

生物との共生をめざした人工磯の地形とその造成素材について

井上雅夫*・鉄川 精**・島田広昭***・柄谷友香****

1. 緒 言

近年、海岸・港湾施設の建設に際しては、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。このため、大阪府では、豊かな生態系が存在し、良好な自然環境を創造するものとして、大阪湾に面した淡輪箱作海岸に人工磯を造成している(井上ら, 1995)。また、その完成後には、これを環境教育の場としても利用していく計画である。

しかしながら、わが国におけるこうした人工磯の造成事例は、人工の砂浜に比較すると、きわめて少ないのが現状である。この研究の目的は、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地形とその造成素材の面から明らかにし、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。

2. 調査内容

まず、磯浜の微地形と付着動物の多様性との関係を明らかにするため、人工磯とその南西約4 kmにある長松自然海岸の天然磯において、自然環境と付着動物の調査を行った。自然環境調査では、いずれの磯においても、天候、気温、湿度、風向、風速、海水の水温、塩分濃度、pH、DO、CODを測定するとともに、天然磯では、その断面の詳細な測量も行った。付着動物の調査に関しては、人工磯では、図-1(a)に示すように波当たりの異なる3測点V1、V3およびV4での付着動物の垂直分布を調べた。すなわち、人工磯の斜面に沿って辺長が50 cmの正方形ブロックを設け、そこでの付着動物の種数と個体数を測定することによって、MacArthurの多様度指数を求めた。天然磯でも図-1(b)に示した測線C上において、同様な方法により、付着動物に関する多様度指数の岸沖分布を明らかにした。調査は、人工磯では92年9月17日から96年1月23日までの間に、ほぼ2~3か月に1日の割合で合計19日、天然磯では93年7月22日から96年1月24日までの間に、ほぼ3か月に1日の割合で

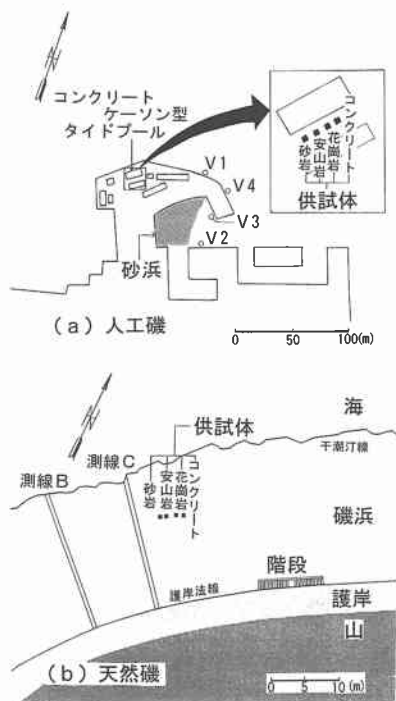


図-1 人工磯と天然磯の地形と測点

合計10日実施した。つぎに、人工磯の望ましい造成素材を明らかにするため、図-1に示すように、人工磯と天然磯に基質の異なる4種類の供試体をそれぞれ設置して、それらへの動物の付着状況を調べた(島田ら, 1995)。供試体は、辺長が30 cmの立方体をしたコンクリート、花崗岩、安山岩と20×20×25 cmの直方体をした砂岩の合計4種類であり、人工磯の供試体は、天然磯のものよりも27 cm高い位置に設置されている。この場合の自然環境調査は前述のものと同様であるが、そのほかに供試体の表面温度の測定も行った。また、供試体のそれぞれの面に付着した動物の種数と個体数は、スケッチと写真撮影とによって測定した。調査は、供試体が設置された1か月後の94年5月から96年3月までの間に、毎月1日の割合で合計23日実施した。なお、94年10月から95年2月の間と95年10月以降の調査は夜間、それ以外の期

* 正会員 工博 関西大学教授 工学部土木工学科

** 関西大学教授 工学部教養生物学教室

*** 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

間については昼間のそれぞれ干潮時に行った。

3. 調査結果とその考察

3.1 人工磯と天然磯の水質

図-2は、人工磯と天然磯における水温、塩分濃度、pH、DOおよびCODの93年7月から96年1月までの経時変化である。これらによると、まず、水温については、両磯における差異はみられず、ほぼ同じ季節変化を示している。塩分濃度については、いずれの磯においても、一般的な値の35‰前後であり、顕著な差異はみられない。pHについては、ほとんどの調査日において、天然磯のもののほうが人工磯のものよりも高い値を示している。これは、天然磯では海藻類が多く、その光合成による炭酸消費量が動物による炭酸供給量よりも多いためと考えられる。DOについても、天然磯のもののほうが、pHと同様に、人工磯のものよりも全般的に高い値を示している。これは、前述した海藻類の光合成による影響とともに、天然磯は人工磯よりも波当たりが強く、それによるエアレーションの影響が大きいためと考えられる。CODについては、人工磯で94年9月にきわめて高い値を示しているが、両磯では顕著な差異はみられない。このように、天然磯のpHとDOが、人工磯のものよりも高い値を示すが、それ以外は、両磯の水質に顕著な差異はみられないことがわかった。

3.2 付着動物の多様性指数と地形との関係

磯浜においては、一種が優占的に生息しているものより、種数、個体数のいずれも豊富なもののほうが、生物にとって質の高い環境を保持しているといえる。この状態を生物学的に「多様性が高い」と表現している。この多様性の量的尺度を示すものとして、種々のものが提案されているが、本研究では、すべて次式で表される MacArthur の多様性指数 H' を用いることにした (木元, 1976)。

$$H' = -\sum \frac{n_i}{N} \log_2 \frac{n_i}{N} \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 n_i は i 番目の出現種の個体数、 N は総個体数である。なお、 H' が大きいほど多様性が高く、多種多様な生物が生息していることを示している。

図-3は、天然磯の測線C上と人工磯の各測点における付着動物の多様性指数を、各調査日ごとに示したものである。これによると、天然磯における多様性指数は、その値がもっとも小さい1月で2.2であり、いずれの季節についても、人工磯のものよりも大きい。さらに、多様性指数の季節変化については、天然磯のものは、夏季に大きく、冬季に小さくなるような明瞭な季節変化を示しているのに対し、人工磯のものには、そうした傾向はみられない。また、人工磯の各測点における多様性指数

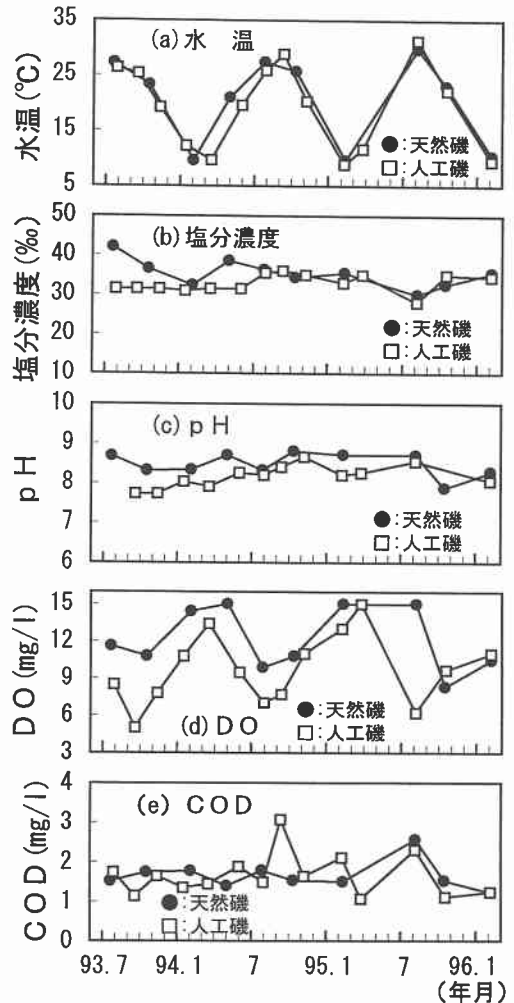


図-2 人工磯と天然磯における水質の比較

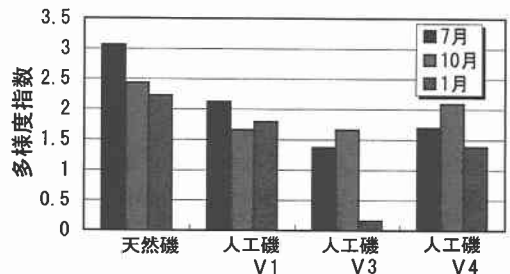


図-3 人工磯と天然磯の各測点における多様性指数の比較

を比較すると、V3での多様性指数は、V1やV4のものに比べて、いずれの調査日のものについても小さくなっている。これは、図-1(a)に示したように、V3は突堤の内側にあり、波当たりの弱い閉鎖的な箇所であるのに

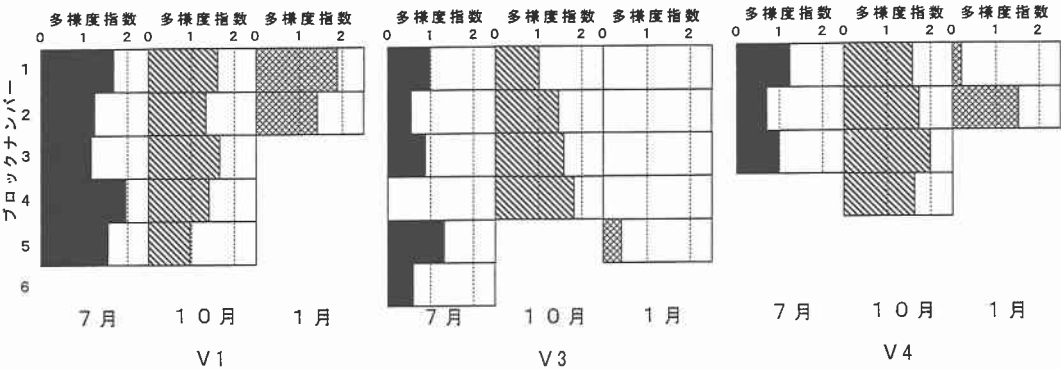


図-4 人工磯における多様度指数の垂直分布

対し、V1やV4は、波当たりの強い突堤の外側にあり、こうした波当たりの違いによる影響と考えられる。図-4には、人工磯の各測点における調査日ごとの多様度指数の垂直分布を示した。なお、調査時の潮位は、測定したブロックのほぼ最下端である。これらによると、前述したように、V1やV4では波当たりが強いため、いずれの季節でも海面からの高さに関係なく、ほぼ一定の多様度指数を示している。しかし、波当たりの弱いV3では、一般的に多様度指数が小さく、また、その値は季節や海面からの高さによって変化し、優占種が存在している可能性の高いことがわかる。図-5には、天然磯の測線C上の海浜断面とそこに設けた50 cm四方のブロック内における付着動物の種数、総個体数、多様度指数を95年7月のものについて示し、95年10月と96年1月のものについては、多様度指数のみを示した。

なお、磯浜に設けたブロックは、護岸のり先をNo.1として、沖側に向けて番号を付け、海浜断面に付した斜線部分は、転石の存在を示している。これによると、種

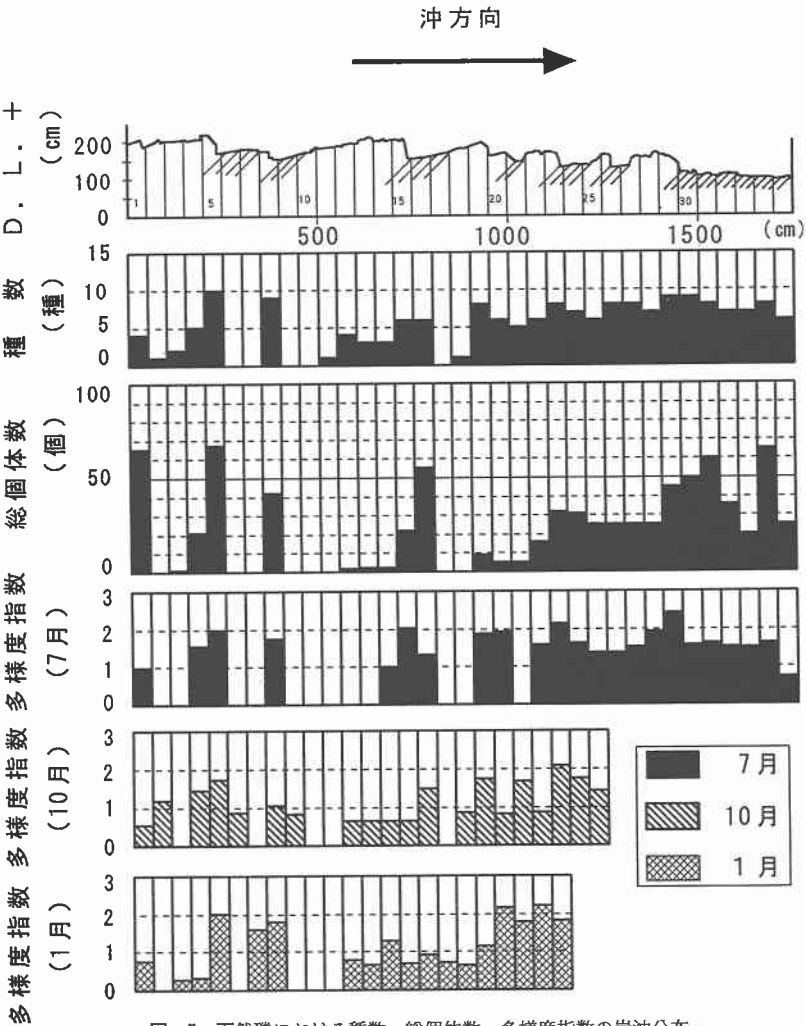


図-5 天然磯における種数・総個体数・多様度指数の岸沖分布

数、総個体数がともに多いブロックでは、多様度指数は大きくなり、逆に、どちらか一方だけが多い場合には、多様度指数は小さくなることがわかる。したがって、こ

こでの多様性を表す量的尺度として、MacArthur の多様度指数が適用できるものと考えられる。多様度指数については、7月、10月および1月のいずれも、護岸から沖側ほど、多様度指数の大きいブロックが連続的に現れる傾向がみられる。これは、沖側のブロックほど、海水からの露出時間が短くなるので、磯表面で湿気の多い場所が多く、このような場所では多種多様な動物が生息しやすいためと考えられる。しかし、乾燥しやすい護岸に近いところでも、波食溝のあるブロックでは、多様度指数は大きい。このことから、波食溝は、磯における湿潤状態の確保ばかりではなく、タイドプールの形成によって生息場所や活発な海水交換による餌場の提供などの役割をもち、動物にとって生息しやすい環境であることがわかる。一方、No. 9~13, 17~18にみられるような沖側にいくほど標高が高く、逆勾配になっている部分、No. 2~3, 6~7にみられるような水平な部分では、多様度指数が小さくなっている。図-6は、地形の複雑さを表す斜面長比 r と多様度指数 H' との関係を曲線回帰したものである。なお、斜面長比とは、磯表面に沿って測った距離と各ブロックの水平距離(50 cm)との比である。これによると、斜面長比が1.6程度までは、その値が大きくなるほど、多様度指数も大きくなる傾向がみられるが、1.6以上になるとデータ数が少なくなるとともに、ばらつきも大きく、明瞭な傾向はみられない。しかし、多様度指数が0のものは、斜面長比が1~1.2の範囲に集中していることから、地形が単調な場所では、優占種が存在する可能性の高いことがわかる。

3.3 付着動物に及ぼす基質の影響

図-7は、94年5月から96年3月までの各調査日ごとに確認された供試体への付着動物種の累計数を示したも

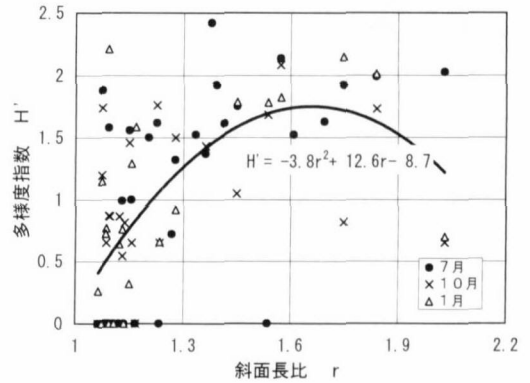


図-6 斜面長比と多様度指数との関係

のである。これによると、天然磯に設置した供試体には、コンクリートを除いて、設置後1カ月で動物が付着し始め、2カ月後にはすべての供試体に付着した。これに対して、人工磯のすべての供試体に動物が付着するのは、設置後4カ月を経過した8月である。そして、天然磯におけるいずれの供試体についても、付着種数は、設置後から増加傾向を示し、約1年経過した95年5月以降はほぼ一定になることがわかる。また、人工磯においても、天然磯のものと同様の傾向を示し、設置後1年目の95年4月以降はほぼ一定となっている。これは、いずれの磯においても、設置当初に比べて、供試体が周辺の環境に徐々になじんできたためと考えられる。さらに、天然磯と人工磯のものについて比較してみると、付着種数に関して顕著な差が現れている。これには、二つの理由が考えられる。一つは、人工磯に設置された供試体が、天然磯のものよりも、27 cm 高い箇所設置されているため、海水からの露出時間が長いことである。いま一つは、そ

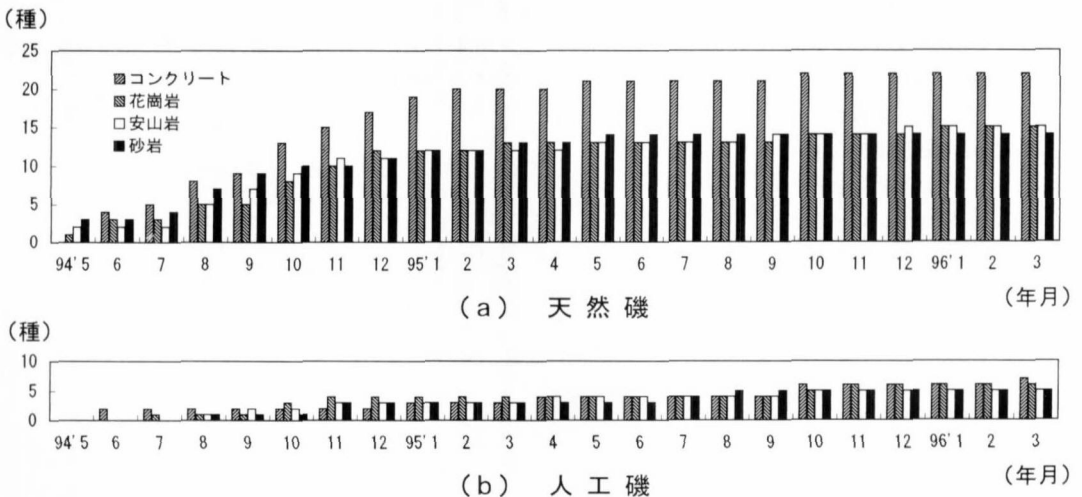


図-7 供試体に付着した動物の累計種数

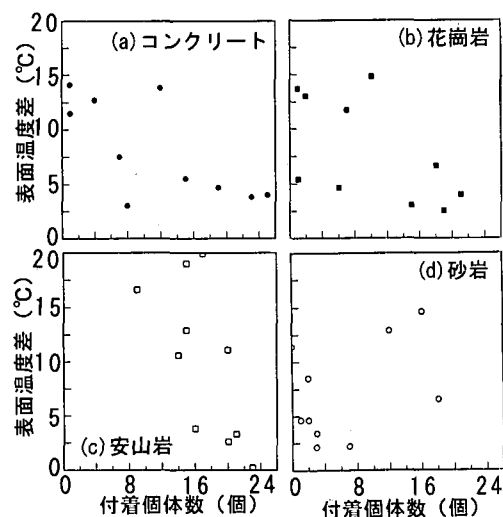


図-8 付着動物の個体数と表面温度差との関係 (天然磯)

れぞれの磯における生物相の違いによるものである。すなわち、人工磯は造成後数年しか経過しておらず、豊富な生物相を有する天然磯に比べると、その生物相が貧弱なことである。また、基質の違いによる影響については、天然磯では、コンクリートへの累計付着種数が22種で、他の供試体のものよりも著しく多いが、人工磯では、明瞭な傾向はみられず、前述した設置位置のレベルや生物相の違いによる影響のほうが大きいようである。図-8および9は、累計付着種数がほぼ一定となった、95年4月以降の各調査日ごとに確認された供試体への付着動物の個体数と供試体の表面温度差との関係であり、図-8は天然磯、図-9は人工磯についてのものである。なお、ここでの表面温度差とは、それぞれの供試体について測定した最高温度と最低温度の差である。図-8によると、砂岩を除いた、コンクリート、花崗岩、安山岩については、そのデータが全般的に右下がりになるような傾向で分布し、温度差が小さいほど、付着個体数は多くなることわかる。また、基質についてみると、安山岩に付着した動物の個体数が他のものよりも多くなっている。これにも、二つの理由が考えられる。すなわち、一つは、安山岩の供試体表面には、他のものに比べ、ひび割れや欠損部分が多いことである。いま一つは、安山岩は黒色であるために太陽光を吸収しやすく、他の基質に比べて、光の反射が小さくなり、光に対して敏感な軟体動物が付着しやすいものと考えられる。また、図-9によると、人工磯に設置されたいずれの供試体についても、その温度

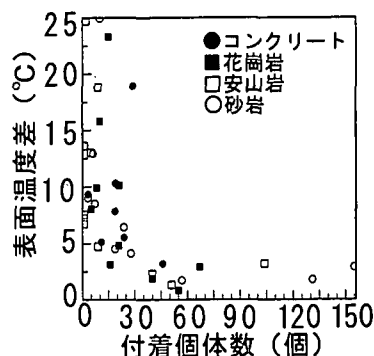


図-9 付着動物の個体数と表面温度差との関係 (人工磯)

差が小さいほど、付着個体数は多くなる傾向を示している。さらに、基質ごとにみると、コンクリートや花崗岩に比べて、安山岩や砂岩への付着個体数は多いことがわかる。しかしながら、人工磯の場合には、供試体への付着動物の個体数が多いとはいえ、その付着種数は、図-7にみられるように、天然磯に比べると極端に少なく、優占種が存在することが多い。

4. 結 語

以上、人工磯が多種多様な生物相を保持するための条件を、その地形と造成素材の面から、ある程度まで明らかにすることができた。

今後も、こうしたモニタリング調査を継続的に実施し、多くの有意なデータを得ることによって、生物との共生をめざした人工磯を造成する際の設計指針を確立していきたい。

最後に、本研究に際し種々のご協力をいただいた大阪府港湾局および公園課の関係各位、ならびに調査や資料整理を熱心にご手伝ってくれた豊中市の相良千尋、大阪府の松井利公、建設省近畿地方建設局の和田智子の諸君に謝意を表す。

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磯の生態工学的研究, 海岸工学論文集, 第42巻, pp. 1191-1195.
- 木元新作 (1976): 動物群集研究法 I, 共立出版, 192 p.
- 島田広昭・中村克彦・鉄川 精・井上雅夫 (1995): 人工磯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.