

# 人工タイドプールの開発

## DEVELOPMENT OF ARTIFICIAL TIDE POOL UNITS

綿貫 啓<sup>1</sup>・廣瀬紀一<sup>2</sup>・長谷川 実<sup>1</sup>・高橋邦正<sup>2</sup>・古澤 晃<sup>2</sup>

Akira WATANUKI, Norikazu HIROSE, Minoru HASEGAWA, Kunimasa TAKAHASHI  
and Akira HURUSAWA

<sup>1</sup>工修 株式会社テトラ (〒160-8350 東京都新宿区西新宿6-3-1)

<sup>2</sup> 株式会社テトラ (〒160-8350 東京都新宿区西新宿6-3-1)

The natural coast continues to undergo changes, but structures such as seawalls now serve only one purpose, i.e. protection. In recent years, as ecofriendly structures are desirable, artificial rocky beaches are now projected as places of recreation where people can learn about shorelife. Unfortunately, in many cases, due to the lack of storing water in rocky beaches at low tide, the biota therein shows little diversity. Observation of a natural beach was conducted at Kominato in Chiba. Tide pools provide very valuable, habitats for seaweed and sea creature. They have the important function of not only storing water, but also providing micro-topographies in the pool such as cracks, crevices and pits. Accordingly, new artificial tide pool units have been developed, which fill up with seawater during the ebb tide to ensure suitable micro-topography for shorelife. An example of the design method of such a system is provided.

**Keywords:** Artificial rocky beach, Marine organisms, Tide pools

### 1. はじめに

沿岸域の整備に際して、防災機能だけでなく、親水性、自然環境との調和、とりわけ生物との共生への配慮に対する要請が強まっている。これまで汀線際に設置された構造物は、天然の海岸線を減少させ、本来の陸と海との間に連続的に変化する生態系を分断するものも少なくはなかった。このような要請や反省から、砂浜では養浜等の人工海浜の計画時に、二枚貝の増殖やウミガメの産卵等に配慮がなされるようになってきた。

岩礁海岸については、内湾域や比較的静穏な海域において、レクリエーションの場、親水空間、生物の生息場として、人工磯の施工が増えてきている。しかしながら、これまでの人工磯は、景観機能を重視した施設が多く、潮間帯に生息する生物を対象とはしているものの、多様な生息空間の形成に対する配慮は必ずしも十分とは言えない。

そこで、著者らは、天然岩礁海岸の生物分布調査を実施し、岩礁域において生物相が多様な「潮だまり(タイドプール)」に着目した。タイドプールについては、人工磯と天然磯との生物分布の比較に関する先駆的な調査でも、その重要性が指摘されている<sup>1)・2)</sup>。ここでは、天然岩礁での生物分布の特徴を整理し、人工磯の生物相を豊かにする手段として、

天然の岩礁を模倣したプレハブ式の人工タイドプールを考案したので、その経過と利用方法の検討結果を示す。

### 2. 人工磯の事例調査

人工磯は、全国的に見るとその事例はまだ少ない。著者らが現地踏査した人工磯の施工事例を表-1に示す。

外海に面した人工磯はなく、内湾もしくは防波堤等の背後の比較的静穏な場所に立地している。背後に海浜公園や海岸の散策道が隣接するケースが多く、海釣りや磯遊びなどのレクリエーション機能が期待され、親水性や景観の演出に重点が置かれている。

材料は、大井埠頭のように内湾であれば、砂礫も使用されるが、波浪がやや厳しい場所では、安定性の確保から500kg内外から数tの捨石が使用されている。同サイズの捨石を敷き詰める場合、捨石間に複雑な空隙ができるものの、類似した空隙になり、生物の生息空間としては多様性に欠けると推察された。

汀線の平面形状は、航路に面した埋め立て護岸では沖に張り出せず、捨石の複雑さは有するが、直線的な海岸地形となっている。構造物上の付着生物の分布を制限する物理条件は、構造形式と波浪の大き

表-1 主な人工磯の施工事例

地区名	特徴
相馬港 原釜地区	500kg内外の捨石を敷き詰め、親水性を高めた磯遊びのための施設。岬や入り江風の海岸地形を表現。
東京港 大井埠頭中央海浜公園	大小さまざまな捨石を並べている。砂礫が混合し、地形の多様性があり、一部干潟化している。内湾の生物が豊か。
東京港 若洲海浜公園	500kg～5t程度の捨石を並べ、海釣りや磯遊びをめざした施設。護岸に沿った直線的な海岸。
横浜港 金沢地区海の公園八景島	500kg～5t程度の捨石を並べ、遊歩道や階段護岸に隣接して親水性を高めている。海岸線は起伏を持たせ、小規模なコンクリート製タイドプールも設置。
三河港 三河臨海緑地	500kg～2t程度の捨石を並べ、複雑な海岸地形を表現。背後の公園と一体となった造園的なデザイン。
敦賀港 鞠山北地区	大水深の護岸の上部に500kg内外の捨石を張った構造。階段護岸やデッキを設け、親水性を高めている。
大阪港 舞洲地区	50kg～1t程度の捨石を並べ、10t程度の巨石を部分的に配置。遊歩道や階段護岸に隣接して親水性を高めている。護岸に沿った直線的な海岸。
大阪府 淡輪・箱作海岸	小礫の礫浜や500kgから巨石までの磯浜を配置し、複雑な海岸地形を表現。ケーソンタイプの大小のタイドプールを設け、生態系保全、自然観察の場をめざした施設。

さの影響が強く<sup>3)</sup>、直線的な海岸では波当たりがほぼ均等であるので、付着生物の量や種に変化がなくなると推測される。事例の中でも、フナムシ、イワフジツボ、カニ類、ラン藻綱、珪藻綱のみの比較的単調な生物相が続く人工磯も見られた。一方、海岸地形が複雑な事例では、波当たりには差が生じ、それに応じて生物相も変化しているものと考えられる。

捨石は碎石がほとんどで、石の表面は凸部が多く、窪みや亀裂が少ない。したがって、干潮時の貯水機能がほとんどなく、干出した部分はラン藻綱、珪藻綱あるいはアオノリ属の限られた藻類と、フジツボ類やカキなどの耐乾性の付着生物が多く観察される程度で、他は巻貝類やカニ類などの移動性の動物であった。一方、人工磯に貯水性のあるタイドプールが存在すると、タイドプール内には海藻類が多く分布し、逃げ遅れた小魚や乾燥に弱い生物も見られ、生物相を多様にしている。

### 3. 天然磯の生物調査

人工磯踏査の結果、生物相を豊かにするには、干潮時でも貯水され、干出しないタイドプールの存在が大きいことが想定された。そこで、人工磯の計画に際し、タイドプールを含む天然磯の生物相の実体を把握する現地調査を行った。

#### (1) 調査方法

本調査では、千葉県安房郡天津小湊町にある千葉大学理学部付属海洋生態系研究センター小湊実験場付近に分布する天然岩礁を対象とした(図-1)。安房層群天津層に位置し、青灰色から緑色の泥岩を主

体とした地層である<sup>4)</sup>。

岩盤には大小様々なタイドプールが存在するが、これらを含めるように潮間帯上部から下部まで、ラインを張り、幅50cmのベルトトランセクトによる生物の被度調査を行った。地形の測量はレベルを用いた。波の入射方向は南～東である。ラインAは波当たりの強い岩礁で、ラインBは波当たりが比較的穏やかな岩礁である。

次に、ラインA近傍の9個のタイドプール内の生物の被度調査と各プールの水面の平均海面からの高さを測定した。これらの調査は、平成9年8月6日と7日の干潮時に実施した。

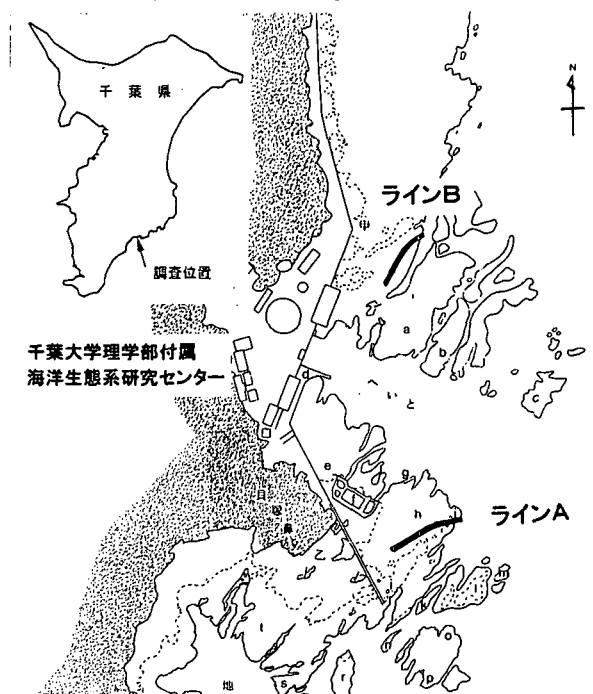


図-1 調査位置(天津小湊町)と調査ラインの位置

## (2) 岩礁上の生物分布の調査結果

図-2, 3に各ラインに沿った地形と幅50cmに分布する生物の被度(%)の分布を示す。

ラインAには6個のタイドプールが含まれている。各タイドプールの外縁の干出する部分は、MWL以上ではラン藻綱、珪藻綱が優占し、動物ではカラマツガイ、シロカラマツガイ、イワフジツボ等の耐乾性の種が分布しているが、種類数は少ない。

タイドプール内には貯水性があるため海藻類が分布し、地盤の高いタイドプール①では珪藻綱、その下方のタイドプール②ではアオノリ属、さらに、平均水面の高さに近いタイドプール③では立体的な褐藻のウミトラノオ、紅藻のピリヒバ、動物では濾食性のカイメンが出現している。MWL以下のタイドプール④～⑥になると、海藻類の種類がさらに増え、立体的な海藻類により複雑な空間が形成され、ヨロイソギンチャクや藻食性のヒザラガイが出現し、動物も多くなる。

波当たりの小さいラインBでも、干出する部分にラン藻綱・珪藻綱、およびこれらの微小藻類を餌とするウノアシガイが分布している。タイドプールには海藻類が優占するが、波当たりが小さいため、波当たりが大きな海岸に多く分布するヒジキやウミトラノオ等の大型の海藻の被度は小さく、無節サンゴモやピリヒバ、ソゾ属(⑤～⑦)が優占している。

以上のように、天然磯で干潮時に干出する部分はラン藻等の微細藻類とカラマツガイなどの耐乾性の動物が分布するのみであるが、タイドプールが存在すると、その貯水性から、海藻類が繁茂し、動物も多く、多様な生物相を形成することがわかる。

また、タイドプールの位置する高さや波当たりの強さによって、分布する生物の種組成が変わるので、人工磯の計画に際し、タイドプールの波当たりの異なる場所や設置高さにバラエティーを持たせることで、個々に種組成の異なる生物相を優占させ、生物相の多様な人工磯が形成させ得る可能性があると考えられる。

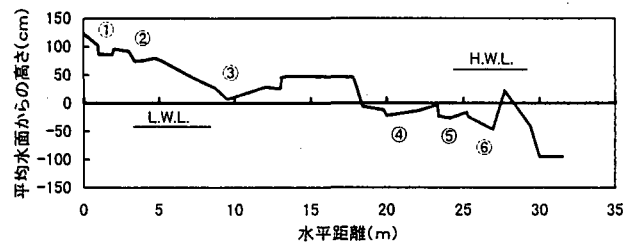
## (3) タイドプールごとの生物調査結果

表-2にラインA付近における大小9個のタイドプール内に分布する生物の被度をタイドプールの水面高さが低い順に示した。また、図-4にタイドプールの水面の平均海面上の高さと海藻類の累積被度および海藻、動物の種数の関係を示した。ここでは、被度は各タイドプールの底面積における各生物の占める割合を示す。また、累積被度は小型から大型海藻まですべての海藻ごとの被度を合計したものであるため、100%以上になり得る。

表-2によると、平均海面から19cm上に水面のあるタイドプール①には砂が堆積しており、海藻類の被

度は低い。また、30cm上のタイドプール②では礫が堆積しているが、礫の安定性がやや高いため、海藻類が付着している。砂礫が堆積していない場合には、図-2, 3に見られたように、これらの高さのタイドプールでは褐藻のウミトラノオが着生するはずである。

タイドプール内に石があると生息する動物の多様性が上がることが指摘されている<sup>2)</sup>。確かに、動物や魚の隠れ場として安定な石は有望と考えられるが、このタイドプールに見られるように、不安定な石あるいは砂利などが堆積するタイドプールでは、波による底質の移動で生物、特に移動できない海藻類は生育しにくくなるので注意が必要である。



ランソウ綱  
珪藻綱  
アナアオサ  
アオノリ属  
ヒジキ  
ヤツタマク  
ホンダワラ  
ウミトラノオ  
アズマネジモ  
無節サンゴモ  
ピリヒバ  
イバラノリ  
カイメン  
イボツノマタ  
ソゾ属  
ムラサキカイメン  
ヨロイソギンチャク  
ヒザラガイ  
ウノアシガイ  
イボニシ  
シロカラマツガイ  
シロカラマツガイ  
イワフジツボ

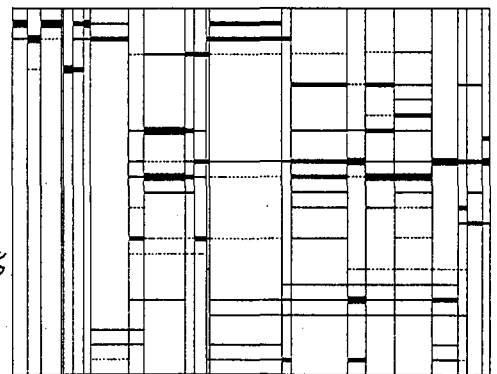
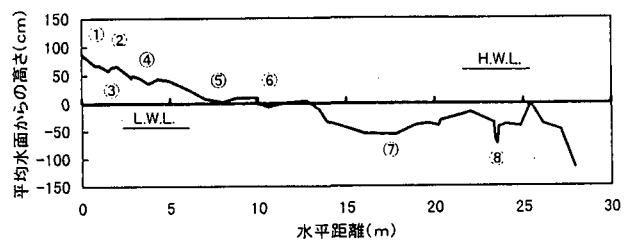


図-2 ラインAに沿った被度(%)分布



ランソウ綱  
珪藻綱  
アナアオサ  
ポタンアオサ  
シオグサ属  
イシゲ  
ヒジキ  
オオバモク  
ホンダワラ  
ウミトラノオ  
ハイテングサ  
無節サンゴモ  
ピリヒバ  
イソダンツウ  
ソゾ属  
ウノアシガイ  
スガイ  
イボニシ  
シロカラマツガイ  
イワフジツボ  
クロフジツボ  
ヤドリ

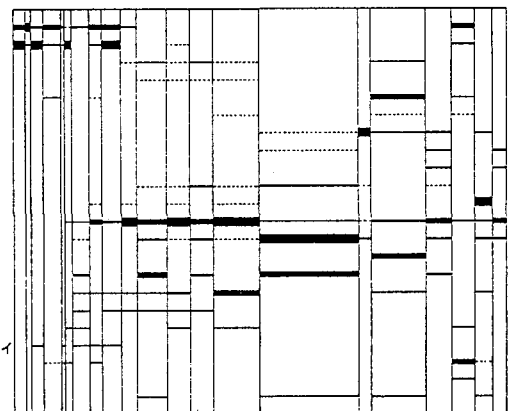


図-3 ラインBに沿った被度(%)分布

平均海面上35cmのタイドプール③, ④ (深さ30~60cm) では褐藻類や紅藻類が分布し、貝類の種類数も多い。図-4においてもその傾向が明らかである。また、魚類のアゴハゼもプール内に取り残されていた。平均海面から44cm以上の高さのタイドプールでは緑藻が優占するが、日射や降雨等で水温や塩分が激しく変わる不安定な環境であり動物は少ない。この海岸のHWLは+60cmであるが、それより20cm以上高いタイドプールでも緑藻が分布している。これは、波による打ち込みによるものと考えられる。

図-2, 3, 4や表-2の結果を総合すると、MWL前後およびそれ以深では褐藻類が分布し、+35cm前後では海藻類に加え、動物の種類数も増える。さらに、+40~HWL前後では緑藻が主体のタイドプールになる。したがって、人工磯の計画に際し、タイドプールの高さを選定すれば、個々に異なる生物相のタイドプールとすることができると考えられる。

この海岸では、MWL付近、+30cm付近、HWL付近のように、高さに20~30cmの差を持たせたタイドプールを設置すると、生物相の異なるタイドプールが形成できると考えられる。

#### (4) 岩礁の微地形と付着生物の関係

タイドプールの外縁の干潮時に露出する部分には、前述したように、カラマツガイなどの耐乾性の動物が分布するが、天然岩盤には亀裂や窪みなどの微地形が存在し、ここは水をたたえるためになかなか乾燥しない。

今回の観察では、幅2~5cm程度の亀裂には、カメノテ、イシダミガイが多く、亀裂の奥にはイソガニやイソギンチャク類が潜んでいた。また、幅5~6cm程度で深さ1~2cm程度の窪みには、ヒザラガイやスガイ、イシダミガイ、ウノアシガイなどのやや耐乾性のある貝類が競い合って付着していた。図-5にラインAのMWL以下のタイドプール④~⑥に分布しているヒザラガイの生息する窪みの短径と長径の関係を示す。長径の約7割が短径であり、この大きさはおおむねヒザラガイ1個の大きさに匹敵しており、自分の体の大きさに合った窪みを選択していると考えられる。

このように、干潮時に干出する部分でも微地形を再現することによって、さらに生物相を豊かにすることが可能である。定性的ではあるが、これらの生物は、岩盤表面に入っている水平な亀裂より、鉛直上下方向の亀裂に多く生息している傾向にあった。これは、これらの生物がいずれも乾湿の状況に応じて最も生息しやすい高さを選択するので、鉛直方向の亀裂の方が選択の自由度が高いためと考えられる。

なお、亀裂については、タイドプール内からの生物の移動の連続性を考慮して、内部にも亀裂状の溝

表-2 各タイドプール内の生物の被度

種類	平均海面からの高さ(cm)								
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
藻類	19	30	35	35	44	56	68	80	87
緑藻	10.0	3.4	5.4	2.7	2.8	1.1	1.0	0.8	0.5
褐藻	4.2	2.9	4.1	0.9	0.9	0.5	0.6	0.6	0.4
紅藻	0.70	0.40	0.60	0.28	0.20	0.10	0.13	0.07	0.09
長径×短径(m <sup>2</sup> )	42.0	9.9	22.1	2.4	2.5	0.5	0.6	0.5	0.2
海藻類						30	10		
珪藻類						5			
緑藻	アナアオサ			+			10		
	アオリ属		+				20	75	10
	シオブサ属					80			+
褐藻	ウミウチワ	20							
	コナクミウチワ		20						
	ヤヅタモク	5							
	ウミトランゴ	10	+	50					
紅藻	無節サンゴモ			+		5			
	ピリヒバ	+	20	40	50				
	イバラリ	+		+	10				
	カイリ		5						
	クロツツ		5						
	ソソsp.	10		+					
貝類	キクコザラガイ					○			○
	ウノアシガイ								○
	スガイ	○		○	○				
	アマオブネガイ				○				
	オオヘビガイ		○	○					
	イボニシ				○				
	イワガキ		○	○			○		
	ヒザラガイ			○			○		
	カラマツガイ			○	○		○		○
	ムロウガイ			○					
	ニナ類	○			○	○			
その他の動物	ムラサキカイメン				○				
	ウスマキゴカイ				○				○
	カンザシゴカイ科		○						
	イワフジツボ						○		
	ヤドカリ	○	○		○				
	イソガニ							○	
魚類	アゴハゼ		○	○	○				
砂礫	砂	100							
	礫		40						

注) 単位は%、○印は確認を意味する

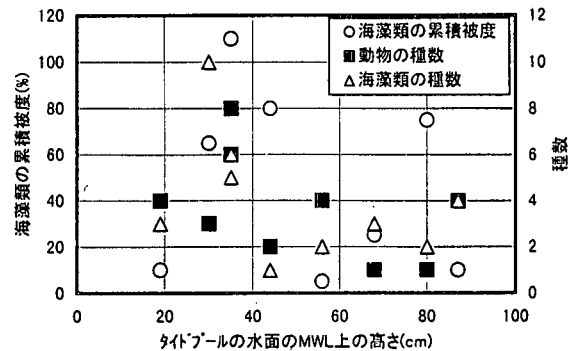


図-4 タイドプールの高さと生物分布

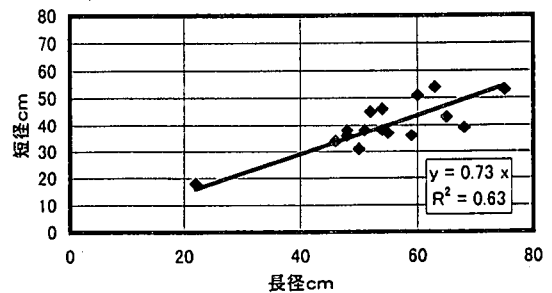


図-5 ヒザラガイが生息する岩礁の窪みの長径と短径の関係

を配することが望ましく、匍匐性の貝類、ヤドカリ類、イソガニ類などの移動性の動物の害敵からの逃げ場を提供できるものと考えられる。また、亀裂は乾燥しにくく、保水性があるので、干出しても珪藻やラン藻のみでなく、緑藻類の着生が期待できる。

#### 4. 人工タイドプールの開発

##### (1) 人工磯の生物相を豊かにするための条件

天然岩礁の調査結果から、人工磯の生物相を豊かにするための条件を以下にまとめる。

- ①干潮時に、貯水機能を有する深さ30~60cmのタイドプールを確保する。
- ②タイドプールの設置高さを、潮間帯の中で2~3通りに選定する。
- ③波当たりの強さの異なる位置にタイドプールを設置して、物理的外力の差による生物分布の多様性を出す。
- ④タイドプールの干出部分は微地形を再現して、窪みや亀裂を設ける。窪みは5~6cm、深さ1~2cmとし、亀裂は幅2~5cmで鉛直方向が望ましい。
- ⑤タイドプール内の動物を多くするには、波で動揺しない安定な石を設置する。

従来の人工磯は経済的な理由から捨石を使用している。人工磯踏査でも述べたが、捨石では凸面が多く保水・貯水機能に欠け、また、個々の碎石を並べても貯水機能のあるタイドプールはできない。したがって、貯水性を確保するコンクリート構造物によるタイドプールと、経済的な捨石の組み合わせが望ましいものと考えられる。

##### (2) タイドプールユニットの考案

以上のように、人工磯の生物相を豊かにするために、コンクリート製のタイドプールユニット(図-6)を考案した。

ユニット化した理由は以下のとおりである。

- ①潮間帯の潮待ち作業なので、コンクリートの場所打ちではなく、施工が短期間で容易なプレハブ化が望ましい。
- ②潮間帯では大きな重機が利用しにくいので、重量が軽い小型のブロックがよい。
- ③タイドプールの全体形状が一樣であると、景観上望ましくない。種々の形状のタイドプールが形成できることが望ましい。

この条件を満足させるため、タイドプールを5種類のモジュールで表現することとし、各々をユニット化した。特徴は次のとおりである。

- ①5種類のユニットを並べることで、最大深さ50cmで任意の形状のタイドプールが形成できる(図-7)。
- ②ユニットは1辺が2mで、重量は約3~5tで軽量である。なお、設計条件に応じて、ユニットの基盤を厚くすることで重量を増加させ、波浪等の外力に対する安定性を増すことが可能である。
- ③ユニット相互を連結し、目地処理を施すことで貯水機能を持たせている。

④鉄筋コンクリート製であるが、表面は天然岩盤から型をとり、岩表面の微地形(亀裂や窪み)を忠実に再現する擬岩工法を用いている。

⑤表面は顔料を混練りしたCFRC(炭素繊維補強コンクリート)で耐久性がよく、周辺の岩の色に一致させることができるので、景観を阻害しない。

⑥捨石マウンド上に設置するので、マウンドの高さを調節することで、設置高さを自由に变化させることができる(図-8)。

図-9にユニット9個(重量3~5t/個)を用いた試作事例を示す。目地を止水処理しており、貯水機能がある。タイドプールの表面は、亀裂や窪みのある天然の岩礁表面の微地形を模写した。また、亀裂は幅2~5cmとし、できるだけ鉛直(上下)方向に配置し、干出する外縁部分の上面には、ヒザラガイやシダタミガイが着生しやすいように、幅5~6cmで深さ1~2cmの窪みを配置した。

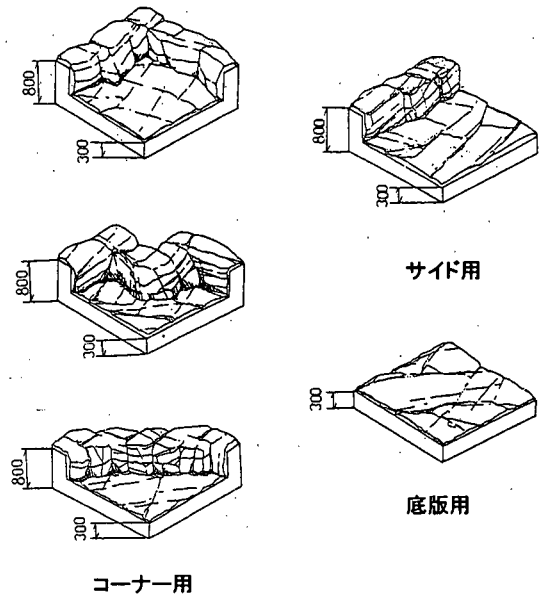
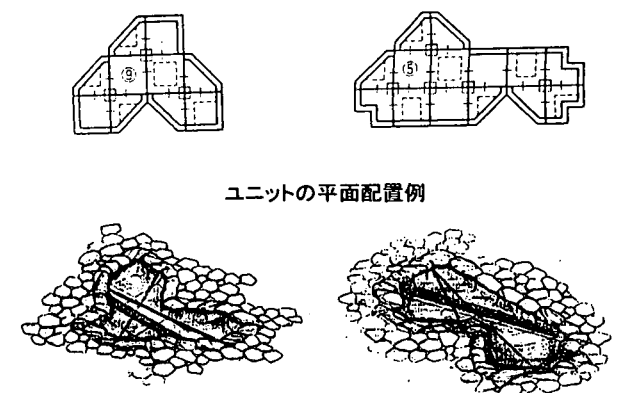


図-6 5種類のタイドプールユニット



配置例の鳥瞰図

図-7 ユニットの組み合わせ例

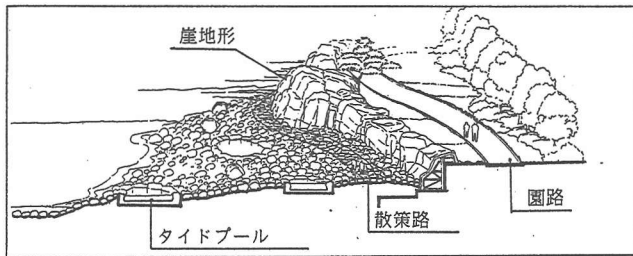
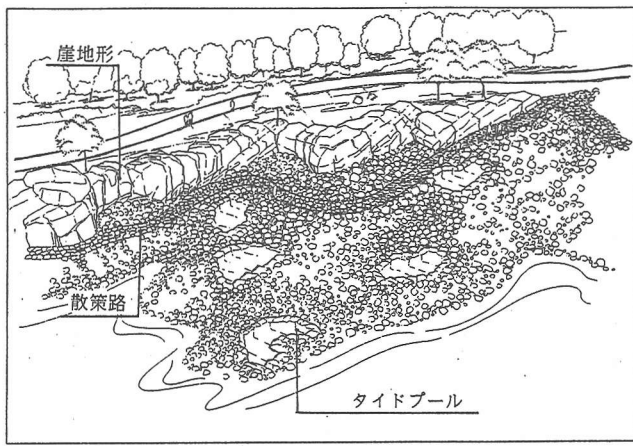


図-8 計画事例

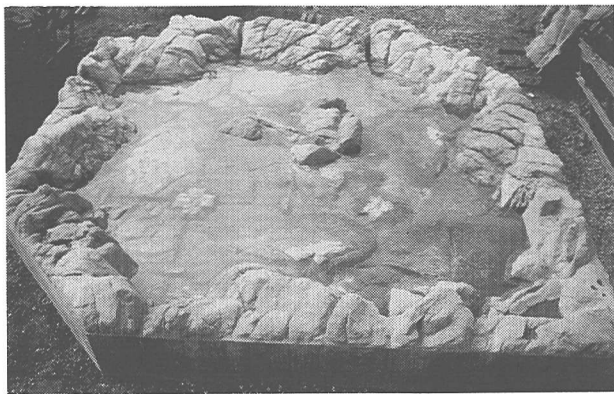


図-9 試作事例 (ユニット9個使用)

## 6. おわりに

近年、要望が増えつつある人工磯に対して、生物相を豊かにし、親水機能や景観機能も良好にする手段としてタイドプールに着目した。タイドプールを含む天然岩礁の調査を実施し、

- ・タイドプールの貯水機能により、プール内は海藻が優占し、生物相が豊かになること
- ・タイドプールの位置する平均海面からの高さや波当たりによってプール内の生物相が変化すること

- ・タイドプール内の不安定な砂利や砂の存在は、生物相を貧弱にすること
- ・干出する岩礁表面では亀裂や窪みの湿潤な微地形に多くの生物が蟄集すること等がわかった。

そこで、これらの要件を達成する一つの方法として、任意の形状で高さを自由に設定することが可能なユニットタイプのタイドプールを考案した。陸上での試作を終え、現在、実海域での施工を実施中である。

実施工にあたっては、事前調査として周辺の岩礁の潮間帯における生物調査を実施し、その結果から、生物相を豊かにするためのタイドプールの設置高さを求めた。この効果については、施工後の生物調査を計画しているので、別の機会に報告することにした。

なお、ここでは、タイドプールを中心として報告したが、磯生物にはフナムシやイワガニなど、浜に打ち上げた有機物を捕食する生物も分布する。このような種に対しては、海中の生物相が豊かである必要があり、海中から潮間帯あるいは陸上まで含めて一体とした生態系への配慮が必要と考える。

謝辞：天然磯の生物調査にあたっては、千葉大学海洋生態系研究センター小湊実験所の平野義明博士に多大な便宜を頂いた。また、生物調査については、株式会社海藻研究所の新井章吾氏に全面的に協力して頂いた。ここに記して謝意を表す。

## 参考文献

- 1) 井上雅夫, 島田広昭, 鉄川精, 中村克彦: 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, 42, pp.1191-1195, 1995.
- 2) 井上雅夫, 島田広昭, 鉄川精, 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, 12, pp.479-484., 1996.
- 3) 小笹博昭, 室善一郎, 中瀬浩太, 綿貫啓, 山本秀一: 生物にやさしい港湾構造物の研究—波高条件および港湾構造物形式より見た付着生物群集—, 海岸工学論文集, 41, pp.1016-1020, 1994.
- 4) 藤沼伸幸, 小竹信宏: 天津小湊町に分布する中新統天津層から産出する炭酸塩ノジュール, 千葉大学理学部海洋生態研究センター年報, 15, pp.14-22., 1995.

(1999. 4. 19受付)