

平成 30 年 5 月 30 日現在

機関番号：37110

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00603

研究課題名(和文) 火山灰とリサイクル材を有効活用した藻場基盤材の開発とその長期モニタリング

研究課題名(英文) Development of base materials for seaweed beds using volcanic ashes and recycling materials of industrial wastes and its long-term monitoring

研究代表者

山本 健太郎 (YAMAMOTO, Kentaro)

西日本工業大学・工学部・准教授

研究者番号：40305157

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：(1) 火山灰と産業廃棄物リサイクル材を用いて、低環境負荷型の藻場基盤材を開発することができた。(2) 廃陶磁器や廃石膏、少量の鉄粉の混入が海藻の活着やその後の生育に大変有効的であった。(3) 海藻類の活着により、自然石と区別し難い状態となった。一度、海藻が活着すると、海藻がかれる季節を過ぎても、再度、海藻の活着が見られた。(4) セメントを約4%前後混合した場合、波浪などによる基盤材表面の摩耗が見られ、海藻類の活着には不適であった。

研究成果の概要(英文)：(1) The base materials for seaweed beds which reduce the environmental load could be developed using volcanic ashes and recycled materials from industrial waste. (2) From the results of the long-term monitoring, the mixture of scrapped ceramics, recycled gypsum and some iron powders were very effective for the rooting and growth of seaweed. (3) It was difficult to distinguish the developed base materials for seaweed beds from natural stones in the seabed due to the attachment of many barnacles and the rooting and growth of seaweed. In addition, once the rooting of seaweed could be successful, we could observe the rooting of seaweed again even if the seaweed wither. (4) When the additional use of cement is approximately 4.0% of the whole weight, the quality of developed base materials was finally inadequate for the rooting of seaweed because the wear on the surface of base materials could be seen by waves.

研究分野：環境学

キーワード：産業廃棄物 リサイクル材料 藻場基盤材 低環境負荷 モニタリング 海の森づくり 環境材料 3  
R

1. 研究開始当初の背景

日本全国の藻場は過去30年で30-40%消失しており、深刻な問題となってきた。藻場の重要性はあまり知られていないが、魚貝類の隠れ家や生息場、餌場、産卵場としての機能がある。つまり、魚礁としての多方面への効果が大きく、生態系や沿岸漁業においても欠かせない存在である。藻場の減少は、埋め立てや浚渫による生息域そのものの減少や、温暖化による水温上昇などによることが知られている。また、海藻の生育に必要なとされ、光合成の促進や葉緑素の合成に必要な栄養素である鉄分が森林伐採やダム造成などにより、海中において不足していることが指摘されている。一方で、消波ブロックや漁礁などのコンクリート構造物等について、近年は漁業関係者からもセメントが海洋環境に与える悪影響も懸念されており、海中でのセメント使用に反対する声も聞かれるところでもある。

近年、桜島の大正噴火から100年以上経過したこともあり、噴火活動が活発化を続けている。昭和火口の年間爆発回数が2013年度の1年間では835回の爆発が観測され、2012年の総降灰量は2006年度6月の昭和火口活動再開後としては、これまでで最も多い約660万トンを観測した。多量の降灰は周辺地域住民の生活や経済活動に大きな影響を及ぼすので、大半は大変な人力と財力を費やして埋め立て処理しているのが現状である。

2. 研究の目的

藻場の保全や再生を目的に、南九州の地域資源でもある桜島火山灰、産業廃棄物リサイクルマテリアルである陶磁器破砕片(粒径2~4mmの物を使用)、固化材としては廃石膏(再生石膏)を主とし、鉄分としては使い捨てカイロを混合することにより、低環境負荷藻場基盤材の開発とそのモニタリングを実施した。なお、セメントは固化補助材として利用した。これらは産業廃棄物やそのリサイクルマテリアルを有効利用することから、環境負荷低減、リサイクル促進や環境教育にもつながるものと考えられる。鉄分を供給できる低環境負荷型の藻場基盤材を設置することにより、海藻を増加させ、食用を含めた魚介類の増加(沿岸漁業環境の向上)に繋げることを目的としている。また、海藻生育に伴う光合成によるCO<sub>2</sub>(二酸化炭素)の固定化や海中への酸素供給による海底土壌の悪化防止などの効果、将来的にはバイオエタノール製造なども期待できると考えられる。

3. 研究の方法

藻場基盤材としての性能を評価するために強度試験である一軸圧縮試験と溶出試験などを海中投入・設置前に実施した。桜島火山灰、陶磁器破砕片、廃石膏を主体としたものの他に新たに二種類の産業廃棄物を有効活用した新たな環境に優しい藻場基盤材の

開発を実施した。一つ目は、陶磁器破砕片(粒径2~4mmと0.9mmを使用)と廃石膏を主としたものである。二つ目は、木質バイオマス発電から排出される流動砂、陶磁器破砕片(粒径2~4mm)と廃石膏を主としたものである。

(1) 桜島火山灰を有効活用した藻場基盤材

開発した基盤材の配合を表-1に示す。鉄分の有効性について検討するため、No.3, 4, 6については廃鉄粉を配合し、No.5に関しては貝殻を約10%配合した。表-2に28日養生後の基盤材供試体の一軸圧縮試験結果を示す。これを見ると、一軸圧縮強さはセメントの比率が最も少ない8.8%(No.1)でも2.12MPaと高い強度が得られた。セメントの混合率14.7%(No.2)では3.50MPa、12.3%(No.3, 4)では2.55MPaが得られ、一軸圧縮強さはセメントの比率に依存することがわかった。なお、セメントが0%の場合でも0.34MPaの一軸圧縮強さが得られ、すべてのケースで縦割れ破壊を呈した。また、セメントの比率が12.3, 2.9%のケースではセメントを加えたにも関わらず、少し水分が少なかったため、他のケースと比較して、供試体表面も粗く、湿潤密度が小さくなったと考えられる。

表-1 藻場基盤材の配合 (質量比率)

specimen	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6
volcanic ashes	35.1	29.4	30.8	30.8	26.8	29.9
recycled gypsum	24.6	23.5	24.6	24.6	21.5	23.9
water	14.0	14.7	13.8	13.8	12.1	13.4
scrapped ceramics	17.5	17.6	18.5	18.5	16.1	17.9
cement	8.8	14.7	12.3	12.3	13.4	11.9
shells					10.1	
iron powder			300g covered on the surface	300g mixed into the surface		3.0

表-2 一軸圧縮試験結果 (桜島火山灰, 28日養生)

Mixing ratio (%)	Volcanic ashes	Recycled gypsum	Water	Scrapped ceramics	Cement	Unconfined compressive strength (MPa)	Water content (%)	Wet density (g/cm <sup>3</sup> )
	35.1	23.5	14.0	17.5	8.8	2.12	19.0	1.91
	29.4	24.6	14.7	17.6	14.7	3.50	19.7	1.93
	30.8	24.6	13.8	18.5	12.3	2.55	19.5	1.76
	30.8	24.6	13.8	18.5	12.3	0.93	12.3	1.77
	26.8	21.5	12.1	16.1	13.4	0.34	15.0	1.92

次に、個々の試料の元素含有量と溶出試験結果について述べる。元素含有量試験には誘導結合プラズマ発光分光分析と質量分析装置などを用いた。特徴的なものとしては、桜島火山灰はシリカ、アルミナ、鉄、カルシウム、マグネシウム、陶磁器破砕片はシリカとアルミナ、廃石膏はカルシウムと硫黄、セメントはカルシウム、シリカ、アルミナを多く含有していた。また、溶出試験は環境庁告示13号法に基づいて実施した。これらより、個々の試料の元素含有量試験と人工海水中に浸した元素分析においても六価クロムなどの有害元素の溶出がなかった。よって、これまで強度や環境面で問題が全くないことを確認してきている。

製作された基盤材の形状は、おおまかに直径40cm、高さ14cm、重量約23.5-26.0kgの円盤型であり、また低コストかつ handy & mobile type で、火山灰のみならず地域に合わせたカスタマイズが可能である。また、基盤材は最初、火山灰と同じ黒色を呈したが、乾いてくると表面の色が黒色から白色へと少しずつ変化し、綿のように水酸化カルシウムが析出する現象も観察された。また、養生条件や季節にもよるが、持ち運びが出来る程度の固化には少し時間を要する傾向もわかった。

#### (2) 陶磁器破砕片を有効活用した藻場基盤材

表-3には開発した藻場基盤材の配合（質量比率）と一軸圧縮試験結果を示す。これを見ると、配合は廃陶磁器だけで約60%あり、廃石膏も約30%含まれている。当然であるが、セメントの配合が4.5%のケースが一番高い強度5.59MPaを示した。なお、セメント配合がない場合、一軸圧縮強さは0.33MPaであった。溶出試験は環境庁告示13号法により行った。これらより、個々の試料の元素含有量試験と人工海水中に浸した元素分析においても六価クロムなどの有害元素の溶出がなかった。よって、これまで強度や環境面で問題が全くないことを確認してきている。また、どの配合ケースにおいても基盤材の表面には廃鉄粉(使い捨てカイロ)を300g添加し、主固材である廃石膏の補助材として、セメントを4%前後程度混入した。後述の研究結果からもわかるように基盤材の形状は、おおまかに直径40cm、高さ14cm、重量約26Kgの円盤型の handy type で、人力での持ち運びが可能となっている。また、この陶磁器破砕片と廃石膏を主体とした基盤材は、九州の陶磁器産業が盛んな場所である長崎県波佐見町からの廃陶磁器破砕片と廃石膏を有効活用しているため、陶磁器産業が盛んな周辺海域（大村湾など）に主に海中投入していければと考えている。

表-3 一軸圧縮試験結果  
(陶磁器破砕片, 28日養生)

Mixing ratio (%)	Scrapped ceramics (fine:0.9 mm)	38.8	36.4	35.9
	Recycled gypsum	27.2	25.6	25.2
	Water	14.4	15.1	17.0
	Scrapped ceramics (coarse: 2.0-4.0 mm)	19.6	18.4	18.0
	Cement	0.0	4.5	3.9
Unconfined compressive strength (MPa)		0.33	5.59	3.06
Water content (%)		8.4	10.2	10.3
Wet density (g/cm <sup>3</sup> )		1.75	1.79	1.56

#### (3) 木質バイオマス発電所からの流動砂を有効活用した藻場基盤材

上記(2)に示した陶磁器破砕片(細(0.9mm))の代わりに、流動砂を利用した。流動砂とは木質バイオマス発電において、完全燃焼させるための流動媒体である珪砂のことを指す。特性としては、木質バイオマス発電からのカリウム付着のため、強いアルカリ性を示すことが挙げられる(土粒子密度  $\rho_s=2.607\text{g/cm}^3$ , pH 9.33)。粒径0.425mm以下がほぼ95%で、非常に細かい。また、表-4に28日養生後の基盤材供試体の一軸圧縮試験結果を示す。これを見ると、セメントを4.4%と4.0%混入した場合の一軸圧縮強さはそれぞれ、2.24MPaと1.75MPaとなった。両方の応力-ひずみ曲線ともにピーク強度である一軸圧縮強さが得られるまでは強度は徐々に増加し、ピーク後、徐々に減少する様子が観察された。なお、破壊形態は縦割れ破壊を示した。さらに、(2)と同様に、どの配合ケースにおいても基盤材の表面には廃鉄粉を300g添加し、これまで強度や環境面で問題が全くないことを確認してきている。また、この流動砂と廃石膏を主体とした基盤材は、木質バイオマス発電が盛んな大分、宮崎、鹿児島県周辺の海域に主に海中投入していければと考えている。

表-4 一軸圧縮試験結果(流動砂, 28日養生)

Mixing ratio (%)	Used grains of sand (流動砂)	35.8	35.7
	Recycled gypsum	25.3	25.3
	Water	16.2	16.8
	Scrapped ceramics	18.3	18.2
	Cement	4.4	4.0
Unconfined compressive strength (MPa)		2.24	1.75
Water content (%)		6.9	6.7
Wet density (g/cm <sup>3</sup> )		1.63	1.57

#### 4. 研究成果

海中モニタリングの観察結果を主体とした研究成果を以下にまとめる。

### (1) 鹿児島湾での長期海中モニタリング

開発した藻場基盤材を2013年5月に海中投入・設置して、長期間にわたる海中モニタリングをここでは報告する。現在もお継続中である。モニタリングとともに海水の水質データも基盤材近くで採取した。特徴的なこととしては、海水温が20℃前後であること、pHは8.0前後の値を示したこと、電気伝導率は年間を通して40 mS/cm前後で推移したこと、塩分は平均的に2.0%前後となったことなどが挙げられる。

写真-1には3カ月経過後のNo.4, 6の藻場基盤材の様子を示す。これらのケースでは他のケースと異なり、海藻の著しい成長が見られた。次に、写真-2には5カ月経過後のNo.4, 6の藻場基盤材の様子を示す。No.4, 6の藻場基盤材では写真-1の時よりも、より顕著に海藻の著しい成長が見られた。一方、他の藻場基盤材では藻類と見られるものは確認できたが、大きく生育するような海藻の活着は見られなかった。なお、No.3にも鉄分を配合したが、表面へ塗付しただけであるために波浪等の影響で流失し、鉄分の効果が得られなかったため、海藻の活着が見られなかったと考えられる。写真-3には2年4カ月経過後のNo.1, 3, 4, 6の藻場基盤材を示す。No.1にはフジツボや藻類のみが見られ、海藻の生育は見られなかった。No.4, 6に対しては海藻（ホンダワラ類）の繁茂が確認できた。一方、No.3の表面にも小さな海藻が見られた。さらに、写真-4には3年3カ月経過後のNo.1, 3, 4, 6の藻場基盤材を示す。おおまかな傾向は、写真-3と同様であるが、No.3ではあまり海藻は成長せず、藻類やウミウチワなどが観察された。

よって、現在のところ、陶磁器破砕片、鉄分の混入が海藻の活着やその後の生育にたいへん有効的であったと考えられる。また、図では示していないが、比較のためにコンクリートのようなセメント量が多い基盤材も海中投入したが、そちらの方には全く海藻の活着が見られなかったことを付け加えておきたい。なお、一度、海藻が自然に活着すると、再度、活着が見られ、自然石とも区別し難い状況となった。また、セメントが0%の場合の基盤材では、硬化が少し遅くなるなどの現象が見られたが、海中投入の運搬等も問題なく実施することができた。しかし、海中投入すると、海藻が活着する前に、波浪などの影響もあり簡単に壊れて無くなってしまいうことも観察された。



(a) No.4

(b) No.6

写真-1 鹿児島湾へ海中投入3カ月経過後の藻場基盤材 (No. 4 and 6)



(a) No.4



(b) No.6

写真-2 鹿児島湾へ海中投入5カ月経過後の藻場基盤材 (No. 4 and 6)



(a) No.1



(b) No.3



(c) No.4



(d) No.6

写真-3 鹿児島湾へ海中投入2年4カ月経過後の藻場基盤材 (No. 1, 3, 4 and 6)



(a) No.1



(b) No.3



(c) No.4



(d) No.6

写真-4 鹿児島湾へ海中投入3年3カ月経過後の藻場基盤材 (No. 1, 3, 4 and 6)

### (2) 長崎県と福岡県での海中モニタリング

3. 研究の方法(2), (3)で開発した藻場基盤材を2017年6月に長崎県佐世保市針尾と福岡県行橋市長井に海中投入・設置した。写真-5(a), (b)には長崎県佐世保市針尾に海中投入した藻場基盤材を示す。1カ月経過後には、藻類の活着は確認できたが、2カ月経過後にはあまり海藻の生育は見られなかった。これは完全に活着する前に、基盤材の表面が波浪の影響で削られてしまったことやウニの食害の影響などが考えられる。次に、写真-6(a), (b)には福岡県行橋市長井に海中投入した藻場基盤材を示す。このケースの場合、砂場で

あまり海藻が生えておらず、胞子が少なかったため、海藻の生育はあまり見られなかった。また、基盤材の表面が波浪の影響で結構削られており、強度面も半永久的なものではなく、壊れて自然に還るように考えられる点は良かった。しかし、藻類が完全に活着するには、基盤材表面の強度が波浪の影響などで容易く削られないことも必要であることが今回のモニタリング結果からわかった。なお、砂場で埋もれていた基盤材表面はあまり削られておらず、興味深い観察結果となった。現状では、基盤材表面が波浪の影響などで容易く削られないようもう少し強度を増加させ、海中モニタリングを実施することによって、その効果を観察していきたい。



(a) 海中投入直後の藻場基盤材



(b) 海中投入から2カ月経過後

写真-5 長崎県佐世保市針尾へ海中投入した藻場基盤材



(a) 海中投入直後の藻場基盤材



(b) 海中投入から4カ月経過後

写真-6 福岡県行橋市長井へ海中投入した藻場基盤材

### (3) 研究成果のまとめと今後に向けて

本研究では、産業廃棄物や産業廃棄物リサイクル材を用いて、低環境負荷型となる環境にも優しい藻場基盤材を開発することができた。特筆すべき点としては、固化材としてセメントの代りに廃石膏（再生石膏）を主として用い、セメントは補助的に用いた。リサイクル材の積極的な利用により、陸域においては産業廃棄物による最終処分場の延命・周辺地盤への環境負荷の軽減が見込まれる。一方、水域においても藻場の再生による沿岸海域環境の改善が挙げられる。次に、海中での鉄分不足を解消するために、使い捨てカイロを有効活用した。また、藻場基盤材の場合は消波ブロック等と異なり、強度が要求されず、海中投入前に形状が壊れない程度の強度が確保され、海中投入後、自然に壊れた後も藻場基盤材としての機能を有するならば問題はないと考えている。

今後は、海藻活着以前にそれほど簡単には壊れず、数年後には壊れて自然に還るような基盤材を想定しているため、固化材の補助としてセメントを約 6-8%前後混入した藻場基盤材を大量に製作し、海中投入を実施する予定である。なお、セメントを約 4%前後混入した藻場基盤材も作製してきたが、藻類が完全に活着する前に、基盤材表面が波浪の影響などで削られる現象もこれまでのモニタリング結果から観察された。そして、海藻活着やその後の生育効果、海水投入後に自然に壊れていくかのモニタリングチェックをすることにより、最適な配合割合、鉄分の有効性に関する検証を実施する。なお、素焼き破砕片、石粉や木質バイオマス発電からの流動砂やバーク（スギ、ヒノキ）などの混入も進行中である。

次に、九州圏域の様々な海域においても海中モニタリングを行う。また、沿岸海域環境の改善を主目的に、環境に優しい藻場基盤材を活用した環境改善手法を提案していく予定である。最終的には、経済的、環境的にも優しく、環境教育や防災面にも活用できる産業廃棄物リサイクル材を有効活用した藻礁を創造していきたい。さらに、海藻の活着が見られ、根付いた後は半永久的なものではなく、6~10年程度で徐々に壊れていって欲しいと考えているところである。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

① K. Yamamoto, T. Negami, N. Mizoguchi, M. Hira and R. Tanaka: Development of environment-oriented base materials for seaweed beds and long-term monitoring in the sea, Proc. of 15th Int. Conf. of the Int. Assoc. for Computer Methods and Advances in Geomechanics, Wuhan, Paper No.564, 2017.10.

② 山本健太郎、根上武仁、溝口直敏、平瑞樹、田中龍児: 産業廃棄物を有効活用した新たな環境に優しい藻場基盤材の開発, 第 12 回 環境地盤工学シンポジウム論文集, pp.387-394, 2017.9.

③ K. Yamamoto, T. Negami, N. Mizoguchi, M. Hira and R. Tanaka: Development of base materials for seaweed beds with low-environmental load and its long-term monitoring, Proc. of the 8th Asian Joint Symp. on Geotechnical and Geoenvironmental Engineering (JS-TAINAN 2016), CD-ROM, Tainan, 2016.11.

[学会発表] (計 7 件)

① 森健詞、山本健太郎、根上武仁、溝口直敏、平瑞樹、田中龍児: 産業廃棄物を有効活用した藻場基盤材の開発とモニタリング, 平成29年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, III-6, pp.251-252, 2018.3.

② 竹下あかり、根上武仁、山本健太郎、溝口直敏: 陶磁器破砕片と廃石膏による藻礁の作製とモニタリング, 平成29年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, III-7, pp.253-254, 2018.3.

③ 山本健太郎、根上武仁、溝口直敏、平瑞樹、田中龍児: 産業廃棄物を有効活用した新たな低環境負荷藻場基盤材の開発, 第 52 回 地盤工学研究発表会, pp.2129-2130, 2017.7.

④ 喜舎場正悟、山本健太郎、根上武仁、溝口直敏、平瑞樹: 産業廃棄物リサイクルマテリアルを有効利用した低環境負荷型藻場基盤材の開発, 平成 28 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, III -91, pp.433-434, 2017.3.

⑤ 座波博政、山本健太郎、根上武仁、溝口直敏、平瑞樹、田中龍児: 木質バイオマス発電所からの流動砂を有効活用した藻場基盤材の開発, 平成 28 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, III -90, pp.431-432, 2017.3.

⑥ 山本健太郎、九反郁実、根上武仁、溝口直敏、平瑞樹、田中龍児: 産業廃棄物リサイクル材を有効活用した藻場基盤材の長期モニタリングとその開発, 平成 27 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, III -47, pp.365-366, 2016.3.

⑦ 山本健太郎、根上武仁、溝口直敏、中島常憲、島佳奈子: 桜島火山灰を活用した環境に優しい藻場基盤材の開発とその長期モニタリング, 第 50 回 地盤工学研究発表会, pp.2381-2382, 2015.9.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

山本 健太郎 (YAMAMOTO, Kentaro)  
西日本工業大学・工学部・准教授  
研究者番号: 40305157

### (2) 研究分担者

根上 武仁 (NEGAMI, Takehito)

佐賀大学・工学(系)研究科・講師  
研究者番号: 30325592

中島 常憲 (NAKAJIMA, Tsunenori)  
鹿児島大学・理工学研究科・准教授  
研究者番号: 70284908