

# 論文 沿岸域の生物多様性を修復するポーラスコンクリートに関する研究

吉田 宗久\*1・玉井 元治\*2

**要旨:** 特殊肥料を配合した栄養強化型ポーラスコンクリートを開発した。これは栄養塩類が不足している海域や、海藻類に必要な栄養塩類のバランスが崩れた海域で使用する。近年、問題となっている磯焼け現象に対応する技術であり、栽培漁業等で藻場を積極的に育成したい海域に適用できる。今回、海域に沈漬したポーラスコンクリート供試体に、普通コンクリート供試体より多くの海藻が着生することを確認した。また、ポーラスコンクリートに粒状肥料や鉄系骨材を配合すると、着生海藻の多様性や現存量が向上する傾向が見られた。

**キーワード:** ポーラスコンクリート, 多孔質複合材料, 藻場, 生物多様性, 肥料

## 1. はじめに

四方を海に囲まれた我が国において、生物多様性を修復するためには、沿岸域の藻場造りが重要である。藻場は海中林とも呼ばれ、陸域での森林と同じように生態系の基盤的な役割を果たしている。たとえば、海藻にはプランクトンや小動物が数多く生息している。そして、それらは食物連鎖により多くの魚介類を育てている。

近年、わが国の沿岸海域では埋立てや磯焼けにより広大な藻場が消失している。これらは水産資源が減少する大きな原因となっている<sup>1)</sup>。このような状況から、過去に見られたような生物多様性の回復を目的として、周辺海域の環境保全と整備を推進し、獲る漁業から育成する漁業への方針転換が必要である<sup>2)</sup>。

これまでの研究で、ポーラスコンクリートは、各種生物が着生する基礎材料として優れていることが実験的に確かめられている<sup>3), 4)</sup>。また、ポーラスコンクリートを水中に入れると生物附着や水質浄化の効果があるとの報告もある<sup>5), 6)</sup>。筆者らはこれらの研究を更に進め、栄養強化したポーラスコンクリート(以下、EPOCと呼ぶ)を使った藻場育成材料を開発している<sup>7), 8)</sup>。

EPOCを貧栄養化で磯焼けした海域や、藻場を積極的に育成したい海域に設置することで、適度な肥料成分を海域に溶出させ、早期に藻場を回復できると筆者らは考える。

今回、配合条件を変えた供試体を使って海域での評価実験を実施した。本研究の目的は、この実験結果をもとに、藻場育成材料の藻場着生効果、肥料成分の溶出持続性、コンクリート強度の挙動を確認することである。

## 2. EPOCについて

EPOCの構造は、図-1に示すようにポーラスコンクリートの連続空隙内に粒状肥料を配

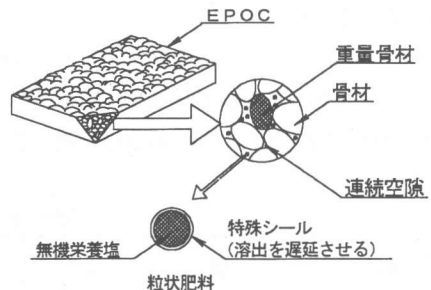


図-1 EPOCの構造

\*1 奥村組土木興業(株)環境開発事業本部技術部技術開発課 工修(正会員)

\*2 近畿大学教授 理工学部土木工学科 工博(正会員)

合したものである。粒状肥料の主成分は窒素系とリン系の無機肥料で、その表面を2重にシール処理したものである。シールの厚さや粒状肥料の配合量を変えることで、肥料成分の溶出量や溶出期間を制御できるよう工夫している。

重量骨材を粗骨材の一部として使用することで、従来のコンクリートと同程度の比重を確保している。また、重量骨材としてミネラル成分を多く含有する材料を使用することで、海藻の生育に必要なミネラルの供給材料としても活用できる。EPOCの物理性状に関する詳細は既報に詳しい<sup>7), 8)</sup>。

### 3. 実験の概要

#### 3.1 使用材料と配合

使用材料を表-1に示す。セメントには遊離石灰の溶出を押さえるため、高炉セメントB種を使用した。粗骨材には6号砕石を、添加剤として高性能減水剤を使用した。また、配合条件により粒状肥料と重量骨材を使用した。重量骨材として、海藻の生育に必要な鉄成分の含有率が高い鉄鉱石と転炉スラグを使用した。重量骨材は粉碎して6号サイズに粒度を調整した。

実験に使用した供試体の配合を表-2に示す。供試体は全部で5種類であり、粒状肥料や重量骨材の配合量が異なるポーラスコンクリートを4配合、比較対象条件として普通コンクリートを1配合とした。

ポーラスコンクリートのセメントペースト量は、生物付着のために必要な内部連続空隙を考慮し、骨材空隙に対して40%(目標空隙率25%)

表-1 使用材料

使用材料	記号	説明(比重)
セメント	C	高炉セメントB種(3.02)
粗骨材	G	西島産6号砕石(2.62)
	Gio	6号鉄鉱石(4.47)
	Gcs	6号転炉スラグ(3.60)
混和剤	Sp	高性能減水剤
肥料		粒状肥料(1.45)

とした。粒状肥料はセメント量に対して重量比で20%を配合した。重量骨材は粗骨材の単位容積に対して30%を置き換えるように配合した。

#### 3.2 供試体の製作

EPOCの製造には、大阪市内に所在するY社のコンクリート製造プラントを使用した。製作した供試体の形状と数量を表-3に示した。試験板と試験ブロックは海藻付着の評価に用い、円柱供試体は物理性状の評価に用いた。供試体は、コンクリートの打設後7日間は気中で湿布養生し、実験海域に沈漬するまでの2週間に散水によりエイジング処理を施した。

表-3 供試体の形状と種類

供試体種類	形状	数量
試験板	縦 2 m	5配合 各2体
	幅 1 m	
	厚さ 0.2 m	
試験ブロック	縦 50 cm	5配合 各1体
	幅 50 cm	
	厚さ 0.1 m	
円柱供試体	φ15×30 cm	5配合 各20体

表-2 供試体の配合表

タイプ	構成	W/C (%)	単位容積質量 (kg/m <sup>3</sup> )						
			W	C	S	G	Sp	Gcs	Gio
P0	POC	24	62	261	0	1489	2.6	0	0
P2	POC+肥料	24	62	261	0	1489	2.6	52.2	0
F2	POC+肥料+鉄鉱石	24	62	261	0	1043	2.6	52.2	760
S2	POC+肥料+スラグ	24	62	261	0	1043	2.6	52.2	612
NC	普通コンクリート	63	161	256	822	1019	0	0	0

POC: ポーラスコンクリート, W: 水, C: セメント, S: 細骨材, G: 粗骨材, Sp: 混和剤, Gcs: 転炉スラグ, Gio: 鉄鉱石



図-2 実験場所

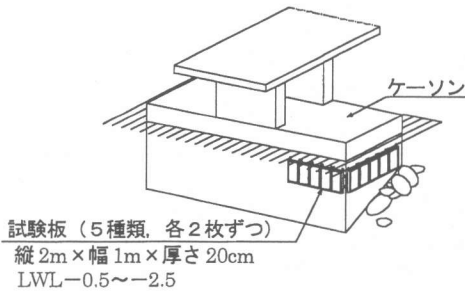


図-3 試験板の設置方法 (サイトA)

### 3.3 実験海域

今回の実験では人工的な海藻の移植を行わず、海藻胞子を自然着生させる方法を取った。したがって、周辺に適度な海藻群落が存在し、ある程度海藻類の生育に適した海況条件を考慮して実験海域を選定した。実験場所は図-2に示す2カ所とした。サイトAは瀬戸内海(兵庫県兵庫県家島町)で、周辺にカジメの群落が存在する場所である。図-3に示すように既設ケーソンの壁面に、天端がLWL-0.5mとなるよう試験板を固定した。また、写真-1のように円柱供試体を防錆処理した鉄製カゴに収納して海中に固定した。サイトBは英虞湾(三重県浜島町)内のガラモ・カジメ場の中とした。サイトBでは試験ブロックを海底(水深2~3m)に設置することから、藻食動物の影響を防ぐように試験ブロックをステンレス製のカゴに収納した。写真-2は試験ブロックの設置状況である。供試体の設置時期は、対象海域の生物相を考慮し海藻の胞子放出期である夏から秋が好適と考え、9月とした。

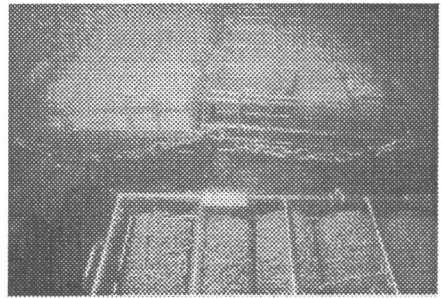


写真-1 円柱供試体の設置状況  
(サイトA)

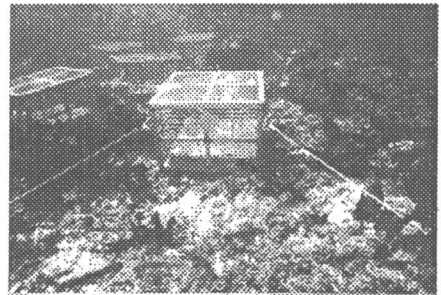


写真-2 試験ブロックの設置状況  
(サイトB)

### 3.4 実験海域の水質状況

サイトAにおいて、実験前の予備調査と実験開始後の調査と合わせて、年3回の水質調査を実施した。その結果、サイトAの全窒素濃度は0.30 (mg/l)、全リン濃度が0.022 (mg/l)であった。しかしながら、生物に利用可能な無機態の窒素・リン濃度は、検出限界に近いほど低い値であった。このことから、サイトA付近の水質は必ずしも富栄養ではなく、海藻類にとって利用可能な栄養分が十分でない状況であった。

### 3.5 実験内容

実験海域に沈漬した供試体を使って、表-4に示す生物調査と物性試験を実施した。生物調査は供試体を設置してから3ヶ月後・5ヶ月後・1年後の計3回実施した。試験板や試験ブロックの表面に付着した、肉眼で観察可能なすべての生物の種類と被度を、専門の潜水調査員を使って観察・調査した。また、サイトAでは海藻着生の初期状態を確認するため、生物調査とは別に設置1ヶ月後に各試験板の表面を水中

表-4 調査・試験の項目

I	生物調査 ①海藻着生被度の調査 ②附着現存量の調査
II	物性試験 (Aサイトのみ) ①肥料溶出試験 ②コンクリート強度試験

写真で撮影した。サイトAの生物調査では、試験板の一部 (25×25cm コドラート) で附着生物を削り取り、附着現存量を測定した。

物性試験は供試体を設置してから1ヶ月後・3ヶ月後・6ヶ月後の計3回実施した。各試験日に所定の円柱供試体を海中から引き上げて研究室へ持ち帰り、所定の水タンク (蒸留水) に浸漬して供試体から肥料成分を溶出させ、アンモニア態窒素とリン酸濃度を測定した。同時に、円柱供試体を使って圧縮強度試験を実施した。

#### 4. 実験結果

##### 4.1 生物調査の結果

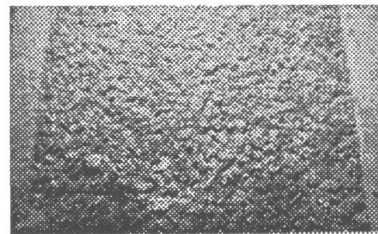
サイトAの試験板に着生した海藻の種類と被度を表-5にまとめた。設置3ヶ月後では、珪藻類 (BACILLARIOPHYCEAE) が主で、他に単年藻の海藻がわずかに見られる程度であった。設置5ヶ月後では、フクロノリ (*Colpomenia sinuosa*) やウミウチワ (*Padina arborescens*) 等の褐藻植物が多く見られるようになった。さらに、設置1年後では、多年藻であるカジメ (*Ecklonia cava*) が占有種となった。写真-3は、サイトAに設置した試験板表面の時間経過毎の写真であり、海藻の遷移過程がうかがえる。ポーラスコンクリートと普通コンクリートを設置1年後で比べると、ポーラスコンクリートの方に海藻が多く着生しており、占有種であるカジメの被度も大きい結果となった。設置5ヶ月後の調査で NCタイプでも多種の海藻着生が確認されていることから、普通コンクリートでは、成長した海藻が波浪等により脱落した可能性が考えられる。

表-6にサイトAの占有種であるカジメの観

表-5 海藻着生の観察結果 (サイトA)

タイプ	3ヶ月後 (12月)	5ヶ月後 (2月)	1年後 (9月)
P0	珪藻類 70 全8種	珪藻類 65 フクロノリ 10 アサ 5 全15種	カジメ 60 全5種
P2	珪藻類 65 全8種	珪藻類 45 フクロノリ 5 ウミウチワ 5 アサ 5 全11種	カジメ 60 全7種
F2	珪藻類 40 全9種	珪藻類 30 アサ 10 全16種	カジメ 60 全8種
S2	珪藻類 40 全9種	珪藻類 35 アサ 10 全15種	カジメ 70 全8種
NC	珪藻類 75 全8種	珪藻類 30 全12種	カジメ 40 全3種

\*表中の数値は被度 (%) を表す。



(a) 1ヵ月後のF2タイプ



(b) 3ヵ月後のF2タイプ



(c) 1年後のF2タイプ

写真-3 着生海藻の変化 (サイトA)

表一六 カジメの着生状況 (サイトA)

タイプ	被度 (%)	本数 (本)	全長 (cm)
P0	60	20	15~35
P2	60	20	10~40
F2	60	22	15~45
S2	70	23	10~40
NC	40	13	10~40

表一七 海藻着生の観察結果 (サイトB)

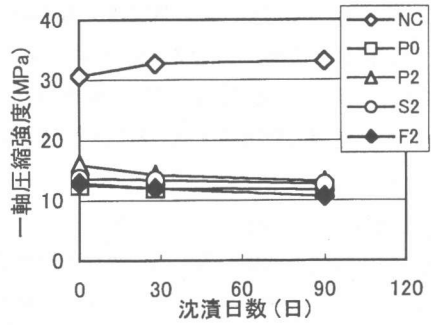
タイプ	3ヶ月後 (12月)	1年後 (9月)
P0	フクロリ 75 全8種	サガラメ 5個体 体長 30-45cm 全7種, 被度 95%
P2	フクロリ 75 全8種	マサ 5個体 体長 10-20cm 全9種, 被度 90%
F2	フクロリ 75 ソウサ 5 全9種	サガラメ 12個体 体長 40-60cm 全6種, 被度 95%
S2	フクロリ 25 全10種	サガラメ 3個体 体長 40-60cm 全12種, 被度 80%
NC	フクロリ 5 全8種	イカハラ, マサ 全4種, 被度 30%



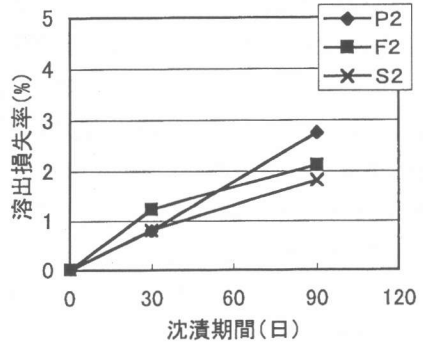
写真一四 設置1年後の試験ブロック (サイトB, F2タイプ)

察結果をまとめた。粒状肥料や鉄系骨材を配合したタイプの現存量がやや大きい傾向であった。

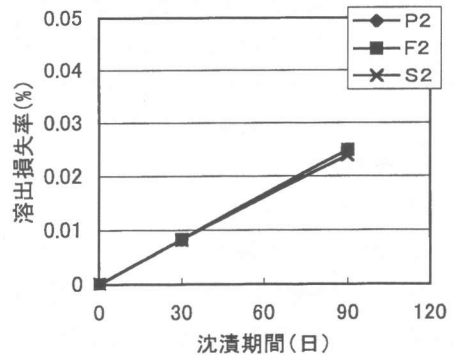
また、サイトBの試験ブロックに着生した海藻の観察結果を表一七に示す。サイトAと同様に、普通コンクリートよりポーラスコンクリートで海藻着生が大きく、粒状肥料や鉄系骨材を配合したタイプでの現存量が大きい傾向であった。写真一四は、サイトBにおける設置1年後のF2タイプの試験ブロックである。着生



図一四 強度試験の結果



図一五 肥料溶出試験の結果 (窒素)



図一六 肥料溶出試験の結果 (リン)

している海藻はコンブ科のサガラメで、サイトBでの占有種である。サガラメの仮根がポーラスコンクリート表面の凹凸をグリップして着生していた。サイトBでは、NCタイプにサガラメの付着は見られなかった。

## 4.2 物性試験の結果

### (1) 強度試験

サイトAから引き上げた円柱供試体の一軸圧縮強度試験の結果と沈漬期間の関係を図一四に示す。ポーラスコンクリートの強度は普通コン

クリートに比べて低く、その強度は沈漬期間が長くなるに伴って低下する傾向であった。ポーラスコンクリートの強度は、生物付着を考慮した上で内部空隙の充填率を高めることで改善できると考える。

## (2) 肥料溶出試験

肥料溶出試験の結果から、所定の期間に供試体から溶出されるアンモニア態窒素とリン酸の量が推定できる。図-5と図-6は、供試体に配合した粒状肥料から溶出したアンモニア態窒素とリン酸の溶出損失率を表している。設置90日後(3ヶ月後)で、アンモニア態窒素の溶出損失率は約2%で、リン酸の溶出損失率は約0.025%であった。アンモニア態窒素では、配合の違いにより溶出損失率に若干のばらつきはあるが、どちらも溶出は持続している。

## 5. まとめ

本研究で得られた結果を以下にまとめる。

- (1) 海藻の着生効果について海域実験を行い、ポーラスコンクリートは海藻着生基盤材として有効であることを確認した。また、EPOCの肥料溶出は、着生する海藻の多様性や、大型海藻の現存量で効果が見られた。
- (2) 実験を通じて、EPOCやポーラスコンクリートを実用レベルで製造することができた。
- (3) 海域での試験結果から、EPOCの肥料成分の溶出能力は安定していることを確認した。

## 謝辞

三重大学名誉教授喜田和四郎先生には、生物調査に関する有益なご指導を頂いた。(株)応用地学研究所の小野田義輝氏には、生物調査の実施にご尽力いただいた。ダイセル化学工業(株)の橋本道生氏、ダイセル化成(株)の徳本実氏には、特殊肥料の製造・供給にご協力いただいた。また、(株)神戸製鋼所には、実験に使用した鉄鉱石と転炉スラグをご提供いただいた。本研究にご協力をいただいた方々に深く感謝いたします。本研究の一部には、平成9、10、11年度文部省

科学研究費(基盤研究B、課題番号09480137)、平成11年度文部省科学研究費(萌芽研究、課題番号11875097)および、科学技術振興事業団の平成11年度独創的研究成果育成事業モデル化資金によったものでありここに記して感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1)環境庁:平成11年度版環境白書,大蔵省印刷,1999
- 2)三橋宏次:新しい漁港建設の計画・建設とその施工自然環境との調和・水産資源の涵養を目指して,(財)漁港漁村建設研究所,1998
- 3)村上和男ほか:コンクリート構造物に着生する付着生物に関する研究,自然環境との調和を考慮したエココンクリートの現状と将来展望に関するシンポジウム論文報告集,pp.111-116,1995
- 4)玉井元治,河合章,西脇裕二:ポーラスコンクリートへの海洋生物付着に関する研究,セメント・コンクリート論文集, No.44, pp.708-713,1990
- 5)玉井元治,河合章:連続空隙を有するコンクリートに付着する海洋生物の遷移に関する研究,土木学会論文集, No.452/2-20, pp.81-90,1992
- 6)玉井元治ほか:自然の海水に沈漬したポーラスコンクリートへの生物付着と水質浄化,自然環境との調和を考慮したエココンクリートの現状と将来展望に関するシンポジウム論文集, pp.83-90,1995
- 7)玉井元治,来田秀雄,吉田宗久:海洋の多様性生物を回復させる藻場造り法,第26回セメント・コンクリート研究討論会論文報告集, pp.47-50,1999
- 8)玉井元治,向井苑生,来田秀雄,吉田宗久:沿岸海域の多様性生物を育む藻場造り法,第8回地球環境シンポジウム講演論文集, pp.129-134,2000.7