新長崎漁港における石炭灰コンクリート基板に対する付着生物調査

友田啓二郎¹⁾・藤倉慎也²⁾・東 健一³⁾・鈴木達雄³⁾・サトイト シリル グレン⁴⁾・北村 等⁵⁾

¹⁾ 東和科学株式会社 〒730-0841 広島県広島市中区舟入町6-5

²⁾ 株式会社エヌ・イーサポート 〒733-0812 広島県広島市西区己斐本町3-13-16

³⁾ 株式会社アッシュクリート 〒151-0062 東京都渋谷区元代々木町30-13

⁴⁾ 長崎大学生産科学研究科 〒852-8521 長崎市文教町1-14

⁵⁾ 長崎大学水産学部 〒852-8521 長崎市文教町1-14

Sessile organisms on coal-flyash concrete plates immersed in Shin-Nagasaki fishing port

Keijirou Tomoda¹⁾, Shinya Fuzikura²⁾, Kenichi Azuma³⁾, Tatsuo Suzuki³⁾, Cyril Glenn Satuito⁴⁾, and Hitoshi Kitamura⁵⁾

¹⁾ Towa Kagaku Co., Ltd., 6-5 Funairi-machi, Naka-ku, Hiroshima, 730-0841, Japan

²⁾ Nature Environment Support Co., Ltd., 3-13-16 Koihon-machi, Nishi-ku, Hiroshima, 733-0812, Japan

³⁾ Ashcrete Co., Ltd., 30-13 Motoyoyogi-cho, Shibuya-ku, Tokyo, 151-0062, Japan

⁴⁾ Graduate School of Science and Technology, Nagasaki University, 1-14 Bunkyo-machi, Nagasaki, 852-8521, Japan

⁵⁾ Faculty of Fisheries, Nagasaki University, 1-14, Bunkyo-machi, Nagasaki, 852-8521, Japan

Corresponding author: kei-tomoda@mail.towakagaku.co.jp

(Received March 19, 2007; Accepted July 8, 2007)

Abstract

Coal-flyash concrete and ordinary concrete plates were immersed in the sea near Shin-Nagasaki fishing port, Nagasaki, Japan, for different periods from October, 2004, to January, 2006. The marine sessile organisms that settled on these plates were studied. Throughout the study period, barnacles (*Amphibalanus amphitrite*, *B. trigonus*), bryozoans (*Bugula neritina*), ascidians (*Styela plicata*), some species of polychaetes, and algae were observed settling on both kinds of plate. Wet weights of organisms on the two types of plate were the same. These results indicate that coal-flyash concrete is suitable for use in constructing artificial fishing reefs, as a substitute for usual concrete.

キーワード：新長崎漁港、石炭灰コンクリート、付着生物

沿岸漁業の振興策として、人工魚礁の造成が各地で盛んに行われている。これら魚礁の主な材料として、従来から石材、コンクリート、鋼材、プラスチックなどが用いられてきたが、近年は古タイヤや廃船、または火山灰、貝殻などの廃材なども利用されている（柿本、1998）。廃棄物利用の一例として、石炭火力発電所から発生する石炭灰を主材料としたコンクリート（石炭灰コンクリートと呼ばれる、（社）マリノフォーラム21、1989）が魚礁

として使われている（（社）マリノフォーラム21、1997）。

ところで、魚礁に魚類等が集まる理由としては、これら魚類等に餌場、産卵場、生息場、逃避場などを提供するためとされており、餌場の機能のひとつとして、人工魚礁に着生する付着生物が重要と考えられている（（社）全国沿岸漁業振興開発協会、2000）。石炭灰コンクリートに対する付着生物調査は民間企業などで行われているが、学術的な報告例は無い。そこで本研究では、試験板

調査法（梶原、1979）を用いて、石炭灰コンクリートに対する付着生物の着生状況を調査した。

調査方法

付着生物調査は長崎県総合水産試験場の浮き桟橋で行い（Fig. 1）、試験基板としては石炭灰コンクリート、通常のコンクリート（以下、普通コンクリートとする）、および試験板調査法で標準となる塩化ビニルの3種類とした。普通コンクリートの組成（重量%）は水が約7%、セメントが約12%、他に細砂・砂利が約80%である。これに対して、石炭灰コンクリートはセメントが約10%、水が20%、残りの約70%が石炭灰であり、普通コンクリートと比べ軽い（約75%）。なお、石炭灰からの重金属流出が懸念されたが、本コンクリートは水産庁振興部開発課長通達（1983）による安全基準を満足している（（社）マリノフォーラム21、1988）。

石炭灰コンクリート、普通コンクリート、塩化ビニルは、共に各々縦15cm、横15cm、厚さ1cm（両面で450cm²）であり、各重量は石炭灰コンクリート390g、普通コンクリート530g、塩化ビニルが330gであった。これらを海面下1.5–3mに石炭灰コンクリート、普通コンクリート、塩化ビニルの順にクレモナロープで垂下した。なお、これらの水深範囲であれば付着生物の種類や量に大きな差がないことが経験的に知られている（北村、私信）。

垂下調査は2004年10月に開始し、2006年1月までの15ヶ月間にわたって行った。この間、1ヶ月間、3ヶ月間、

6ヶ月間、12ヶ月間および15ヶ月間の垂下を行った。すなわち1ヶ月間の垂下では合計15回の垂下、取り上げを行った。3ヶ月間垂下では、合計5回、同じく6ヶ月では合計2回の取り上げを行った。12ヶ月基板および15ヶ月基板は、先述のごとく、2004年10月に垂下し、各々1回の取り上げであった。

海域より回収した試験板については、遊在目のゴカイやカニなどを取り除いた後、湿重量を測定した（風乾、2h）。この重量から垂下前の重さ（濾過海水に垂下、その後、風乾、2h）を差し引いて付着生物の湿重量を求めた。付着生物の種類については、1ヶ月基板は両面に付着した主な生物の種類および個体数（または群体数）を調べた。3–15ヶ月基板については、代表的な種を基板より剥がし、各々の重量を測定した。なお、分類はフジツボ類、ホヤ類、コケムシ類のごとくグループ（付着生物研究法、1986）別とした。このうち保存および分類が比較的容易なフジツボ類については、種まで調べた。これらの付着重量および付着数については、他の調査と比較するために、単位m²あたりに換算した。なお、以上の調査時には水温、透明度を測定した。

結果

石炭灰コンクリート、普通コンクリートおよび塩化ビニルにおける1ヶ月垂下、全15回の付着重量（g/m²）の変化を水温と共にFig. 2に示す。また出現した主な付着動物の種類および個体数（単位m²）をTable 1に示す。透明度については、海底が見える場合が多く、水深に相当する8m以上であった。

全15回の付着重量の推移（Fig. 2）では、石炭灰コンクリートおよび普通コンクリートは、ほぼ同様の重量、および周年変化を示したが、塩化ビニルは全体的に付着重量が低い結果となった。また、主な出現種類は3種基

Fig. 1 Location of the experimental site (Nagasaki Prefectural Institute of Fisheries).

Fig. 2 Changes in water temperature and wet weight of fouling organisms on test plates submerged for one month at the pier of the Nagasaki Prefectural Institute of Fisheries in Shin-Nagasaki fishing port from October, 2004, to February, 2006.

○: Coal-flyash concrete plate, ●: Ordinary concrete plate, □: Polyvinyl chloride plate.

板でほぼ同様であった (Table 1)。月別にみると、調査開始の11-2月では3基板ともに、ほぼ100 g/m²以下であったが、3-4月はアオサ類が付着し、その重量が300 g/m²前後となった。4-5月では海藻類が消失し70g/m²以下となり、5-6月ではカンザシゴカイ類が付着し、重量が若干増加した。7-8月にはフジツボ類 (タデジマフジツボ *Amphibalanus amphitrite* およびサンカクフジツボ *Balanus trigonus*) が付着し、両コンクリート基板は共に700 g/m²を超えた。8-9月はカンザシゴカイ類およびフジツボ類の付着が減少し、重量は200 g/m²以下となった。しかし、9-10月は再び、カンザシゴカイ類が付着し300-500 g/m²となった。10-11月の1ヶ月は前年 (2004年) 同期が100 g/m²前後であったが、2005年では200-400 g/m²を示した。この違いはアオサ類の付着量の違いであった。

垂下3ヶ月間における付着重量をFig. 3に示す。合計5回の垂下、取り上げを行ったが、水温の低い時期に当たる2004年10月-2005年1月、1-4月および2005年10月-2006年1月では、全ての基板で付着重量はほぼ1 kg/m²以下となった。出現した種類も3種ともに同様であり、フクロノリ (*Colpomenia sinuosa*)、アオサ類などの海藻が占めていた。水温の上昇する4-7月の3ヶ月では、フジツボ類、フサコケムシ (*Bugula*

neritina)、シロボヤ (*Styela plicata*) が多数付着し、石炭灰コンクリートと普通コンクリートとの付着重量は共に約4 kg/m²となったが、塩化ビニルは2 kg/m²であった。7-10月の3ヶ月ではタデジマフジツボとサンカクフジツボが多数付着し、重量としてみるとフジツボ類のみとなった。石炭灰コンクリート、および普通コンクリートは共に12 kg/m²前後となったが、塩化ビニルは約6 kg/m²であった。

垂下6ヶ月、12ヶ月および15ヶ月の付着重量をFig. 4に示す。6ヶ月基板の付着重量は、水温の低い2004年10月-2005年4月では3種基板共に1-4 kg/m²であった。水温の高い4-10月の基板では石炭灰コンクリートが23 kg/m²、普通コンクリートが16 kg/m²となり、石炭灰コンクリートが上回った。両者の差7 kg/m²はシロボヤの重量の違いであった。シロボヤとフジツボ類で重量の大部分を占めていた。なお、主な種類は3種基板でほぼ同一であり、主に4-10月はカンザシゴカイ類、フサコケムシ、シロボヤおよびフジツボ類が確認された。水温の低い時期は藻類のフクロノリが出現した。

12ヶ月基板における付着重量は石炭灰コンクリートが18 kg/m²、普通コンクリートが29 kg/m²であり、6ヶ月の結果とは逆に普通コンクリートが上回った。両者の差は6ヶ月の場合と同様にシロボヤの付着重量の違いであっ

Table 1. The number of fouling animals per m² on test panels submerged for one month at the pier of Nagasaki Prefectural Institute of Fisheries in Shin-Nagasaki fishing port from October, 2004, to February, 2006.

Days of submersion	10/14 -	11/17 -	12/14 -	1/18 -	2/18 -	3/14 -	4/19 -	5/17 -	6/14 -	7/15 -	8/24 -	9/16 -	10/18 -	11/16 -	12/13 -	1/10
Duration (days)	34	27	35	31	28	36	28	28	31	40	23	32	29	27	28	
<Coal-flyash concrete plate>																
Polychaetes	620	130	40	0	0	20	2,290	9,470	5,510	8,270	2,380	20,310	1,440	110	0	
Barnacles	70	0	0	0	0	0	270	1,040	130	13,090	360	1,020	240	0	0	
<i>Amphibalanus amphitrite</i>	0	0	0	0	0	0	0	110	130	7,640	310	930	220	0	0	
<i>Balanus trigonus</i>	70	0	0	0	0	0	220	930	0	5,420	20	20	20	0	0	
<i>Amphibalanus eburneus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	70	0	0	0	
<i>Megabalanus rosa</i>	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0	20	0	0	0	0	
Bryozoans	0	20	0	0	0	0	40	330	1,250	580	530	580	160	0	0	
Ascidians	0	0	0	0	0	0	0	220	0	40	40	40	0	0	0	
<Ordinary concrete plate>																
Polychaetes	6,330	130	180	0	0	20	2,690	5,960	5,240	7,360	2,240	14,530	980	200	0	
Barnacles	210	0	0	0	0	0	290	870	870	21,530	180	510	0	0	0	
<i>Amphibalanus amphitrite</i>	20	0	0	0	0	0	0	160	780	7,730	90	380	0	0	0	
<i>Balanus trigonus</i>	190	0	0	0	0	0	270	710	40	13,690	90	90	0	0	0	
<i>Amphibalanus eburneus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	40	110	0	40	0	0	0	
<i>Megabalanus rosa</i>	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	
Bryozoans	20	90	20	0	0	20	220	620	1,040	1,910	200	160	40	0	0	
Ascidians	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70	0	0	0	
<Polyvinyl chloride plate>																
Polychaetes	1,070	20	0	0	0	20	710	530	1,040	6,840	490	6,310	200	0	0	
Barnacles	20	0	0	0	0	0	70	40	0	1,160	0	0	0	0	0	
<i>Amphibalanus amphitrite</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	470	0	0	0	0	0	
<i>Balanus trigonus</i>	20	0	0	0	0	0	40	20	0	690	0	0	0	0	0	
<i>Megabalanus rosa</i>	0	0	0	0	0	0	20	20	0	0	0	0	0	0	0	
Bryozoans	0	0	20	0	0	20	220	180	180	330	130	270	20	0	0	
Ascidians	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70	0	0	0

Fig. 3 Wet weight of sessile organisms on test plates submerged for three months during the period between October, 2004, and February, 2006.

A: Coal-flyash concrete plate, B: Ordinary concrete plate, C: Polyvinyl chloride plate.

Fig. 4 Wet weight of sessile organisms on test plates submerged for six, 12, and 15 months during the period between October, 2004, and February, 2006.

A: Coal-flyash concrete plate, B: Ordinary concrete plate, C: Polyvinyl chloride plate.

た。付着生物の種類としては、先の3ヶ月や6ヶ月に加え、ムラサキイガイ (*Mytilus galloprovincialis*) などの二枚貝が確認された。塩化ビニルは両コンクリート基板に比べて重く 40kg/m^2 であり、このうち大部分はシロボヤが占めた (Fig. 4)。

15ヶ月基板では、石炭灰コンクリートは 10kg/m^2 、普通コンクリートは 11kg/m^2 であり、両者の重量には差はみられなかった。調査は1月に終了したが、各々の基板

でシロボヤの萎縮個体および筋膜体等の内部が溶け出し被囊のみとなった個体が多く認められた。その他の種類としてはカンザシゴカイ類、コケムシ類が認められた。

考 察

石炭灰コンクリート、普通コンクリートおよび塩化ビニルにおける1ヶ月垂下の付着重量 (Fig. 2) については、2種コンクリート基板で違いはなく、冬期の数十g

/m²から夏の700 g/m²で推移した。塩化ビニル板は、これらに比べて全体に低い値であった。塩化ビニルの付着重量が少なかったのは、2種のコンクリート基板と比較して表面がなめらかで生物が付着しにくいものとも考えられる。なお、これら基板の表面粗度の測定を試みたが、石炭灰コンクリートは表面に小穴が数多く存在していたため測定不能であった。主な出現種類 (Table 1) は3種基板でほぼ同様であり、水温の低い時期でアオサ類、春～秋にカンザシゴカイ類、コケムシ類、夏にフジツボ類が出現した。カンザシゴカイ類は春と秋との2回、フサコケムシは5～7月に付着しており、これらの出現時期は隣接する長崎港 (北村、1993) での結果と一致する。1ヶ月垂下の結果より、2種のコンクリート板については付着重量、種類に違いがないと思われる。

次に、3ヶ月垂下調査 (Fig. 3) について、10～4月の時期では全ての基板で付着重量はほぼ1 kg/m²以下となり、出現種類も同様でフクロノリ、アオサ類などが占めた。水温の上昇する4～7月では、フジツボ類、フサコケムシ、シロボヤが付着し、石炭灰コンクリートと普通コンクリートとは共に約4 kg/m²となった。7～10月ではタテジマフジツボとサンカクフジツボが多くを占め、両コンクリート基板で共に12 kg/m²ほどとなり、違いは認められなかった。塩化ビニルは6 kg/m²であり、1ヶ月垂下での付着重量の少なかったことが影響しているものと想像される。3ヶ月板においても、これらコンクリート基板には差はないと思われる。

垂下6ヶ月 (Fig. 4) では、夏期で石炭灰コンクリートが23 kg/m²、普通コンクリートが16 kg/m²となり、石炭灰コンクリートが7 kg/m²上回った。この違いはシロボヤの付着重量の差である。12ヶ月基板 (Fig. 4) は1回の垂下・取り上げであるが、石炭灰コンクリートが18 kg/m²、普通コンクリートが29 kg/m²であり、この違いも同様にシロボヤの着生量の差である。出現種類は、各基板で同様であり、フジツボ類とシロボヤが卓越しており、シロボヤの付着数によって重量が左右されると言える。ところで塩化ビニル板は、全調査を通して最大の40 kg/m²を示したが、本基板は1～3ヶ月垂下でみたように、比較的短い垂下期間では付着重量は少ないことから、付着しにくいものの、一旦、付着すると剥がれにくい性質の基板と想像される。15ヶ月基板 (Fig. 4) では、3種基板とも12ヶ月基板と比べ付着重量が減少しているが、これは、主にシロボヤの萎縮によるものである。

以上をまとめると、付着生物の種類については、3種類の基板で差は小さく、カンザシゴカイ類、フジツボ類 (タテジマフジツボ、サンカクフジツボ)、およびシロボヤ、また冬期にはアオサなどの海藻類が認められた。付着重量については石炭灰コンクリートと普通コンクリ

ートとは大きな違いはないと思われる。これより付着生物の着生状況からみると、人工魚礁材料として使用する上では、石炭灰コンクリートは普通コンクリートと同等の効果を持つものと判断した。

なお、今回の垂下実験から得られた生物学的な知見として、主に1ヶ月垂下からは、カンザシゴカイ類の幼生の着生時期は6～8月と9～10月の2回、同じくフジツボ類が7～8月、コケムシ類が5～7月と推定された。これについては既報 (梶原、1964、北村、1993) と一致しており、西日本での一般的な傾向と考えられる。シロボヤについては、産卵盛期が6～8月 (内田、1986) とされるが、今回の1ヶ月垂下では確認できなかった。付着個体が小さく (1 mm以下) 肉眼では観察できなかったものと思われる。この時期はフジツボ類の付着時期と重なり、幼生の付着競合が存在し、この結果により優占種が大きく異なってくると言える。また塩化ビニル板については、付着しにくいものの、剥がれにくい基板と思われたが、表面粗度を一つの指標としてさらに検討する必要があると思われる。

謝 辞

垂下基板の設置に際して、種々の便宜を頂きました長崎県総合水産試験場の皆様に感謝申し上げます。

引用文献

- 付着生物研究会編 (1986). 「付着生物研究法, 種類査定・調査法」, 恒星社厚生閣, 東京, 156 pp.
- 平田 徹 (1991). 生物の相互作用と遷移. 「海洋生物の付着機構」 (梶原 武監修、水産無脊椎動物研究所編)、恒星社厚生閣、東京、pp.165-181.
- 梶原 武 (1964). 海産汚損付着生物の生態学的研究. 長崎大学水産学部研究報告, 16, 1-138.
- 梶原 武 (1979). 付着動物の調査法. 付着生物研究, 1(1), 21-27.
- 柿本 皓 (1998). 魚礁関連技術発達の経過と今後の方向, 水産工学, 35(2), 139-144.
- 北村 等 (1993). 長崎湾内の松ヶ枝と長浜における付着生物. 長崎大学水産学部研究報告, 74-75, 25-29.
- (社)マリノフォーラム21 (1988). 新素材に関する開発研究報告書, pp.56-64.
- (社)マリノフォーラム21 (1989). 石炭灰コンクリート設計・製作マニュアル, pp.1-3.
- (社)マリノフォーラム21 (1997). 平成8年度マウンド漁場造成システムの開発に関する報告書, pp.1-15.
- (社)全国沿岸漁業振興開発協会 (2000). 沿岸漁場整備開発事業人工魚礁漁場造成計画指針, 平成12年度版, 226 pp.
- 水産庁振興部開発課長通達 (1983). 沿岸漁場整備開発事業の魚礁設置事業に係る新規構造物の取り扱いについて
- 内田 亨 (1986). 半索動物・原索動物. 「動物系統分類学, 第8巻下」, 中山書店, 東京, pp.140-143.