

セラミック炭入りポーラスコンクリートの 自然環境保全効果に対する一考察

小篠康徳¹・堂前満²・品川清和³

¹ ピーシー橋梁株式会社 インジニアリング本部 技術部 開発グループ (〒105-0004 東京都港区新橋 6-17-19)

² ピーシー橋梁株式会社 インジニアリング本部 技術部 (〒105-0004 東京都港区新橋 6-17-19)

³ 正会員 ピーシー橋梁株式会社 インジニアリング本部 技術部 開発グループ
(〒105-0004 東京都港区新橋 6-17-19)

人間活動がもたらす地球温暖化は、干ばつや洪水、海面上昇による陸地の水没等の世界的な環境破壊を引き起こしている。このような状況の中、地球温暖化防止を目的とした「京都議定書」が 2005 年 2 月 16 日に発効され、世界的規模の地球温暖化防止や自然環境の再生が求められている。本報告では、筆者らが提案するセラミック炭入りポーラスコンクリートブロックにおける循環型社会の構築や二酸化炭素の固定、自然環境の再生に対する効果を定量化し、報告するものである。

キーワード：セラミック炭、ポーラスコンクリート、循環型社会、地球温暖化防止、自然環境の再生

1. はじめに

今日の環境問題は、国内での大気、水及び土壌汚染や廃棄物問題から地球規模の地球温暖化問題まで拡大・深刻化している。これらの諸問題は、経済社会システムやライフスタイルに根ざしているため、その根本的な解決には、社会全体のあり方を見直し、より環境負荷の少ない循環型の社会を構築していくことが求められる。これら環境問題の解決には我が国の環境に対する取組みだけでなく、個人の日常生活や企業と地域社会が一体となって足元から取り組んでいくことが重要である。

このように環境に対する関心が高まるなか、環境への応用性が高いセラミック炭入りポーラスコンクリートブロック (Porous Concrete with Ceramic Carbon Block: 以下 PoCe ブロック) を開発した。PoCe ブロックは、一般的な炭と比較して比表面積が多いセラミック炭とポーラスコンクリートを組合せたものであり、大気・水環境の改善、資源循環の支援、自然環境の再生等に対して優れた効果を有すると考えられる。本稿は、PoCe ブロックの自然環境保全効果について、報告するものである。



写真-1 セラミック炭

2. セラミック炭入りポーラスコンクリートの概要

(1) セラミック炭の概要

セラミック炭 (写真-1) は、木材チップ (間伐材や製材の切れ端等) とセラミックパウダー (ベントナイト等) を混ぜ合わせ 約 800 ℃ で焼成してつくるハイブリッド炭化物である。木炭、竹炭と比較して空隙が多いため軽く、ブレン値も高いので吸着性能に優れている。セラミック炭、竹炭及び木炭の諸物性値を表-1 に示す。

表-1 各種炭の諸物性値

	空隙率 (%)	比重 (kg/m ³)	ブレン値 (cm/g)	窒素吸着量 (mg/g)
セラミック炭	74	146	1,260,000	47
竹炭	46	548	1,170,000	12
木炭	55	344	7,700	4

表-2 各種炭の成分

(単位: 重量%)

成分	化学式	セラミック炭	マ竹炭	なら炭	
ミネラル分	珪酸分	SiO ₂	46.00	22.90	0.017
	鉄分	Fe ₂ O ₃	4.00	1.38	0.023
	アルミ	Al ₂ O ₃	11.00	-	0.004
	チタン	TiO ₃	0.20	-	0.004
	マンガ	MnO ₃	0.10	0.60	0.004
	石灰	CaO ₃	1.10	1.38	0.811
	苦土	MgO ₃	1.40	1.48	0.089
	カリ、ソーダ	K ₂ O, Na ₂ O	1.40	14.44	0.290
	リン酸	P ₂ O ₅	0.05	-	0.046
	炭酸他	H ₂ CO ₃	3.37	-	0.482
	小計		68.62	42.18	1.770
	炭素分		31.38	57.82	98.230
	合計		100	100	100

また、セラミック炭は周りをセラミックでコーティングされているので、水分を含んでも泥濁化せず、難燃性でミネラル分を多く含む。各種炭の成分を表-2 に示す。

(2) PoCe ブロック概要

水や空気を通す連続空隙を有するポーラスコンクリートは、その特性を生かして舗装、吸音版、緑化・植生基盤、水質浄化、河川護岸、ハビタットとしての施工実績があり、最近はこのうち環境保全に貢献するエココンクリートとしての活用が注目されている。PoCe ブロックの概念図を図-1 に示す。

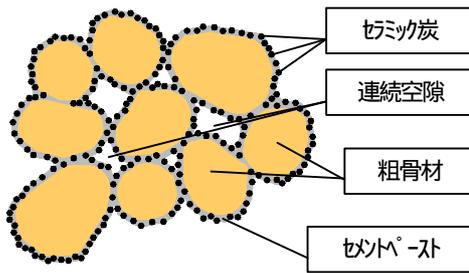


図-1 PoCe ブロックの概念図

(3) PoCe ブロックの環境コンセプト

PoCe ブロックは、自然環境に対する直接的な効果だけでなく、素材の特徴からの間接的な環境保全効果も有しており、これを PoCe ブロックの環境コンセプトとする。環境コンセプトの概念を図-2 に示す。この環境コンセプトを大きく分けると、循環型社会構築への寄与、木質バイオマスのエネルギー利用、地球温暖化防止への貢献および自然環境の再生の4項目である。次章以降この環境コンセプトの具体的な内容について述べると共にその有効性の検証を試みる。

3. 循環型社会構築への寄与

(1) 循環型社会の構築

循環型社会形成推進基本法によると循環型社会とは、「製品等が廃棄物等となることが抑制され、並びに製品等が循環資源となった場合においてはこれについて適正に循環的な利用が行われることが促進され、及び循環的な利用が行われない循環資源については適正な処分が確保され、もって天然資源の消費を抑制し、環境への負荷ができる限り低減される社会」と定義されている。すなわち、廃棄物を出さない、出た廃棄物はできるだけ資源として再利用する及び再利用できない廃棄物は適正に処分する、ということである。

PoCe ブロックは、間伐材や廃棄物等の未利用資源を再資源化し、藻場や河川護岸の造成を通して自然環境の再生に役立てることを目的としている。PoCe ブロックは、循環型社会に寄与するだけでなく、環境の再生にも寄与することが可能である。

(2) 間伐材・廃材の再利用

近年の我が国における未利用・廃資源の内、間伐材、林地残材、建築廃材等の林産資源は年間5,350万トンに

表-3 我が国の未利用林産資源¹⁾

		(単位：万トン/年)	
項目	発生量	利用可能量	
林産資源	建築廃材	327	206
	間伐材	345	197
	林地残材	363	80
	工場残廃材	1,250	216
	古紙	3,063	280
	合計	5,348	979



図-2 PoCe ブロック環境コンセプト

も及び(表-3)。

その内、再利用率の高い古紙以外は焼・棄却されているのが現状であり、これら再利用されていない林産資源をあわせるとおよそ1,000万トンにもなる(表-3)また、稲わら、麦わら、もみ殻等の農産資源も年間2,000万トン発生し(その内の利用可能量は850万トン程度)、これらをセラミック炭に焼成してPoCeブロックとして再利用することで循環型社会の構築へ寄与することとなる。

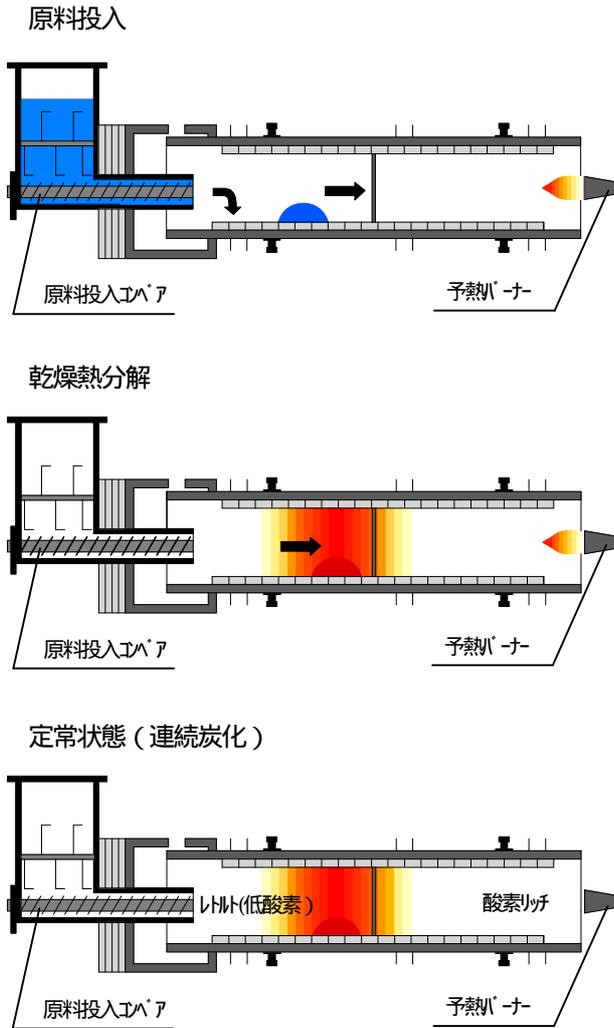


図-3 炭化システム概念図

4. 木質バイオマスのエネルギー利用

(1) 木質バイオマス

バイオマス(Biomass)とは「太陽エネルギーを貯えた様々な生物体の総称」である。薪や木炭等の炭素の多い有機物を木質バイオマスと呼び、燃焼により放出される多量のエネルギーを人類は活用してきた。しかし、この炭素はもともと光合成によって大気中の二酸化炭素が固定されたものであるから、森林等が維持される限り大気中の二酸化炭素を増加させることはない。それゆえバイオマスはカーボン・ニュートラルな再生可能エネルギーとも呼ばれる。

木質バイオマスには、自然環境に対して化石エネルギーとの代替によって二酸化炭素の発生を抑制する、間伐材を積極利用することで、森林資源が健全化する。

木質資源の再利用によって廃棄物の発生を抑制する、等の効果がある。このようにバイオマスの活用は、循環型社会への移行を進めていくための有効な手段である。

(2) セラミック炭焼成時のエネルギー活用

セラミック炭の焼成には、通常ロータリーキルンが用いられる。炭化工程は次の通りである。原料をスクリーコンベアでロータリーキルンに投入する。バーナーで予熱し、原料を乾燥熱分解する。発火点を越えた時点で自己燃焼による炭化が開始される。定常状態に入った後は、バーナーは消火され、その後は自己燃焼のみで連続炭化される。炭化システムの概念図を図-3に示す。

このロータリーキルンで発生する熱を発電や熱源用燃料エネルギーとして活用することで、自然環境への負荷がさらに低減される。

5. 地球温暖化防止への貢献

(1) 二酸化炭素の固定

京都議定書によると、我が国では二酸化炭素を中心とする温室効果ガスは2008~2012年の5年間に1990年比6%削減しなければならない(表-4)。ここで、二酸化炭

表-4 各温室効果ガス排出量の推移²⁾

(単位: 百万トンCO₂換算)

	1990	1991	...	1995	1996	...	2000	2001	2002	2003
二酸化炭素(CO ₂)	1,122.3	1,131.4		1,213.1	1,234.8		1,239.0	1,213.8	1,247.3	1,255.3
メタン(CH ₄)	24.7	24.6		23.3	22.9		20.7	20.2	19.5	19.3
一酸化二窒素(N ₂ O)	40.2	39.7		40.8	41.7		37.8	35.1	35.4	35.3
ハイドロフルオロカーボン類(HFC _s)				20.2	19.9		18.5	15.8	12.9	12.3
パーフルオロカーボン類(PFC _s)				12.6	15.2		13.7	11.5	9.8	9.0
六ふっ化硫黄(SF ₆)				16.9	17.5		6.8	5.7	5.3	4.5
計	1,187.2	1,195.7		1,326.9	1,352.0		1,336.5	1,302.0	1,330.2	1,335.8

■ 京都議定書の基準年

素だけに着目すると1990年の排出量が11億2200万トン(CO₂換算)であるから、その6%の6,700万トンが削減目標となる。

ここで、間伐材や廃材を活用したセラミック炭およびPoCeブロックの炭素固定量を試算する。セラミック炭は、焼成によって重量が約1/3になる。つまり、原料となる間伐材や廃材1tから300kgのセラミック炭が生成される。セラミック炭の炭素含有量は表-2に示すように、およそ31%であるから、木材1tから固定される炭素量は約100kgとなる。

我が国の未利用林産資源は、年間に約1,000~2,000万トンあるから、この全てをセラミック炭に焼成したと仮定すると、約300~600万トンが得られ、セラミック炭に固定される年間の炭素量は100~200万トンとなる。これをCO₂換算すると、二酸化炭素重量は炭素の3.6倍であるため、360~720万トン相当の二酸化炭素が固定化されることとなる(図-4)。これは、削減目標6,700万トンの約5.4~10.7%に相当する。

図-5に我が国の二酸化炭素の部門別排出量をグラフ化したものを示す。仮に720万トンの二酸化炭素を固定化できると仮定すると、その量は、廃棄物部門の1990年(17百万トン)から2003年(24百万トン)の13年間の増加量に匹敵し、1990年比40%強となる。

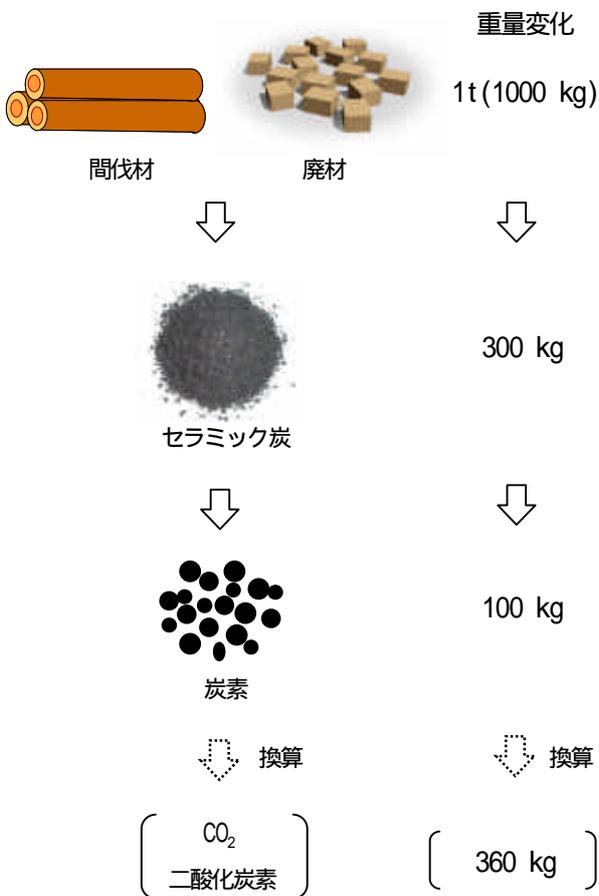


図-4 林産資源の重量変化

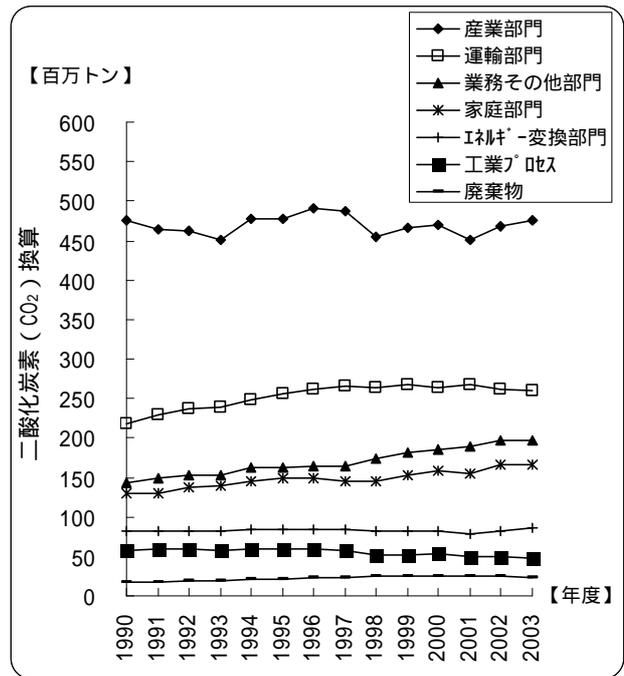


図-5 二酸化炭素の部門別排出量の推移²⁾

6. 自然環境の再生

(1) 自然環境の再生

近年、余暇時間の増加や身近な自然の減少および国民の環境に対する意識の向上等に伴い、自然とのふれあいへのニーズが高まっている。原野や原生的な森林等の自然性の高い地域で、豊かな自然を体験することや身近な場所での自然とのふれあいは人間性を回復するために有効である。居住地から離れた旅先で山々や海岸等、自然の風景に接することや、日常的な自然とのふれあいは、人々の精神を解放し安らぎを与えてくれる。

また、海洋は膨大な量の生物資源、鉱物資源および石油等のエネルギー資源を包蔵しているばかりでなく、広大な空間を有し、潮流、波浪等の尽きることのない自然エネルギーが存在する場である。海洋は美しい景観や親水空間を有しており、価値観の多様化や精神的な充足を求める意識が高まっている中で、憩いの場、レクリエーションの場等を提供する等、多面的な価値を有している。さらに、近年の科学技術の進歩は、海洋の資源や空間の新たな利用方法を産みだし、この結果、海洋の開発利用が社会経済の発展に貢献する度合は近年飛躍的に増加している。

このように、21世紀の日本の発展にとって、自然環境の再生は必要不可欠なものとなってきている。次節では、PoCeブロックが自然環境の再生にどのように関わっていくのかに述べる。

(2)水質浄化機能とその効果

a)実験概要

PoCe ブロックは、ポーラスコンクリートとセラミック炭の効果で水質を浄化する効果があり、河川や湖沼等の水質浄化が可能である。このPoCe ブロックの水質浄化機能とその効果を確認するために、室内実験を実施した。ここでは、室内水質浄化実験の結果を報告する。

本実験は、PoCe ブロックの物理的吸着性能を確認するため、微生物の水質浄化作用は利用せず、PoCe ブロックのみの物理的吸着性能を調べた。実験は写真-2 に示す実験装置を用いて、人工汚水をPoCe ブロックに通過させながら循環させ、汚染原因となる物質の増減を確認した。



写真-2 水質浄化実験装置

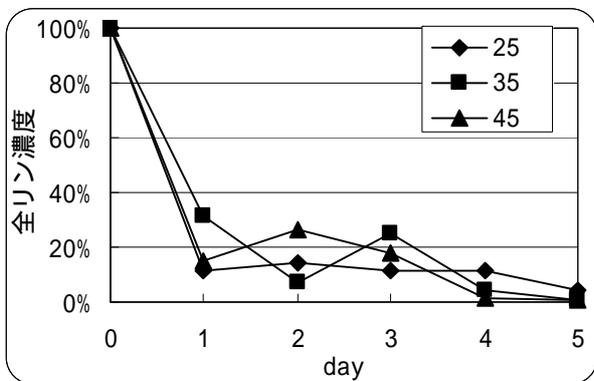


図-6 全リンの含有量変化

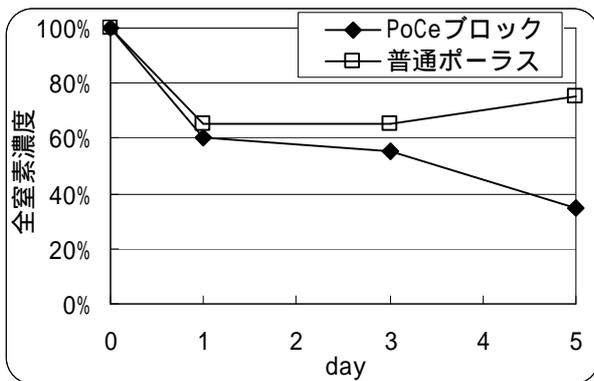


図-7 全窒素の含有量変化

b) 実験結果

図-6、図-7 に水質浄化実験の結果を示す。全リン濃度は、1日目で10～30%程度まで減少し、5日目にはほぼ100%のリンを吸着していることが確認できた（石灰凝集沈殿を含む）。全窒素についても高い吸着効果が確認され、PoCe ブロックは普通ポーラスコンクリートに比べて、全窒素濃度が30%以上減少している。

本実験結果は、あくまで室内実験の結果であり、今後は、河川や湖沼で実証実験を行い、PoCe ブロックの水質浄化機能を再度確認する必要があると考えているが、少なくともPoCe ブロックの水質浄化機能が有効であることが確認されたと考える。

(3)藻礁としての機能とその効果

a)実験概要

PoCe ブロックの表面の凹凸は、海藻類をはじめとする多様な海生生物の定着を容易にし、また、連続した空隙とセラミック炭の微細孔が微生物とプランクトンの生息に適している。海藻が繁茂することで藻場が形成され、魚介類の餌料培養礁となるため、地域の漁業発展に貢献することも可能である。このPoCe ブロックの藻礁としての機能と効果を確認するために愛媛県松山漁港沖にPoCe ブロックを沈設し、その後定期的に海藻の付着状況を確認するための調査を実施した。ここでは、沈設状況および7ヵ月後の海藻類の着生状況を報告する。

沈設場所：愛媛県松山市興居島地先由良湾

沈設日：平成15年12月16日

観測期間：3カ年

観測日：平成16年7月20日（第4回）

本実験のPoCe ブロックの特性値、形状および部分写真を以下に示す。

表-5 PoCe ブロックの特性値

項目	記号	単位	特性値
設計基準強度	f'_{ck}	N/mm ²	16.0
空隙率	-	%	15.0
比重		kN/m ³	19.6
ブロック体積	V	m ³	1.329
ブロック重量	W	kN	26.0

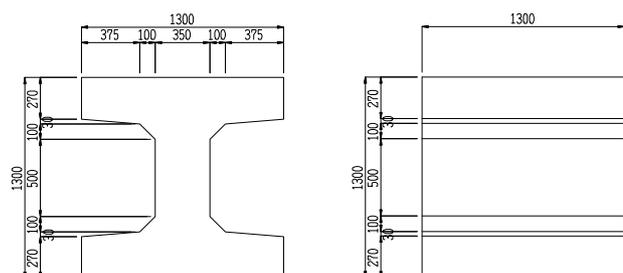


図-8 PoCe ブロックの形状

クレーン船を用いて、泊地区、由良地区の2ヶ所で合計8個のPoCeブロックを水深10m付近に沈設した。比較のために普通コンクリートブロックも合わせて沈設し、海藻類の着生状況を目視観察した。

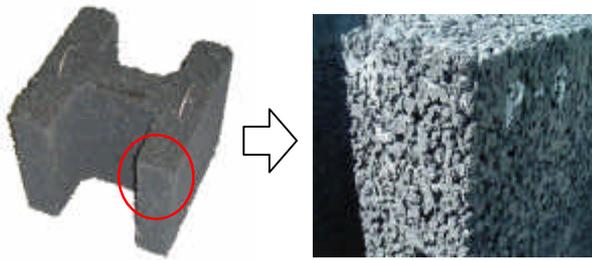


写真-3 PoCe ブロック

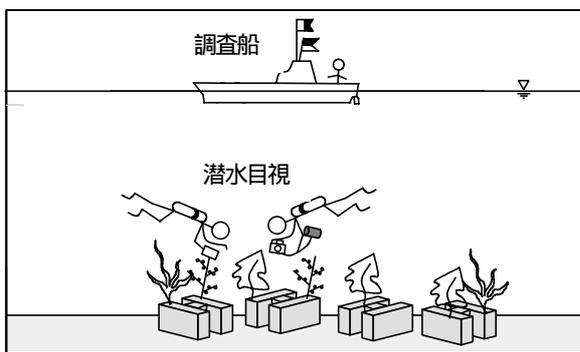


図-9 調査概念図

b) 実験結果

設置海域によって、海藻類や海生生物の付着状況に差異はあるものの、おおむね付着状況は良好であった。泊地区では、クロメ、アオサ属、フクロノリ、テングサ科等13種類、由良地区では16種類の海藻が確認された。特に泊地区のPoCeブロックでは、全ブロックにおいて優先的にクロメが着生し、生長しているが観察された(写真-4)。一方、普通コンクリートブロックでもクロメやその他の海藻の着生、生長が観察されたが、着生数はPoCeブロックより少なかった(写真-5)。両ブロックを比較するとPoCeブロックの方がクロメの着生数、生長度合とも良好であり、PoCeブロックが着生基盤として優位であると考えられる。

本実験の結果は、ブロック沈設から経過観測まで約7ヶ月という短期間のものであるが、PoCeブロックは藻場の形成に有効であることが確認された。

7. おわりに

ポーラスコンクリートにセラミック炭を混入したPoCeブロックには、両素材の優れた特徴による相乗効果が期待されている。本稿では自然環境保全に対する4つの効果を、特にPoCeブロックの環境コンセプトと位置付けて

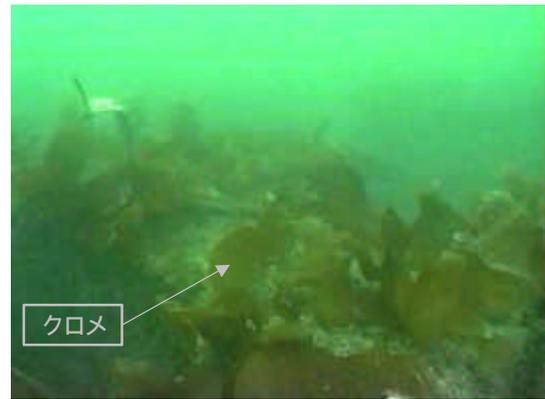


写真-4 海生生物の着生状況 (PoCe ブロック)

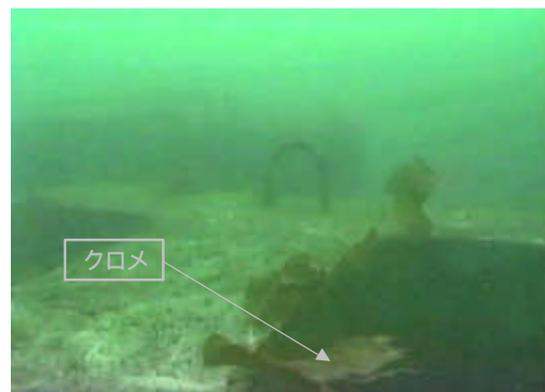


写真-5 海生生物の着生状況 (普通コンクリートブロック)

記述した。

PoCeブロックにおける環境コンセプトは、農林漁業との結びつきが強く、地域の自然循環機能を維持増進させるとともに、食料や木材の供給といった農林水産本来の役割に、エネルギーや建設資材の供給といった新たな役割を付与するものである。この環境調和型のビジネスモデルは、地場産業と一体となって推進されることで、自然環境への貢献だけでなく、新たな雇用を通して地域経済の安定的な発展へも寄与することが期待される。今後は、ノウハウを蓄積し、特にコスト面の課題を整理し、地域の活性化に繋がることを望みたい。

参考文献

- 1) 坂志朗,「我が国におけるバイオマス資源量とエネルギー変換技術」,2002年バイオマス関連部会合同交流会,木質バイオマス利用研究会,2002.2.
- 2) 「2003年度(平成15年度)の温室効果ガス排出量速報値について」,環境省, <http://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg/gaiyo.html>.
- 3) 原田寿郎,「森林由来のバイオマス資源のエネルギー利用」,農林水産技術研究ジャーナル,Vol.23, No.6, 2000.6.
- 4) 堤敦司,「バイオエネルギー利用による循環型社会の構築に向けて」,2002年バイオマス関連部会合同交流会,木質バイオマス利用研究会,2002.2.