

# 論文 亜熱帯海域に設置したポーラスコンクリートに棲息する小動物に関する研究

瑞慶山良延\*1・伊良波繁雄\*2・富山潤\*3・和仁屋晴謹\*4

**要旨:** 最近では海岸構造物にも周囲の海洋環境と調和させる必要性が特に強調されている。海洋性生物の生育する空間として有効である多孔質のポーラスコンクリートの機能を、把握することを目的とし、亜熱帯環境下にある沖縄県産3種類の異なる粗骨材（本部産石灰岩砕石、琉球石灰岩砕石、再生骨材）を用いて製造したポーラスコンクリートを海中に設置し、試験体内部および表面に付着する海洋性生物の数、全長、種類を調査し、粗骨材が異なる3種類の試験体を比較した。各試験体に付着した海洋性生物の調査結果から、普通コンクリートや岩よりもポーラスコンクリートがより海洋環境に適していることを示した。

**キーワード:** 海洋性生物、ポーラスコンクリート、亜熱帯、空隙率、粗骨材、粒度

## 1. はじめに

沖縄県は、我が国の最南端に位置し、亜熱帯地域に属する唯一の県である。さらに亜熱帯の気候により、自然環境も本土とは異質な美しさをみせており、砂浜は白く、紺青の海は世界でも指おりの美しさを誇り、数多くの自然公園を形づくっている。サンゴ礁が隆起してできた島の海岸は主に石灰岩からなる岩礁海岸となっており、サンゴ礁の存在が他府県に見られないさまざまな海の生物を分布生息させている。このような独特な多くの自然海岸は、埋め立てに伴い防波堤等の人工的な海岸構造物が造られることによって、本来の自然海岸が少なくなった。

最近では海岸構造物でも周囲の海洋環境と調和させる必要性が特に強調されているため、護岸構造の生態的影響を考慮した緩傾斜護岸<sup>1)</sup>などが設置されつつある。一般的に護岸形式は様々だがほとんどの護岸のコンクリート表面は凹凸がないのが特徴である。

本研究は前回の実験<sup>2)</sup>同様亜熱帯環境下で、海洋性生物の棲息の空間として、試験体表面および内部が多孔質なポーラスコンクリートを海中

に設置し、試験体に付着した海洋性生物の数、全長および種類の調査結果を示した。また、現在海岸構造物材料としてよく用いられる普通コンクリート、岩との比較を行うため、これらの材料を同時に海中に設置した。前回の実験<sup>2)</sup>では、ポーラスコンクリート試験体の粗骨材は沖縄県産の硬質の本部産石灰岩砕石だけを用いたが、今回は護岸のマウンド等に用いられている軟質の沖縄県中南部産琉球石灰岩砕石と、リサイクルを目的とした再生路盤材料として用いられている再生骨材を加えて3種類の骨材を用いた。なお、再生骨材は県内の建設廃棄物として産出されたコンクリート塊を砕いたものである。ポーラスコンクリートを海岸構造物の材料として用いるためには、適切な強度を必要とする。そのため、強度及び空隙率との関係を把握する必要がある<sup>3)</sup>ので、圧縮試験と引張試験を行った。

## 2. 実験方法

### 2.1 実験の概要

最初に3種類の異なる粗骨材を用いてポーラスコンクリートを製造した。次にその圧縮強度、

\*1 琉球大学大学院 理工学研究科 環境建設工学専攻（正会員）

\*2 琉球大学助教授 工学部環境建設工学科 工博（正会員）

\*3 琉球大学大学院 理工学研究科 生産エネルギー工学専攻（正会員）

\*4 琉球大学助教授 工学部環境建設工学科（正会員）

引張強度を調べ、空隙率と強度の関係を示した。ポーラスコンクリートの空隙率と海洋性生物の付着数の関係を明らかにするために、ポーラスコンクリートの空隙率を変化させるだけでなく、普通コンクリートおよび沖縄本島中南部産琉球石灰岩も同時に設置し、比較検討した。また、ポーラスコンクリートの材料（粗骨材）が付着生物に対して及ぼす影響について3種類の粗骨材を用いて比較、検討した。試験体を設置する型枠にはL型アングルを使用し、水中に固定した。設置場所は図-1に示す沖縄本島北西部岸に突出する本部半島瀬底島の琉球大学熱帯海洋センターの海岸である。この海岸には地形の変化に富んだ裾礁が発達し、造礁サンゴを含む豊富な生物相が見られ、白い砂と岩の海底ではサンゴ礁が増殖していたが、最近、沖合では水温の上昇によりサンゴ礁の白化現象が確認されサンゴにとって生育しにくい状況にある。しかし、試験体を設置した場所では特にサンゴ礁の変化は見られなかった。水深は大潮の最も水位が低い干潮時でも約0.5mあり、試験体は常に海中に没している。試験体の付着生物調査は試験体設置後5カ月、9カ月、12カ月目に試験体から海洋性生物及び貝類を採取し、生物の数と種類を調査した。



図-1 試験体設置場所

## 2.2 使用材料

配合は通常のポーラスコンクリートで用いられているように、粗骨材、セメントと水だけを用いた。実験に用いた粗骨材は沖縄本部半島産石

灰岩碎石、沖縄中南部産琉球石灰岩碎石、再生骨材を用いた。また最大寸法は各粗骨材とも20mmである。各粗骨材の表乾比重および吸水率を表-1に示す。ふるい分け試験結果を表-2に示している。セメントは普通ポルトランドセメント（灰色）とアサノホホワイトセメント（白色）の2種類を用いた。

表-1 各粗骨材の表乾比重および吸水率 (%)

骨材名	表乾比重	吸水率 (%)
本部産石灰岩碎石	2.69	0.66
琉球石灰岩碎石	2.48	4.87
再生骨材	2.37	5.95

## 2.3 実験方法

### (1) ポーラスコンクリートの作製方法

実験では表-2の粒度の骨材を用いて表-3に示す27種類の配合で生物付着用（寸法10cm×10cm×40cm）と、強度試験用の円柱試験体（直径10cm、高さ20cm）のポーラスコンクリートを造った。ポーラスコンクリートの練混ぜは、各配合に合わせて粗骨材、水、セメントを同時に可傾式ミキサに入れて5分間練った。圧縮試験、引張試験用の試験体は円柱型枠（直径10cm、高さ20cm）に、生物付着用試験体は直方体型枠（寸法10cm×10cm×40cm）に、3層に分けて各層10回ずつ均等に突き、製造した。

表-2 各粗骨材のふるい分け試験

本部産石灰岩碎石（最大寸法 20mm）				
ふるい寸法 (mm)	20	15	10	5
通過質量百分率 (%)	98	82	40	1
琉球石灰岩碎石（最大寸法 20mm）				
ふるい寸法 (mm)	20	15	10	5
通過質量百分率 (%)	88	66	34	4
再生骨材（最大寸法 20mm）				
ふるい寸法 (mm)	20	15	10	5
通過質量百分率 (%)	99	88	47	3

### (2) 空隙率の測定

全空隙率および連続空隙率の測定は、エココンクリート委員会制定「ポーラスコンクリート

表-3 各試験体の配合および空隙率、強度結果

骨材	セメント種類	番号	骨材粒径範囲	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )			実測空隙率(%)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )
				セメント	水	粗骨材			
本部産碎石	普通ポルトランドセメント(灰色)	1	5~10 (mm)	202	574	1582	10	22.8	10.4
		2		156	460		12	21.6	7.5
		3		45	127		30	6.2	3.4
		4	5~20 (mm)	208	591	1626	22	23.8	9.7
		5		162	473		25	21.5	8.1
		6		46	131		36	5.2	2.3
		7	10~20 (mm)	204	580	1598	19	22.0	9.7
		8		159	465		19	18.6	6.2
		9		45	129		35	5.9	2.8
琉球石灰岩碎石	アサノホワイトセメント(白色)	10	5~10 (mm)	171	487	1340	12	16.0	10.3
		11		134	382		14	15.5	9.4
		12		38	108		35	3.8	2.1
		13	5~20 (mm)	171	485	1338	17	17.6	7.3
		14		133	381		24	12.2	5.7
		15		38	108		38	2.7	1.2
		16	10~20 (mm)	170	485	1336	23	20.7	5.8
		17		133	381		27	11.1	5.6
		18		38	108		39	2.7	1.2
再生骨材	アサノホワイトセメント(白色)	19	5~10 (mm)	162	463	1275	21	14.5	6.4
		20		127	371		18	12.7	4.6
		21		36	103		37	2.1	0.9
		22	5~20 (mm)	170	485	1335	14	18.6	7.1
		23		133	389		20	13.6	6.5
		24		38	107		35	2.7	1.1
		25	10~20 (mm)	169	482	1326	15	16.4	7.6
		26		132	386		20	13.5	5.4
		27		38	107		39	2.1	1.0

の空隙率測定方法(案)に従って、容積法<sup>4)</sup>を用いて測定した。

(3) 強度試験

表-3に示す27種類の配合で作製した材料試験用の円柱試験体は、圧縮試験を行う際、試験体端面の形状が圧縮強度に影響されることを考慮し、両端面キャッピングした。また引張強度は割裂試験で求めた。

(4) 海洋性生物付着試験

海岸に設置した試験体はポーラスコンクリート(番号1~27, 寸法10cm×10cm×40cm)が表-3に示すように、空隙率および粒径が異なる27種類と普通コンクリート直方体試験体(寸法10cm×10cm×40cm)の1種類、琉球石灰岩(長辺25cm, 短辺15cm程度)3個である。なお、普通コンクリートはスランプ18cm, 圧縮強度21.4N/mm<sup>2</sup>, 空気量4.5%で沖縄県内の生コン工場で販売され

ているコンクリートとほぼ同じ配合である。

試験体を海中に設置するにあたり、鉄製のL型アングルで製作した型枠を海中に沈めて、その中へ試験体を海底面に設置し固定した。また試験体型枠は波の影響を受けて転倒する可能性があるため、柱部材と海底の接触部を水中コンクリートで固定した。

試験体に付着した海洋性生物の採取にあたっては、海中の試験体をその場で容器に入れ、陸地で試験体を真水に約5分浸した。その後試験体から出てきた海洋性生物だけを採取した。なお、海洋性生物を採取し終えた試験体は、元の位置に設置して次回の調査に用いた。採取した海洋性生物は生物図鑑より種類を判別し、種類ごとに個数を数えた。全長の測定は目測で行った。

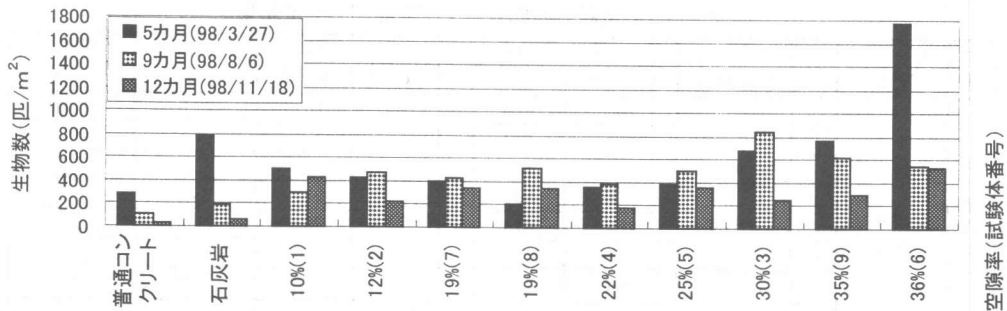


図-2 各調査日の各試験体に付着した生物の総数(本部産砕石)

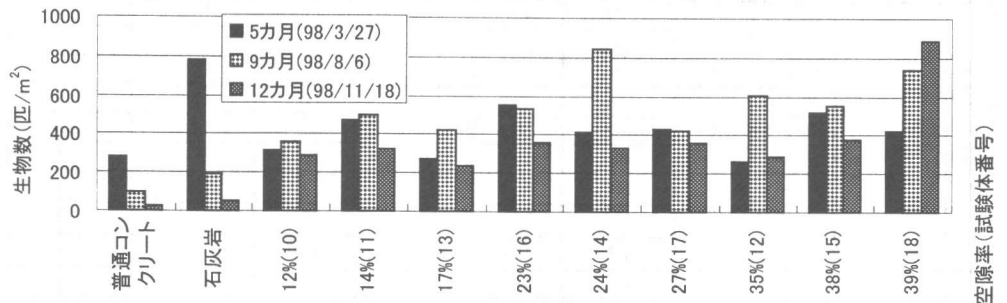


図-3 各調査日の各試験体に付着した生物の総数(琉球石灰岩砕石)

## 2.4 実験結果および考察

### (1) 空隙率と強度の関係

ポーラスコンクリートの実測空隙率、強度の結果を表-3に示した。同表より圧縮強度は空隙率の増加ともにも減少しており、従来の結果と同じ傾向となっている<sup>9)</sup>。また、本部産砕石で製造した試験体が、他の粗骨材を用いた試験体よりも高い強度値を示している。

### (2) 海洋性生物の総数と空隙率

図-2から図-4には、各粗骨材を用いて製造した各試験体を海中に設置し、各試験体に付着した海洋性生物の総計と、試験体の空隙率の関係を試験体設置後5カ月、9カ月、12カ月での結果を示した。採取した海洋性生物は、主に小型の魚、カニ、エビ、ゴカイ、端脚類、等脚類、ウニ、貝類である。最初に各種粗骨材を用いたポーラスコンクリートと生物数について考察を行う。図-2は本部産砕石、図-3は琉球石灰岩砕石、図-4は再生骨材を用いて作製したポーラスコンクリートと普通コンクリートおよび石灰岩を示している。なお、これらの図の試験体は実測空隙率が小さい順に並べ直している。

図-2から図-4の試験体設置後5カ月では各試験体に付着した生物数は空隙率の増加に伴い、増加する傾向はみられない。この時期は特に石灰岩がポーラスコンクリートと比較して極端に付着生物が多い。試験体番号(6)、(20)にも多くの生物が付着しているが、これらの生物は多種多様ではなく全長は3~5mmおよび2mm以下の端脚類が大部分を占めていた。

図-2から図-4の9カ月、12カ月目を比較すると普通コンクリートや石灰岩よりもポーラスコンクリートにより多数の生物が付着し、しかもポーラスコンクリートの空隙率が大きくなるにつれて付着生物も多くなる傾向にあることがわかる。また3種類の粗骨材を用いたポーラスコンクリートを比較すると、付着生物の総数は粗骨材の種類にそれほど関係ないことがわかる。明確に各図には示していないが、他の天敵から捕食されにくい貝類およびウニ等は、普通コンクリートを含めどの試験体にも付着しており、空隙率の増加に伴い多く付着していた。また、各調査日ごとに生物の総数に変化しているが、それはポーラスコンクリートに生える海藻類が

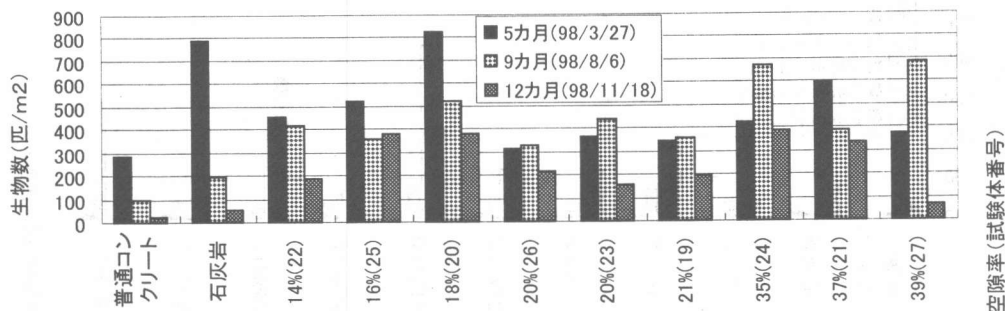


図-4 各調査日の各試験体に付着した生物の総数(再生骨材)

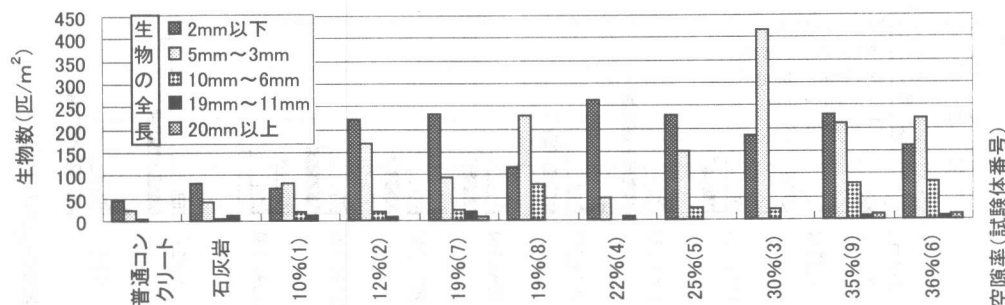


図-5 生物の全長と空隙率, 9カ月後(本部産砕石)

季節ごとに変化するために、海藻類を食料とする小動物の種類も変化するとと思われる<sup>9)</sup>。

### (3) 生物の種類、大きさと試験体を使用した骨材粒径および空隙率の関係

生物の大きさと空隙率の関係を検討するために図-5 から図-7 に調査結果を示した。なお、これらの調査結果は試験体設置後 9 カ月のデータである。また、試験体表面に付着する貝類、ウニは除外して考察する。図-5 から図-7 で共通しているのは、生物の全長 2mm 以下および 3mm~5mm の生物が多く、次に 6mm~10mm, 11mm~19mm の順になっていることである。

最初に図-5 の本部産砕石を用いて作製したポーラスコンクリートおよび普通コンクリート、石灰岩の各試験体を比較、検討する。各試験体の空隙率が増加するにつれ全長 3mm~5mm (主にエビ, カニ)が多くなる傾向にあるが、全長 2mm 以下の生物では空隙率に関係なく普通コンクリートを除いた各試験体に多く棲息していることがわかる。この生物は主に端脚類が占めており、次に多いのが等脚類で他の生物はほとんど見られなかった。

次に生物の総数が多い 6mm~10mm の生物種は主にエビ, カニ, ゴカイが占めており、普通コンクリート以外の試験体に付着し、空隙率の増加とともに生物数が多くなっている。これは同図だけでなく、図-6, 図-7 にもいえる。

生物の全長 20mm 以上では試験体番号 1,5,6 にゴカイ, エビ, カニが、試験体番号 4,6,9 には魚が付着していた。

図-6 および図-7 では、図-5 同様各試験体とも空隙率が増加するにつれ、全長 3mm~5mm の生物が増加する傾向にあり、全長 2mm 以下の生物は端脚類が主に占めている。

図-5 から図-7 の調査結果からポーラスコンクリートに付着した海洋性生物は、全長が 3mm 以上の生物が空隙率に比例して生物の種および数が増加する傾向にある。ポーラスコンクリートの空隙は捕食を受けやすい端脚類, 等脚類, 小型のカニおよびエビ, 魚などが天敵から身を守る棲みかとして機能していることがわかる。それに対して普通コンクリートには、生物の付着が少なく、その数少ない中で確認された生物は主に 2mm 以下の端脚類が占めており、これら

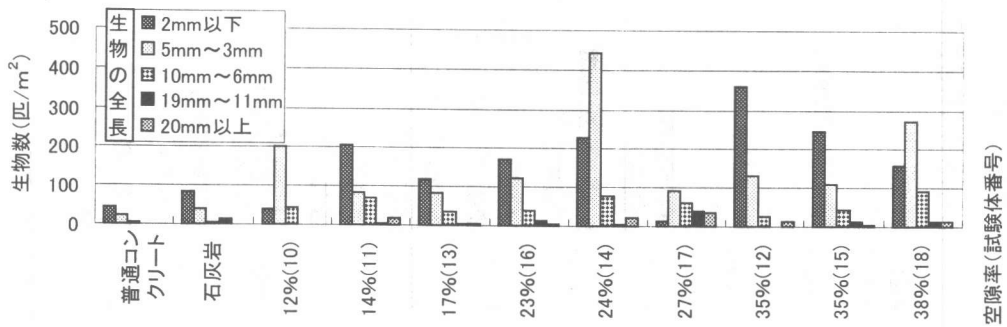


図-6 生物の全長と空隙率, 9カ月後(琉球石灰岩砕石)

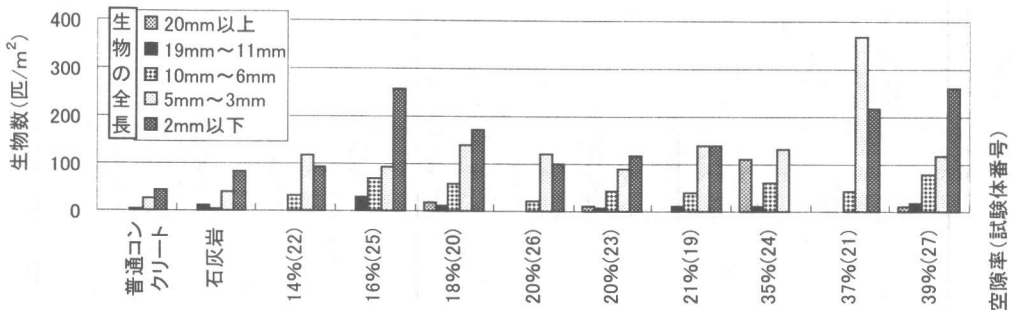


図-7 生物の全長と空隙率, 9カ月後(再生骨材)

はコンクリート表面の死滅した貝や海藻を棲みかとしている。これらの図より異なる3種類の粗骨材をポーラスコンクリートに使用しても、付着生物の総数には大きな差はみられないことがわかる。

表-3 に示す各試験体の骨材の粒径と生物の総数および全長の関係について図-5 から図-7 より検討した。骨材の粒径範囲は 5~10mm, 5~20mm, 10~20mm の3種類があるが、図-5 から図-7 を比較してわかるように、生物の総数と骨材の粒径はさほど関係がない。

### 3. まとめ

- (1) 亜熱帯地方に属する沖縄県の主に石灰岩からなる岩礁海岸では、従来護岸構造物として用いられた普通コンクリートや石灰岩よりもポーラスコンクリートが適していることがわかる。
- (2) 海洋環境でのポーラスコンクリートに付着する全長 2mm 以下の小動物 (主に端脚類) はどの試験体にも付着し、全長 3mm~20mm の小動物の総数は季節によって変化するが、ポーラスコンクリートの空隙率が大きくなるにつれて増加

する傾向にある。

- (3) ポーラスコンクリートの材料として、粗骨材に沖縄県産の本部産砕石、琉球石灰岩、再生骨材を用いた。生物調査結果より本部産砕石だけでなく、琉球石灰岩および再生骨材も海洋環境に適するポーラスコンクリートの材料として有用であることがわかった。

### 参考文献

- 1) 森政次ほか：人工護岸の造成とその生物的効果について、沿岸海洋研究ノート, Vol.29, No.1, 1991
- 2) 瑞慶山ほか：亜熱帯環境下の海洋性生物の棲みかとしてのポーラスコンクリートに関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20, pp.83-88, 1998
- 3) エココンクリート研究委員会報告書, 日本コンクリート工学協会, pp.47-48, 1995.1
- 4) エココンクリート研究委員会報告書, 日本コンクリート工学協会, pp.54-55, 1995.1
- 5) 高橋ほか：透水性コンクリートの開発, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.14, No.1, pp.351-356, 1992
- 6) 伊良波繁雄ほか：亜熱帯河川および海岸でのポーラスコンクリートに付着する生物に関する研究, 第24回セメント・コンクリート研究討論会論文報告集, pp.169-172, 1997.11