

## 石積み浄化堤による海水浄化工法の開発（その5）

—— コンクリート廃材の石積み礫材としての活用 ——

山本 縁 宮岡 修二  
辻 博和

### Development of Ecological Sea Water Purification System by Rubble Mound (Part 5)

—— Application of Waste Concrete Material as a Filter Medium ——

Yukari Yamamoto Shuji Miyaoka  
Hirokazu Tsuji

#### Abstract

A method has been developed for effectively using waste concrete for rubble mounds. An indoor experiment using ground mortar was carried out to examine how alkalis elute when waste concrete is immersed in sea water. In addition, the water purification efficiency of a rubble mound is considered to be highly associated with organisms attached to its surface. An outdoor experiment has thus been carried out to examine through immersion in the sea whether or not organisms attach to waste concrete used as a filter medium. The indoor experiments showed: 1) Wetting waste concrete with spray for about 2 weeks (water spray treatment) reduced the amount of eluted alkalis to approximately one seventy-fifth of that with no treatment. The outdoor experiments showed: 2) Both micro- and macroorganisms attached in larger numbers to water spray treated waste concrete than to untreated material. 3) The number of organisms attached to the water spray treated waste concrete was larger than that in the common filter media used in this experiment. These results suggest that water spray treated waste concrete can be used as a filter medium for the rubble mound.

#### 概 要

コンクリート廃材の有効利用の一つとして、当社が開発した石積み浄化堤の接触ろ材として利用する方法を検討している。本報告では、コンクリート廃材を海水に浸漬した場合のアルカリ溶出状況に関して、モルタル粉砕物を用いて室内実験を実施した。石積み浄化堤の浄化能は、礫表面の付着生物が大きく関与している。そこで、接触ろ材として利用した際に、付着生物が良好に付着するかを確認するため、実海域に浸漬させて野外実験を行った。室内実験の結果、1) 散水と風乾を約2週間繰返し行くと、溶出アルカリ分は無処理と比較して、1/75程度に減少した。また、野外実験の結果、2) 散水風乾したコンクリート廃材には、微細付着生物、大型付着生物共に無処理のコンクリートと比較して多く付着していた、3) 散水風乾したコンクリート廃材への生物付着量は、今回使用した一般の石積み礫材へのそれより大きかった。以上の結果より、散水養生したコンクリート廃材は、石積み浄化堤の礫材として使用が可能であると推察した。

#### 1. はじめに

近年、海域において、赤潮、青潮等の発生が顕著であり、海域の浄化を図ることが必要とされている。こうした背景を受け、石積み浄化堤による海水浄化システムの開発を行っている。

石積み浄化堤とは汚濁海域中に石積みによって囲まれた水域を創出し、潮の干満、波動等の海水の移動に伴って清浄な水質の水域を創造する海岸構造物である。汚濁海水は浄化堤の礫の間を通過する際、石積みに生まれる付着生物等の自然生態系による水質浄化機能によって浄化される。なお、石積み浄化堤による水質浄化に関する実証施設での成果は前報までに報告している<sup>1)~4)</sup>。

一方、大都市圏では建設廃棄物等の発生量が年々増加している。解体工事で発生したコンクリート廃材につい

ては、一部は発生場所で敷砂材として利用されているが、大部分は廃棄物処分場に処分されている。

本報では、コンクリート廃材の有効利用と水質浄化を同時に行える方法として、当社開発の石積み浄化堤による海水浄化システムの接触ろ材としてコンクリート廃材を有効利用する方法の検討を行った。

石積み浄化堤の接触ろ材として用いるためには、構造物の安全性、廃材からの種々の成分の溶出、水質浄化能等を検討する必要がある。このうち、本報告では後者二項目を検討した。すなわち、コンクリート廃材を海水に浸漬した場合のアルカリ溶出状況に関してモルタル粉砕物を用いて室内実験で検討した。石積み浄化堤の浄化能の重要な要因である礫表面の付着生物に関して、コンクリート廃材を利用した際に、付着生物が良好に付着するか否かを実海域にて野外実験で調査した。

## 2. アルカリ溶出挙動の室内実験

### 2.1 実験概要

2.1.1 実験方法 コンクリート廃材の代替品としてモルタルテストピース(日本テストパル工業(株), セメント:標準砂:水=20:40:13, W/C=65%)を用い, これをジョウクラッシャーで粉碎した後, ふるい分けによって5~20mm (平均1.25cm) 粒径を採取した。微粉末を取り除くために軽く水洗いした後, Table 1に示す条件で前処理を行った。なお, 表中の散水風乾は, 3日に1回霧吹きで適度に湿らせて, 散水と風乾を繰り返した操作を表す。

供試材0.2Lを天然海水2L (養魚用, EC:49~51mS/cm) に浸漬させ, 海水中のpH, アルカリ度の経時変化を測定した。

2.1.2 実験条件の根拠 廃材からの溶出はその表面から起こると予想される。したがって溶出挙動は廃材の表面積と海水量との関係に影響を受ける。実規模の堤体中に約25cmの球状のコンクリート廃材が間隙率50%で存在すると仮定した場合, 堤体容積1m<sup>3</sup>あたりの廃材表面積は約12m<sup>2</sup>で, 間隙海水量は0.5m<sup>3</sup>である。そこで本実験は, 上記の表面積/間隙海水量との比に準じて行った。

### 2.2 実験結果と考察

2.2.1 アルカリ度の経時変化 Fig. 1に, 各種前処理を行ったモルタル粉碎物を海水に浸漬した際のアルカリ度の経時変化を示す。未風乾粉碎物の1)無処理, 2)未風乾では, 1.5ヵ月経過すると, アルカリ度は25meq/l以上に上昇した。これに対し, 4)5週間風乾および5)散水風乾, 6)散水風乾後, 風乾を行った粉碎物のアルカリ度は, ほとんど上昇しなかった。

2.2.2 アルカリ溶出量 Fig. 2は, 約1.5ヵ月浸漬後のアルカリ度を粉碎物1m<sup>2</sup>あたりのアルカリ溶出量として表したものである。1)無処理のアルカリ溶出量は, 粉碎物1m<sup>2</sup>あたり1.5eq/m<sup>2</sup>であった。これに対し, 4)5週風乾の粉碎物からの溶出量は1)無処理のそれと比較して1/38, 5)散水風乾した粉碎物は1/75, 6)散水風乾後3週間風乾した粉碎物では1/125であった。

2.2.3 堤体内におけるpHの変化予想 Fig. 3は浸漬初期時の海水のpH挙動を示している。pHに係わる基準として, 特定事業場に適用される海域への排出基準はpH5.0~9.0とされている。また, (社)日本水産資源保護協会による水産用水基準では, pH7.8~8.4とされている。実験結果より, 1)無処理と2)未風乾は, 3時間経過すると海水のpHが9.5以上に上昇し, 5~6時間経過するとpH10付近まで上昇した。これに対し, 風乾を行った3)2週風乾では4時間経過でpH9付近であった。また, 6時間経過しても4)5週風乾, 5)散水風乾, および6)散水風乾後, 風乾では, pH9以下であった。これらの結果から, 石積み浄化堤内での海水接触時間を3~6時間と考えると, 5週間以上風乾した廃材および2週間以上散水風乾を行った廃材を使用した場合, 堤内でのpHは9以下に抑えられると予想できる。

Table 1 前処理工程  
Experimental Conditions

	粉碎	洗浄	散水風乾	風乾のみ
1)無処理				
2)未風乾				
3)2週風乾				
4)5週風乾				
5)2週散水風乾				
6)2週散水風乾後, 3週風乾				

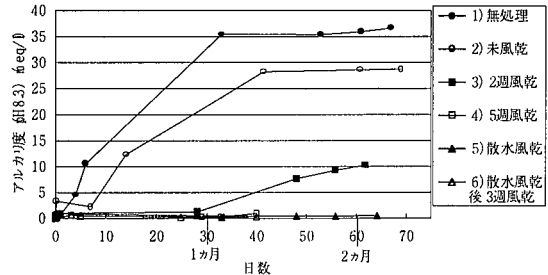


Fig. 1 アルカリ度の経時変化  
Results of Alkalinity

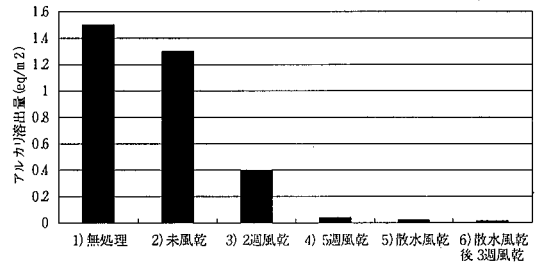


Fig. 2 粉碎物1m<sup>2</sup>あたりのアルカリ溶出量  
Eluted Alkalies per One Square meters

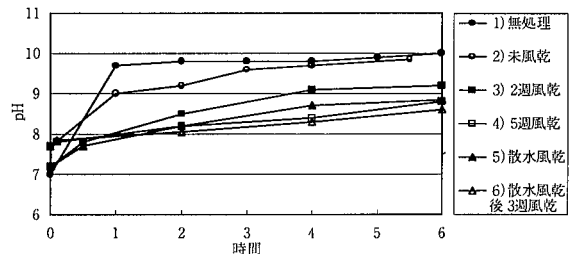
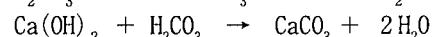
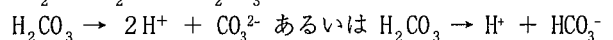
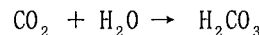


Fig. 3 pHの経時変化  
Results of pH

2.2.4 アルカリ溶出抑制効果とその原因 長期風乾を行った粉碎物および散水風乾を行った粉碎物は, アルカリ溶出量が無処理と比べて減少していた。これらの理由として, 風乾することにより, 廃材の表面が空気中のCO<sub>2</sub>によって中性化したためと考えられる。さらに, 散水風乾を行った粉碎物は, 散水と風乾を繰り返すことにより, 風乾だけの廃材に比べ, より多くのCO<sub>2</sub>が利用でき, 中性化が促進したと考えられる。炭酸化のメカニズムとして, 反応が進行するためには水の存在下で反応に関わる物質が溶解, イオン解離する必要がある<sup>5)</sup>。



コンクリート廃材を3週間風乾した供試材と3週間散水風乾を施した供試材について, 割裂し, その断面にフェ

1-Nalcalinの1%エタノール溶液を吹き付け中性化の確認を行った。その結果、中性化した範囲は、風乾のみの供試材で約0.4mm、散水風乾の場合で1.5mm以上であり、散水風乾によって中性化が促進されていることを確認できた。

炭酸化が進行する湿度条件として、Ying-yu and Quidong<sup>6)</sup>によると、50~75%RHの湿度の時に、ガスとしての二酸化炭素拡散と液相反応が同時に起こるため炭酸化が速くなるとしており、散水風乾の供試材がこれらの条件を満たしたためと考えられる。

### 3. 生物付着能の野外実験

#### 3.1 実験概要

3.1.1 調査概要 石積み浄化堤の接触ろ材としてコンクリート廃材を利用した場合、礫材への付着生物状況がどのようになるのか把握することを目的に、実海域に浸漬して、Photo 1に示すような野外実験を行った。

(1) 実験期間：96年7月31日~9月3日 約1カ月間

(2) 実験場所：三河湾の湾奥部(全水深1.9m)

3.1.2 実験方法 Table 2に供試材を示す。各供試材は径10~15cmの大きさに砕いて使用した。このうち、1)~4)は95年10月に打設したコンクリート(セメント:水:細骨材:粗骨材:混和剤=317:160:778:1,056:3.30, W/C=50.5% s/a=42.9%)を使用し、それぞれ前処理を施した後供試材とした。また、5), 6)の石材は周辺現場での護岸工事で使われている石材である。

各供試材は数個ずつ鉄製のかごに入れ、海底面より1m上の位置に浸漬し、生物付着状況の観察を行った。

3.1.3 付着生物調査方法 以下に調査方法を示す。

(1) 採集方法 各礫材を採取し、一旦海水で軽く洗って堆積物を除去した後、生物を含む全ての付着物をブラシおよび金具を用いてかき落としした。そして、このかき落とししたものを1.0mmメッシュのふるいに通し、ふるい上に残ったものを大型付着生物、通過したものを微細付着生物とした。

(2) 微細付着生物の調査方法 採取した試料を二分し、一方の試料で種の同定と計数を測定し、もう一方の試料で湿重量、乾燥重量、強熱減量を測定した。

(3) 大型付着生物の調査方法 水分をよく切り全体の湿重量を測定(遺殻等含)後、肉眼で確認できる生物(遺殻を除く)を拾い出し、種の同定、計数およびそれぞれの湿重量を測定した。

#### 3.2 実験結果と考察

3.2.1 微細付着生物 微細付着生物をかき集め、それぞれ湿重量、乾燥重量、強熱減量を測定した。Fig. 4に乾燥重量、Fig. 5に強熱減量の結果を示す。湿重量、乾燥重量、強熱減量の各項目についてその大小を供試材間で比較すると、これら3項目でほぼ一致していた。ここでは、強熱減量を付着生物として以下に考察する。

1)~4)のコンクリート廃材で相互比較すると、3)2週風乾後、1週散水風乾、および4)3週散水風乾した供試材の生物付着量が大きかった。以上より、散水風乾を施した供試材程、生物が多く付着していたことがわ

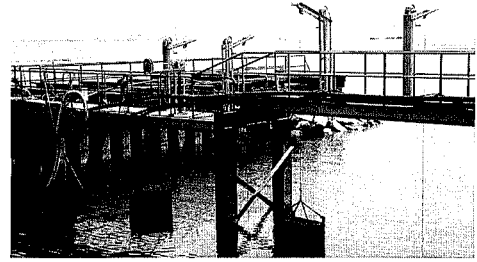


Photo 1 実験状況  
State of Tests

Table 2 供試材  
Test specimens

- 1) 無処理コンクリート
- 2) 3週風乾コンクリート
- 3) 2週風乾後、1週散水風乾コンクリート
- 4) 3週散水風乾コンクリート
- 5) 片麻岩 嶺豆産)
- 6) 花崗岩 嶺豆産)
- 7) 花崗岩 東加茂郡産)
- 8) 安山岩 山梨産)

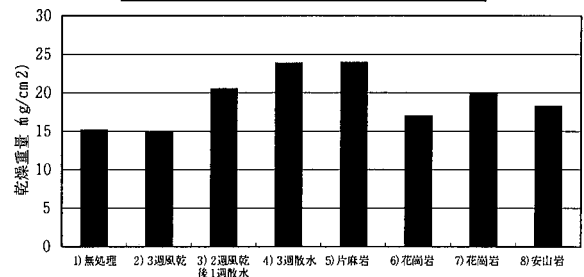


Fig. 4 微細付着生物 (乾燥重量)  
Microorganisms (Dry Weight)

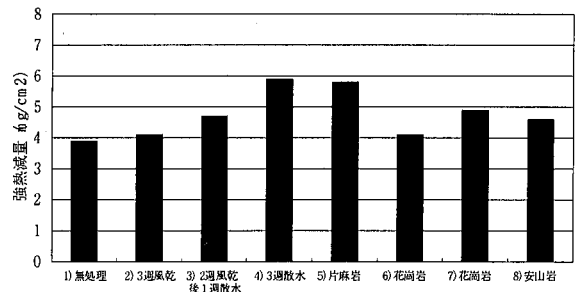


Fig. 5 微細付着生物 (強熱減量)  
Microorganisms (Ignition loss)

かった。Fig. 5から明らかなように、コンクリート廃材への付着量は、3.9~5.9mg/cm<sup>2</sup>の範囲であった。各種石材への付着量は4.1~5.8mg/cm<sup>2</sup>であり、コンクリート廃材は石材と同程度の付着量であったことがわかった。

3.2.2 大型付着生物 大型付着生物は主に、ゴカイ、スピオ、タジマヅツホ、アマカヅツホ、および、サホウガイ、ホトギスガイ等が付着していた。

遺殻を含んだ全湿重量の測定結果をFig. 6に示す。コンクリート廃材への大型付着生物量は、4) 3週間散水風乾したコンクリートが多く付着しており、付着量は約1000g/m<sup>2</sup>であった。次に、Fig. 7に大型付着生物の個体数を示す。コンクリート廃材のうち4) 3週間散水風乾したコンクリートは、63,750個/m<sup>2</sup>であり、多く付着していた。これらの付着生物量は今回使用した一般の礫材と比べても一番多く付着していた。また、付着量が一番

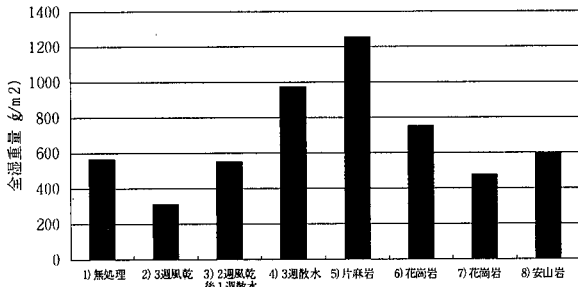


Fig. 6 大型附着生物 (全湿重量)  
Macroorganisms (Total Wetting Weight)

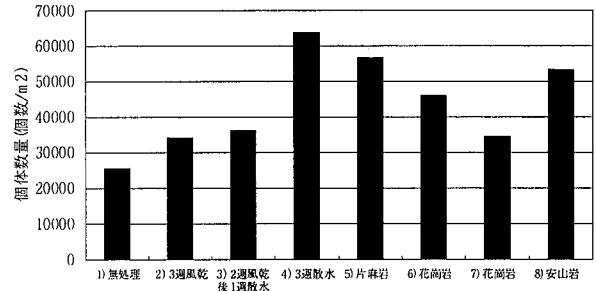


Fig. 7 大型附着生物 (個体数)  
Macroorganisms (Number of organism)

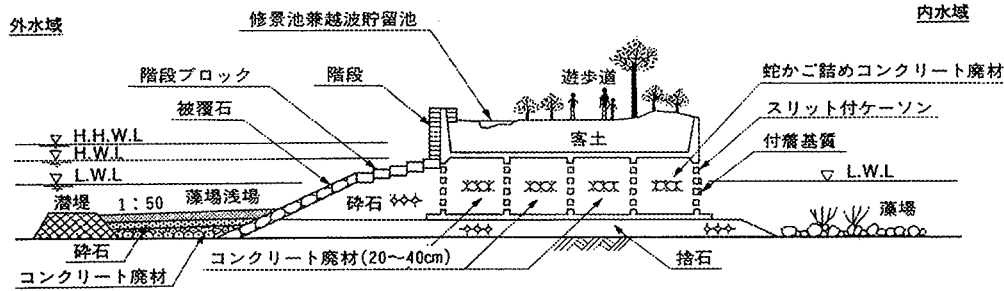


Fig. 8 コンクリート廃材を用いた浄化堤の断面図  
An Example of Sea Water Purification System which is Reused Waste Concrete Material

少ない供試材は、1)無処理コンクリートであった。

以上のことから、3週間散水風乾したコンクリートには大型附着生物が良好に附着していたと判断できる。

#### 4. まとめ

コンクリート廃材を石積み浄化堤の接触材として活用するためには、アルカリ溶出量の少ない廃材の使用が求められる。また、浄化能の重要な要因として、附着生物が大きく関与するため、良好に附着する礫材の使用が求められる。今回実施した室内実験、現地実験から下記の事がわかった。

1) 無処理のモルタル粉砕物のアルカリ溶出量は1m<sup>2</sup>あたり1.5meq/m<sup>2</sup>であった。これに対し、5週間風乾した粉砕物の溶出量は無処理の1/38、2週間散水風乾を行った粉砕物では1/75であった。

2) 石積み浄化堤内での海水接触時間を3~6時間と考え、5週間以上風乾した廃材及び2週間以上散水風乾を行った廃材を使用した場合、堤内でのpHは9以下に抑えられると予想できた。

3) 3週間散水風乾したコンクリート廃材は微細附着生物および大型附着生物が共に無処理のコンクリートと比較して多く附着していた。

4) 3週間散水風乾したコンクリート廃材への附着生物量は、今回使用した一般の石積み礫材のそれと比べて大きかった。

以上のことから、コンクリート廃材を風乾あるいは散水風乾を行うことでアルカリ溶出量がかなり抑えられることがわかった。加えて散水風乾したコンクリート廃材への生物附着量は、通常使用される礫材への附着量と比べて大きく、石積み浄化堤の中詰め材として使用が可能であると判断した。

そこで、Fig. 8に例示するようなコンクリート廃材を

有効利用した浄化堤を提案したい。この石積み浄化堤によって、堤体構造物がもつ本来の価値に加えて、コンクリート廃材を有効利用しつつ、豊かな海域環境を創出することにつながるものと期待できる。

#### 謝辞

本実験を実施するに当たり、蒲郡海洋開発(株)の皆様には、多大な御協力を頂きました。ここに記して、関係各位に感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 辻 博和, 他: 石積み浄化堤による海水浄化工法の開発 (その1), 大林組技術研究所報, No.49, p.121~24, (1994)
- 2) 藤井慎吾, 他: 石積み浄化堤による海水浄化工法の開発 (その2), 大林組技術研究所報, No.50, p.107~112, (1995)
- 3) 宮岡修二, 他: 石積み浄化堤による海水浄化工法の開発 (その3), 大林組技術研究所報, No.51, p.99~104, (1995)
- 4) 宮岡修二, 他: 石積み浄化堤による海水浄化工法の開発 (その4), 大林組技術研究所報, No.55, p.79~84, (1997)
- 5) (社)日本コンクリート工学協会編: コンクリートの炭酸化に関する研究の現状, 炭酸化研究委員会報告書, p8~11, (1993.4)
- 6) Ying-yu, L. and Qui-dong, W.: The Mechanism of Carbonation of Mortars and the Dependence of Carbonation on Pore Structure, Proceedings of Katharine and Bryant Mather International Conference on Concrete Durability, ACI SP100-98, p.1915~1943, (1987)