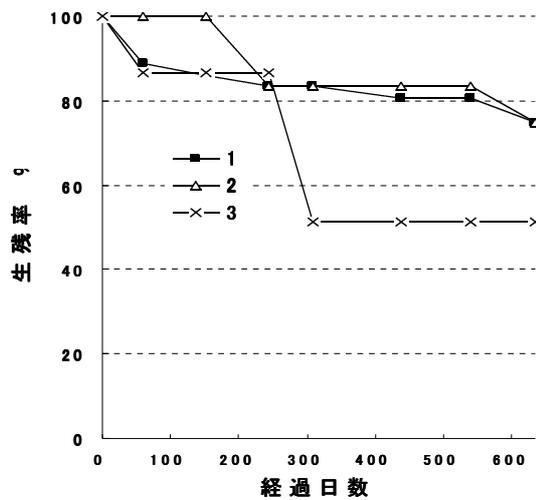


図13 天然サンゴ基盤区の生残推移

表4 天然サンゴ基盤区とマグホワイト区の骨材別

日間成長量の比較

骨材種類	食害防止網	成長量測定時生残率%	基盤数	日間成長量 ミクロン/day	成長量測定 期間(日)	SD
C	無し	67.0	3	43.8	540	3.4
1S	無し	58.0	1	51.5	475	
1TR	無し	41.0	1	41.8	475	
1SR	無し	66.0	1	45.5	475	
1SP	無し	30.0	1	63.5	475	
1SPT	無し	49.0	1	44.3	475	
1SC	無し	46.0	1	39.7	475	
1SCS	無し	53.0	1	43.7	475	
2OY	無し	60.0	1	54.4	349	
2TR	無し	39.5	2	43.6	349	3.2
3OY	有り	89.8	4	39.6	488	3.3
3S	有り	86.5	2	37.8	488	2.8
3OYTR	有り	87.0	3	37.2	488	2.8

C:天然サンゴ, 1S:1回目白砂, 1TR:1トラバーチン, 1SR:1白砂+トラバーチン  
1SP:1回目白砂+ペレット, 1SPT:1白砂+ペレット+トラバーチン, 1SC:1ホド  
2OY:2回目カキ殻, 2TR:2回目トラバーチン,  
3OY:3回目カキ殻, 3S:3回目白砂, 3OYTR:3回目カキ殻+トラバーチン

マグホワイト人工基盤の骨材別日間成長は各実験回次ごとに設置時の種苗サイズ、設置期間、食害防止網の有無等設置環境が異なり、直接的に比較するには無理がある。しかし、全回次とも骨材として使用したトラバーチン等を指標にして、他の骨材を相対的に比較することは可能である(表4)。まずトラバーチン製基盤自体は全回次ともに成績が悪く、人工基盤の骨材として良くない。これに比べ、カキ殻や白砂はいずれの回次においてもこれより優位であった。特にカキ殻は2回次においてはトラバーチンの倍近い成長量を認め、しかも食害防止網が無かったにもかかわらず生残率が比較的高かった。また3回次では白砂よりも優位な成長量を認めた。カルシウムペレットは1回次で高い成長量を示したが、同時点での生残率が30%と他の基盤と比べて特に低かった。この低下は食害によるものであり、基盤自体が非常に脆かったことに起因する。よって高成長もカルシウムペレット自体の優位性よりも基盤材質が何らかの原因で脆かったことによる見かけ上のものであったと推察する。

天然サンゴ区との日間成長量比較では、ほぼ同時期に平行して試験をしていた2回次のカキ殻区が54μmで約10μmの開きがあり、天然サンゴ区の43.8μmより明らかに優位であった。3回次のカキ殻区は39.6μmであったが、標準偏差±3.3μmや食害防止網の影響などを考慮すれば天然サンゴ区の43.8μm/dayより劣っていると考えるににくい。少なくともカキ殻を用いた人工基盤は成長量に関して天然サン

ゴのそれと遜色ない成長を期待できると考える。リサイクル材として環境に配慮できる点を考慮するとカキ殻が骨材として最も推奨されるが、一方で単価は白砂が最も安価であり、両方の組み合わせ等も考慮して、有力な骨材を選定することになると考えられる。

(4) タカセガイ育成礁を活用した基盤養殖試験

試験に使用するタカセ礁は恩納村谷茶沖リーフ上に設置されている50基の内から選定した。タカセ礁は沖側と陸側に25基ずつ2列に並べられており、沖側は波当たりが強く、陸側はやや弱い。また礁の干出程度も設置場所の地盤高や地面の傾き方により異なる。そのため、比較試験として、沖と陸両方の列から、それぞれ干出度合いが異なる場所を選定した。なおタカセ礁は食害動物を防除するよう設計されているが、川平での食害状況から考察して、タカセ礁でも食害の懸念が無いとは言えない。そのため、10cmと5cm角、2種類の鋼製食害防止網を、高ナットを利用した固定ボルトを加工し、オールアンカーを活用して、収容後300日経過を目処に設置した(図14)。

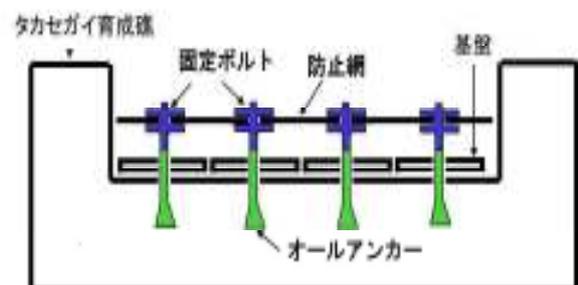


図14 食害防除網と固定ボルト及び基盤設置図

育成礁における人工基盤試験は2005年3月から5回次にわたって実施した(表5)

第1回次: 基盤配合は流し込み法でこれまでの試験で成績が良かったマグホワイト+カキ殻(6mm粉末)+カキ殻粉を起泡剤と混合して製作し、沖側の干出高+65cmと陸側の干出高+25cmの2升到16枚ずつの計32枚を設置した。なお、種苗は前兼久漁港構内の水深約50cmのモズク種付け水槽内において約1週間定着させた後、沖出しした。生残は沖側、陸側共に設置後約100日経過までに漸減し80%まで低下し

たが、その後、安定し、817日までの結果は沖73、陸74%と大差はなかった(図15)。しかし、陸側は時化によって礁に傾きができ、隅に設置した基盤2枚に砂礫が蓄積して、大量斃死を起し、それぞれ42%と25%に低下したので、その分のマイナスが

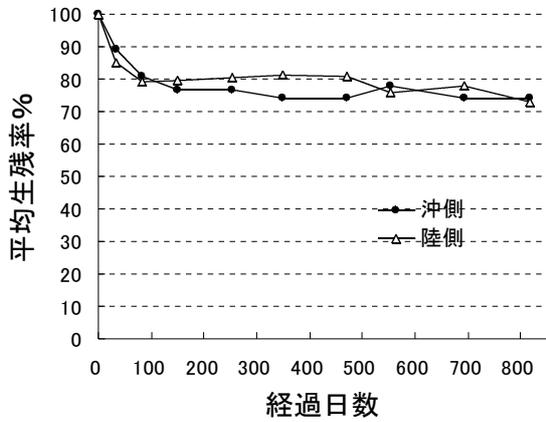


図15 第1回次タカセ礁における養殖試験(生残)

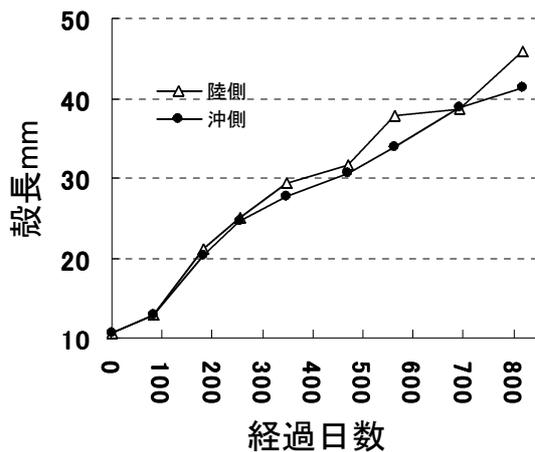


図16 第1回次タカセ礁における養殖試験(成長)

平均生残率を約8%低下させた。よって本事故がなければ陸側の平均生残率は80%以上を維持していた可能性が高い。また沖側では肉食巻貝サツマボラが侵入し、隅の1枚が52%まで生残が急落して、平

均生残率を低下させた。約550日経過後に食害防止網設置後に基盤の一部にくちばしで掘り起こしたような食害痕が2カ所確認され、1個体が被食されたが、それ以降は5cm、10cmメッシュとも食害はなかった。試験(2,3)のような食害はタカセ礁では今のところみられない。

成長は干出度合いの少ない陸側が、その逆の沖側と比べ、成長が良かった。562日間の日間成長量は陸48.4 $\mu$ m、沖41.5 $\mu$ mと大差がでた(図16)。約400日経過時に食害防止網を設置したが、それによる成長遅延は認められなかった。

第2回次: 基盤は振圧法(バイブレーションコンクリート法, 以下バイコンとする)で第1回次と同固化剤と骨材を使用した。バイコンは流し込み法と異なり、水和反応による固化ではなく、水分をほとんど加えず固化剤と骨材に振動と圧力をかけて製作する。このため、即時脱型が可能で、人件費をかけずに大量生産ができる。しかし振動を与えるため起泡剤は使用できない。人工基盤を用いて事業を展開するためには、基盤を低コストで供給する必要がある。具体的にはヒメジャコ(殻長7cm)1個体を最低100円と仮定して、平均生残率70%ならば、7,000円/枚の収入となる。経営的には少なくともその内の半分以上の3,500円を利益とせねば養殖としてのメリットはないと考える。よって、残りの経費を積算すると、種苗代が15円/個(将来)として1,500円/枚、ボルトや管理費などの諸経費を500円とすれば、養殖板価格を1,500円/枚程度に抑えなければならない。そのためには人件費が節約できるバイコンを検討する必要がある(共同研究企業との価格設定に関して正式協議はなされていない)。

表5 タカセガイ育成礁での人工基盤養殖試験

試験回次	試験礁 干出高cm	人工基盤タイプ および設置枚数()	試験開始 記録日	最終 記録日	飼育期間	最終生残率	日間成長	日間成長
						%	$\mu$ m/day	対象期間
1	+70	流し込み:MgOY(16)	2005MAR22	2007JUN12	817	74	48.4	562
			2005MAR22	2007JUN12	817	73	41.5	562
2	+106	バイコン:MgOY(11)	2005NOV16	2007JUN27	588	62	39.3	588
		バイコン:MgOY(10)	2005NOV16	2007JUN27	588	74	39.6	588
3	+106	ナチュロック:MgOY(2)	2006APR18	2007JUN27	435	78	44.8	435
		流し込み(3cm穴):MgOY(1)	2006APR18	2007JUN27	435	79	59.3	435
		流し込み(通常穴):MgOY(1)	2006APR18	2007JUN27	435	75	46.0	435
		バイコン:MgOY(2)	2006APR18	2007JUN27	435	71	38.9	435
		ナチュロック:MgOY(2)	2006APR18	2007JUN27	435	69	51.5	435
		バイコン:MgOY(2)	2006APR18	2007JUN27	435	77	43.4	435
4	+98	ポット式:基盤部MgSOY:中詰め部MgOY:(6)	2007MAR19	継続中	-	-	-	-
		ポット式:基盤部MgSOY:中詰め部MgS(5)	2007MAR19	継続中	-	-	-	-
		ポット式:基盤部MgSOY:中詰め部MgPE(2)	2007MAR19	継続中	-	-	-	-
5	+102	スリット式中間育成基盤(10)	2007MAR19	継続中	-	-	-	

Mg:マグホワイト, S:白砂, OY:カキ殻粉末, PE:カルシウムペレット,

バイコン製基盤の設置は沖側の干出高+106cmに1枚と陸側の干出高+102cmに10枚の計21枚を設置した。なお、種苗は前兼久漁港構内の水深約1mのサンゴ水槽内において3日間定着させた後、沖出しした。生残は沖側、陸側共に設置後約10日で10%以上減少した。育成礁への設置をした2005年11月16日は北北東の季節風を受け、時化中での設置であった。設置後1週間の平均最大風速は北～北北東9.4±1.04m/秒で恩納村沿岸は大時化の状況であった(名護測候所調べ)。よって、この初期減耗は放流直後の時化による収容種苗の散逸と考えられる。その後は緩やかに110日頃まで漸減した。それ以降は減耗が納まり、沖側60%台、陸側70%台と低位ではあったが、約600日経過後もそれは維持された(図17)。食害は防止網設置前、設置後とも確認されなかった。

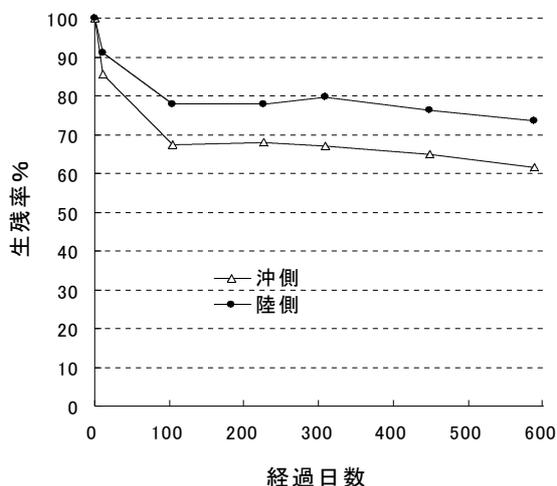


図17 第2回次バイコン基盤養殖試験(生残)

成長は沖側と陸側の試験区間に差は無かった。両区とも日間の日間成長量は40μm以下で前試験区と比べ、やや遅滞した(図18)。バイコンは高い圧力をかけて締め固めることで、以下の点で基盤が硬くなってしまおうと考えられる。

- ・ヒメジャコの物理研磨に好都合なカキ殻の多孔質性が失われてしまうこと。
- ・起泡剤が使用できないため、骨材使用料が多くなり、比重が大きくなること。
- ・製作時に殆ど水を使わないため、水中設置後に石灰分が水和反応が起こし、水中で硬化が進行する可能性があること。

よって今後更に成長遅滞を起こす可能性は否定で

きず、場観察でも成長阻害時に特有の殻形態が丸みを帯びた個体が少なくない。しかし、今のところアルミナセメントで生じたような高度の成長阻害ではなく、今後、本試験の継続調査のみならず振圧法の改良や配合調整、コストの比較も含め長期的にみて可否を論議した方が良いと考える。

なお本区でも約250日経過時に食害防止網を設置したが、それによる成長遅延は認められなかった。

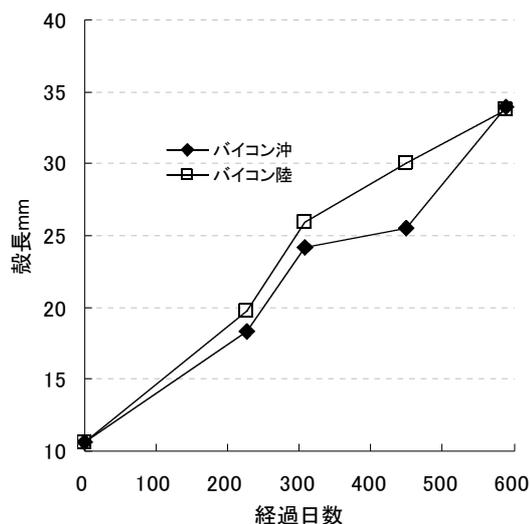


図18 第2回次バイコン基盤養殖試験(成長)

第3回次は前回と同様のバイコンと新方式のバイコン(ナチュロック:圧縮機械が違うバイコンの一種)、および流し込み法で定着穴の長さの異なる長穴タイプ(30mm)とそのコントロールとして通常穴(15mm)を製作した。固化剤および骨材は前回とほぼ同様であったが、ナチュロック区は骨材としてカキ殻粉末の内、微粉末のみを使用した。長穴タイプは生残率が同様であれば初期成長の促進が可能となると目論み、通常穴との比較試験を行った。それぞれのタイプ別に複数枚製作して、沖側の干出高106cmと陸側の干出高+102cmの2礁に分けて設置したが、一部半損した基盤もあり、単一枚の試験区となった場合もある(表4)。なお、種苗定着は前回と同じ工程で行い、沖出しした。生残は沖側、陸側共に材質を問わず設置後約70日以内に約15~30%減少した。設置後直後の2日間の時化(北北東の平均最大風速約8m)に曝されており、これについても前回と同様、波浪散逸の可能性が考えられた。タカセ礁はリーフ上の最も波当たりの強い場所にあるため、設

置のタイミングが初期減耗の抑制にはきわめて重要と考えられる。初期減耗後の生残推移は前回と同様に安定し、約450日経過時点ではほぼ70%台であった。

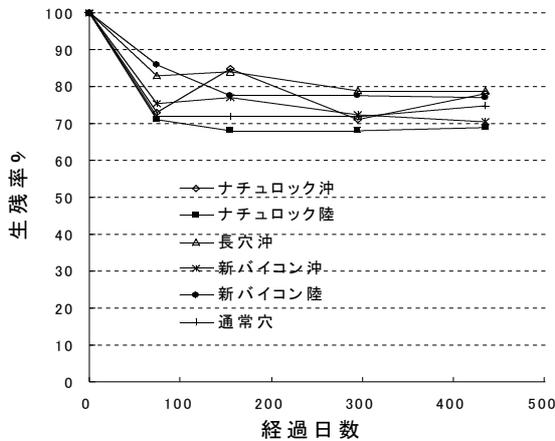


図19 第3回次バイコン等の基盤養殖試験（生残）

成長については経過日が約435日程度であり、もう少し飼育期間を継続観察して可否判定を行う必要がある。しかしながら、沖陸両方のバイコンで約300日以降にかなり明確な成長遅滞が観察されたので既に否の方の結果が顕れたと言える。この要因はバイコン特有の硬質が起因すると考えられた。しかし同時並行した通常穴タイプの流し込み板も日間成長から大差のない成長率であった。今回は流し込み・バイコン両方とも、基盤配合がマグホワイト7.5：カキ殻12.5であった。これまでの試験で良好な成長を示してきた基盤配合は試験Jで5：24，試験Dで4：20または5：20であり、今回はこれらと比べて倍以上の強配合であった。一般的に骨材に対し固化剤を多くすれば材質が硬化するため、今回はこれが明瞭に成長に影響したと考えられる。ただタカセ礁の様な激浪に曝される環境下での耐久性を考慮すると、これまで良好とされた配合（かなりの貧配合）ではもたない可能性がある。一方、新しいバイコンのナチュロック区は日間成長が48.2 $\mu$ mで流し込み基盤に匹敵する成長を示した。ナチュロック区ではカキ殻の内、微粉末のみを使用したもので、それが功を奏した可能性もある。バイコンは高い圧力で締め固めるため、カキ殻の多孔質構造が潰れてしまうが、微粉末を用いたことでその圧縮具合の軽減が図られたとも推測できる。そもそもナチュロックは製作機械

が大型で、圧縮度は通常のバイコンより高い。しかも今回の配合比が5.7：14.3でこれまでの流し込み板より強配合であるにも関わらず、一定の成長量に達していることから、今後の経過によっては、骨材をカキ殻粉のみとしたバイコン基盤について再検討する必要がある。初期成長の促進を目的とした30mm穴タイプは明瞭に高成長を認めた。生残率も他と変わらない結果であったことは注目でき、今後は30mmサイズの穴を主体として考える必要がある。

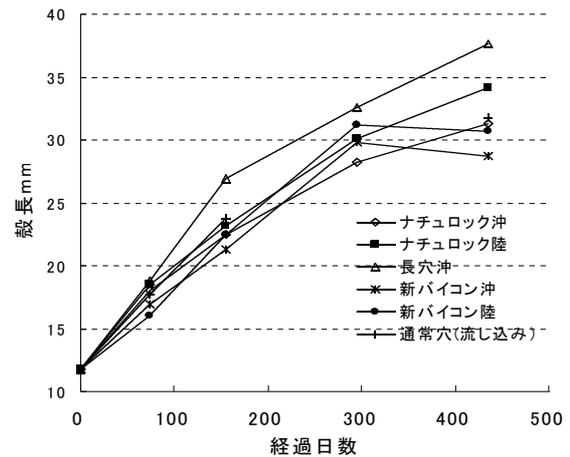


図20 第3回次バイコン等の基盤養殖試験（成長）

第4回次及び5回次：ポット式養殖基盤とスリット式中間育成基盤（シラナミ用養殖基盤）を開発した。両基盤は設置後経過日数が少ないので、予察的に報告する。流し込み法では先述したとおり貧配合で軟質基盤を作製すれば、天然サンゴへの埋め込みより明瞭に速い成長が期待できる。しかし、これには基盤自体の耐久性が保持できないこと、製作・脱型に不良基盤が頻出し、低効率で高コストとなることから、工業的大量生産は不可能である。一方、バイコンは即時脱型が可能であり、工業的生産経費が節約できるがマグホワイトとカキ殻の持つ長所を締め固める振圧成型という方法が打ち消してしまう。そこで両方の長所を合体させたのがポット式養殖基盤である（図21）。

ポット式基盤はバイコンによる基盤部と流し込みによる中詰部の2層構造となっており、基盤にはヒメジャコ最終育成サイズの65mm×40mmの穴が開けられている。この穴に中詰部として超軟質のマグホワイト・カキ殻粉または白砂の育成層を流し込む。ヒメジャコはこの層で育成され、これまでと同様に長

さ15mmの埋め込み穴を設けてある(図21)。設置したポット式基盤は14枚、配合は5枚がマグホワイト10：白砂15：カキ殻粉末5，残り9枚がマグホワイト10：カルシウムペレット15：カキ殻粉末5とした。中詰部(育成層)はマグホワイトとカキ殻粉，または白砂を超貧配合の1：3.4から通常配合の2：3.4まで段階的に設定した5区づつの計10区と，残り4区を類似配合でマグホワイトとカルシウムペレット，カキ殻粉末と白砂混合区とした。生残率は78日経過時点で平均88.1%で初期減耗は低かった。

スリット式中間育成基盤は穿孔しない性質のシラナミを育成する基盤として有効と考えられるが，環境への適応や抵抗力のある30mm以上のヒメジャコを非穿孔で中間育成することに使用可能かどうか検討する(図22)。2007年3月現在，基盤10枚を干出高102cmの陸側のタカセガイ育成礁に設置し，平均 $30.0 \pm 3.40$ mmのヒメジャコを基盤1枚あたり50個体収容して中間育成中である。なお，あくまでもヒメジャコ種苗の初期の育成としては生残率の安定化を図るために育成基盤を使用する。

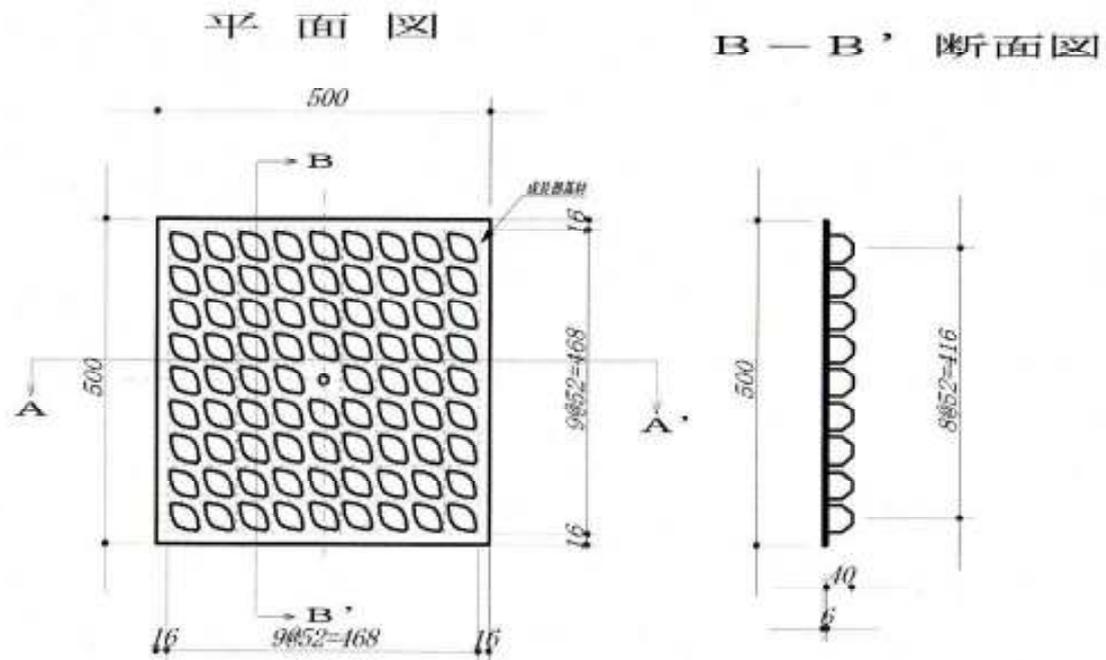


図21 ポット式ヒメジャコ養殖基盤の基本設計図

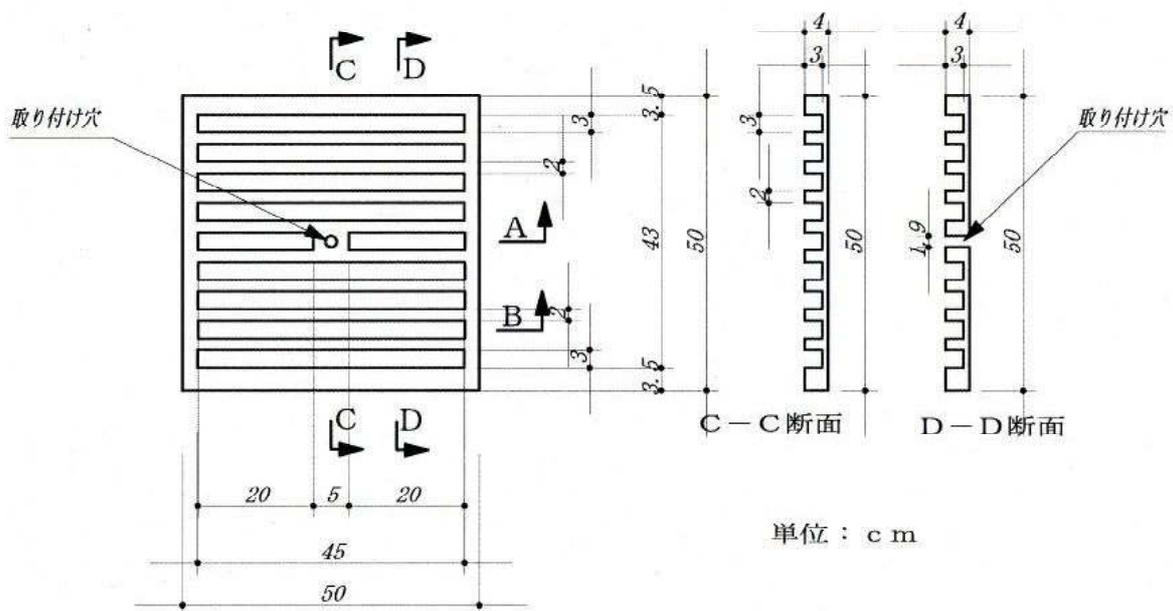


図22 スリット式ヒメジャコ中間育成基盤の基本設計図

#### 4. 今後の課題

事業レベルで人工基盤養殖を展開させるためには単に生残・成長が良好であるばかりではなく、採算面で成り立たせることが条件となる。そのための最大の課題は人工基盤をいかに低コストで大量生産するかであろう。人件費の節約できるバイコンはその点で魅力的な製作手法である。現在、成長生残共に期待できる手法としてポット式養殖基盤の開発に至ったが、その基盤部の凹凸の多い複雑な形状はバイコンの製作上の特性である上部から均等の圧力を掛けて成形する手法と馴染まず、安定大量生産は容易なことではない。今後、最低80個程度の育成部を有するポット式養殖基盤をバイコンで安定生産することが最大の課題である。

#### 文 献

- 独立行政法人農業工学研究所水田整備研究室, 2002  
土壌硬化剤マグホホワイト. 16pp
- Hamner W. M. and M. S. Jones, 1976  
Distribution, burrowing, and growth rates of the clam *Tridacna crocea* on interior reef flats Vol. 24(3):207-227.
- 沖縄県水産業改良普及所, 1988 別冊 ヒメジャコ放流 ドリル法の留意点と各地区の放流状況 20pp.
- 村越正慶, 1994 石垣島, 川平湾におけるヒメジャコの成長と放流場所の検討. 水産増殖 42(3):403-409.
- 全国沿岸漁業振興開発協会, 1996 平成7年度特定地域沿岸漁場開発調査. 沖縄県地域調査報告書. 224pp