

藻場造成を目的とする浮魚礁の浮力および付着生物特性 に関する基礎的研究

江幡恵吾

鹿児島大学水産学部
〒890-0056 鹿児島市下荒田 4 丁目 50-20

要旨

2021年8月に鹿児島県や沖縄県の南西諸島沿岸に漂着した軽石を有効活用するために、高炉セメントで結合させてブロックを製作し、海中に設置した時の浮力特性の変化および海藻類の付着量を明らかにすることを目的とした。実験は鹿児島県出水郡長島町にある鹿児島大学臨海実験所地先の水深約7mの海域で行った。海面に浮かべた場合には、浸漬日数109日間浮いた状態を維持して、回収後に水道水で洗浄して十分に乾燥させることで、余剰浮力は使用する前とほとんど変化しないことが明らかになり、繰り返し利用できることが示された。海底に設置した軽石ブロックと比較して、海面に浮かべたブロックの方が海藻類の付着量が多くなったことから、藻場造成に利用できる新たな基質として有効であると考えられた。

1 緒言

藻場は海中の二酸化炭素を吸収して酸素を供給し、水生生物の餌場や産卵場所、幼稚仔魚の隠れ家などを提供する機能を持ち、水産資源の増殖に大きな役割を果たしている。日本沿岸ではコンクリート構造物を用いた藻場造成が盛んに行われているが、植食性魚類やウニ類によって成長初期段階の海藻類の生育不良や藻場の消滅が問題になっている。また、構造物の表面が砂などに覆われて、海藻類の生育や胞子の着床が阻害されてしまうことがある¹⁾。そこで、本研究ではこれらの課題を解決するために、藻場造成のための構造物を海面に浮かべることを考えた。構造物が常に海面に浮いた状態であれば、底生動物であるウニ類による食害を防ぐことができ、同時に砂による被覆も回避できると考えた。

2021年8月に小笠原諸島の海底火山「福德岡ノ場」で発生した噴火によって多量に噴出した軽石は鹿児島県や沖縄県の南西諸島沿岸に漂着し、船舶の航行や観光業などに深刻な被害をもたらした。約1,300km離れた小笠原諸島から約2ヶ月間の時間をかけて漂流してきた軽石は強い浮力を有することが特徴である。漂着軽石を接合させた構造物の表面は、海藻類の胞子が入り込みやすい凹凸の形状になることから、藻場造成用のブロックとして利用できる可能性がある。

このような背景を踏まえて、本研究では漂着軽石を結合させた構造物（以下、軽石ブロックとする）の有効利用を考えて、海中に設置した時の浮力特性の変化および海藻類の付

着量を明らかにすることを目的とした。

2 実験材料および方法

実験には与論島沿岸で回収された漂着軽石を使用した。漂着軽石には木屑、発泡スチロール片、プラスチック片などが混ざっていたため、実験に使用する前にそれらを取り除いた。漂着軽石のサイズは、細砂のような小さなものから礫に相当する大きさのものまで様々であり、粒度分布は直径 2.38~26.5 mm が全体重量の 88.1%を占めた。

漂着軽石どうしを結合させるために、普通ポルトランドセメントに高炉スラグ微粉末を混合させた高炉セメントを使用した。コンクリート構造物の製作において排出される CO₂ の多くはセメント製造時に発生しており²⁾、製鉄所から排出される高炉スラグ微粉末を産業副産物として利用することで、普通ポルトランドセメントの製造に伴う環境負荷を低減させることができる。また、高炉セメントを用いて製作した構造物は、コンクリートの劣化現象の一つであるアルカリシリカ反応、塩害浸透性、化学的浸食などに対する抵抗性に優れている³⁾。すなわち、普通ポルトランドセメントと比較して、高炉セメントを使用した構造物の方が海水中に含まれる化学物質である硫酸塩に対する抵抗性と塩化物の浸透抵抗性に優れ、製造時の燃料使用量および炭酸ガスの発生量は少なく、石灰石資源を節約できるなどの利点を持っている⁴⁾。

高炉セメントの密度は約 3 g/cm³ で海水密度よりも大きいため、漂着軽石の持つ浮力を活かしながら結合させるには、高炉セメントの使用量をなるべく少なくした方が良い。そのため、高炉セメントに対する水道水の比を 0.4~0.5 で変化させて漂着軽石の配合量を検討する予備実験を行い、その結果を踏まえて高炉セメント、水道水、漂着軽石の重量比を 1 : 0.5 : 2.2 にした。

軽石ブロックの製作手順を Fig. 1 に示す。①に示す傾動ミキサーを用いて、高炉セメント、水道水、漂着軽石を混合する時に、はじめに高炉セメントと水道水を混ぜてペースト状にして、その中に漂着軽石を加えると材料の練り混ぜに偏りが生じた。この偏りを改善するために、高炉セメントと漂着軽石を入れて約 1 分間混合した後に水道水を加えて、さらに 3 分間混ぜ合わせた。混合した材料を傾動ミキサーから取り出して、②に示すようにシャベルで材料をかき混ぜてから③に示す型枠の中に入れた。型枠に材料を詰める時に内部に空気が入り込まないように突き棒で軽く叩き、表面を平滑にしてから型枠に蓋をして、その上に 150 kg のおもりを載せた。翌日に型枠から取り外して、水道水に浸漬させて約 1 週間養生した。このようにして製作した軽石ブロックは、④に示すように縦 15 cm、横 15 cm、高さ 6 cm の平板で中央部にロープを取り付けるための孔を設けた。製作した軽石ブロックを空气中で十分に乾燥させてから質量および浮力を測定した。

実験は鹿児島県出水郡長島町にある鹿児島大学臨海実験所地先で行った。2023 年 11 月 4 日に海面と海底（水深約 7 m）にそれぞれ 60 個ずつ設置した。Fig.2 に示すように海面に浮かせた軽石ブロックは、40 cm 間隔で 10 個をロープで連結させ、また、海底に設置した軽石ブロックはフレーム（62×95 cm）に 10 個取り付けて、これらを 6 組ずつとした。

2022 年 11 月 17 日、12 月 1 日、12 月 13 日、2023 年 1 月 10 日、1 月 31 日、2 月 21 日に

軽石ブロックを 10 個ずつ回収した。浸漬日数はそれぞれ 13 日間、27 日間、39 日間、67 日間、88 日間、109 日間である。軽石ブロックを回収した直後に、海水を満たしたバケツの中に浸漬させて浮くか沈むかを調べた。その後、軽石ブロックに付着した海藻類の乾燥を防ぐために海水とともにビニル袋に入れて研究室に持ち帰った。研究室に持ち帰った当日または翌日に軽石ブロック表面についた海藻類をピンセットで丁寧に取り外して湿重量を電子天秤で 0.1 g 単位で測定して、回収した軽石ブロックの平均値を算出した。

海藻類を取り外した後に軽石ブロックを水道水で洗浄し、屋外で十分に乾燥させてから質量と浮力を測定し、重量と浮力の差である余剰浮力を算出した。1 回目の実験で浸漬日数を 13, 27, 39 日とした軽石ブロックを再び海面および海底に設置して 2 回目の実験を行った。2 回目の実験での浸漬日数は 1 回目と同じにする予定であったが、天候不良などの影響で変更になり、それぞれ 14, 28, 42 日間になった。



Fig. 1 Manufacturing process of block connected by drifted pumices.



Fig. 2 Pumice blocks placed on sea surface and seabed.

3 実験結果

3.1 軽石ブロックの余剰浮力

1回目および2回目の実験において海面に設置した軽石ブロックはすべて、回収直後では海水に浮いた状態にあった。一方で、海底に設置した場合は、1回目の実験で浸漬日数13日間の時に10個の軽石ブロックのうち7個は浮いたが3個は沈み、浸漬日数27日間以上になると、すべての軽石ブロックは沈んだ状態にあった。

1回目の実験での軽石ブロックの余剰浮力について、海面および海底に設置した場合はそれぞれ Fig. 4, Fig. 5 に示す。海面に設置した軽石ブロックの余剰浮力は、設置前では0.9~1.2 N で回収後は1.0~1.6 N であり、海面に設置することで余剰浮力が大きく変化することはなかった。一方、海底に設置した場合は、回収後の余剰浮力は減少する傾向があり、浸漬日数27日間、88日間では、設置前と比べて有意に小さくなった ($p < 0.01$, Mann-Whitney U test)。

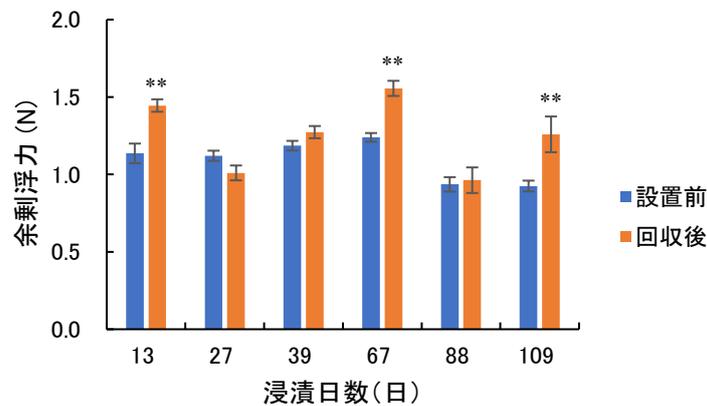


Fig. 4 Surplus buoyancy of pumice blocks before and after placing on sea surface. (** $p < 0.01$, Mann-Whitney U test)

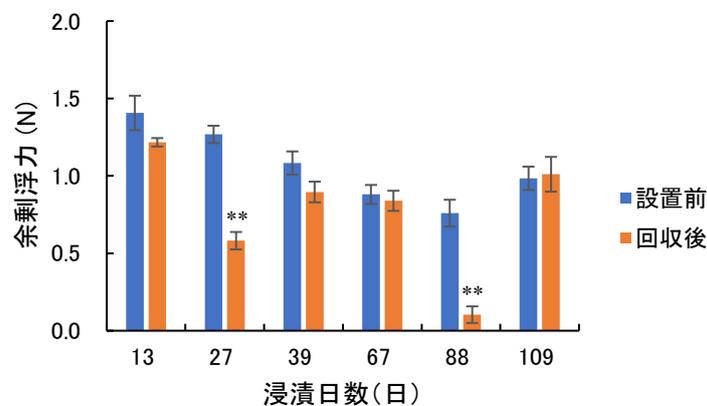


Fig. 5 Surplus buoyancy of pumice blocks before and after placing on seabed. (** $p < 0.01$, Mann-Whitney U test)

1 回目の実験で使用した軽石ブロックを再度設置した 2 回目の実験における余剰浮力の変化を海面および海底に設置した場合についてそれぞれ Fig. 6, Fig. 7 に示す。回収後の軽石ブロックの余剰浮力は、海面に設置した場合で 1.2~1.4 N、海底に設置した場合で 1.3~1.4 N であった。

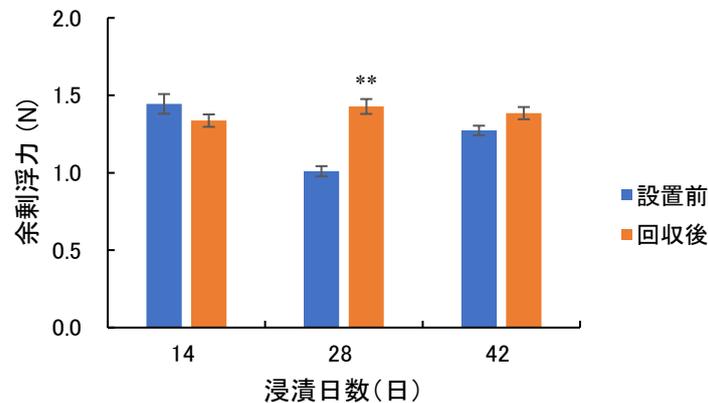


Fig. 6 Surplus buoyancy of pumice blocks before and after second placing on sea surface.
(** $p < 0.01$, Mann-Whitney U test)

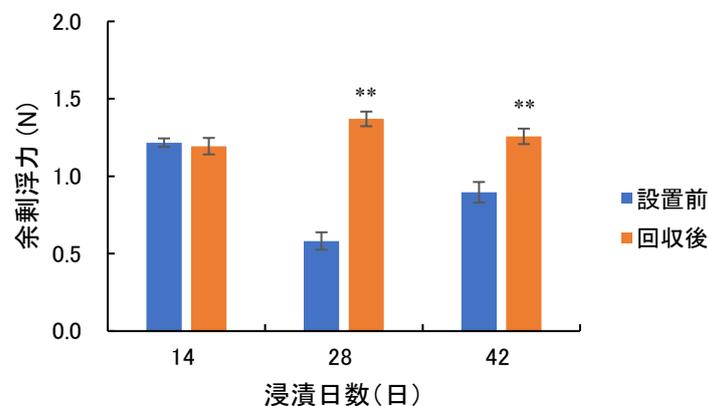


Fig. 7 Surplus buoyancy of pumice blocks before and after second placing on seabed.
(** $p < 0.01$, Mann-Whitney U test)

3.2 軽石ブロック表面に着生した海藻類

軽石ブロックの表面に着生した海藻類の湿重量の変化を Fig. 8 に示す。着生した主な海藻類はアオノリ属 *Enteromorpha* sp., アオサ属 *Ulva* sp., 紅藻属 *Polysiphonia* sp. の 3 種であり, Fig. 8 ではそれらの合計を示している。海底に設置した軽石ブロックの表面では, 海藻類の着生は浸漬 67 日後までは見られず, 浸漬 88 日後に初めて確認され, 付着量は 7.0 ± 3.0 g であり, 109 日後では 12.0 ± 3.5 g であった。海面に設置した軽石ブロックにおける海藻類の付着量は浸漬 13 日後で 2.3 ± 0.3 g であり, 27 日後には 90.1 ± 7.5 g に増加した。浸

漬 39 日後, 67 日後, 88 日後では 47.8~66.9 g で推移して, 109 日後では 159.0 ± 27.3 g に増加した。

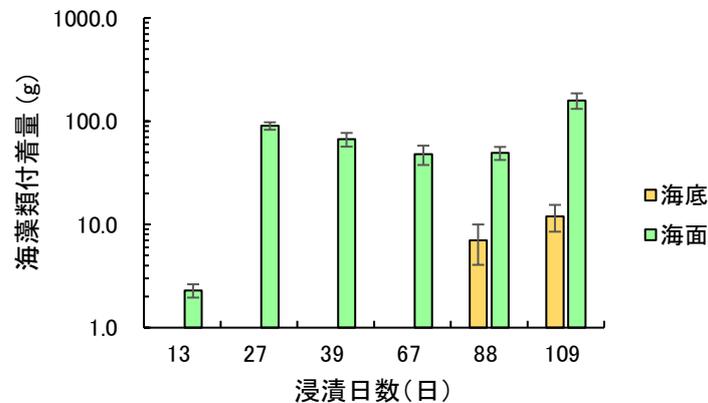


Fig. 8 Wet weight of seaweed on the pumice blocks placed on sea surface and seabed.

4 考察

本研究では, 軽石ブロックを海中に設置した時の浮力特性および表面に着生する海藻類を明らかにするために, 浸漬日数を最大 109 日間として実験を行った。本研究で用いた軽石ブロックは縦 15 cm, 横 15 cm, 高さ 6 cm の平板であり, 海中に設置する前は 1 個あたりの余剰浮力は 0.9~1.2 N であり, 海面に浮かべた場合には, 回収直後も浮いた状態を維持して, 回収後に洗浄して十分に乾燥させることで余剰浮力はほとんど変化しないことが明らかになった。このことは 2 回目の実験でも同様であったことから, 藻場造成の基質として軽石ブロックを用いた時には, 回収後に洗浄して乾燥させることで, 繰り返し利用できることが示された。

海底に設置した軽石ブロックでは, 回収時には沈んでしまうことが多く, 回収後に洗浄して乾燥させたとしても, 使用前と比べて余剰浮力が減少することがあった。海底に浸漬させることによって軽石内部の気泡が少なくなって余剰浮力が減少したのではないかと考えられる。

軽石ブロックを海面に浮かべた場合には, 浸漬してから 13 日間で海藻類の着生が見られ, その後も付着量は増加し, 海藻類の生育が確認できた。一方で, 海底に設置した場合には, 軽石ブロックの表面には海藻類がほとんど見られず, 浸漬してから 88 日間でようやく僅かな量ではあるが海藻類の着生が見られた。このように, 海面と海底に設置した軽石ブロックで海藻類の付着量に違いが見られたことについて, 海中の透明度や太陽光の日射量が要因であると推測した。

本研究で軽石ブロックを回収した時に, 海面に浮かべた軽石ブロックの表面には砂が付着していることはほとんどなかったが, 海底に設置した軽石ブロックの表面には, 砂や泥が付着しているのが観察された。実験を行った海域は砂地の海底であることから, 海中の流れの影響を受けて砂が巻き上がり, 軽石ブロック表面に覆いかぶさったと推測された。

軽石ブロック表面が砂で覆われることで海藻類が着生しづらくなったり、着生したとしても剥がれやすくなったりしたことが考えられる。また、軽石ブロックを設置した海域は水深が約7mの浅海域であり、表層と海底では照度の違いはそれほど大きくないことが予想されるが、軽石ブロック表面が砂で覆われることにより太陽光の日射量が減少し、海藻類の生育を阻害したことが考えられる。海面に浮かべた軽石ブロックに着生した海藻類は、太陽光の当たりやすいブロックの上面または側面に多く、底面にはほとんど観察されなかったことから、太陽光の日射量の違いが海藻類の生育に影響を与えたと考えられる。本研究では軽石ブロックの形状を平板にしたが、海藻類の着生は太陽光の当たりやすい上面や側面に多くみられたことを考慮すると、例えば球状や円錐型などの形状に改良することで太陽光が当たりやすい面を増やして海藻類の生育が促進できるのではないかと考える。

以上のことから、藻場造成の基質として軽石ブロックを海面に設置することで、砂に覆われたり海中の濁りによる影響を受けたりすることが減少して、海藻類の孢子着床や生育が促進されると考えられる。また、軽石ブロックを海面に浮かべることで、ウニ類などの植食性動物による食害も回避できるため、新たな藻場造成の手法として有効であると考えられた。

引用文献

- 1) 寺脇利信, 新井章吾, 川崎保夫: 藻場の分布の制限要因を考慮した造成方法, 水産工学, 32(2), 145-154, 1995.
- 2) 野畑健志: 高炉セメントのCO₂削減効果について, コンクリート工学, 48(9), p. 9_58-9_61, 2010.
- 3) 岩城一郎, 子田康弘, 上原子晶久, 諸岡等: 塩分環境下における高炉セメントを用いた蒸気養生コンクリートのスケーリング抵抗性に関する研究, コンクリート工学論文集, 21(3), p. 3_23-3_30, 2010.
- 4) 檀康弘: 高炉セメントの技術史~100年の歩み~, コンクリート工学, 48(11), p. 11_3-11_8, 2010.
- 5) 袖山研一, 樋口貴久, 瀬戸口眞治. 漂着軽石の物性と利用技術. 鹿児島県工業技術センター研究報告, 35, 47-51, 2021.

Abstract

The purpose of this study was to clarify changes in surplus buoyancy and amount of seaweed that settle on the surface of blocks consisted of drifted pumices washed ashore on the coast of the Nansei Islands in Kagoshima and Okinawa prefectures in August 2021. Cement and water were mixed with the drifted pumices to make blocks. The pumice blocks were placed on the sea surface and seabed on the coast of Nagashima town, Kagoshima. When the blocks were laced on the sea surface, they remained for 109 days. It was found that the surplus buoyancy of blocks remained almost unchanged by washing and drying and the blocks could be used repeatedly. Compared to blocks placed on the seabed, blocks placed on the sea surface showed a greater amount of seaweed attachment. Floating structures using pumice blocks were considered to be effective as a new substrate that can be used to develop seaweed beds.