

論文 沿岸水中に浸漬した連続空隙を持つポーラスコンクリート における付着生物の発達特性

水口裕之^{*1}・伊藤禎彦^{*2}・村上仁士^{*3}・入倉雅人^{*4}

要旨：沿岸水中での連続空隙を持つポーラスコンクリートの水質浄化機能について検討するため、空隙率および空隙寸法を変えたコンクリートを用いて、礫と比較して、付着細菌数、SS、VSSなどについて調査した。その結果、ポーラスコンクリートは礫に比べて優れた水質浄化機能を持つ可能性が示された。また、水質浄化機能に優れるポーラスコンクリートの適切な空隙特性については、一度付着した生物層が剥離を起こす場合があり、使用条件との関係等で異なる可能性が分かった。

キーワード：ポーラスコンクリート、水質浄化機能、空隙率、空隙寸法、SS、VSS

1. はじめに

我が国の自然海岸は、人工構造物の増加によって減り続けており、1994年の環境庁の調査によると、最近の9年間で全国では約300km減少したと報告されている[1]。このような水辺域での人工構造物の増加は、生物の生息場を減らし、生物による自浄能力を減少させ、水質汚濁の進行に影響を及ぼす一因となっている[1]。

しかし、人々の生活環境の安全性を確保し、質的に向上させ、維持して行くためには、今後も水辺域で人工構造物を建設する必要性があり、自然環境との調和を考慮することが要請されている。また、現存の構造物を修復し、生物との共生を図るようにすることも考えられる。これらを満足させる一つの方法として、構造物の形態等で生物に対する配慮を行ったり、生物の生息環境を確保できる構造材料を使用することが考えられるほか、人工構造物に今以上の水質浄化機能を付与できる可能性もある。

連続空隙を持つポーラスコンクリート(以下ポーラスコンクリートという)は、多くの空隙と表面積を持ち生物の生息環境を確保することができ、水質浄化機能が期待され、いくつかの研究がなされてきた[1~4]。これらの研究によると、ポーラスコンクリートは、礫に比べても、水質浄化機能が高く有用であることが示されている。しかし、ポーラスコンクリートの空隙量など空隙特性と水質浄化機能との関係、浄化機能に及ぼす温度、滞留時間などの環境条件の影響については明確になっておらず、今後の検討が必要である。

本研究は、水辺域での人工構造物に使用する材料として、連続空隙を持つポーラスコンクリートを対象とし、水質浄化機能およびそれに及ぼす空隙量および空隙寸法の影響について調査検討したものである。空隙量および空隙寸法を変えた6種のポーラスコンクリートおよび礫を沿岸水中に浸漬し、付着生物の発達特性について調査し、水質浄化機能について比較検討した。

*1 徳島大学教授 工学部建設工学科、工博(正会員)

*2 京都大学助教授 工学研究科環境工学専攻、工博

*3 徳島大学教授 工学部建設工学科、工博

*4 (株)ニュージェック土木第二部橋梁第一室

2. 調査および実験の概要

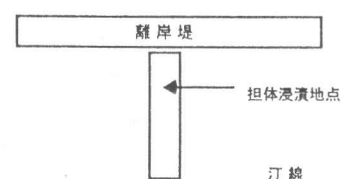
2. 1 調査および実験条件

調査対象の担体には、表－1に示すようなポーラスコンクリートと比較用に砕石からなる礫とし、ポーラスコンクリートでは、バインダーであるペーストの品質を一定とし、粗骨材の粒径およびコンクリートの空隙率を変化させた。ポーラスコンクリートの空隙率は、ペースト量を変えて所定のものになるようにした。

礫および6種のポーラスコンクリート担体は、25×40×10cmの通水性のある容器に入れて徳島市の小松海岸の図－1に示す位置に1994年11月22日から浸漬を開始し、9か月後まで調査した。なお、ポーラスコンクリートは1辺約10cmの立法体とし、各5体とした。

表－1 調査対象担体とした礫の寸法および
ポーラスコンクリートの配合条件

担体の種類	礫または粗骨材の粒径, mm	空隙率 %	シリカフェーム混入率 SF/C+SF	水結合材比 W/C+SF
礫(砕石)	10～13	44.3	—	—
ポーラスコンクリート	5～7.4	20	20 %	25 %
		25		
		30		
	10～13	20		
		25		
		30		



図－1 調査用担体の浸漬位置(徳島市小松海岸)

2. 2 供試担体の作製

(1) 使用材料

比重3.15、ブレン値3,230cm²/gの普通ポルトランドセメント、平均粒径0.2μm、BET値19.0m²/gのシリカフェーム、変性リグニン、アルキルアシルスルホン酸および活性ポリマーの複合物を主成分とする高性能AE減水剤を用いた。高性能AE減水剤の使用量は、メーカー推奨量の2.5%とした。

礫および粗骨材には、比重2.58、吸水率1.88%の硬質砂岩砕石を表－1に示す粒径にふるい分けて使用した。空隙率は、粒径5～7.4mm、10～13mmともに44.3%であった。

(2) コンクリートの練混ぜおよび供試担体の作製

コンクリートは、強制水平2軸ミキサを用いて、粗骨材および結合材を30秒間から練りし、水および混和剤を加えてさらに90秒間で練混ぜた。なお、コンクリートのスランプは、0～20cmの範囲にあった。

生物付着試験用供試担体は、10×10×50cmのはり型枠に、理論質量から求められる型枠容量に応じたコンクリート量を計量して、2層に入れ、JIS A 1210のランマーに9.6×10×1cmの鋼板を取付けたもので、各層10cmピッチで各位置5回づつ締固めて成形した。翌日脱型し、約1か月の所定材齢まで標準養生を行った。

圧縮強度用供試体は、φ10×20cmの円柱供試体とし、所定量を計量し、3層で各層突き棒で25回突いて締固めた。翌日脱型し、所定材齢まで標準養生を行った。供試体数は、各3体とした。

(3) 圧縮強度試験および空隙率の測定

圧縮強度は、材齢7、28および91日で、JISの方法で求めた。なお、供試体は打設面を硫黄キャッピングして試験した。

硬化コンクリートの空隙率は、円柱供試体を用いて水中質量と空气中質量とから測定した。

2. 3 浄化機能に関する測定項目および測定法

生物の付着特性を調査するため、付着細菌数、付着SS(浮遊性固形物質)量および付着VSS(揮発性固形物質)量を測定した。また、調査期間中の担体浸漬場所の水温、pHおよび塩分濃度を測定した。測定は、浸漬開始後、1、2、6、8および9か月(1995年8月21日)とした。

(1) 付着細菌数の測定

各測定時期に浸漬場所から回収したポーラスコンクリートは、表面から約2cmの位置で切断し、内部と表層部(以下表面という)とに分けた。それぞれに蒸留水を注ぎながら5分間ブラシをかけた。また、崩れたペースト付きの粗骨材は、滅菌した蒸留水を入れた試験管に入れ、2分間攪拌した。これらの洗浄水を集め、その中の従属栄養細菌数をAnderson培地を用い、平板培養法によって測定し、単位面積当りの細菌数を付着細菌数とした。礫については、ペースト付き粗骨材と同様にして付着細菌数を求めた。

(2) 付着SS(浮遊性固形物質)量および付着VSS(揮発性固形物質)量の測定

前項と同じように内部と表層部(表面)とを洗浄して得られた500mlの試料水を、スターラーで5分間攪拌し、付着物などを水中に浮遊させ、200mlの2個の試料水に分けた。これらの試料水を用いて、乾燥法を用いて、付着SS量および付着VSS量を測定した。礫においても同様の方法を用いて求めた。

表-2 圧縮強度試験結果

コンクリートの配合条件		圧 縮 強 度, MPa		
粗骨材の 粒径, mm	空隙率, %	7日	28日	91日
5~7.4	20	14.4	16.6	18.7
	25	8.8	12.9	12.5
	30	5.9	7.0	7.4
10~13	20	16.1	19.6	18.6
	25	8.7	14.2	14.0
	30	6.8	6.7	7.3

3. 実験結果とその考察

3. 1 実測空隙率

円柱供試体を用いて求めた実測空隙率は、設定値20%で18~22%、25%で23~25%、30%で28~32%の範囲にあるので、試験結果の整理には、設定値を用いることとする。

3. 2 圧縮強度

圧縮強度試験の結果を表-2に示す。表に示されているように、圧縮強度は、空隙率が大きくなると低下し、同じ空隙率では粗骨材の粒径が異なっても大差ない値で、材齢28日では、空隙率20%で15MPa程度、30%で7MPa程度となっている。また、材齢が91日と長くなっても強度はほぼ同じか低下している。

3. 3 付着菌数

図-2、3および4に付着細菌数を示す。図-2は浸漬後1か月、図-3は浸漬後2か月のもので、ポーラスコンクリートの供試体に付着した細菌数は、若干の例外

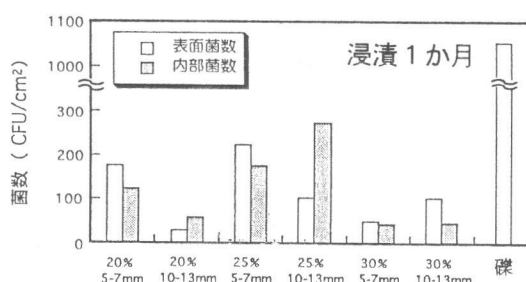


図-2 担体に付着した従属栄養細菌数

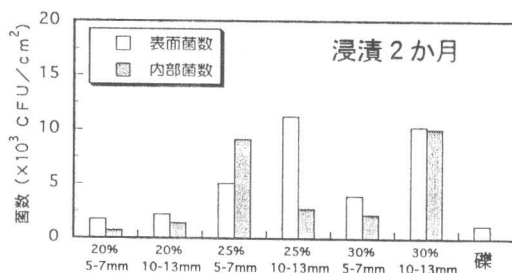


図-3 担体に付着した従属栄養細菌数

を除くと、内部と外部での差は大きくない。礫の1か月での細菌数はポーラスコンクリートに比べて5～20倍と多いが、1か月から2か月へは1.2倍の増加に止まり、ポーラスコンクリートの10～200倍という増加率に比べて小さくなっている。また、絶対数もポーラスコンクリートの1/2～1/10と少なくなっている。これは、玉井ら[5]が述べているように、ポーラスコンクリートでは、浸漬後1か月程度で、中性化が進行あるいは水酸化カルシウムの溶出が減少し、細菌が付着しやすくなるためと考えられる。時間経過によって、図-4に一例を示すように、付着細菌数は増加している。なお、この増加には、図-5に示すように水温が上昇したことによる影響も含まれており、水温など季節変化による影響については、今後調査する必要がある。

ポーラスコンクリートの空隙特性の違いによる影響は、図-2および3に見られるように、1か月では空隙率25%のものが、2か月では空隙率25%および30%で粗骨材寸法10～13mmのものが、他のものより、付着細菌数が多くなっている。

このように、礫では1か月で付着細菌数が飽和するのに対して、ポーラスコンクリートでは時間が経過すると付着細菌数が礫に比較して格段に多くなる。また、付着細菌数が多くなる適切な空隙特性が考えられる。したがって、適切な空隙特性を持つポーラスコンクリートは、水質浄化機能に優れていると考えられる。

3. 4 付着SS(浮遊性固形物)量および付着VSS(揮発性固形物質)量

付着SS量の浸漬後2か月の測定結果を図-6に示す。図-6に見られるように、表面と内部では、いずれも表面の方が内部より大きく2～3倍程度の値を示している。礫と比べると、空隙特性によって異なり、大きな場合と小さな場合とがある。ポーラスコンクリートにおいては、空隙率の小さい方が付着SS量は大きい傾向があり、粗骨材粒径の大きい方が付着SS量は大きくなっている。したがって、付着SS量に対しては、空隙率が小さく、粗骨材粒径が大きい方が有利となっている。また、ポーラスコンクリートの表面では、礫の場合と大差ないといえる。

単位体積当たりの付着VSS量の測定結果は、図-7のようになり、空隙率の違いによる明確

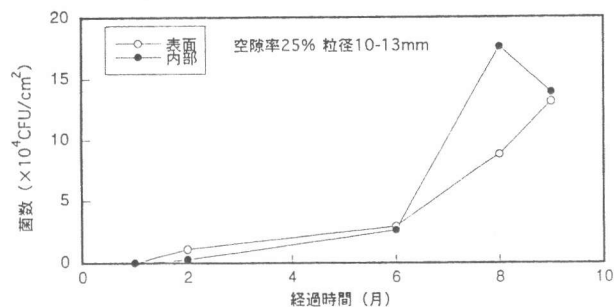


図-4 担体に着した従属栄養細菌数の経時変化

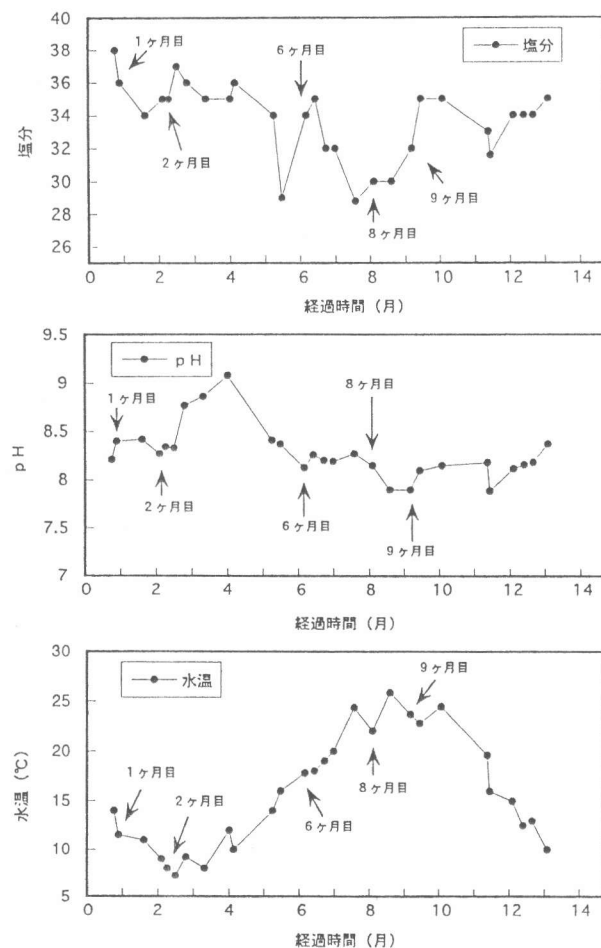


図-5 担体を浸漬した海水の塩分、pH および水温変化

な傾向は見られない。一方、粒径の違いの影響は、表面では粒径が大きい方すなわち空隙径の小さい方が、内部では粒径の小さい方すなわち空隙径の大きい方が付着VSS量すなわち生物量が多く、浄化機能を高めるには、表面部は大きな粒径、内部は小さな粒径とすることも考えられる。また、礫とは総合的に見ると、大差ない結果といえる。

付着VSS量と付着SS量との比VSS/SSすなわち付着物中の生物量の割合は、1例を示すと図-8のようになり、1か月から2か月にかけて大幅に増加している。礫では、1か月、2か月とも約0.2と変わらない値となっていることと比較し、値そのものが大きいことから、水質浄化機能の有効性を示している。なお、1か月から2か月にかけて、VSS/SSが増大しているのは、コンクリートの中性化の進行あるいは水酸化カルシウムの溶出減少によるものと推察される。

しかし、もっと時間が長くなると、図-9に示したように付着したSS等が減少したり、また増加したりするようになり、短期間の結果と異なってくる。時間経過による付着SS量とVSS量の変化の一例は、図-10のようになり、これらの傾向を分類すると表-3となり、3つのケースに分類できる。ケースⅠでは、付着SSの密度が高いため、生物の発達を阻害していると考えられる。ケースⅡの場合は、ケースⅠと逆に、SSが少ないため生物が発達しやすい状態であったと考えられる。ケースⅢの場合は、付着物質の剥離が生じたためにSS、VSSとも減少したと思われる。剥離の原因としては、付着量が水流などの外力に対して限界を越えたためや、生物膜層の下層までに栄養が供給されなくなったためなどが考えられる。これらのケースと空隙特性や内外部との間には、明確な関

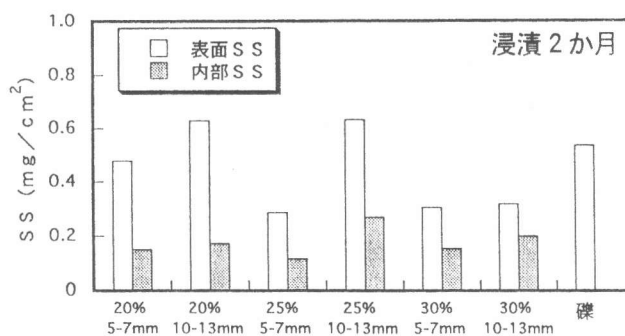


図-6 担体に付着した単位面積当りのSS量

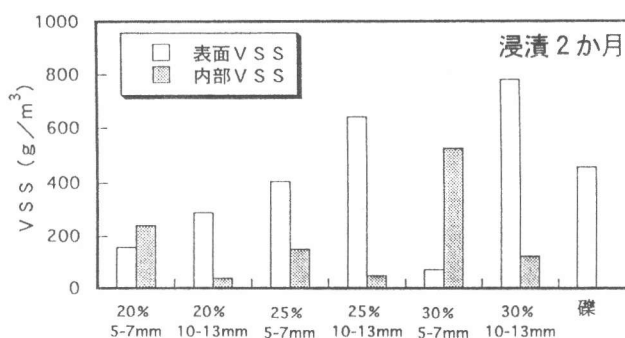


図-7 担体に付着した単位体積当りのVSS量

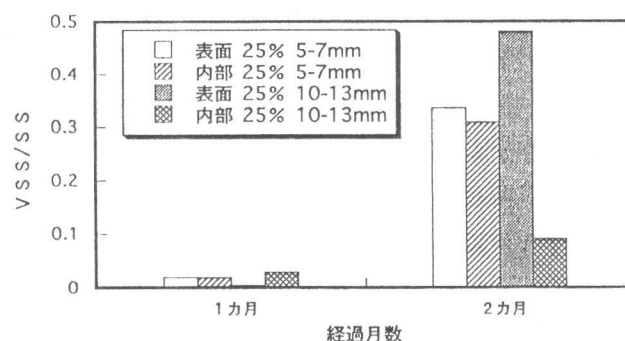


図-8 付着したSS量/VSS量の経時変化

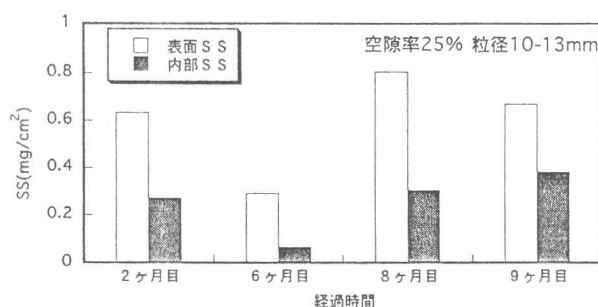


図-9 付着SS量の経時変化

係が示されておらず、浸漬場所の条件と生物層の発達過程などと関係付けて今後検討する必要がある。

図-9からは、ポーラスコンクリートの表面の付着SS限界量が考えられ、空隙率25%、粗骨材粒径10~13mmの場合で、この限界値は0.6~0.8mg/cm²程度と考えられる。

このように、ポーラスコンクリートは、時間が経過すれば、礫に比較して、付着生物量が同じ程度か多く、また、付着物

質中の生物の比率が高く、水質浄化機能のレベルは高いといえる。しかし、時間経過とともに付着SS量等は変化し、これらの結果から、最適な空隙特性を求めるためには、さらに詳細な検討の必要性がある。

4. 結論

本研究で得られた結果をまとめると以下のようである。

- (1) ポーラスコンクリートは、使用した粗骨材とほぼ同寸法の礫に比べて、付着細菌数、付着VSS量が多く、水質浄化機能は優れている可能性がある。
- (2) ポーラスコンクリートは、水中に浸漬後1か月後程度から付着生物層の成長が活発になる。
- (3) ポーラスコンクリートへの付着物や付着生物は、剥離と成長を繰り返しており、水質浄化機能に及ぼすコンクリートの空隙特性は、使用される環境条件によって異なる可能性がある。

謝辞

本研究の調査、観測および資料の整理に多大のご協力をいただきました徳島大学大学院杉本朋哉氏に感謝致します。

参考文献

- [1] 金子文夫、橋本宏治：ポーラスコンクリートを利用した生物的水質浄化法、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、日本コンクリート工学協会、pp.67-70、1995
- [2] 日本コンクリート工学協会エココンクリート研究委員会：エココンクリート研究委員会報告、日本コンクリート工学協会、pp.35-37、1995
- [3] 伊藤昌昭、近藤義春、石丸寛、金子文夫：多孔質コンクリートを用いた水質直接実験、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、日本コンクリート工学協会、pp.77-82、1995
- [4] 玉井元治、河合章、矢持進、西脇裕二、小林忠司：自然の海水に沈積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報告集、日本コンクリート工学協会、pp.83-90、1995
- [5] 玉井元治、河合章、西脇祐二：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

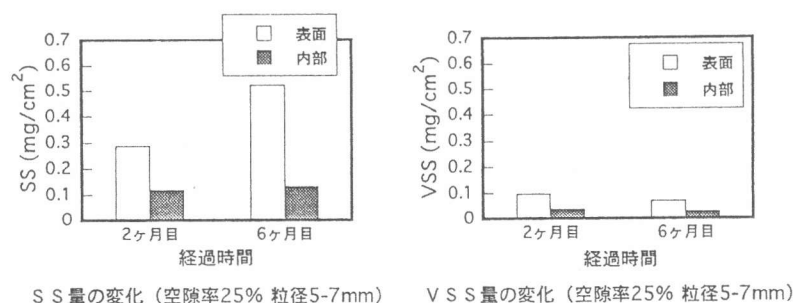


図-10 付着SS量およびVSS量の経時変化

表-3 ポーラスコンクリートの時間経過による付着SS量および付着VSS量の変化

ケース	変化の状況		部位	空隙特性	
	SS	VSS		空隙率, %	骨材寸法, mm
I	↑	↓	表面	25	5~7
			内部	25	5~7
II	↓	↑	表面	30	5~7
			内部	25	10~13
III	↓	↓	内部	30	5~7
			表面	25	10~13