

生物との共生を目指した人工磯の造成素材に関する現地調査

井上 雅夫*・島田 広昭**・桜井 秀忠***・柄谷 友香****

1. 緒 言

近年, 海岸・港湾施設の建設に際しては, 防災や親水性のみならず, 自然と共生できる機能をもったものが要請されるようになってきた。その一つの事例が大阪湾に面した淡輪・箱作海岸の人工磯である(井上ら, 1995)。現在, この人工磯は工事中であるが, その完成後には, 人工のタイドプールで磯観察が体験できるなど, 環境教育の場としての利用が計画されている。しかし, こうした生態系までを考慮した人工磯の造成事例は, 人工の砂浜に比べると, きわめて少なく, その造成素材に関する知見もあまり多くないのが現状である。このため著者らは, 94 年 4 月に, この人工磯とその近傍にある天然磯に基質の異なった供試体をそれぞれ設置して, それらに付着する動物の多様性について検討を行い, その結果の一部はすでに報告してきた(島田ら, 1995; 井上ら, 1996)。

本研究の目的は, 多種多様な生物にとって, 人工磯が良好な環境の場となるための条件をその造成素材の面から明らかにし, 生物との共生を目指した人工磯に関する造成技術の向上に寄与しようとするものである。特に本論文では, 付着動物の多様性ばかりではなく, 繁殖性や均衡性も高く, さらに, それらの持続性にも優れた人工磯の造成素材としては, どのような特性を有すべきかを明らかにしようとした。

2. 調査内容

動物の付着状況に及ぼす基質の影響を調べるために, 前述した天然磯と人工磯の潮間帯に砂岩, 安山岩, 花崗岩, コンクリート, 溶岩の 5 種類の供試体をそれぞれ設置した。供試体の形状は, いずれも辺長が 30 cm の立方体であるが, 砂岩だけは 20×20×25 cm の直方体である。特に天然磯には, 多孔質である溶岩の供試体を潮位基準面からの高さが異なる 3 箇所に設置して, 素材の多孔性と干出時間の影響を調べた。溶岩を除く供試体についての調査は, 94 年 5 月から 97 年 11 月までの間に 37

回, また, 溶岩についての調査は, 96 年 4 月から 97 年 11 月までの間に 14 回, それぞれ実施した。なお, 調査は 1～2 ヶ月に 1 回の割合で行い, その間隔はほぼ等しい。調査項目は, 気象(天候, 気温, 湿度, 風向, 風速), 水質(水温, 塩分濃度, pH, DO, COD), 供試体の物性(表面温度, 光の反射率)とそれへの付着動物(種と個体数)とした。また, この付着動物の調査結果から, 多様性指数, 繁殖指数および均衡性指数を求めた。さらに, 環境教育の場としての人工磯では, フルシーズンの利用がきわめて重要であるため, これらの三つの指数の変動率から, それぞれの指数の持続度を表わす持続性指数を求めた。最後に, 滑面である供試体の結果と粗面である天然磯の結果とを比較するため, 天然磯に設置した供試体と同じ高さにある和泉砂岩層の波食溝によって形成された天然磯の段差部においても, 供試体について行った調査と同様な調査を実施し, 素材の粗度の影響を検討した。

3. 調査結果とその考察

3.1 天然磯と人工磯における水質と付着動物の比較

天然磯と人工磯に造成素材の供試体をそれぞれ設置したため, まず, そこにおける水質と付着動物の種数についての経時変化を比較した。

図-1(a), (b), (c), (d) および (e) は, 天然磯と人工磯における水温, 塩分濃度, pH, DO および COD の 94 年 5 月から 97 年 11 月までの経時変化である。なお, 水温を示した(a)図には, 調査日の平均気温も破線で示した。

まず, 水温には, 明瞭な季節変化はみられるが, それぞれの磯での違いはみられない。塩分濃度については, 測定値に若干のばらつきはみられるが, いずれの磯においても季節変動はなく, ほぼ同じ値である。pH についても, いずれの磯でも明瞭な季節変化はみられないが, ほとんどの調査日において, 天然磯のもののほうが高い。この理由は, 海藻類の多寡の影響であろう。DO は, 水温の影響が大きいため, 季節変化は著しいが, pH と同様な理由によって, 天然磯での値が高くなる調査日が多い。COD は, 夏に高く, 冬に低くなる傾向がみられるが, 二つの磯での明瞭な差はみられない。

このように, 天然磯での pH と DO が, 人工磯のものよ

* 正 会 員 工 博 関西大学教授 工学部土木工学科
** 正 会 員 関西大学助手 工学部土木工学科
*** 学生会員 関西大学大学院 工学研究科
**** 学生会員 工 修 京都大学大学院 工学研究科

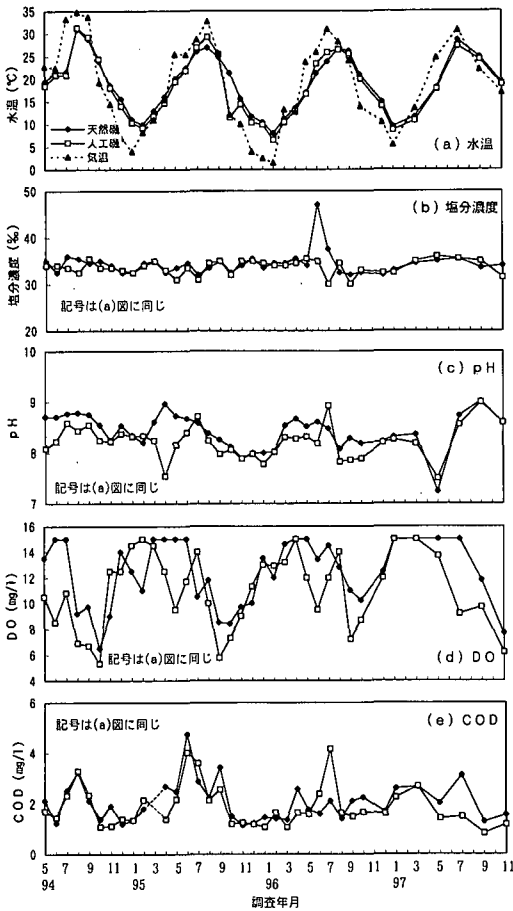


図-1 天然磯と人工磯における水質

りも高い値を示すことを除けば、いずれの磯の水質にも大差のないことが確認できた。

図-2(a) および (b) は、それぞれ天然磯と人工磯にある供試体に付着した動物の種数についての94年5月から97年11月までの経時変化である。

まず、いずれの磯のものも、秋から冬にかけて付着動物の種数が増加している。これは、潮位の関係で、いずれの年もこの期間は夜間に調査を行ったため、その影響によるものと考えられる。また、設置後の年数が経過するにつれて付着動物の種数が減少し、基質の違いによる影響もあまりみられなくなる。これは、いずれの供試体の表面にも藻類が同じように付着してしまうためである。

天然磯と人工磯のものとを比較すると、全般的に前者の付着種数が多い。これは、人工磯の造成工事が86年の秋から開始されたため、そこにおける本来の生物相がまだ貧弱であることのほかに、人工磯の供試体が天然磯のものよりも、その設置位置が約30 cm 高いためである。

このようなことから、以下の考察では、天然磯に設置したものだけを対象とした。

3.2 付着動物の多様性、繁栄性および均衡性

付着動物の多様性、繁栄性および均衡性の量的尺度として、それぞれMacArthurの多様性指数、森下の繁栄指数およびPielouの均衡性指数を用いた(木元ら, 1989)。多様性指数は、その値が大きい箇所ほど多様性は高く、そこでは多種多様な生物が生息している。しかし、この多様性指数は、種数と個体数のいずれもが少数であっても、各種が均等に存在すれば大きくなる。また逆に、種数と個体数がともに多くても、非常に多くの個体数を有

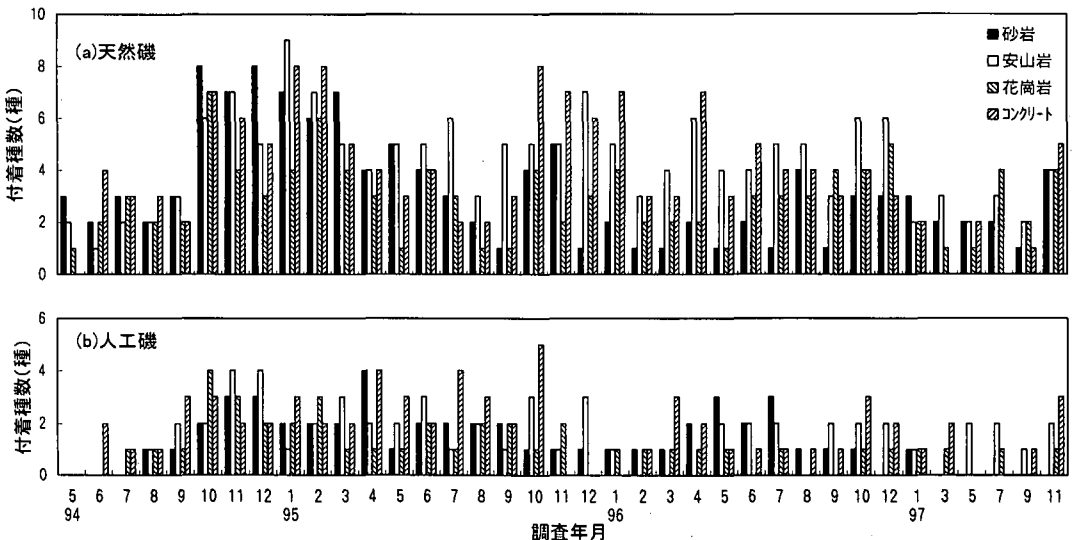
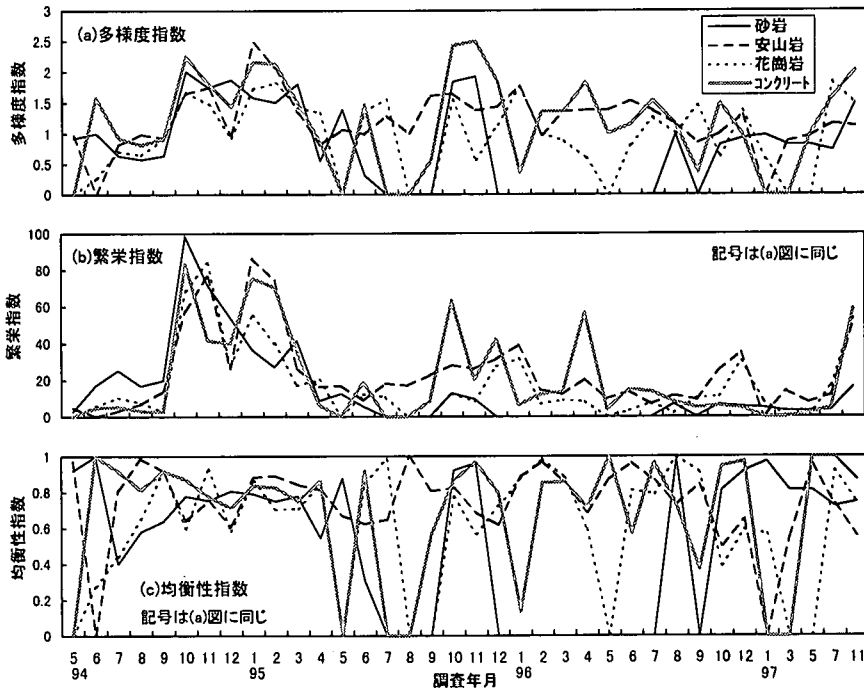


図-2 天然磯と人工磯に設置した供試体の付着動物種数



図一3 多様度指数、繁栄指数および均衡性指数の経時変化

する優占種が存在すると小さくなる。したがって、多様度指数が小さくても、個体数のきわめて多いところでは、生命の息吹きを感じる場合がある。このため、繁栄指数を求めて、この生命の息吹きを量的に表現した。この繁栄指数は、多様度指数と個体数の積であるため、優占種の存在によって多様度指数が小さいところでも、この指数は大きくなることもある。また、付着動物の均衡性指数は、その上限が常に1であり、各種の個体数が均等化するほど1に、少数の種による優占的な状態が強いと0に、それぞれ近づくものである。

図一3(a), (b) および (c) には、供試体ごとの多様度指数、繁栄指数および均衡性指数を示した。なお、溶岩は、他のものに比べて、設置後の年数が短いため、その結果については分けて考察する。

まず、砂岩についての多様度指数は、設置時から95年11月までは、秋から冬にかけて大きくなり、夏には小さくなるような季節変化がみられる。しかし、95年12月から96年7月までの間は、優占種が存在したため、多様度指数は0である。また、繁栄指数も、94年10月以後は急激に減少している。均衡性指数は、多様度指数とほぼ同じ変化を示している。安山岩についての多様度指数と繁栄指数は、全調査期間でも0になることはほとんどなく、他のものに比べると年間を通して、全般的に大きい値を示している。均衡性指数も94年6月と97年1月を除くと、0.5以上の値を保っている。花崗岩については、いず

表一1 付着動物に関する各指数の平均値とその持続性指数

	砂 岩	安山岩	花崗岩	コンクリート
多様度指数 (持続性指数)	0.77 (1.33)	1.20 (3.45)	0.94 (1.80)	1.18 (1.91)
繁 栄 指 数 (持続性指数)	14.2 (0.95)	23.4 (1.51)	16.9 (1.13)	20.4 (1.14)
均衡性指数 (持続性指数)	0.52 (1.43)	0.74 (4.54)	0.60 (2.17)	0.68 (2.38)

れの指数もばらつきが大きく、明瞭な季節変化はみられない。コンクリートについての多様度指数と繁栄指数の季節変化は、かなりよく対応し、秋に極大値を示すことが多い。均衡性指数は変動が大きく、季節変化は見出せないが、かなり大きい値を示す場合が多い。

また、97年1月以後は、いずれの指数についても、それ以前にみられたような供試体ごとの季節変化はみられない。これは、前述したように、供試体の表面に藻類が付着し、基質の影響が小さくなるためである。

表一1には、それぞれの指数の全調査時における平均値とその指数の持続度を表わす持続性指数を一括表示した。なお、持続性指数 S' は、式(1)のように定義した。

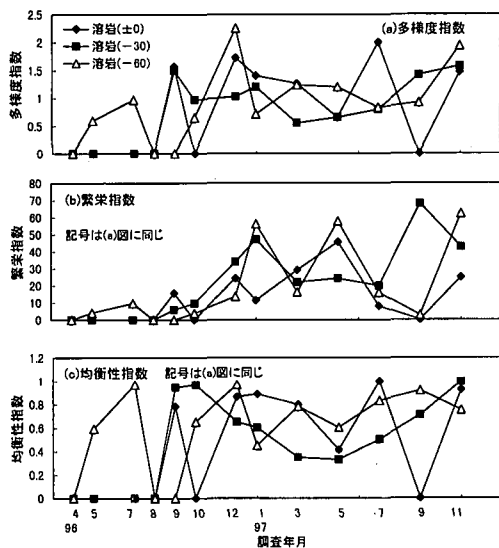
$$S' = 1/S$$

$$S = \frac{1}{n} \sum \frac{|\bar{x} - x_i|}{\bar{x}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 n は調査回数、 $\bar{x}$ は各指数の平均値、 x_i は調査日ごとの各指数の値であり、 S が大きいほど、その指数の持続度が高いことになる。

表一1によると、前述したように供試体の大きさが、他のものに比べて小さい砂岩を除くと、多様度指数、繁栄指数、均衡性指数のすべての調査日におけるそれぞれの平均値とこれらの指数に関する持続性指数は、いずれも安山岩がもっとも大きく、花崗岩がもっとも小さい。また、コンクリートは、いずれの指数についても、安山岩に近い値を示している。さらに、どの指数についても、その値が大きいほど持続性指数も大きい。

図一4(a)、(b)および(c)は、溶岩の多様度指数、繁栄指数および均衡性指数の経時変化である。供試体の設置位置は、溶岩(±0)がもっとも高く、それよりも30 cm および60 cm 低いところのものを、それぞれ溶岩(-30)および溶岩(-60)と表現した。これによると、いずれの指数にも明瞭な季節変化はみられないが、これは、設置後の期間が短いためと考えられる。



図一4 溶岩についての多様度指数、繁栄指数および均衡性指数の経時変化

表一2 溶岩の付着動物に関する各指数の平均値とその持続性指数

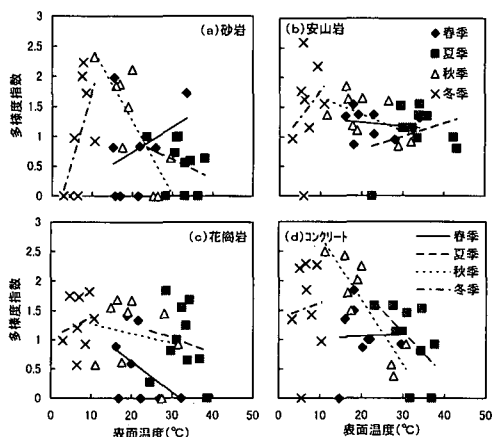
	溶岩 (±0)	溶岩 (-30)	溶岩 (-60)
多様度指数 (持続性指数)	0.78 (1.06)	0.75 (1.48)	0.87 (1.71)
繁栄指数 (持続性指数)	12.2 (1.01)	21.0 (1.22)	18.6 (1.01)
均衡性指数 (持続性指数)	0.44 (1.07)	0.47 (1.43)	0.58 (2.03)

表一2には、溶岩についての結果を表一1と同様に示した。これによると、溶岩に関するそれぞれの指数の平均値やそれらの持続性指数は、設置位置が高く干出時間が長いもののほど小さくなるとは必ずしも限らない。したがって、干出時間が長い箇所には、多孔質の素材を用いて、多様性を高める方法も採用すべきであろう。

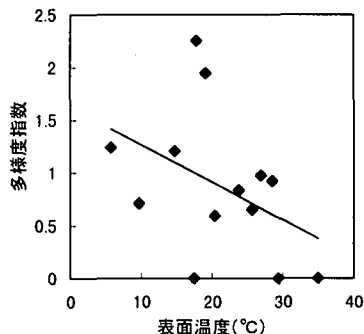
3.3 付着動物の多様性と供試体の物性との関係

図一5(a)、(b)、(c)および(d)は、94年6月から97年11月までの砂岩、安山岩、花崗岩およびコンクリートの多様度指数と表面温度との関係を季節ごとに示した。これらによると、いずれの供試体についても、付着動物の多様度指数は、一般に表面温度が低いほど大きくなるが、冬季で10℃以下になると、温度の低下とともに小さくなる。なお、この傾向は砂岩が著しい。

図一6には、設置位置が他の供試体と同じ高さにある溶岩(-60)の多様度指数と表面温度との関係を示した。溶岩についても、表面温度が低いほど多様性は高くなるような傾向がみられるが、10℃以下になっても多様性が低下することはない、このことは多孔性の効果によるもの



図一5 供試体の多様度指数と表面温度との関係



図一6 溶岩(-60)の多様度指数と表面温度との関係

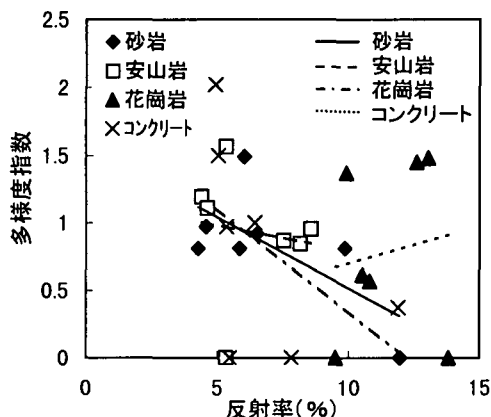


図-7 各供試体の多様度指数と光の反射率との関係

のと考えられる。

図-7は、96年9月から97年11月までの砂岩、安山岩、花崗岩およびコンクリートの多様度指数と光の反射率との関係である。これによると、花崗岩のデータにばらつきは大きい、全般に反射率が小さいほど、多様度指数は大きくなる。特に、全調査日の反射率の平均値は、花崗岩：11.48%、コンクリート：6.70%、安山岩：6.27%であり、それぞれの多様度指数は、0.94、1.18、1.20である。このように反射率が小さいと多様性は高く、両者の関係はかなりよい対応を示している。したがって、造成素材の選択に際しては、その色相が大きな要因になる。

表-3には、付着動物の多様性に及ぼす礫表面の粗度の影響を調べるために96年と97年の秋に行った調査での多様度指数の平均値を示した。なお、表中の水平部は、粗面では天然礫の波食溝によって形成された段差部における上部の水平部分、滑面では供試体の天端面であり、垂直部は段差部の垂直部分、滑面では供試体の沖側に面した垂直面である。これによると、粗面の天然礫の段差部における多様度指数は、滑面の供試体のものに比べると、かなり大きく、この傾向は水平部分よりも垂直部分のほうが顕著である。これは、粗面の垂直部での表面温度が低いためである。したがって、素材の垂直部の粗度を大きくすることが、多様性の向上には、より効果的であるといえよう。

4. 結 語

以上、生物との共生を目指した人工礫での付着動物の

表-3 粗面と滑面での多様度指数

	水平部	垂直部
粗面 (和泉砂岩層の天然礫)	0.41	0.75
滑面 (砂岩の供試体)	0.27	0.40

多様性や繁殖性などばかりでなく、それらの持続性も高めるには、どのような特性をもった造成素材を用いることが望ましいのかを明らかにするために、天然礫と人工礫にそれぞれ基質の異なった供試体を設置して、それらへの付着動物に関する現地調査を行ってきた。

その結果、付着動物の多様度指数は、いずれの供試体についても、その表面温度が約10°Cでもっとも大きくなることがわかった。また、多様度指数と光の反射率との対応はかなりよく、反射率が小さいと、多様度指数は大きくなり、造成素材の選択に際しては、その色相が大きな要因になることを指摘した。さらに、付着動物の多様性を高めるためには、多孔質の素材を用いたり、素材の表面に凹凸をつけることも効果的であって、特に干出時間の長いところでは有効であることを示した。

最後に、本研究を行うにあたり、種々のご教示をいただいた関西大学工学部 鉄川 精教授、また現地調査にご協力をいただいた大阪府港湾局や公園課の関係各位ならびに調査や資料整理を熱心に助力してくれた、現在、ケーエーケー技術研究所の上野加寿子さん、関西大学大学院の端谷研治君をはじめ海岸工学研究室の学生諸君に謝意を表す。なお、この研究に際しては、近畿建設協会研究開発助成金や関西大学学術フロンティア・センターの研究費を使用したことを明記して謝意を表す。

参 考 文 献

- 井上雅夫・島田広昭・鉄川 精・中村克彦 (1995): 生物との共生をめざした人工礫の生態学的研究, 海岸工学論文集, 第42巻, pp. 1191-1195.
- 井上雅夫・鉄川 精・島田広昭・柄谷友香 (1996): 生物との共生をめざした人工礫の地形とその造成素材について, 海岸工学論文集, 第43巻, pp. 1166-1170.
- 木元新作・武田博清 (1989): 群集生態学入門, 共立出版, pp. 123-137.
- 島田広昭・中村克彦・鉄川 精・井上雅夫 (1995): 人工礫の付着生物に及ぼす造成素材の影響, 海洋開発論文集, Vol. 11, pp. 157-162.