

海岸構造物材料としての多孔質コンクリートにおける 付着生物の発達

村上仁士* ・伊藤 禎彦** ・水口 裕之***
上月 康則**** ・北岡 茂樹***** ・豊田 裕作*****

1. 緒 言

海水交換の悪い閉鎖性内湾などにおける汚濁海水を直接浄化する方法として礫間接触生物膜法が着目され、研究開発が進められている(小田ら, 1992)。一部では実際の沿岸域にプラントを設置し、実験を行った例(毛利ら, 1993)もある。それらの研究からは、礫間接触生物膜法の有効性と限界も明らかにされつつある。

なかでも最大の問題点は溶存態有機物の除去がほとんど期待できないことにある。伊藤ら(1995)は海水中の溶存態の有機物を効率よく分解する細菌の探索に成功した。これを担体に付着させて使用することから、その有効性を実証し、一つ解決策を示した。

さらに礫間接触生物膜法では担体に付着する生物膜が、頻繁に剝離することも大きな問題である。毛利ら(1993)は生物膜の剝離によって浄化能力が低下すると述べている。しかしながら、生物膜の付着や剝離現象については未だ十分に解明されておらず、問題の解決にあたってはまず担体上の生物膜の動態に関する基礎的な知見を集積していくことが必要であろう。

そこで本研究では、生物膜の成長と剝離の過程を把握するために、数種類の担体を用いて比較検討を行った。なかでも連続空隙を有する多孔質コンクリート(以下ポーラスコンクリートとする)に着目し、生物膜の発達に適した空隙特性についても詳細な検討がなされた。

2. 実験概要

(1) 海水浄化プラント実験

自然の潮の干満、波の影響によって海水が流入・流出する図-1に示すような幅3.5m×高さ3.3m×奥行き1.8mの海水浄化プラントを独自に製作し、徳島県小松島港に設置した。

生物付着担体はφ5 cm×30 cmのポーラスコンクリー

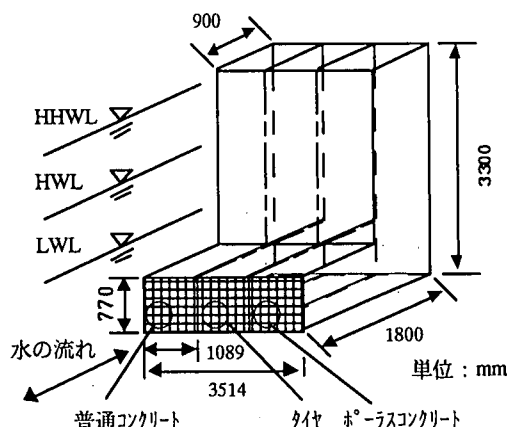


図-1 海水浄化プラントの概略図

ト、普通コンクリートのテストピースおよび古タイヤの3種類とし、これらを海水浄化プラントに充填した。このポーラスコンクリートの空隙率は25%、粗骨材粒径5~20 mmである。また、プラント内への光は遮断され、曝気も行っていない。設置年月は1995年7月であり、本調査は翌年1月までの6カ月間行った。

海水は、このプラント内を通過する際、各充填物に浮遊物質が保持あるいは、付着した生物膜などによって、溶存物質が分解される。その付着生物膜などの発達状況を調査するため、各充填物を1カ月単位で引き上げ、以下の測定項目について分析を行った。

各担体に保持されたSS量と、生物膜の指標としてのVSS量を測定した。またVSSの構成生物であり有機物を好氣的に分解する好気性細菌と、嫌氣的分解を行う嫌気性細菌の細菌数についても測定した。他にSSの摂取、分解機能を持つ底生生物の種と個体数についても調査を行った。

(2) ポーラスコンクリートの空隙特性と生物発達に関する実験

ポーラスコンクリートについては、粗骨材粒径と空隙率などの空隙特性と生物発達との関係を把握するために次のような実験を行った。粗骨材粒径と空隙率の異なる表-1に示す6種類のポーラスコンクリートを現地の海

* フェロー 工博 徳島大学教授 工学部建設工学科
** 正 会 員 工博 京都大学助教授 大学院工学研究科
*** 正 会 員 工博 徳島大学教授 工学部建設工学科
**** 正 会 員 工博 徳島大学講師 工学部建設工学科
***** 学生会員 徳島大学大学院 工学研究科 建設工学専攻
***** 正 会 員 (株)テトラ

表-1 ポーラスコンクリートの配合条件

CASE	骨材の粒径 (mm)	空隙率 (%)
1	5~7	20
2		25
3		30
4	10~13	20
5		25
6		30

岸に浸漬し、プラント実験と同様の調査分析を9カ月間行った。玉井ら (1990) によれば、ポーラスコンクリートは表層部と内部の空隙では、環境も異なることから、区別してこれらの分析項目を測定した。ここで表層部とはコンクリート表面から2cmの層を指し、内部とはそれ以外の部分を意味している。なお、本研究では、担体一個体あたりの機能についての評価検討が行えるように、考察には単位体積あたりの指標値を用いる。

3. 調査結果

(1) 各担体上の付着生物の発達特性

a) 付着SS量の変化

各担体の単位体積あたりに付着していたSS量の変化を図-2に示す。

この図より、全調査期間を通じて、ポーラスコンクリートの付着SS量は、他の担体より数倍多く、次いで普通コンクリート、タイヤの順となっていることがわかる。これはポーラスコンクリートでは、内部の空隙にまでSSが侵入しトラップされるため、より多くのSSが保持されたためと考えられる。

SS量の変化をみると、ポーラスコンクリートは、1カ月目から3カ月目にかけて増加するものの5カ月目には減少している。しかし、6カ月目には再び増加する傾向にあった。普通コンクリートにおいても、2カ月目に減少しているものの3カ月目から5カ月目までは増加していた。このように、担体上ではSSの付着、保持、剥離、そして再付着が繰り返されていると思われる。

b) 付着VSS量の変化

各担体の単位体積あたりに付着していたVSS量の変

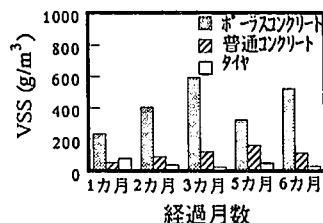


図-3 VSS量

化を図-3に示す。

この図より、付着SS量と同様に各担体の付着VSS量を比較すると、全調査期間を通じて、ポーラスコンクリートが他の担体のVSS量より数倍多く、次いで普通コンクリート、タイヤの順となっている傾向がわかる。

次にVSS量の変化を見ると、図-2で示したSS量の変化と同様の増減傾向が見られた。

またポーラスコンクリートのSSとVSS保持量は、剥離が生じ、最も減少している時でも、他の担体のいずれの時期のものよりも多かった。

c) 細菌数の変化

次にVSSの構成生物である好気性細菌と嫌気性細菌数の変化について考察する。好気性細菌数を図-4のa)に、嫌気性細菌数を図-4のb)に示す。

図-4のa)より、付着好気性細菌数は、3カ月目を除くとすべての調査期間で、ポーラスコンクリートが多く付着していたことがわかる。次いで普通コンクリート、タイヤの順となっている。また、冬季にあたる5,6カ月目には、普通コンクリートとタイヤに付着した好気性細菌は減少傾向にあるが、ポーラスコンクリートには2カ月目にあたる9月と同程度の細菌数が維持されていた。また、図-4のb)に示した付着嫌気性細菌もすべての調査期間で、他の担体に比べて多かった。

さらに、ポーラスコンクリートに付着する好気性細菌数と嫌気性細菌数は、ほぼ同程度であったことから、好気的条件はもとより、嫌気的条件下においても、有機物は効率よく除去されているものと考えられる。

なお、細菌数に関してもVSS同様に増減は見られたが、その幅は小さかった。

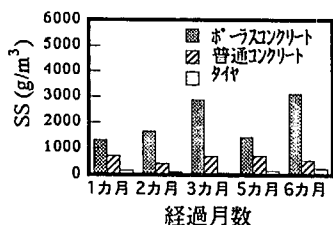


図-2 SS量

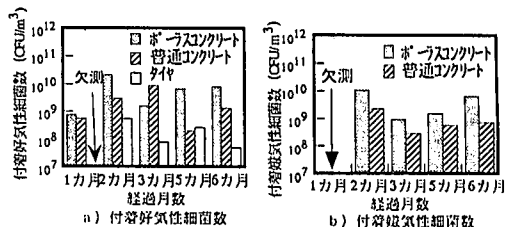
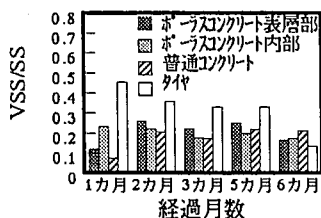


図-4 付着細菌数



図—5 VSS/SS 比

d) VSS/SS 比の変化

SS を多量に保持することができ、かつ付着物中の生物膜量の割合を示す VSS/SS 比が高い担体であれば、さらに効率的な水質改善が期待できる。つまり、そのような担体を用いれば、水中の懸濁物質と溶存態有機物の両物質の高い除去率が期待できる。そこで各担体の VSS/SS 比の変化を図—5 に示し、比較検討を行った。

この図より、浸漬 1 カ月目ではタイヤの VSS/SS 比が最も大きく、ポーラスコンクリートの表層部と内部や普通コンクリートの値は小さかった。これは、コンクリートの溶出成分のため、付着物中の生物膜の成長と発達がタイヤと比べ遅れたためと考えられる。しかしながら、2 カ月目には、ポーラスコンクリートおよび普通コンクリート上の VSS/SS 比は増加し、その後もその値は安定している。一方、タイヤでは、浸漬直後の付着物中の生物膜の割合は高かったが、その後、浸漬時間が長くなるほど低下し、6 カ月後には他の担体と同程度の値となった。

このように、ポーラスコンクリートは、SS および VSS を多量に保持できる上に、長期的にみると VSS/SS 比も他の担体に比較して差は見られなかった。つまり、ポーラスコンクリートは、水質浄化の効率面からも優れていることがわかった。

e) 底生生物種と個体数

各担体にみられた底生生物の種類と個体数の結果を表—2 に示す。

この表より、ポーラスコンクリートには普通コンクリートやタイヤに比べて多様な生物が付着、棲息していることがわかる。浸漬初期にはホヤ類が優占していたが、6 カ月目には甲殻類のトゲメリタヨコエビが優占する傾向にあった。本調査で採取されたトゲメリタヨコエビは、ポーラスコンクリートの表層部の空隙を利用し、棲息していると考えられる。また、これらの生物は SS を摂取、分解することを考えると、生物が数多く棲息できる環境であるポーラスコンクリートは SS の生物学的除去に対しても、期待できると考えられる。

以上の検討から、ポーラスコンクリートは SS、生物膜、底生生物の保持と維持に優れていることがわかった。ま

表—2 担体に棲息していた底生生物

	棲息場所	個体数			
		甲殻類	多毛類	ホヤ類	後鰓類
浸漬 1 カ月目	ポーラスコンクリート	4	0	24	8
	普通コンクリート	2	1	9	4
	タイヤ	0	0	0	0
浸漬 2 カ月目	ポーラスコンクリート	3	2	6	3
	普通コンクリート	0	0	9	4
	タイヤ	0	0	0	0
浸漬 5 カ月目	ポーラスコンクリート	15	0	8	0
	普通コンクリート	0	0	1	0
	タイヤ	0	0	0	0
浸漬 6 カ月目	ポーラスコンクリート	0	1	5	0
	普通コンクリート	0	0	1	0
	タイヤ	0	0	0	1
浸漬 1 カ月目	ポーラスコンクリート	7	0	1	0
	普通コンクリート	0	0	0	0
	タイヤ	0	0	0	0

た SS や VSS は付着、成長と剝離を繰り返すこともわかった。ポーラスコンクリートに安定した水質浄化能力を期待する場合には、この中でも剝離現象について詳細に把握しておく必要があると思われる。

(2) ポーラスコンクリートの空隙特性と生物発達

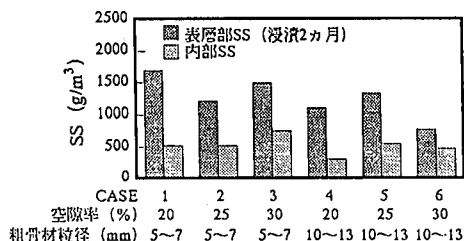
本章ではこれまでの検討から生物保持担体の維持管理面から課題とされたポーラスコンクリートの最適空隙特性と SS、生物膜の成長と剝離現象に着目し、検討を行う。なお残念なことに、多くの担体が流出されてしまい、6 カ月目までに残存していた担体は CASE 2, 3, 5 で、9 カ月目まで残存していたのは CASE 5 のみであった。

a) 付着 SS 量

浸漬してから 2 カ月目の付着 SS 量を図—6 に示す。

この図で見られるように、いずれの担体でも表層部の付着 SS 量が内部より 2～3 倍程度大きい値を示していることがわかる。

次に配合別で考察する。粗骨材粒径が等しく、空隙率が異なる CASE 1, 2, 3 と CASE 4, 5, 6 の付着 SS 量を比べてみたが、空隙率の違いからは明確な傾向はみられなかった。また、空隙率が等しく粗骨材粒径が異なる CASE 1, 4 と CASE 2, 5 および CASE 3, 6 についても



図—6 SS 量

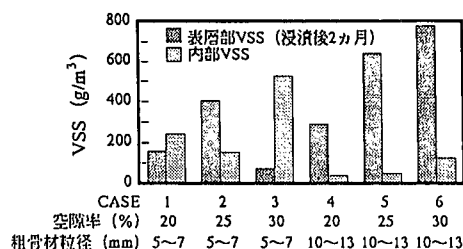


図-7 VSS量

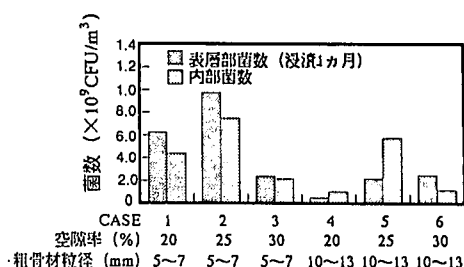


図-8 好気性細菌数 (1ヵ月目)

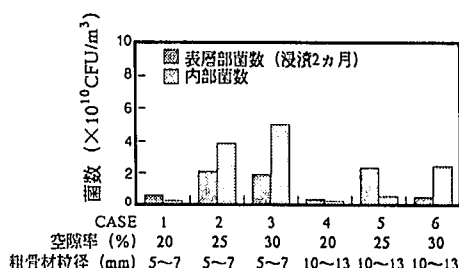


図-9 好気性細菌数 (2ヵ月目)

同様に比較すると、空隙率が25%の担体では表層部および内部ともに同程度の値となっていたが、他の空隙率の担体では粗骨材粒径が小さい5~7mmの方が10~13mmのものに比べて、付着SS量は多いことがわかった。

つまり、海水中のSSをより多くトラップし、保持することに関しては、粗骨材粒径が小さくする方が有利であると考えられる。

b) 付着 VSS 量

浸漬後2ヵ月目の付着 VSS 量を図-7に示す。

粗骨材粒径が等しく、空隙率が異なる CASE 1, 2, 3 と CASE 4, 5, 6 の付着 VSS 量を比べてみると、粒径が5~7mmの CASE 1, 2, 3 については明確な傾向はなかった。しかしながら、粒径が10~13mmの CASE 4, 5, 6 については、空隙率の大きい方が VSS 量は数倍多い傾向にあり、特にこれは表面の VSS 量で顕著にみられた。

また、空隙率が等しく粗骨材粒径が異なる CASE 1, 4 と CASE 2, 5 および CASE 3, 6 についても同様に比較すると、表層部では粒径の大きい方が、内部では粒径の小さい方が、付着 VSS 量は多いことが明らかとなった。

これらの検討から、付着生物膜を大量に保持していくためには、表層部は大きな粗骨材粒径のものを、内部は小さな粒径のものをを用いると有利であると考えられる。

c) 好気性細菌数の変化

図-8は浸漬後1ヵ月目、図-9は浸漬後2ヵ月目の付着好気性細菌数を示したものである。

これらの図より1, 2ヵ月目の付着細菌数を比較する。2ヵ月後の結果を示した図-9の縦軸のスケールは図-8のものよりも約100倍大きいことから、ポーラスコンクリートの担体に付着した細菌数は、いずれも増加していたことがわかる。

これは、玉井ら(1990)の研究にあるようにポーラスコンクリートでは海水の流入、流出が自由であるために浸漬後1ヵ月程度で、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ったためと考えられる。

d) 付着 SS 量と VSS 量の変化傾向

ここでは VSS と SS の増加、剝離現象を相互の関連作用から考察する。図-10にそれぞれ CASE 2, 3, 5 の SS

と VSS 量の変化を示す。

これらの図からも2ヵ月目から6ヵ月目にかけて SS と VSS 量は変化していることがわかる。また SS と VSS 量とをあわせてその変化傾向をみると表-3のようにまとめることができた。なおプラント実験でみられた SS と VSS 量が共に増加する傾向は認められなかった。

TYPE I は、図-10の a) の表層部にみられ、SS が増加し VSS が減少しているときである。この場合、付着 SS 中の汚濁物質の割合が高いため、生物膜発達が阻害されたためと考えられる。TYPE II は、図-10の b) の表層部および c) の内部でみられ、SS が減少し、VSS が増加しているときである。TYPE III は図-10の c) の表面の場合でみられ、SS および VSS とも減少した場合である。これは、付着物の大規模な剝離が生じたために、SS, VSS とも減少したと思われる。剝離の原因としては、付着量が水流などの外力にたいして限界を越えたことや、生物膜層の下層まで栄養が供給されなくなったことなどが考えられる。

このように、SS や VSS の保持に優れるポーラスコンクリートにおいてもその限界量があり、それに達すると剝離し、その後また SS の保持や生物膜の成長が生じることがわかった。

そこで、9ヵ月目まで調査できた空隙率25%、粗骨材粒径10~13mmの担体に付着する SS と VSS 量をそれぞれ図-11の a) と b) に示し、ポーラスコンクリートの限界 SS 保持量と VSS 保持量について検討してみた。

表層部の限界 SS 保持量は図-11の a) より、最も SS

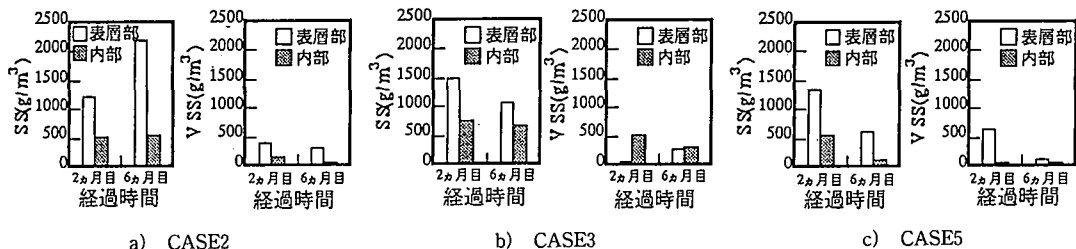


図-10 SS, VSS の変化

表-3 SS, VSS の変化傾向

TYPE	変化の状況		部位	空隙特性		CASE
	SS	VSS		空隙率(%)	粒径(mm)	
I	↑	↓	表面	25	5~7	2
			内部	25	5~7	2
II	↓	↑	表面	30	5~7	3
			内部	25	10~13	5
III	↓	↓	表面	25	10~13	5
			内部	30	5~7	3

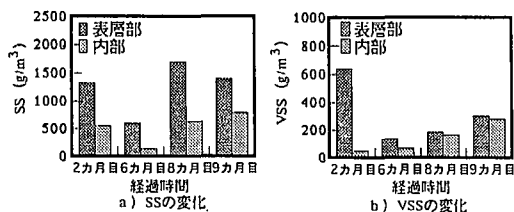


図-11 CASE 5 の SS, VSS 量の変化

量が増加した 8 カ月目の約 1500 g/m³が、内部では 9 カ月目の約 800 g/m³が考えられた。また限界 VSS 保持量は図-11 の b) より、表層部では 2 カ月目の約 600 g/m³が、内部では 9 カ月目の約 300 g/m³がそれぞれ考えられた。

4. 結 論

本研究で得られた成果を要約する。

1) 普通コンクリートやタイヤと比較して、ポーラスコンクリートは SS の保持だけでなく、VSS 量、細菌数や

底生生物の種・個体数から評価しても生物付着担体として優れていることがわかった。ポーラスコンクリートは冬期でも多くの細菌を保持することが特徴といえる。

2) ポーラスコンクリートの浄化機能を高めるためには、表層部では粒径を大きく、内部では粒径を小さくすると有利である。

3) 担体上で SS, VSS は付着、成長するものの、担体の限界量を越えると剥離を繰り返すことがわかった。例えば空隙率 25%、粗骨材粒径 10~13 mm のポーラスコンクリートの表層部の限界 SS 保持量は約 1500 g/m³、内部は約 800 g/m³であり、また限界 VSS 保持量は表層部では約 600 g/m³、内部では約 300 g/m³とそれぞれ考えられた。

最後に、海水浄化プラントの設置にご協力いただいた、運輸省第三港湾建設局小松島港工事事務所、徳島県港湾課、小松島漁業協同組合に深謝する。また、現地観測、調査、実験にご助力頂いた徳島大学大学院生、杉本朋哉氏に謝意を表す。

参 考 文 献

- 伊藤謙彦・村上仁士・落合道和・杉本朋哉 (1995): 海水浄化細菌の担体付着特性と水環境中における生存性, 海岸工学論文集, 42 巻, pp. 1211-1215.
- 小田一紀・貫上松男・重松孝昌・大屋博史・綱潔之・倉田克彦 (1992): 隙間生物膜の海水浄化効果と現地へのその応用に関する研究, 海岸工学論文集, 39 巻, pp. 991-995.
- 玉井元治・河合 章・西脇祐二 (1990): 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.
- 毛利光男・須田有輔・上原 功・門倉伸行・細川恭史 (1993): 汚濁海水浄化における隙間接触水路内の抑留物の分布と閉鎖について, 水環境学会誌, 第 16 巻, 第 7 号, pp. 516-525.