

生物との共生をめざした人工タイドプールの造成試案

Some Proposals on the Construction of Man-made Tide Pool Aiming at Coexistence with Marine Organisms

井上雅夫*・島田広昭*・柄谷友香**・鉄川 精***

Masao Inoue, Hiroaki Shimada, Yuka Karatani and Tadashi Tetsukawa

The purpose of this study is to clarify the best habitable conditions for marine organisms in a tide pool. From this view point, field observations on marine organisms and their life environment are conducted in the tide pools located at the both natural lagoon and man-made one.

It is found that the number of species of marine organisms in the tide pools located at natural lagoon is larger than that at man-made one. This depends on the roughness of side and bottom, the water depth and total volume of boulders scattered in the tide pool.

Keywords : man-made lagoon , tide pool , marine organism

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持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。現在、この人工磯は工事中であるが、その完成後には、せんなん里海公園の中核施設として、子供達が磯観察などを体験できるような環境教育の場としての利用が計画されている。これまで著者らは、この人工磯とその近傍にある天然磯において付着動物に関する現地調査を行ってきた。その結果、天然磯における付着動物の多様性が、いずれの季節においても、人工磯のものに比較すると高いことを示し、その理由の一つとして、天然磯におけるタイドプールの存在を挙げた¹⁾。

この研究の目的は、現在造成中の人工タイドプールにおける付着動物の多様性やその持続性を向上させるための方策を提案しようとするものである。

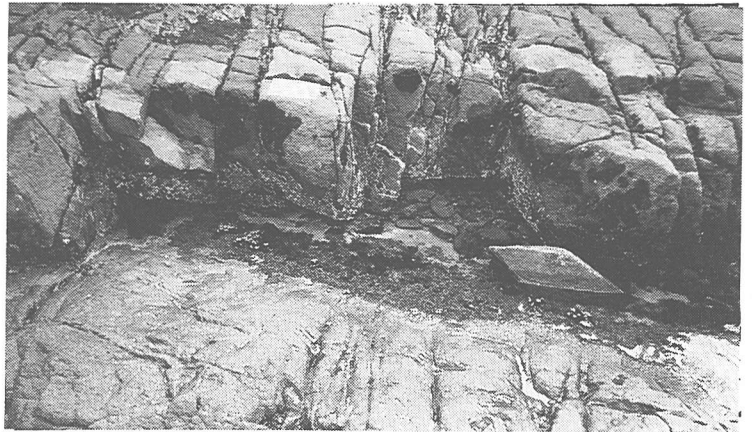


写真-1 天然磯のタイドプール

2. 調査内容

まず、前述の天然磯内に点在する種々の特性を有した11箇所のタイドプール(写真-1参照)と人工磯内に現在造成中のケーソン型タイドプール(写真-2参照)を対象として、付着動物の確認種数や個体数を調査した。なお、天然磯におけるタイドプールの特性は、表-1に示すとおりである。人工磯のタイドプールは、種々の大きさの断面を有するコンクリートケーソンを人工磯に埋設したものであり、その水深は1.0~3.2mで非常に大きい。続いて、人工タイドプールの壁面形状の検討を行うため、天然磯の波食溝で形成された段差部



写真-2 人工磯のタイドプール

* 正会員 関西大学工学部土木工学科 (564 吹田市山手町3-3-35)

** 学生員 京都大学大学院工学研究科

*** 関西大学工学部教養生物学教室

表-1 天然磯におけるタイドプールの特性

タイドプール名	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
護岸からの距離 (cm)	130	250	560	790	850	80	460	980	1,190	1,410	1,560
潮位基準面からの標高 (cm)	198	192	159	135	141	165	155	145	119	177	109
表面積 (㎡)	0.21	0.88	0.33	0.72	0.60	0.85	0.60	0.51	1.25	0.09	3.78
最大水深 (cm)	15	10	20	20	15	10	5	15	30	10	30

や人工磯の構成素材である岩石間の空隙において付着動物の多様性を調査した。さらに、人工タイドプールであるケーソンの中詰め砂礫の検討を行うため、天然磯と人工磯にそれぞれ存在する転石浜において、転石の粒径や付着動物の多様性を調査した。なお、タイドプールの調査は、95年7月から97年1月までの各季節ごとに実施し、波食溝の段差部や岩石間の空隙における調査と転石浜における調査は96年7月から97年1月までの間に4~6回行った。

3. 調査結果とその考察

3. 1 天然磯と人工磯のタイドプールにおける付着動物

まず、表面積、水深、構成素材および底側面の状態などが非常に異なった特徴を有する天然磯と人工磯のタイドプールにおいて確認された動物種に関して比較検討を行った。

図-1は、天然磯と人工磯のタイドプールにおいて確認された動物の種数を、その種類ごとに分類して示したものである。なお、これらの(a)、(b)、(c)および(d)図は、それぞれ96年5月、7月、10月および97年1月におけるものである。これらによると、人工磯のタイドプールにおける付着動物の確認種数は、いずれの季節も10種程度であるのに対し、天然磯のものには年間を通じて約20種が確認されている。また、確認された動物の種類については、天然磯のものには、いずれの季節においても、図中に示した4種類、すなわち刺胞、海綿、節足および軟体動物が確認されたのに対し、人工磯のものには、冬季や春季において節足および軟体動物しか確認できず、季節変動がみられるうえに多様性も低いものといえよう。この原因については、天然磯と人工磯におけるタイドプールの形状の違いによるものと考えられる。すなわち、人工磯における調査対象としたタイドプールは、前述したように1.0mとかなり大きく、なおかつ、その内部は完全に閉鎖されており、常に海水で満たされているため、タイドプールにおける海水の循環は非常に悪い。しかも、水深が大きいという、その側面は傾斜のない垂直壁であるため、底面に近いところでの日射量はかなり減少しているものと推測される。一方、このような人工磯のタイドプールに比べると、天然磯のタイドプールは水深や側面の状態などは、種々の動物の生息に対応できるだけの多様な環境要因を保持しているものといえよう。

そこで、このように豊富な生物相を保持している天然磯のタイドプールを生物の多様性という視点から考察し、タイドプールのもつ特性とそこにおける付着動物の多様性との関連について検討してみよう。この場合、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、ここでは、次式で表されるMacArthurの多様性指数 H' を用いることにした^{21, 31)}。

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

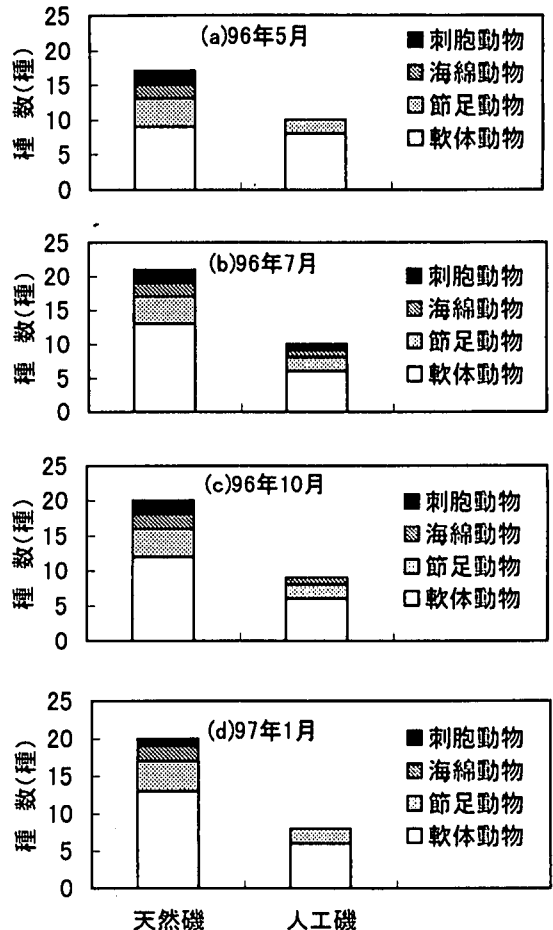


図-1 天然磯と人工磯のタイドプールにおける確認種

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-2は、多様度指数 H' と潮位基準面からの標高 H との関係を示したものである。なお、ここでは、タイドプールにおける動物の確認種数が、年間を通じてもっとも多い95年と96年のいずれも夏季（7月）のものを合せて示した。なお、後述する図-3および4についても、同じものを対象としている。図-2によると、その回帰直線は右下がりの傾向を示している。すなわち、その高さが低いところに位置するタイドプールほど、多様度指数は大きくなるのがわかる。この原因については、標高の高い位置に存在するタイドプールほど、干潮時における海水からの干出時間が長くなり、タイドプール中の水分蒸発やそれに伴う水温上昇などで生物にとって厳しい環境になるためと考えられる。

図-3は、多様度指数 H' と最大水深 h との関係について示したものである。これによると、水深が10cmのときのデータにばらつきがみられるが、その回帰直線は右上がりとなり、タイドプールの水深が大きいほど、多様度指数も大きくなる傾向を示している。しかし、この結果は、水深が最大のもでも約18cmであり、類似した水深のものが多いため、今後さらに種々の水深のものについて検討していく必要があろう。

図-4は、多様度指数 H' とタイドプールの底面の状態 r_b との関係を示したものである。なお、ここでの底面の状態の表現に際しては、タイドプールの底面に存在する転石の被度とその粒径範囲をそれぞれ表-2に示したように点数に置き換え、その合計を評価点数として用いた。これによると、底面の状態に関する評価点数が大きいほど、多様度指数も大きくなるのがわかる。この原因については、大小さまざまな転石が存在することによって、草食動物の餌となる微小藻類や藻類が多く付着するだけでなく、波浪や日射の直接的な影響を和らげ、捕食者の目から逃れられるよい隠れ家となるためと考えられる。なお、転石と付着動物とのより詳細な関連性については後述する。

3. 2 波食溝の段差部と付着動物の多様性

磯浜における付着動物の多様性を向上させるうえで、タイドプールは重要な役割を果たしているが、これらの多くは波食溝の段差部に形成されている。ここでは、天然磯の波食溝で形成された段差部における付着動物の多様性について、その壁面の状態などから検討を行う。

まず、図-5(a)に示すように、段差部を上段水平部と垂直部に分類し、それぞれブロックNo. 1および2と定義した。また、段差部における壁面粗度の違いが、付着動物の多様性にどのような影響を及ぼしているのかを明らかにするため、供試体を用いた調査結果と比較検討した。供試体は、図-5(b)に示すように20×25×20cmの平滑な表面

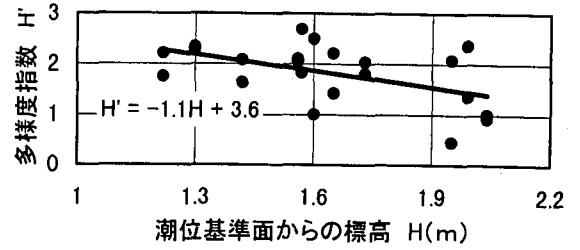


図-2 タイドプールにおける多様度指数と標高との関係

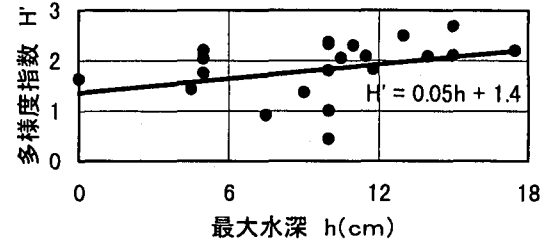


図-3 タイドプールにおける多様度指数と最大水深との関係

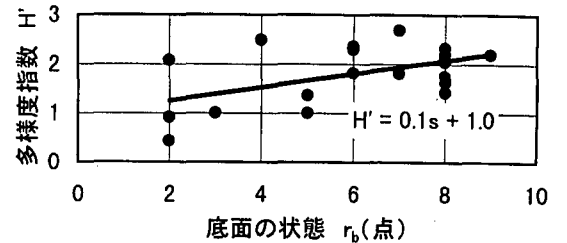
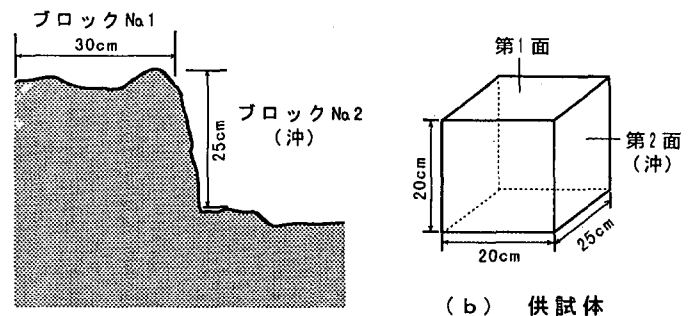


図-4 タイドプールにおける多様度指数と底面の状態との関係

表-2 底面状態に関する評価点数

転石の被度 (%)	点 数	転石の粒径 (cm)	点 数
0 ~ 20	1	1 以下	1
21 ~ 40	2	2 ~ 5	2
41 ~ 60	3	6 ~ 10	3
61 ~ 80	4	11 ~ 15	4
81 ~ 100	5	16 ~ 20	5



(a) 段差部の海浜断面

図-5 磯浜の段差部と供試体

をもつ直方体であり、天端を第1面、垂直面を第2面と定義した。また、その基質は天然礫と同じ砂岩とし、対応させる段差部とほぼ同じレベルのところに設置した。したがって、垂直部である供試体の第2面と段差部のブロックNo.2を、また、水平部である供試体の第1面と段差部のブロックNo.1をそれぞれ対応させて比較検討することができる。

図-6および7の黒色で示した棒グラフは、段差部の垂直部および水平部における表面温度と付着動物の多様度指数を96年の各調査日に示したものである。

これらによると、まず、表面温度については、いずれの調査日においても、図-6(a)に示した垂直部であるブロックNo.2におけるもののほうが、図-7(a)に示した上段水平部であるブロックNo.1におけるものよりも低くなっている。これについては、垂直部は上段水平部に比べると、直射日光の当たる面積が狭く、なおかつ地形が複雑であり、日陰になる部分が多いためと考えられる。一方、多様度指数については、いずれの調査日においても、図-6(b)に示した垂直部におけるもののほうが図-7(b)に示した上段水平部のものに比べて、かなり大きい値を示している。このことから、段差部のなかでも表面温度の低い垂直部が、多種多様な動物にとって、より生息しやすい環境であることがわかる。

さらに、図-6および7には、供試体の垂直部および水平部における表面温度と付着動物の多様度指数について、白色の棒グラフで示した。図-6(a)によると、表面温度は、供試体の第2面よりも段差部のブロックNo.2のほうが、いずれの調査日においても低くなっていることがわかる。このように表面における温度差がみられるのは、供試体の表面形状が凹凸もなく平滑であり、段差部のブロックNo.2における地形のほうが、このような供試体の表面よりも複雑なためである。また、図-6(b)に示した多様度指数については、供試体の第2面では、いずれの調査日においても0であり、段差部のブロックNo.2におけるもののほうが、かなり大きい値を示していることがわかる。したがって、多種多様な動物が生息する条件としては、同じ垂直部であっても、表面温度が低く、なおかつ、そこにおける地形がより複雑なものであることがわかる。図-7によると、7月14日の表面温度と9月25日の多様度指数について、段差部と供試体のものでいずれも若干の差異がみられるが、他のものについては、ほとんどそのような差異はみられない。これについては、段差部のブロックNo.1の地形が、供試体の第1面と同様に、非常に単純であるためと考えられる。

図-8(a)および(b)には、人工礫の構成素材である花崗岩の間にできる空隙部R1、R2、R3およびR4での8月29日と10月24日における付着動物の多様度指数を示した。これらによると、夏季と秋季のいずれについても、空隙部の底面よりも側面における多様度指数のほうが大きいことがわかる。

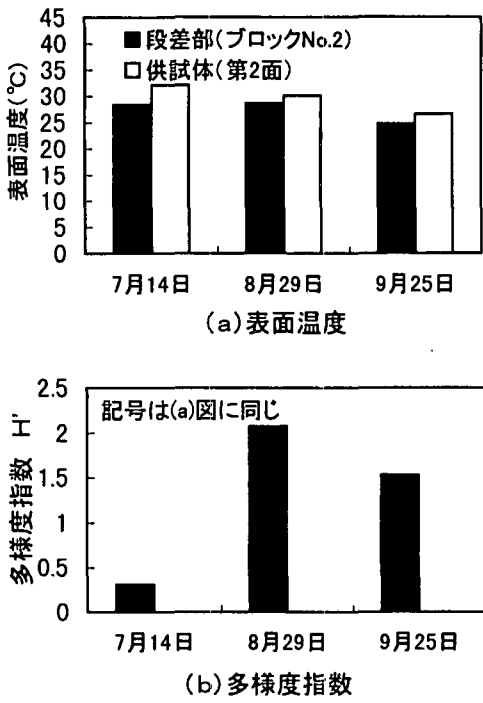


図-6 段差の垂直部における表面温度と付着動物の多様度指数

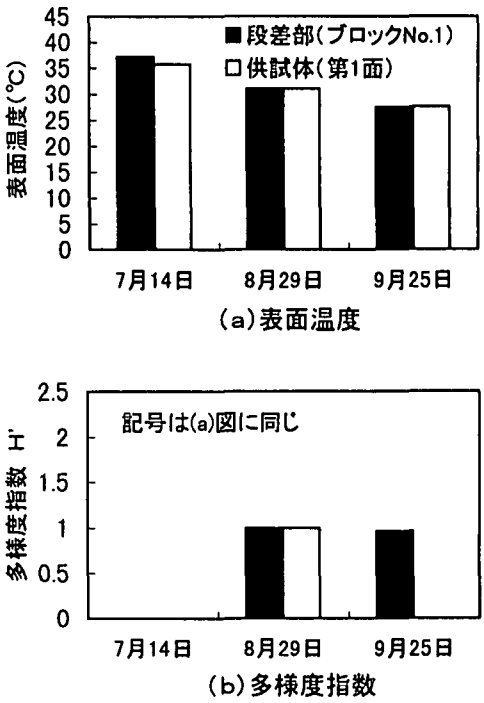


図-7 段差の水平部における表面温度と付着動物の多様度指数

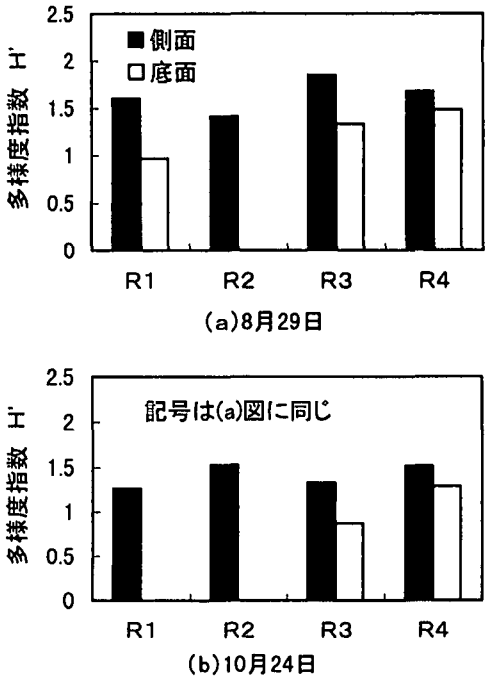


図-8 岩石間の空隙部における付着動物の多様度指数

以上、これらの結果より、波食溝などで形成される段差部や岩石間の空隙において、多種多様な動物が生息しているのは地形が複雑な垂直部であることが明らかになった。

3. 3 転石と付着動物の多様性

タイドプールに存在する転石は、図-4に示したように、そこにおける付着動物の多様性に大きな影響を与えている。ここでは、人工タイドプールであるケーソンの中詰め砂礫の基礎的な資料を得るため、転石の粒度組成と付着動物との関係について検討を行った。

図-9および10は、天然磯と人工磯にある標高がほぼ等しい転石浜における粒度組成とその断面を模式的に示したものである。これによると、図-9に示した天然磯のものは表層の転石の下に粒径が128mm以下の砂利層が存在している。これに対して、図-10に示した人工磯のものは粒径が128mm以上の転石の下に砂利層はなく、その下部は直接砂層になり、転石はその粒径が128mm以上のものだけである。

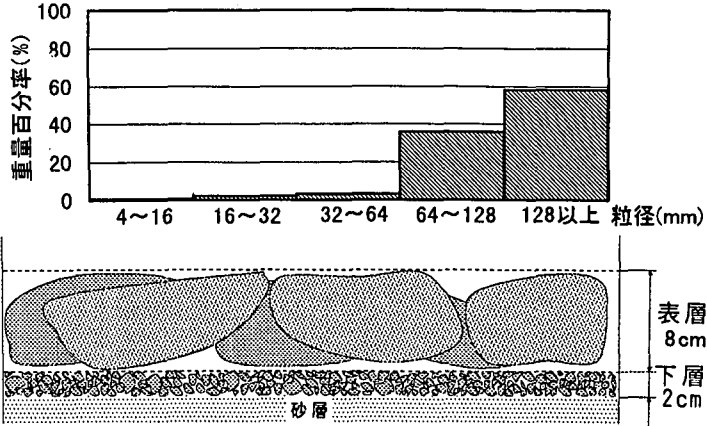
表-3には、こうした天然磯と人工磯の転石浜における夏季（7月）から秋季（10月）にかけての生息動物の種数、個体数および多様度指数を示した。これによると、天然磯での確認種数と個体数は、8～9種で約70～240個であるのに対し、人工磯では3～5種で約60～100個である。このように、天然磯のもののほうが人工磯のものに比べ、種数と個体数のいずれについても多くなっている。

したがって、多様度指数についても、天然磯ではいずれの調査日も2以上であるが、人工磯ではいずれも2以下である。これについては、天然磯と人工磯そのものの生物相の違いによる影響もあるものと思われるが、転石の下に存在する砂利層の影響も考えられる。

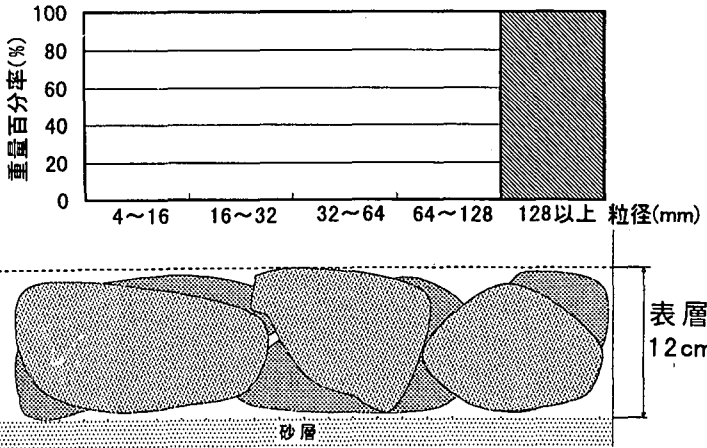
表-4は、図-10に示した測点よりも標高が約50cmだけ高いところにおける付着動物の種数、個体数および多様度指数を示したものである。なお、この測点は転石がまったくなく、砂層のみである。この表-4と表-3の人工磯のものを比較すると、多様度指数は、いずれの調査日のものについても、表-3に示した転石の存在するもののほうが大きい。このように、付着動物の多様性の向上に転石の存在が大きく寄与していることが明らかになった。

4. 結 語

人工磯における生物の多様性を向上させるためには、タイドプールの設置がきわめて効果的であるという立場から、人工タイドプールの造成に際して必要な基礎資料を得る目的で、二、三の現地調査を行ってきた。ここでは、これらの結果と著者らのこれまでの一連の調査結果”とに基づいて、現在、せんなん里海公園の人工磯に造成



図－9 転石浜における底質の粒度分布と断面模式図（天然磯）



図－10 転石浜における底質の粒度分布と断面模式図（人工磯）

表－3 天然磯と人工磯にある転石浜での生物相の比較

	天 然 磯			人 工 磯		
調 査 日	7月31日	9月25日	10月23日	8月1日	9月25日	10月24日
種 数	8	9	8	3	4	5
個 体 数	68	240	156	97	78	59
多様度指数	2.4	2.2	2.1	1.4	1.6	1.9

表－4 人工磯にある転石浜での生物相

	人 工 磯		
調 査 日	8月1日	9月25日	10月24日
種 数	1	0	2
個 体 数	4	0	88
多様度指数	0	0	0.6

されつつあるケーソン型タイドプールでの付着動物の多様性やその持続性の向上にむけた方策を以下のように提案する。

1) 生物が日射や乾燥、波浪などから身を守ることができるような環境を創り出すために、タイドプールの側面には凹凸をつけ、その形状を天然磯のタイドプールにみられるような複雑なものにする。

2) タイドプールの側面には、その底面にまで適度な日射の影響が及ぶように、緩傾斜の勾配をもたせる。また、このことは、タイドプールを磯観察の体験フィールドとして利用する際にも有効である。さらに、底面も水平にはしないようにする。

3) 現在、人工磯におけるタイドプールの水深は1.0～3.2mもあり非常に大きい。今後、人工磯を環境教育の場として利用していく際の安全性やタイドプール内の海水循環などを考慮すると、水深を現在のものよりもかなり小さくする必要がある。また、水深によって生息する生物相が異なることを考慮すると、タイドプール内に段差を設け、ソーニングをしながら水深に変化をもたせることも一つの有効な方策であろう。

4) ケーソン型人工タイドプールのなかに投入する砂礫については、粒径の均一なものではなく、上層には粒径の大きな転石、その下層には粒径の小さい砂礫を置き、転石や砂礫間の空隙に変化をもたせる。

5) タイドプールの造成素材には、現在、人工磯で用いられているコンクリートだけではなく、特にタイドプールの表面は「里海」というコンセプトにも合致するように可能な限り天然の基質を用い、コンクリートと併用することが望ましい。

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や公園課の関係各位、ならびに調査や資料整理を熱心に担当し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、建設省土木研究所の大場律子、山口県の河村洋和、国際航業㈱の横崎仁美、関西大学大学院の桜井秀忠および佐伯建設工業㈱の西川 猛君など、当時の学生諸君に謝意を表す。なお、この研究は、近畿建設協会研究開発助成金による研究の一部であることを明記して深謝する。

参 考 文 献

- 1) 井上雅夫・鉄川 精・島田広昭・柄谷友香：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，海岸工学論文集，土木学会，Vol. 43，pp. 1166-1170，1996. 11.
- 2) 木元新作：動物群集研究法Ⅰ，共立出版，p. 192，1975.
- 3) 木元新作・武田博潤：群集生態学入門，共立出版，p. 198，1989.
- 4) 井上雅夫・鉄川 精・島田広昭・柄谷友香：生物との共生をめざしたタイドプールの造成に関する現地調査，海洋開発論文集，土木学会，Vol. 12，pp. 479-484，1996. 6.