

論文 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

瑞慶山良延^{*1}・伊良波繁雄^{*2}・富山潤^{*3}・和仁屋晴謙^{*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。海洋性生物の成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、熱帯環境下にある沖縄県で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、種類を調査した。ポーラスコンクリートと普通コンクリートおよび岩石に付着する海洋性生物の関係から、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が明らかになった。

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，粒度

1. はじめに

沖縄県は日本列島の南西に位置し、亜熱帯地域に属する。砂浜は、サンゴ、有孔虫、貝など石灰質の生物の遺骸が堆積しているために白く、その白い砂浜には鮮やかな美しい花が咲いている。また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、このサンゴ礁の存在が他府県の海岸と異なる大きな特徴である。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、海洋性生物の減少や海浜植生と内陸の植生が遮断され、本来の自然を見ることができなくなった。

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、護岸構造物の生態的影響を考慮した緩傾斜護岸¹⁾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は垂直護岸で、コンクリート材の面から見るとこれら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。

本研究は熱帯及び亜熱帯環境下で、海洋性生物の棲息の空間として、試験体表面及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、全長及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。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。そのために、ポーラスコンクリートの強度及び空隙率との関係を把握する必要がある²⁾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

実験は最初にポーラスコンクリートを製造した。次にその圧縮強度、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岩石も同時に設置し、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

*1 琉球大学大学院 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 (正会員)

*3 琉球大学大学院 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)

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が繁殖している。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約1ヵ月、3ヵ月、5ヵ月、9ヵ月、14ヵ月後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。



図一 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の最大寸法20mmの骨材（表乾比重 2.75、吸水率 0.29%）を用いた。ふるい分け試験の結果を表一に示している。セメントは普通ポルトランドセメントを用いた。

表一 粗骨材のふるい分け試験
本部産碎石（最大寸法 20mm）

ふるい寸法(mm)	20	15	10	5
通過質量百分率(%)	98	74	41	12

2.3 実験方法

(1) ポーラスコンクリートの作製方法

実験では表一の粒度の骨材を用いて表二に示す9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（10cm×10cm×40cm）に、3層に分けて各層10回ずつ均等に突き、作製した。

(2) 空隙率の測定

空隙率測定は円柱試験体作製24時間後に、シリンダー型枠をつけたまま水を浸透させて浸透した水の量から求めた簡易法³⁾とエココンクリート委員会が示している重量法⁴⁾の両方でを行い、比較した。

(3) 強度試験

表二に示す9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、試験体両端部にキャッピングは行っていない。また引張強度は割裂試験で求めた。

表二 各試験体の配合および空隙率、強度結果

番号	骨材粒径範囲 (mm)	骨材の配合 (kg/m ³)			実測空隙率 (%)	圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)
		水	セメント	粗骨材			
1	5~10	199	568	1565	10	22.9	2.8
2	5~10	156	446	1565	17	11.8	1.8
3	5~10	44	126	1565	36	3.6	0.5
4	5~20	210	599	1648	12	21.0	2.2
5	5~20	164	470	1648	16	12.9	2.1
6	5~20	47	132	1648	34	4.0	0.6
7	10~20	201	575	1582	16	20.9	1.9
8	10~20	158	451	1582	19	14.5	1.8
9	10~20	45	127	1582	39	2.5	0.4

(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（番号が1～9、寸法10cm×10cm×40cm）が表一2に示すように、空隙率および粒径が異なる9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24cm、短辺9cm程度）2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/mm²、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より20cm位上方の位置で固定した。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。

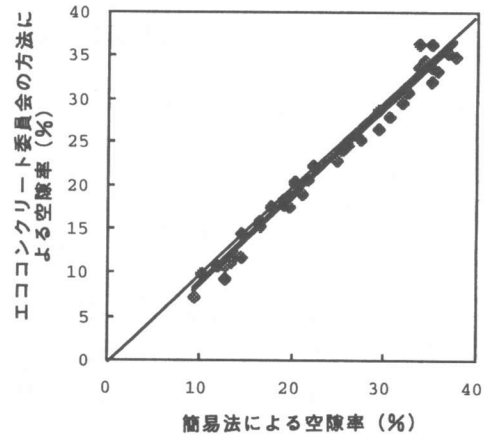
試験体に付着した海洋性生物の採取にあたっては、海中の試験体をその場で容器に入れ、陸地で試験体を真水に約5分浸した。その後試験体から出てきた海洋性生物だけを採取した。なお、海洋性生物を採取し終えた試験体は、元の位置に設置して次回の調査に用いた。採取した海洋性生物は、生物図鑑より種類を判別し、種類ごとに個数を数えた。全長の測定は目測で行った。

2.4 実験結果および考察

(1) エココンクリート委員会の空隙率測定法と簡易法による空隙率の比較

表一2に示す試験体の空隙率測定は試験体製

造時、エココンクリート委員会が示した空隙率測定方法(重量法による連続空隙率の測定法)²⁾がなかったため簡易法³⁾で行った。このために後日、空隙率測定方法の資料が手に入ったので表一2示す配合で新たにポーラスコンクリートを製造し、2種類の方法で空隙率を測定し両者を比較した。測定結果を図一2に示してあるが、同図から、両者の差は小さいことがわかる。



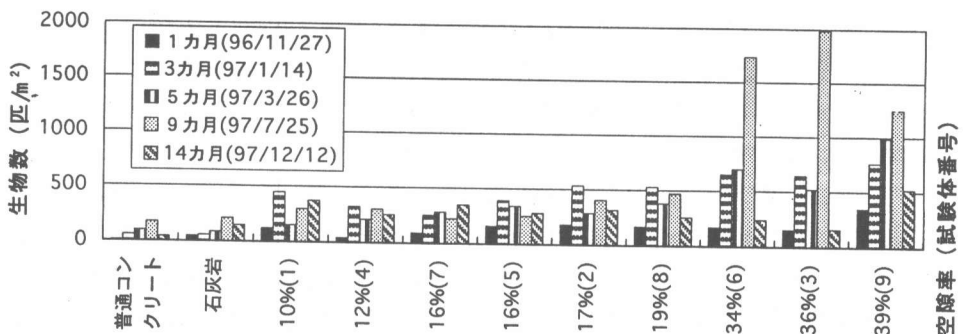
図一2 エココンクリート委員会の方法と簡易法による空隙率比較

(2) 空隙率と強度の関係

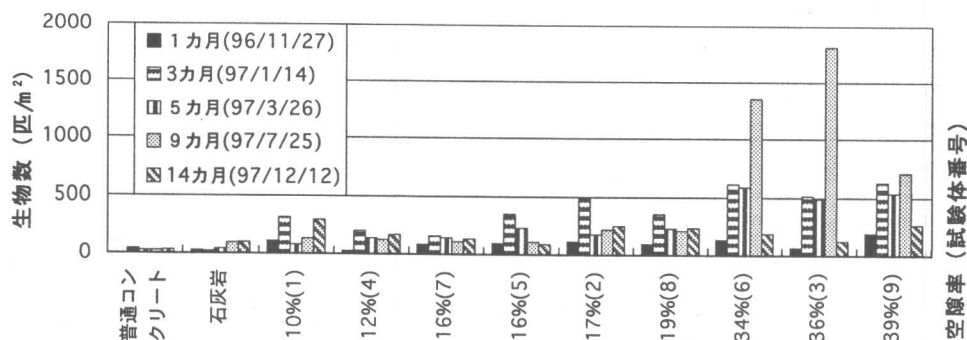
ポーラスコンクリートの簡易法による空隙率、圧縮強度(両端部はキャッピングを行ってない)、引張強度の試験結果を表一2に示した。同表より圧縮強度は空隙率の増加とともに減少しており、従来の結果と同じ傾向となっている。

(3) 海洋性生物の総数と空隙率

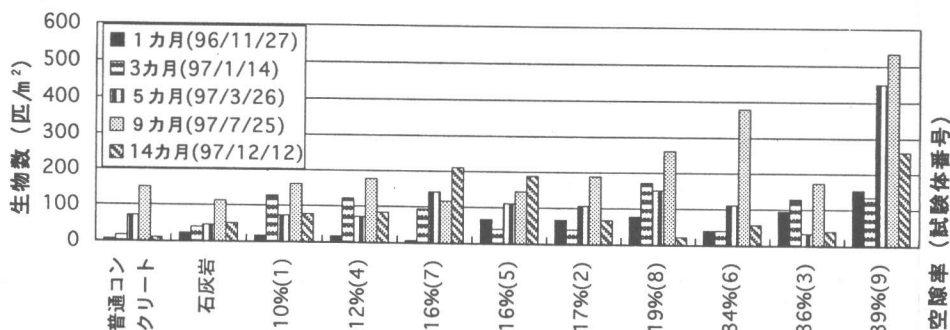
図一3には海中に設置した各試験体に付着した海洋性生物の総計と、試験体の空隙率の関係を試



図一3 各調査日の生物の総数



図一四 各調査日の貝類を除いた生物（捕食を受けやすい）の総数



図一五 各調査日の貝類の総数

験体設置後1ヵ月, 3ヵ月, 5ヵ月, 9ヵ月, 14ヵ月での結果を示した。付着生物の内, 貝類は堅い殻で覆われているため魚類など, 他の天敵から捕食されにくい。一方小型のエビ, 端脚類, 等脚類等は捕食されやすい。このため, 貝類を含めた場合と含めない場合について考察を行う。図一三は貝類を含めた生物の総数で, 図一四は貝類を除いたもの, 図一五は貝類だけを示した図である。なお, これらの図は試験体の空隙率が小さい順に並べ直してある。図一三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に, より多く生物が付着し, 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があることがわかる。図一四は貝類を除いて比較しているが, 同図からは, より明白に普通コンクリートや岩に付着する生物は他のポーラスコンクリートより, はるかに少ないことがわかる。すなわち, 魚類等に捕食されやすい生物にとってポーラスコンクリートは良い棲みかとなっていることを示している。また図一五からは, 貝類は捕食される可能

性が少ないので普通コンクリートを含めどの試験体にも付着するが, 空隙率が35%以上のポーラスコンクリートにより多く付着する傾向があることがわかる。図一四の各調査日ごとの生物の総数が変化しているが, それは, ポーラスコンクリートに生える海藻類が季節ごとに変化するため, 海藻を食料とする小動物も変化すると思われる^{6,7)}。

(4) 生物の種類, 大きさと試験体に使用した骨材粒径および空隙率との関係

図一六から図一九は, 各調査日ごとに各試験体から採取した生物(貝類を除く)の大きさと骨材粒径, 空隙率の関係を見るために生物の全長で比較した。これらの図一六から図一九で共通しているのは生物の全長3mm~5mmの生物が多く, その次に6mm~10mm, 2mm以下と順になっている。

最初に試験体設置から3ヵ月後(図一六)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, 3mm~5mmの生物が大幅に増加している。この3mm~5mmの生物種は主に端脚類および等脚類で占めており, その次はエビである。

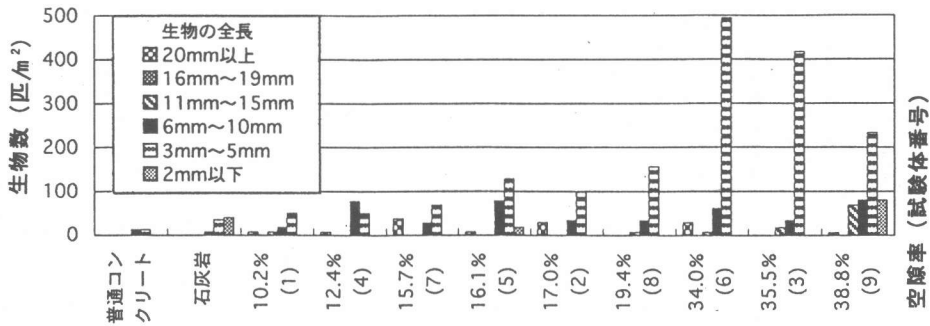


図-6 生物の全長と空隙率, 3ヵ月後 (96.1.14)

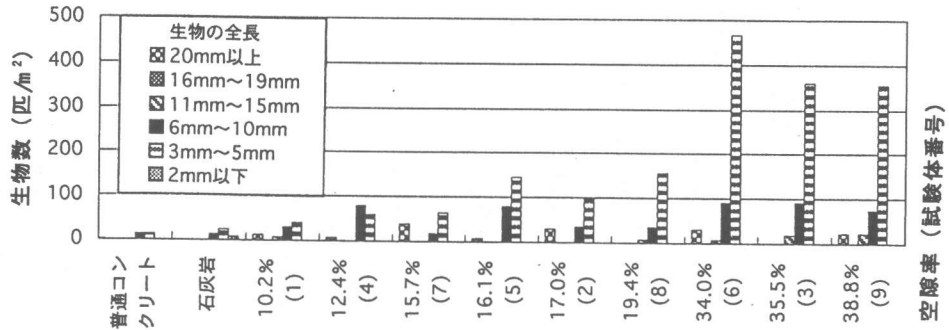


図-7 生物の全長と空隙率, 5ヵ月後 (97.3.26)

次に生物の総数が多い6mm~10mmの生物種はエビがほとんどを占めており、普通コンクリート以外のすべての試験体に付着している。生物の総数は少ないが生物の全長が20mm以上では、試験体番号4, 5, 6にゴカイ、ヒトデが、試験体番号7, 2には魚、ウニが付着している。図-6で生物種が最も多く、付着生物総数も多いのが空隙率の最も大きい試験体番号9である。この試験体では魚、エビ、カニ、ゴカイ、端脚類、等脚類等多くの種類の生物が見られた。

次に試験体設置5ヵ月後(図-7)では、3ヵ月目(図-6)同様各試験体とも空隙率が増加するにつれ、3mm~5mmの生物が増加している。また3ヵ月目より生物の総数は少ないが生物の種類等の構成はほぼ同じ傾向にある。

次に試験体設置9ヵ月後(図-8)では全長3mm~5mmの生物が最も多く、ここでは主にエビ、カニ、端脚類が占めている。特に試験体番号6では端脚類がほとんどを占めているが、生物の全長6mm~10mmでは魚、エビ、カニ、ゴカイが過半数を占めており、生物種も他の試験体に比べ多く付着している。すべてのポーラスコンクリートの

試験体には、生物の総数は少ないが20mm以上の魚、ゴカイ、エビ、ウニ、ヒトデ、タコなどが付着している。しかし、普通コンクリートや石灰岩には付着生物は非常に少ない。

次に試験体設置14ヵ月後(図-9)では、全体的に生物の総数が他の調査日の結果より減少しているが、空隙率が低いポーラスコンクリートでは生物の全長3mm~5mmの生物が増加している。この生物種は主にエビ、カニ、ゴカイなどである。なお、全長6mm~10mmの生物種は生物の全長3mm~5mmと同様な種類の生物である。

図-6から図-9の各調査日の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、空隙率に比例して生物の種が増加する傾向があり、また補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、ポーラスコンクリートが機能していることが分かる。それに対して普通コンクリートは、生物がほとんど付着せず、その数少ない中で確認された生物はエビ、カニ、ゴカイなどで、普通コンクリートに付着した貝と貝の間隙などに潜んでいたと考えられる。

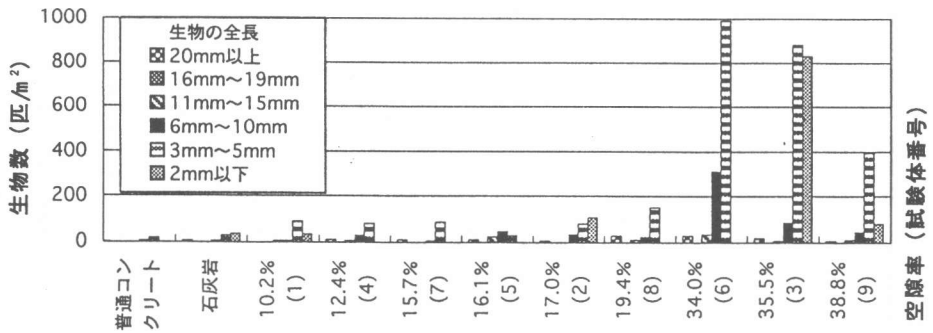


図-8 生物の全長と空隙率, 9ヵ月後 (97.7.25)

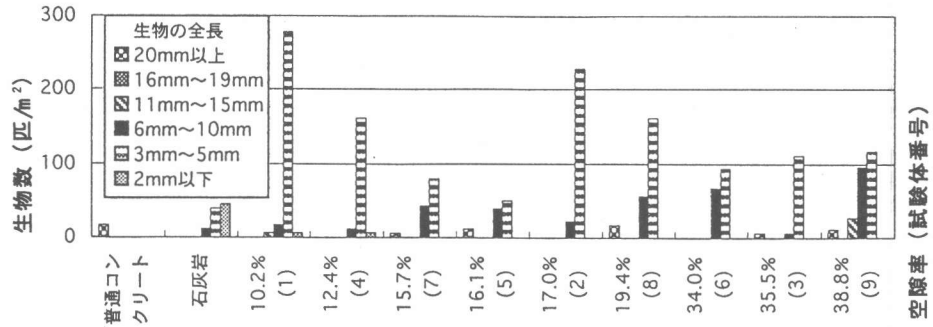


図-9 生物の全長と空隙率, 14ヵ月後 (97.12.12)

表-2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-6から図-9より検討した。骨材の粒径範囲は5~10mm, 5~20mm, 10~20mm, の3種類あるが, 図-6から図-9比較して分かるように, 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でポーラスコンクリート, 普通コンクリートおよび岩石を同時に海中に設置し, これらの材料に付着する海洋性生物の種類, 総数, 全長などを調査した。その結果, 従来海岸構造物として用いられていた普通コンクリートや岩石よりも, 空隙率の大きいポーラスコンクリートの方が小動物の付着棲息数も多く, 海洋環境に適していることが分かった。
- (2) 貝類などは普通コンクリートや岩石, ポーラスコンクリートなど, いずれの材料にも付着するが, 端脚類, 等脚類および小型のエビ, カニ, 魚等の捕食を受けやすい海洋性生物にとっては普通コンクリートや岩石よりも, ポーラスコンクリートの方が天敵から身を守る棲息の空間として良好

である。

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) 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, pp47-48, 1995.1
- 3) 原田直樹, 島弘, 河野清: 空隙率を変化させたポーラスコンクリートの性質についての基礎研究, 土木学会第47回年次学術講演会講演概要集V, pp.932-933, 1992
- 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, pp54-55, 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
- 7) 伊良波繁雄ほか: 亜熱帯環境下でのポーラスコンクリートへの海洋生物付着に関する研究, 第51回セメント技術大会講演集, pp.418-419, 1997