

－ 連携プロジェクト研究 －

藻場再生のための食害動物対策技術開発

－ 藻食性魚類の食害を考慮した海藻増殖手法の開発 －

研究開発科 吉田英樹・山口典男・武内浩一
総合水産試験場 桐山隆哉

要 約

海藻が着生しやすく、かつ着生した海藻が魚類に食べられにくいブロックの形状・素材について検討した。海藻が着生しやすいブロックの開発について、コンクリート及び熔融スラグを原料とするブロックを作製し幼胚残存試験を実施した結果、諫早市灰熔融施設から排出された熔融スラグを用いたブロックが、従来のコンクリートブロックと同等以上の幼胚残存率を有することがわかった。海藻が食べられにくいブロックの開発について、凹み付きブロックを用いて食害防止効果を検証した結果、直径10～20cm、深さ10～20cmの凹みを有するブロックにおいてアイゴの食害を抑制する効果が見られた。

キーワード：藻場、磯焼け、食害、海藻着生ブロック、熔融スラグ、凹み構造

1. はじめに

近年、海産資源の生育場となる藻場が消滅する磯焼け現象が周辺海域で広く確認されている。この磯焼けの原因の一つである魚類による食害への対策として、生育した海藻が食べられにくくかつ海藻が着生しやすいブロックの形状・素材などについて検討している^{1,2)}。今年度は、熔融スラグの有効利用を図るために、これらを主原料とした海藻の着生する基質を製作し、ホンダワラ類の幼胚が着生して脱落しにくい微細な表面構造の形状について検討する。また、着生した海藻が魚の摂食圧を受けにくい基質の凹凸などの表面構造の形状を明らかにする。

2. 実験方法**2.1 幼胚残存率の高いブロックの試作及び幼胚残存試験****2.1.1 熔融スラグブロックの作製**

ホンダワラ類の幼胚を着生させる基質の原料として、県内で年間1万トン以上排出される熔融スラグを用いた。熔融スラグとは、ゴミ焼却灰や下水汚泥の減容化、無害化を目的として、1200～1500℃の高温で熔融し、冷却固化したものである。長崎県内の熔融スラグ排出状況について、長崎県廃棄物・リサイクル対策課が平成14年度に調査した結果に、当センターが聞き取り調査した17年度実績を一部

表1 長崎県内の熔融施設とスラグ排出状況

長崎県内の熔融施設	処理能力(t/日)	処理対象物	スラグ排出量(t) (14年度実績)
県央県南広域環境組合	300	可燃ごみ	5,000 [※]
諫早市灰熔融施設	24	焼却残さ	4,001
北松北部環境組合	70	可燃ごみ	903 [※]
南高南部衛生福祉組合	30	可燃ごみ	752
佐々グリーンセンター	36	可燃ごみ	570 [※]
佐世保市下水処理場	9	乾燥汚泥	317
上五島広域グリーンセンター	40	可燃ごみ	176
福江市清掃センター	58	可燃ごみ	97
対馬総町村組合ごみ処理施設	60	可燃ごみ	78

(出展) <http://www.pref.nagasaki.jp/eiken/taiki/slag.html> ※聞き取り調査による17年度実績

加えた結果を表1に示す。

本研究では、表1の熔融スラグのうち、諫早市灰熔融施設及び佐世保市下水処理場から排出されるスラグ（以後、それぞれ諫早スラグ、佐世保スラグという）を原料としてブロックを作製し、各種実験に用いた。

各施設のストックヤードから無作為にサンプリングした熔融スラグをジョークラッシャーにて粗粉碎し、5mm以下に分級した粒子をブロックの原料に用いた。スラグ原料80wt%に対し、ガラス粉を20wt%配合したものに糊材を添加し、水分を加えて混合した。湿った状態の混合物を油圧プレス機にて150MPaのプレス圧でブロック状に成形したのち乾燥させた。試料の焼成は、電気炉にて100℃/hで昇温し、950℃で1h保持した後炉冷した。作製した試験体は、ダイヤモンドカッターで70mm×70mm×30mmのサイズに切り分けて幼胚残存試験に用いた。

また比較のため、一般的なコンクリートブロックの平面部分を上記の熔融スラグの試験体と同様のサイズに切り出して実験に用いた。

2.1.2 幼胚残存試験

コンクリート、佐世保スラグ及び諫早スラグ製の

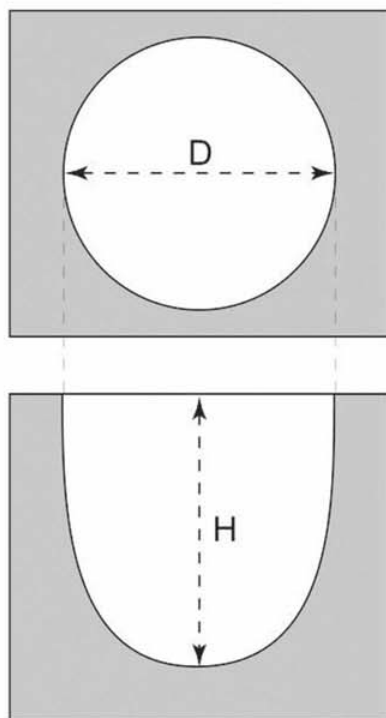


図1 凹み付きブロック概略図

ブロックについて、アキヨレモクの幼胚残存試験を行った。着生時間は48hとし、水洗前後における幼胚の残存率を計測した。計測は、1cm²の範囲に存在する幼胚の数を1つのブロックにつき4カ所ずつ数え、その平均をとることで算出した。

まず、水洗条件を決定するため、コンクリートブロックを用いて着生したアキヨレモク幼胚の残存率の測定を行った。水流は水量と蛇口からサンプルまでの距離で調整し、適切な流水条件を決定した。次に決定した流水条件のもとで、熔融スラグブロックについても幼胚残存試験を実施した。

2.1.3 ブロック表面の電子顕微鏡観察

コンクリート、佐世保スラグ及び諫早スラグ製ブロックについて、表面の微構造を評価するため、走査型電子顕微鏡（日本電子(株)、JSM-6300F）による観察を行った。

2.2 マクロ構造を有する基質の試作及びアイゴの食害防護効果の検証

2.2.1 凹み付きブロック

これまでの観察結果から、磯焼け帯周辺では、10cm程度の岩の窪みに比較的海藻が残存していることが確かめられており、このような凹み構造が魚の摂食圧から海藻を防護していることが推察される。そこで、5～20cm程度の直径及び深さの凹み付きブロックを試作して、水槽内でのアイゴの摂食試験を行い、食圧低減効果のある凹みサイズが存在するかどうかを検討した。

凹み付きブロックの概略図を図1に示す。ブロックの材料は、電源開発(株)松島火力発電所の提供によるクリンカーアッシュを骨材としたコンクリートである。凹みサイズ（直径D×深さH）は、5×5cm、10×5cm、10×10cm、15×15cm、20×20cmの5種とした。5×5cm、10×5cm、10×10cmサイズについては、凹み部分を形成する中子の素材にシリコン樹脂を用い、これらと外枠を組み合わせた鋳込み型に、クリンカーとともに混練したセメントスラリーを流し込み、振とう機で振動を与えて脱泡した（図2）。型ごと乾燥機に入れ、50℃で1昼夜養生し硬化したところで脱型した。

15×15及び20×20cmサイズのブロックについては製作を外注した。



図2 凹み付きブロックの作製工程

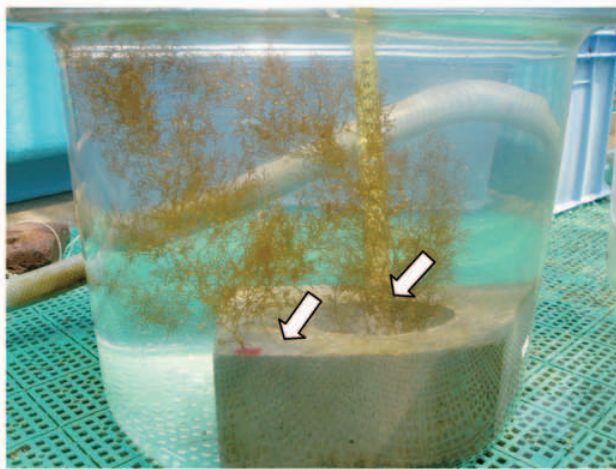


図3 凹み構造ブロックの凹み部分と上面に瞬間接着剤で接着したマメタワラ（矢印）

2.2.2 アイゴの食害防護効果の検証

供試したアイゴは、長崎漁港内で籠によって漁獲されたもので、体長別に小型区（尾叉長12～16cm）、中型区（16～18cm）、大型区（25～30cm）の3試験区に分けた。摂食試験は陸上の1t円形水槽を用い、試験区ごとにアイゴを10個体ずつ収容し、凹み付ブロックにアイゴが好んで摂食するマメタワラ³⁾を接着して水槽底面に設置し、24時間後のマメタワラの残存状況を調べた。マメタワラの接着はシアノアクリレート系接着剤を用い、凹み部分の底面と対照試験としてブロック上面の2箇所とした（図3）。

2.2.3 凹み底部に凸形状を有するブロックの試作及びゴミ堆積防止効果の検証

天然の海域においては、ゴミや砂泥等が浮遊し、凹み部分に堆積することが予想される。ゴミ等の堆

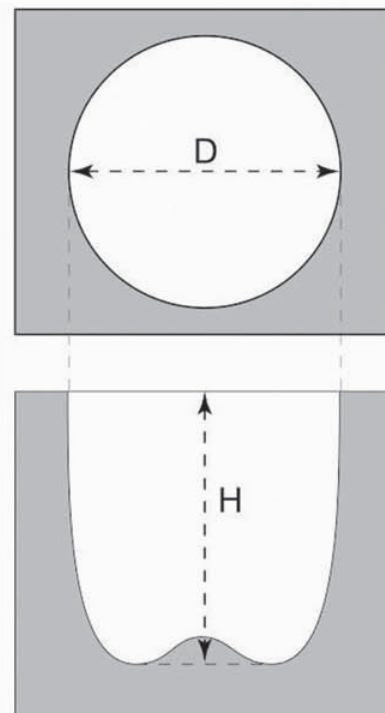


図4 凹み部の底に凸形状を有するブロック概略図

積により凹み底部に着生した幼胚の生長を妨げるおそれがある。そこで、凹み内にゴミが溜まっても幼胚の生長を阻害しない形状を検討するため、図4に示すような凹み底部に凸形状を有するブロックを試作し、ゴミの堆積・除去の予備的実験を実施した。凸部にホンダワラ類の幼胚を着生・固定させると、波や海流による水流が起こった場合にも、幼胚は動かず、凸部に積もったゴミのみが凸部周辺の溝に落ち込むような構造である。

凹み形状のサイズは、直径10cm、高さ10cmとし、凸部は底面から1cm高くした。使用した材料は、ク

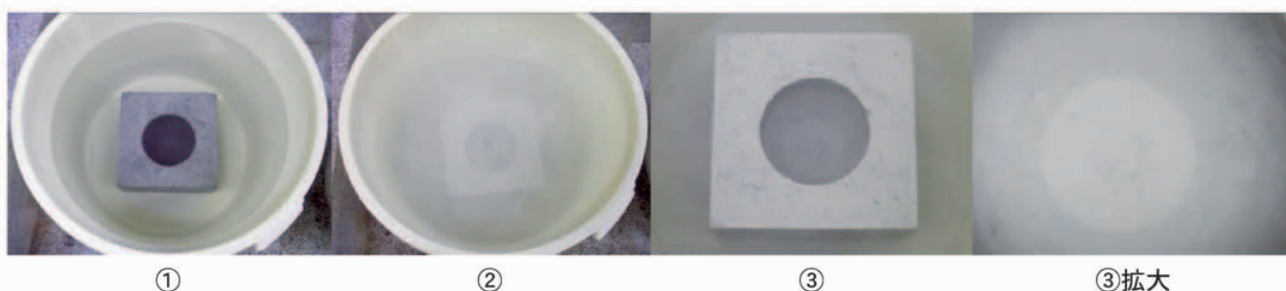


図5 ゴミ堆積・除去実験

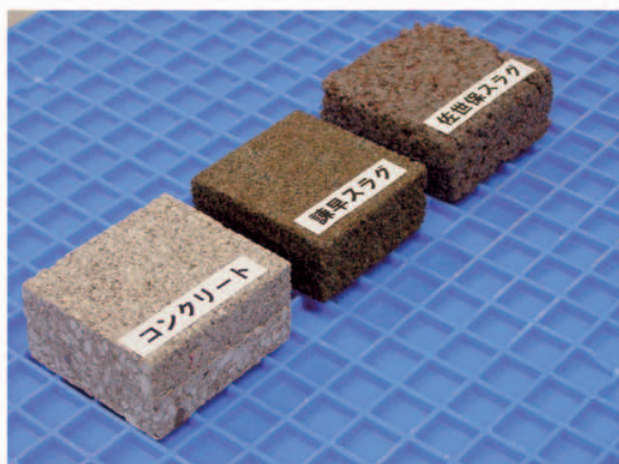


図6 熔融スラグ及びコンクリート試験体

リンカーアッシュを骨材とするコンクリートである。ゴミの堆積・除去の予備的実験の方法を以下の手順で行った（図5）。

- ①ブロックを、水を張った水槽内に設置する。
- ②浮遊物として水酸化アルミニウムの粉末を水中に投入し、すぐに攪拌する。
- ③静置して粉末を沈降させ、凹み底部全体を均一に粉末で覆う。
- ④波の動きを想定して、再度水を攪拌し水流を起こす。

3. 結果及び考察

3.1 幼胚残存率の高いブロックの試作及び幼胚残存試験

3.1.1 熔融スラグブロックの作製

作製した熔融スラグ及びコンクリートの試験体を図6に示す。

3.1.2 幼胚残存試験

コンクリートブロックを用いて、幼胚残存率に及ぼす流水条件の影響を検討した結果を図7に示す。

吐出量が大きく、蛇口からの距離が長くなるほど残存率が下がることがわかる。この結果、スラグにおける残存率試験は、コンクリートで残存率が約60%となった水量10L/min、蛇口からの距離30cmで行った。図8にアキヨレモク幼胚の残存率の結果を示す。佐世保スラグブロックに比べ諫早スラグブロックは2倍の残存率を示し、さらにコンクリートと比較しても同等以上の残存能力を示すことがわかった。また、1週間後の残存率の測定を行った結果、各試料の残存率は、48時間の結果と有意の差は認められなかった。

3.1.3 ブロック表面の電子顕微鏡観察

電子顕微鏡を用いた表面構造観察の結果を図9に示す。佐世保スラグ表面が非常に平滑であるのに対し、コンクリート及び諫早スラグブロックの表面は、骨材や析出した結晶に由来すると思われる凹凸を有している。凹凸のサイズは、コンクリートよりも諫早スラグの方がより微細で、サブミクロンオーダーであることがわかった。

ホンダワラ類の幼胚は、基質表面に落下した後、100~200 μ m長の仮根を出し、仮根表面の厚さ数 μ mの粘着物質層により基質に固定・着生する⁴⁾。したがってガラスのように平滑な表面を有する佐世保スラグでははがれやすく、幼胚残存率がもっとも低かったと考えられる。一方、凹凸があるコンクリートや諫早スラグでは、仮根が固定しやすい環境にあると考えられ、特に諫早スラグの場合、粘着層の厚みに対し、適度な凹凸サイズであることが幼胚残存率の向上に寄与したと考えられる。

3.2 マクロ構造を有する基質の試作及びアイゴの食害防護効果の検証

3.2.1 凹み付きブロック

試作した凹み付きブロックを図10に示す。また、

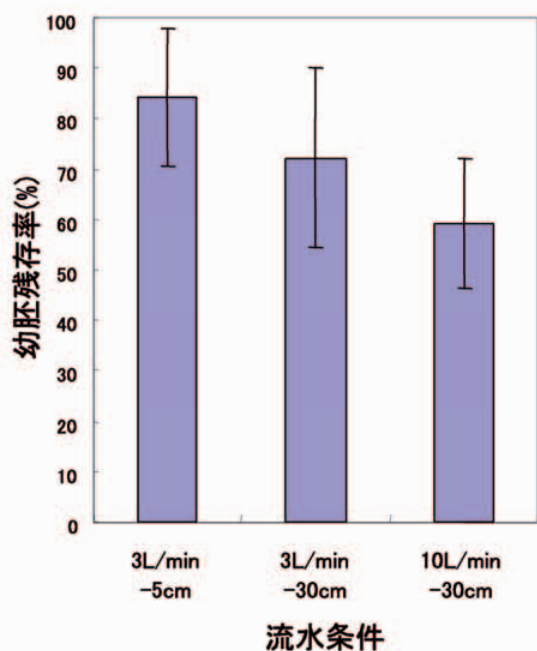


図7 残存率への流水の影響

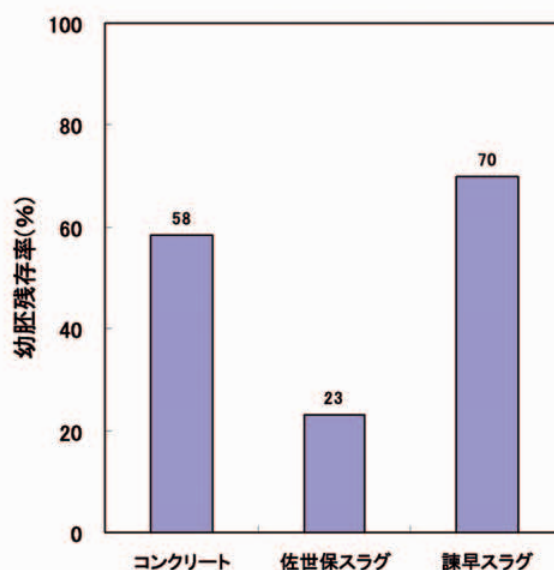
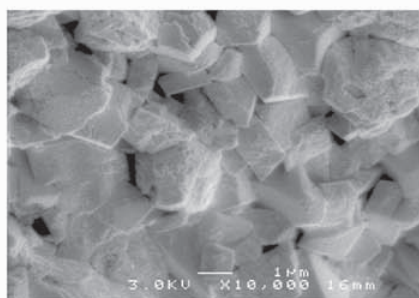
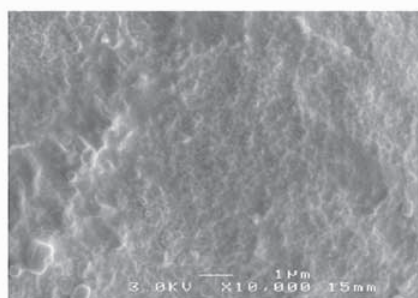


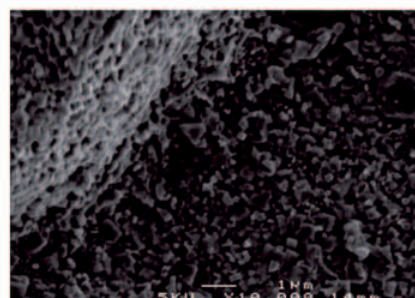
図8 各ブロックにおける幼胚残存率 (着生日数 2日)



(a) コンクリート



(b) 佐世保スラグ



(c) 諫早スラグ

図9 ブロック表面の電子顕微鏡写真

フィールド試験用として、フック付きブロックもあわせて作製した（図11）。

3.2.2 アイゴの食害防護効果の検証

直径と深さの異なる各種の凹み構造に設置したマメタワラについて行ったアイゴの摂食試験の結果を表2に示す。直径×深さが5cm×5cmではアイゴ中型区のみ結果であるが、マメタワラは試験区と対照区とも接着部の主枝をわずかに残すのみとなった。10cm×5cmのブロックでは、アイゴ小型、中型、大型区の各試験区と対照区のいずれもマメタワラは摂食され主枝のみとなった。一方、10cm×10cmのブロックではアイゴ小型区と大型区では、いずれも試験区のマメタワラは残り、設置10日後の試験区と対照区のマメタワラの体長は、小型区では15cm

と3cm、大型区では4cmと0.2cmと明らかな差がみられた。また、15cm×15cm、20cm×20cmのブロックでは、対照区は設けなかったが、アイゴ大型区では設置6日後までマメタワラは残り、体長はそれぞれ13cmと18cmであった。一方、アイゴ小型区では、試験区と対照区のマメタワラはそれぞれ体長18cmと10cmで残ってはいるが、主枝のみとなった。

以上の結果から、凹み構造のブロックの形状については、直径10cm×深さ10cmがアイゴの食害防止には最も有効であり、15cm×15cm、20cm×20cmの形状についてもアイゴ大型魚には食害防止効果が期待できると判断された。今後は、天然海域での実証試験や、着生した海藻の生育への影響、凹み構造であることからゴミの堆積や藻食性動物の食害の影響などについても明らかにしていく必要がある。

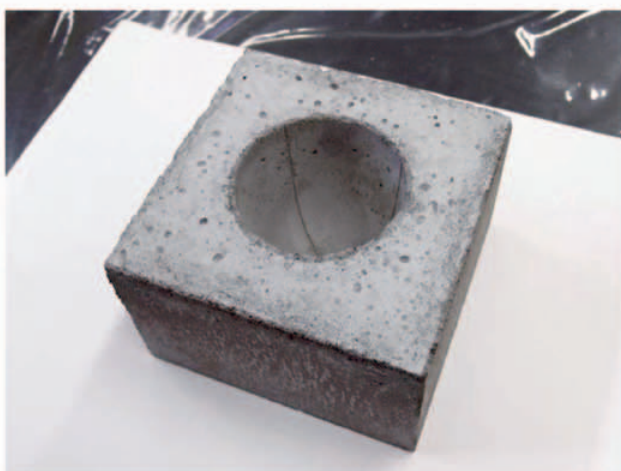


図10 凹み付きブロック



図11 凹み付きブロック（フック付き）

表2 凹み構造の基質に設置した海藻のアイゴの摂食による残存状況

凹み構造 直径×深さ	設置後 の日後	アイゴ小型区(12~16cm)		アイゴ中型区(16~18cm)		アイゴ大型区(25~30cm)			
		試験区		対照区		試験区		対照区	
		藻体長	藻体の状態	藻体長	藻体の状態	藻体長	藻体の状態	藻体長	藻体の状態
5cm×5cm	2日後			1.7cm	主枝のみ	0.2cm	主枝のみ		
10cm×5cm	2日後			0.5cm	主枝のみ	0.2cm	主枝のみ		
	4日後	16cm	主枝のみ	16cm	主枝のみ			0.3cm	主枝のみ
10cm×10cm	10日後	15cm	葉・気胞が残る	3cm	主枝のみ			4cm	葉・気胞が残る
15cm×15cm	6日後	18cm	主枝のみ					13cm	葉・気胞が残る
20cm×20cm	6日後	10cm	主枝のみ					18cm	葉・気胞が残る

3.2.3 凹み底部に凸形状を有するブロックの試作及びゴミ堆積防止効果の検証

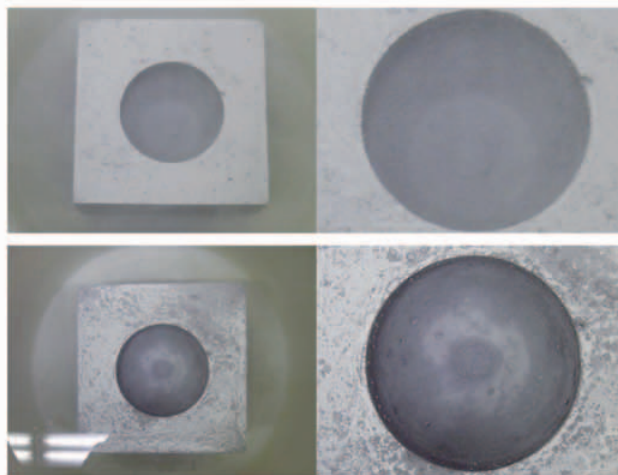
水酸化アルミニウム粉末（白色）を投入後、攪拌・静置すると、図12の上段に示すように凸部を含めて凹み底部全体を粉末が均一に覆っていることがわかる。

この状態で再度水を攪拌し水流を起こすと、凹み底部において、凸部に堆積していた粉末が凸部周辺の溝に落ち、凸部上の粉末が減少したことがわかる（図12下段）。以上の結果、凹み底部に凸部を設けることにより、ホンダワラ類の幼胚の生長を阻害するゴミの影響を少なくする可能性を見出した。

4. ま と め

(1) 藻場再生を目的として、海藻が着生しやすく、かつ着生した海藻が食べられにくいブロックの形状・素材について検討した。

(2) 佐世保スラグブロックに比べ諫早スラグブロックは2倍の残存率を示し、さらにコンクリートと比較しても同等以上の残存能力を示すことがわかった。また、1週間後の残存率の測定を行った結果、



(a) 全体 (b) 凹部の拡大

図12 ゴミ堆積試験状況
（上段：攪拌・静置後、下段：再攪拌後）

各試料の残存率は、48時間の結果と有意の差は認められなかった。

(3) 電子顕微鏡を用いた表面構造観察の結果、佐世保スラグ表面が非常に平滑であるのに対し、コン

クリート及び諫早スラグブロックの表面は、骨材や析出した結晶に由来する凹凸を有している。凹凸のサイズは、コンクリートよりも諫早スラグの方がより微細で、サブミクロンオーダーであることがわかった。この微細な凹凸サイズが幼胚残存率の向上に寄与したと考えられる。

(4) 凹み構造のブロックの形状については、直径10cm×深さ10cmがアイゴの食害防止には最も有効であり、15cm×15cm、20cm×20cmの形状についてもアイゴ大型魚には食害防止効果が期待できる。

(5) 凹み底部に凸部を設けることにより、ホンダワラ類の幼胚の生長を阻害するゴミの影響を少なくする可能性を見出した。

(6) 今後は、天然海域での実証試験や、着生した海藻の生育への影響、凹み構造であることからゴミの堆積や藻食性動物の食害の影響などについても明らかにしていく必要がある。

文 献

- 1) 吉田英樹、桐山隆哉、長崎県窯業技術センター研究報告、51、39-41、2003
- 2) 吉田英樹、桐山隆哉、長崎県窯業技術センター研究報告、52、24-26、2004
- 3) 桐山隆哉、舛田大作、金子仁志、森 洋治、藤井明彦、長崎水試事報、86-88、2001
- 4) 難波信由、日本水産学会誌、66、744-745、2000

付記：本研究は、平成15～17年度の連携プロジェクト研究として、総合水産試験場、工業技術センター、九州大学、鹿児島大学、長崎大学、佐賀大学、信和技研株式会社、長崎蒲鉾水産加工業協同組合と共同で実施した。