

海洋環境とコンクリート

阿南工業高等専門学校 正会員 天羽 和 夫

1. はじめに

コンクリートは、強度、耐久性に優れ、経済的で設計の自由度も大きいことから、構造物材料として鋼と共に盛んに利用されている。沿岸海域においても各種護岸構造物、岸壁や防波堤の港湾施設、人工魚礁などの多くはコンクリートを用いた構造物であり、自然災害による国土保全や社会資本の整備に重要な役割を果たしている。しかしながら近年では、世界的な環境意識の高まる中で、これまでのようにコンクリートに求められる性能は力学的な面だけでなく、自然との調和や環境保全に対する配慮なども求められるようになってきた。本文では、海洋環境に関連しているコンクリートの研究事例のいくつかを報告する。

2. 海岸構造物の影響

平成6年の運輸省港湾局の港湾政策は環境を考えたエコポート整備構想を打ち出し、港湾構造物本来の機能の他に生態系にも配慮した設計条件が含まれるようになってきている。この要求に応えるためには、既存の構造物がもたらした海洋環境の変化を調査し、実際の計画や設計に必要な情報を得ることが重要になる。

ここでは、沿岸域の構造物の大半がコンクリート材またはコンリートと鋼材の組み合わせである人工構造物の形式が生態系と周辺環境に及ぼす影響について述べる。

一般に、沿岸構造物周囲に影響する生物環境因子として、構造形式の他に水質、光、潮位による干出時間、付着基質、海水流動などが考えられるが、小笹ら⁽¹⁾⁽²⁾は最も大きな影響を与える要因としては波浪と構造形式があげられるとし、生物の出現種数と出現量を構造物の前面波高と構造形式のパラメータとして付着生物の定量化を行っている。これらによると港湾構造物の生物相の特性として、前面波高が2～3mを境として動物の多い生物相と海藻の多い生物相に分かれる(図1参照)。これは、海藻は葉体表面より海水中の栄養分を吸収するためであると指摘している。一方、構造形式別にみると、直立構造物には動物が、傾斜構造物には植物が卓越して出現する環境空間を提供している(図2参照)。

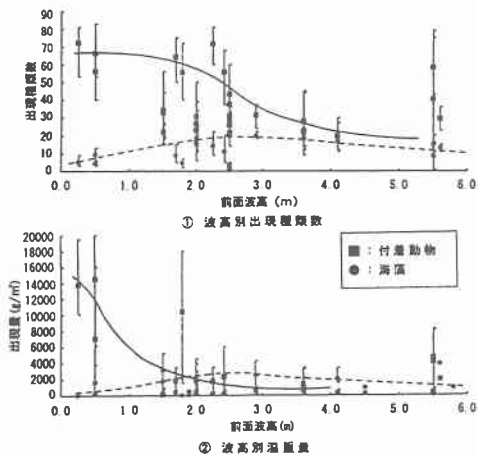


図1 波高別生物出現数および湿重量

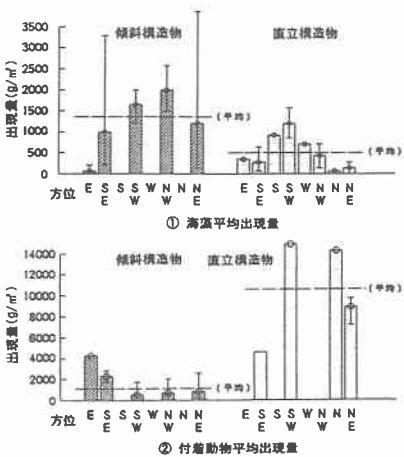


図2 構造別・方位別付着生物出現量

生物の出現数や個体量を示す多様度指数の高い前提波高は1.5～2mの範囲で、0.5m以下の場所では環境悪

化に耐えるある一部の動物が卓越し多様性は低下するが、構造形式による多様性指数には変化はみられなかった。（図3、4参照）。

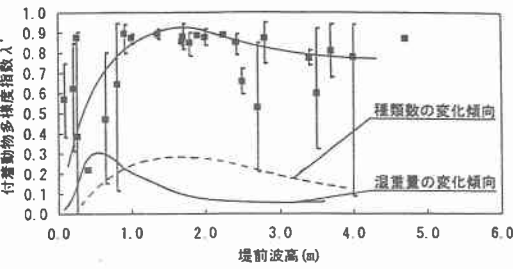


図3 堤前波高別多様性指数

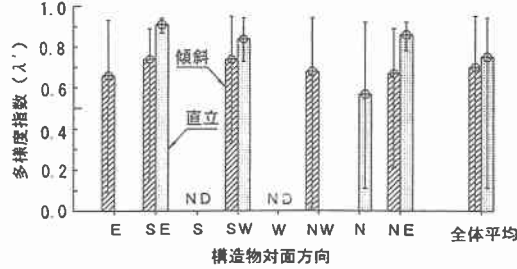


図4 構造別多様性指数

また、関西国際空港周囲での護岸形式による生物種への影響は、形式によって付着生物への影響効果が異なることが報告され⁽³⁾、小笹らの報告と同様な傾向がみられる（表1参照）。この他、直立護岸に生物の体長に合わせた凹凸を設けたプレキャスト部材を取り付ける方法なども考えられており今後の成果が期待される。

次に、設置場所による影響として、徳島県沿岸部に設置されている直立防波堤と離岸堤に対するアンケート調査⁽⁴⁾から、直立防波堤および離岸堤の岸側では水質の悪化、底質の細粒化が進行する。生物増集効果は離岸堤に顕著に見られたが、防波堤ではその効果は少ない（図5参照）。

少数の事例からではあるが、コンクリート構造物の構造形式や設置場所を考慮することによって、ある程度の海洋生態系に適した海洋空間を創り出すことが可能と思われる。

3. 表面処理したコンクリートと海洋生物

コンクリートへの生物付着を促進させる目的で、図6に示すような表面処理したコ

表1 護岸形式別による付着生物量

生物の種類	護岸種類	傾斜型護岸	直立型護岸	堤成型護岸
海藻類	種類数	37~42	16	18
	湿重量(g/㎡)	146~450	10	10
魚介類	種類数	37~50	26	23
	個体数(10 ³ 個)	60~70	52	75
付着動物	種類数	2.0~4.5	13	10
	湿重量(kg/㎡)	0.8~2.0	10.5	18

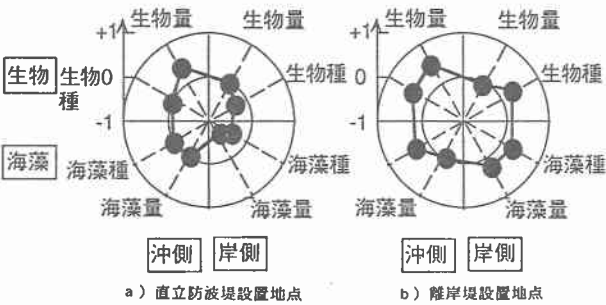


図5 構造物設置による生物相の変化

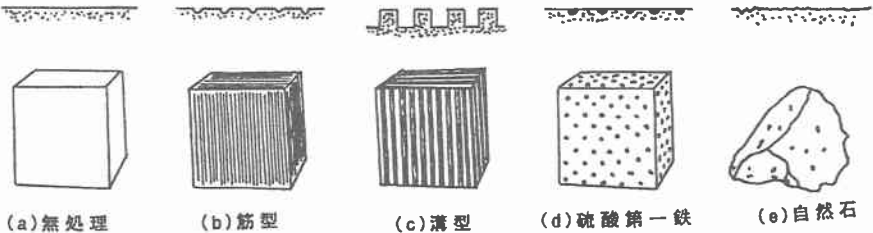


図6 試験に用いたコンクリート方策

ンクリート方塊を海洋環境が類似している6つの港湾に設置し、海藻類の被度と種類数、付着動物の被度、個体数および種類数を調査⁽⁵⁾している。

これによると、コンクリートの表面に凹凸をつけたブロックへの生物付着量は設置後半年までは無処理のものより大きくなる。薬剤処理したコンクリートも同様の傾向となり、初期の段階で生物付着量が多く

なる。しかし、1年以上経過すると無処理のブロックと加工ブロックへの生物付着量の差は見られない(図7参照)などの結果が得られている。なお、これに類した研究は他にはみられず海洋生態系を考えた場合には、この方面の研究も必要となる。

3. ポーラスコンクリートと海洋環境

(1) ポーラスコンクリートについて

限定した粒度の骨材(5号、6号及び7号碎石を単独または混合使用、細骨材は一般に用いない)、セメント、混和材料などを用い、低水セメント比の配合条件でつくられるコンクリートで骨材と結合材の体積比は10~50%程度の研究が多い。空隙率は、普通コンクリートの空気量と同じ規定であるが、ポーラスコンクリートの空隙はほとんどの場合、連続空隙構造となっている。空隙率は使用材料や配合条件によって変化する。また、ポーラスコンクリートの使用目的や用途により異なるが10~35%の空隙率ものが使用されている。次に、基本的性質である圧縮強度は、普通のコンクリートと同様に骨材の粒度・粒径、混和材料などの使用材料に関する要因やセメント量、水セメント比などの配合条件に影響を受ける。また、配合条件と圧縮強度との関係は、空隙率の大

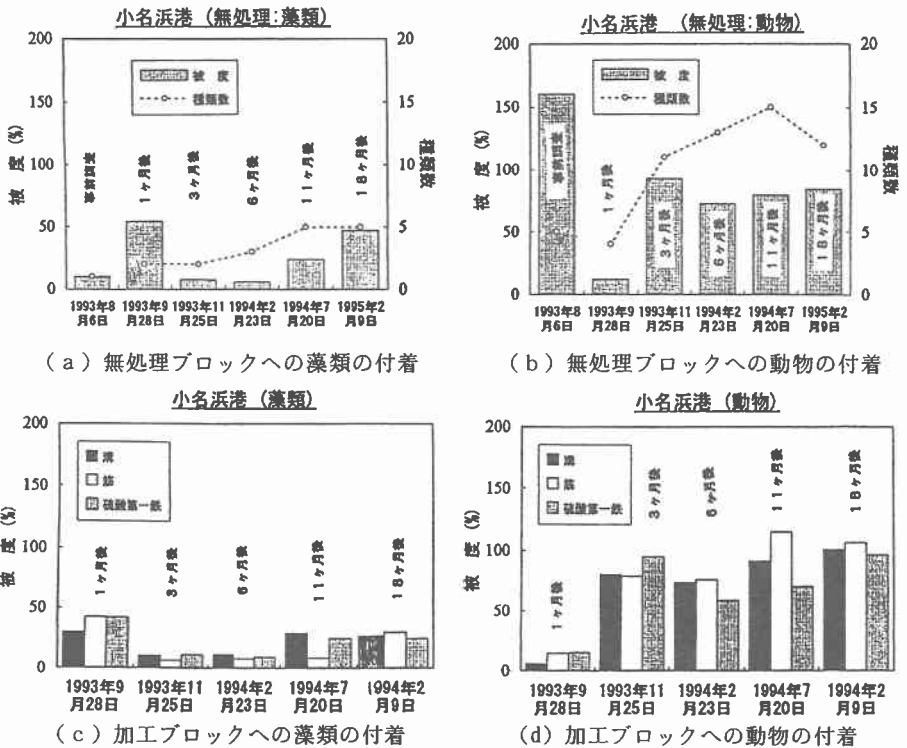
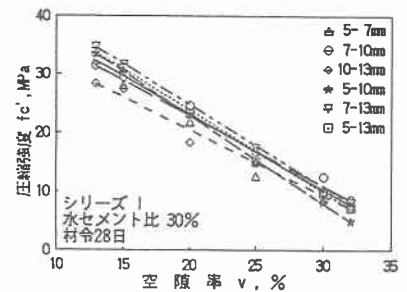
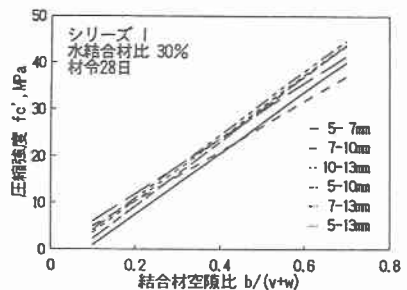


図7 コンクリート方塊への生物付着量(小名浜港の場合)



(a) 空隙率と圧縮強度



(b) 結合材空隙比と圧縮強度
図8 配合と圧縮強度との関係

大きさまたは結合材空隙比の一次関数として表されることが多く、空隙率20%場合で20MPa程度と低水セメント比のわりに圧縮強度は小さい⁽⁶⁾（図8参照）。

（2）水質浄化

自然海岸や干潟では、細菌、微細藻類、原生動物、貝類、海藻類、魚類、鳥類などが複相化して海域の自然浄化が行われ、これらが食物連鎖的にバランスをもって生息している。しかし、総延長3.4万kmといわれている海岸線のうち、45%は浸食性海岸で保全を必要とする海岸で何らかの形で人手が加えられており、そのうちの半分以上は、すなわち総延長の20%以上が埋立や護岸構造物に利用され、自然海岸は少なくなり、生態系の多様化を減退させて自然浄化能力が限界となり、海辺環境は悪化している。このため、コンクリート分野においても沿岸域の回復を図る技術の一つとして考え出されたのがポーラスコンクリートの利用である。空隙の大きさと水質浄化に

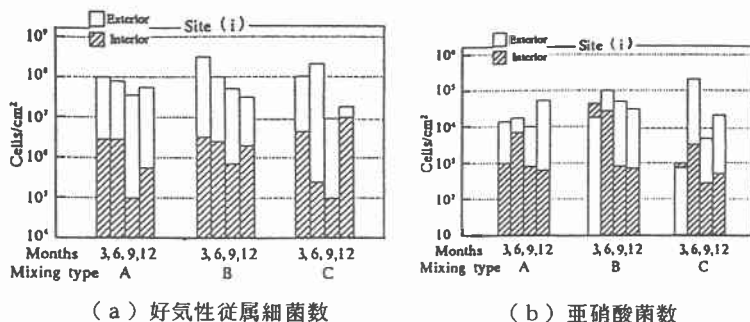
空隙の大きさ	μ	mm	cm	m	km	機能
材料（人工） （自然）	コンクリート	砂質	粗粒、ポーラスコンクリート	流石ブロック		
生物	バクテリア.....	原生動物.....菌形動物（多毛類）.....底生動物.....	動物植物.....魚類.....	鳥類.....		生物の棲みか （空隙）
利用形態 （生物共生）	ハビタット.....バイオトープ.....	ハビタット.....バイオトープ.....	ハビタット.....バイオトープ.....	ハビタット.....バイオトープ.....		
ろ過（透明度）						通水性
光（透過、反射）	光合成細菌.....異化アノキトクモ.....		海草（葉）類			N、Pの除去 付着基の粗度 （機械的、生物学的）
集積		餌のトラップ（栄養塩類）				通水性、 異化粗度 形状（配置）
流達		滞留時間、流の形成（生物の捕食）、調製				

図9 空隙の大きさと水質浄化に関する項目

する項目として図

9が考えられ、このうち連続空隙を有するポーラスコンクリートは、水や空気を自由に通過させ、生物環境を早期に創造するばかりでなく、内部および外部表面に付着・棲息する微生物によって生物的固定と代謝分解により水質浄化を可能する⁽⁷⁾。

淡路島近海で行った水質浄化に関する検討では⁽⁸⁾、浸漬後10日頃から表面部は中性化し始め、細菌の付着がはじまる。内部は、表面部から1ヵ月遅れ好気性従属栄養細菌が、やや遅れて硝化系細菌群が増



(a) 好気性従属細菌数

(b) 亜硝酸菌数

図10 ポーラスコンクリートに付着した細菌数

表2 水質の変化

試験体	沈漬 ゾーン	硝酸態窒素		溶存有機炭素	
		初期値	90分後	初期値	90分後
普通コン クリート	H		34.6		258
	M	26.1	37.5	225	276
	L		37.9		250
NFC	H		48.5		119
	M	26.1	49.4	225	131
	L		44.4		250

H：平均海面、M：平均海面－70 cm(干潮帯)、
L：平均海面－140 cm(常時沈水帯)

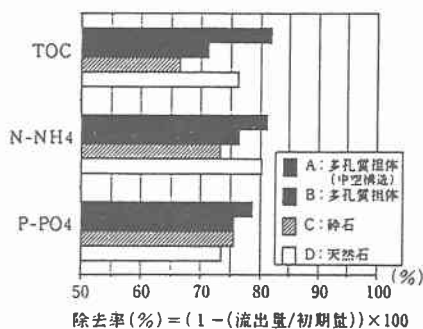


図11 TOC、N-NH₄、P-P0₄除去率

付着・繁殖しはじめ、3ヵ月後では図10 にみられるように多くの好気性細菌の棲息が認められる。また硝化細菌は全体的に好気性細菌より少ないが、亜硝酸菌の表面付着は時間の経過と共に増加傾向にある。これは、亜硝酸菌がアルカリを嫌うため、このような結果となっている。これらの細菌は主に有機物質を好気条件下で分解する⁽⁹⁾（表2参照）。また、屋内水槽に海水を通過・循環させた実験でもポーラスコンクリートが天然石や碎石に比べて浄化率が高くなっている⁽¹⁰⁾（図11参照）。

(3) 付着生物 表3 海藻の着生試験にもちいたコンクリート平板の種類

①大型海藻海類
表3に示すように空隙率の大きさと骨材のサイズを変化させたコンクリート平板を外洋に位置する既存の魚礁に取り付け、大型海藻の着生状況について調べた結果⁽¹¹⁾、ポーラスコンクリートでは100% 前後の植被率率のものが多く、普通コンクリート平板ものに比べて海藻の着生は良好となっている。また、ポーラスコンクリートの中では、空隙率、骨材の種類や最大寸法を変えても海藻の着生効果に明確な差はみられない（表4参照）。また、夏場は全体的に植被率が低下している。海藻の出現種としてはホンダワラ科のトゲモクやテングサ科の海藻が主に確認されている。

②付着動物
ポーラスコンクリートにつく大型付着動物を定量的に調査した報告は少ないが、ポーラスコンクリートには実験場所にもよるが一般に多くの貝類やゴカイ類が確認されている。また、ポーラスコンクリート板を潮間帯に設置した場合の生物付着特性は、普通コンクリート板ではアオノリ属が点在するのに対して、アシナガゴカイなどの多毛類やイガイ、フジツボ類が生息し、生物種、量とも多かった⁽¹²⁾。

以上から、ポーラスコンクリートは生物に対し、普通コンクリートより快適な空間を与えられる。しかし、浄化機能や付着特性はポーラスコンクリートの特性、設置場所などに関係し、検討課題も多い。

(4) ポーラスコンクリートを用いた適用事例

前述したようにポーラスコンクリートの強度は小さい。また、耐久性に関する検討は少ない。したがって、ポーラスコンクリートの適用例は陸上部の植生コンクリート、透水ブロック、水質浄化工などに用いられており、厳しい海象・気象作用を受ける海洋環境下での実用化は極めて少ない。

一例として、沿岸漁業のなかでも重要種であるイセエビを対象とした人工魚礁の素材としてポーラスコンクリートを用い、検討が行われている⁽¹³⁾。それによると、付着海藻の植被率や主要海藻の出現数などは設置場所や設置時期によって異なるが、設置後7～9ヵ月後には植被率は70～90%とほぼ礁全体が海藻で被われており、出現種数も普通コンクリート製のものに比べ2～3倍の値となっている。なお、比較のために行った普通コンクリート製のものとは明らかに植被率に大きな差みられ、植被率はほとんど場合が20%以下となっている。

メガロベントスは魚礁が海藻に被われ始めた頃から急増し、出現種数は5～13種となって、従来のコンク

コンクリートの種類	空隙率又は空気量(%)	混和材の種類	表面形状	骨材の種類	碎石のサイズ
モルタル	7±1(M0)				
普通コンクリート	4±1(CC)		中性化(CCC) 洗出し(CCW)	石灰石	No. 6
ポーラスコンクリート	10±1(PV10) 15±1(PV15) 20±1(PV20)	高炉スラグ (BS15) シリカフェーム(SF15) 蛇紋岩粉末 (SP15)	中性化(PVC15)	石灰石 (L115) 硬質砂岩(SA15) 蛇紋岩 (SE15)	No. 5(PA5-15) No. 6(PA6-15) No. 7(PA7-15)

注)：() 内はコンクリート平板の種類を示す。

表4 コンクリートの種類と海藻の植被率

コンクリートの種類	植 被 率 (%)	
	1年後(1月)	2年半後(8月)
M0	60	70
CC	65	50
CCC	100	85
CCW	80	80
PV10	105	90
PV15	110	80
PV20	110	80
BS15	60	75
SF15	40	50
SP15	50	85
PVC15	110	80
L115	110	80
SA15	90	100
SE15	100	85
PA5-15	110	55
PA6-15	95	85
PA7-15	110	80

リート製のもの（1～5種）より数、量とも明らかに多くなっている。漁獲効果については、数値的な増加効果などは不明であるが、漁業者からの聞き取り調査と潜水追跡調査によると、イセエビ養殖場に網を入れたときのように、非常に多くのイセエビが漁獲されたとか、魚礁の構造形式にもよるが多くのイセエビの生息が確認されたとの報告がなされている。

ポーラスコンクリートを用いたイセエビ礁を対象に述べたが、漁業を取り巻く環境は水質汚濁、200カイリ規制など今後ますます厳しいものがある。ポーラスコンクリートは海洋環境にとって貴重な藻場造成、多様な海洋生態系の回復、創世につながる可能性があり、水産的な方面への積極的な研究も望まれる。

[参考文献]

- (1) 小笹博昭、室善一郎ほか：生物にやさしい港湾構造物の研究、海岸工学論文集、第41巻、PP. 1017～1020、1994
- (2) 小笹博昭、村上和男ほか：多様性指数を用いた波高・港湾構造形式別の付着生物群集の評価、海岸工学論文集、第42巻、PP. 1216～1220、1995
- (3) 森政次、野田頭照美ほか：人工護岸の造成とその生物的效果について、海洋研究ノート、第29巻、第1号、PP. 37～50
- (4) 村上仁士、伊藤慎彦ほか：海岸構造物設置に伴う周辺環境・水産生物の変化に関する調査事例、環境衛生工学研究、第8巻、第3号、PP. 275～280、1994
- (5) 村上和男、小笹博昭ほか：コンクリート構造物に着生する付着生物に関する調査、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
- (6) 水口裕之、天羽和夫ほか：ポーラスコンクリートの配合要因と強度との関係、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. 31～38、1995
- (7) エココンクリート研究委員会：用途と要求条件、エココンクリート委員会報告書、PP. 23～45、1995
- (8) 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/II-20、PP. 81～90、1992
- (9) 玉井元治、河合章ほか：まぶしコンクリートの海中における性質と水質浄化の可能性、セメント・コンクリート論文集、No. 46、PP. 880～885、1992
- (10) 片倉徳男：多孔質担体を利用した海域浄化手法、環境技術、Vol. 20、No. 3、PP. 176～178、1991
- (11) 天羽和夫、河野清：ポーラスコンクリートの耐海水性と海藻の着生、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. 117～122、1995
- (12) 橋本宏治、金子文夫：潮間帯における生息環境の違いによる生物付着特性、土木学会第50回年次学術講演会講演概要集、第2部、PP. 1294～1295、1994
- (13) 高知県水産試験場：RFイセエビ礁について、南海海区ブロック第12回魚礁研究会資料、1994