

人工環礁（海洋の空）の機能について

大阪府土木技術事務所 正会員 赤井 一昭
 摂南大学工学部 同 上 上田 伸三
 関西大学工学部 同 上 和田 安彦
 中国工業技術研究所 同 上 上嶋 英機

1. まえがき

波浪や潮汐の自然のエネルギーや生態循環をシステム的に利用するために、潮位変化のある水域を堤体構造で囲んだものを、「人工環礁」または「海洋の空（うつろ）」といい、これの持つ特性について報告しようとするものである。1988年の第13回海洋開発シンポジウムで「人工接触環礁（海洋の空）による静穏浄化水域の創造とその応用」の中で、海洋の空の海域の静穏化と海水の水質浄化機能について報告したが、これらに加えて今回は「海洋の空」の潮流の発生機能等について報告する。

2. 波浪エネルギーの利用

波浪が砕波することによって水中に空気を混入し溶存酸素を増加させる。近年、砕波帯における溶存酸素の挙動について実験的な研究が進められており、護岸の構造、傾斜堤の材料やその形状によって、ばっ気効果が変化することが明らかとなり、このような状態をさらに効果的に活用するものである。

3. 潮汐のエネルギーの利用

潮汐の変化は月と太陽等の引力によって発生し、このような潮汐は表-1に世界の主な大潮差の沿岸水域を、表-2に日本各地の大潮差の沿岸水域を示した。

4. 「海洋の空」の機能

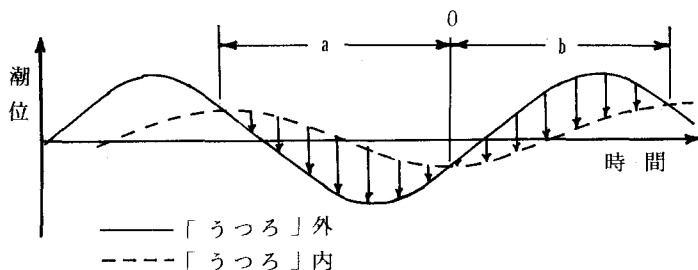
1) 静穏化機能（省略第13回海洋開発シンポジウム参照）

2) 浄化機能（省略第13回参照）

3) 潮流発生機能

潮位変化のある水域を堤体で囲いうつろな水域を構成すれば、図-1に示すようにうつろの内外で潮汐の位相のずれを生じ、この位相のずれを利用して潮流を起そうとするのが「空の動」である。

図-1 うつろ内外の潮汐の応答



潮位変化のある水域を図-2のようにゼンマイ状に囲いを設けることによって、潮汐の変化を潮流に変えようとする。

大阪湾や瀬戸内海という大きなうつろによって、図-3のように明石海峡や、鳴門海峡で激しい潮流が発生する。

表-3は日本の主な潮流を表したもので、これらは自然のうつろの効果である。

潮流の掃流力Fは(1)式で表される。

$$F = \rho g l R \dots \dots \dots (1)$$

(ρ ; は水の密度, g ; 重力加速度, l ; エネルギー勾配, R ; 径深)
 ここで l はうつろの囲いを絞ることによって大きくすることができ、 R はうつろを大きくし、水量を増し水路を深くすることによって掃流力を大きくする。

表-1 世界の主な潮汐差

地 名	大潮差
郡 山 (クンサン)	5.7 m
大 沽 (タークー)	2.4 m
青 島 (チンタオ)	3.3 m
上 海	2.7 m
カルカッタ	3.6 m
アントワープ	5.1 m
ロンドン	6.4 m
リバプール	8.3 m
ボストン	3.1 m
ダーウィン	5.5 m

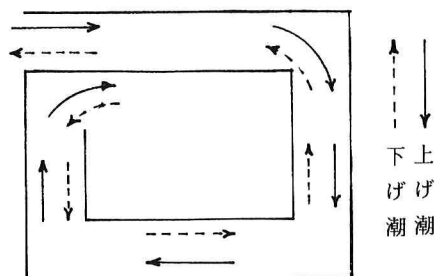
表-2 日本の主な潮汐差

地 名	大潮差
東 京 (芝浦)	1.5 m
名古屋	1.9 m
大 阪	1.0 m
広 島	2.9 m
門 司	2.0 m
長 崎	2.4 m
三 池 (大牟田)	4.5 m
鹿児島	2.2 m

表-3 日本の主な潮流

地点名	平均大潮流
鳴門海峡	8.2 ノット (4.18m/s)
明石海峡	4.2 " (2.14 ")
友ヶ島水道	2.5 " (1.28 ")
来島海峡	7.3 " (3.72 ")
大島瀬戸	6.3 " (3.21 ")
関門海峡	6.4 " (3.26 ")
備讃瀬戸	2.5 " (1.28 ")
長崎瀬戸	2.0 " (1.02 ")
東京湾口	1.3 " (0.66 ")

図-2 潮位の変化を潮流に変換するモデル



したがって、掃流力 F は I と R の相乗積に比例して大きくすることが可能で、自然の莫大なエネルギーより得られこの原理を利用して、砂泥水域に巨大な水路や運河を掘りこれを維持することが出来る。

4) 防御機能

海洋や沿岸にはごみ、油、赤潮、漂砂が海水に浮遊または混入して漂着する。また、波浪や津波、高潮さらには風浪による飛沫や海洋の外敵等の防御機能がうつろによって発揮する。

4)-(1) 油汚染の防御

海底油田の開発が進む一方、油の使用や利用の上で海域の油汚染が大きな問題となっており、わが国の油の取扱い量は25億klといわれる海域は輸送、使用の両面より汚染の脅威にさらされている。

油汚染はごみ類と同じく、他の水域から油状あるいはオイルボールとして漂流し海水浴場やのり、魚貝等に大きな被害を及ぼしている。海域に流入した一部の油は大気への揮発、日光の紫外線により分解されるが、その他の油は海の微生物によって分解され、捨石に付着した生物膜に吸収される。

大都市の湾奥では油汚染が甚だしく、この水域で取られた魚は油臭いが、多空隙を有する砕波堤で囲われたうつろな水域で取った魚は油臭くない。このような事実から多空隙を有する砕波堤は油漂流物を極めて透過しにくい機能を有するものと考えられる。

4)-(2) ごみの防御

海洋には多種多様のごみが打ち上げられ、特に河口部付近は上流から漂流して来たごみが多量に漂着する。

大阪湾の海岸に打ち上げられたごみをサンプリングして分析すると約90%は他の水域から漂流して来たごみである。沿岸部にうつろを構成し砕波堤で締切ることによって沿岸の漂流ごみはなくきれいになる。

写真-1 うつろ内の海岸



写真-2 うつろ外の海岸



4)-(3) 赤潮の防御

海水の栄養塩類等によって発生するプランクトンやその死骸の群れが赤潮であり、一般海域の浮遊物(SS)のほとんどがプランクトンである。普通の隙間接触酸化のSSの除去率は80~100%といわれている。大阪湾のうつろを利用して赤潮時および平常時のSSの除去率を測定した結果は表-4の通りであり、約80%程度の除去機能を有している。

4)-(4) 漂砂の防御

これは波浪や潮流によって海底や海岸の砂泥が移動する現象で、海岸を侵食したり、または漁場や河口、航路へ堆積して、水産、交通、運輸、国土保全の上で大きな被害を与えている。

砕波堤によって囲まれた水域は波浪や潮流がほとんどないために、漂砂の発生が少なく漂砂の防御機能が大きい。

表-4 赤潮プランクトン(SS)

	SS(赤潮時) (1988.6.8)	SS(平常) (1988.9.20)
外洋	12 mg/l	4.2 mg/l
うつろ内	2 mg/l	1 mg/l 以下
除去率	83%	70%以上

4)-(4) 飛沫の防御

風浪によって海岸に打ち上げられた海水の波しぶきが微細な塩粒子として、また、塩水として沿岸内部に飛び込みトタン屋根やテレビのアンテナ、自動車や飛行機等に大きな被害を及ぼしている。

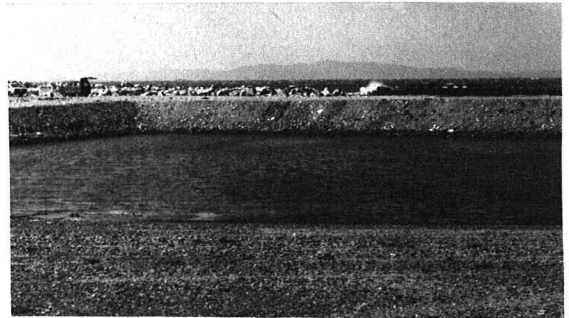
昭和60年3月に日本鋼構造協会が航空機構造の安全性の調査研究報告書の中で内陸部を基地とする飛行機、空母艦を基地とする飛行機は塩害を受けやすいことを報告している。

沿岸の砕波地帯に被害物が隣接していることに大きな原因がある。海岸部にうつろを構成し静穏化水域を設けることにより、海岸の被害(塩害)を少なくすることが出来る。

写真-3 台風時の外洋の状況



写真-4 台風時のうつろ内の状況



4)-(6) 波浪の防御

砕波堤で囲われたうつろな水域は波浪もなく静穏である。写真-3は台風時の外洋、写真-4は台風時のうつろ内の状況を示す。

4)-(7) 海流の防御

砕波堤で囲われたうつろな水域は海流もなく静穏である。

4)-(8) 津波の防御

波浪は水深が浅くなると砕波する。一般に水深が沖波の波高の約2倍以下になると砕波を生じる。

津波の波長は長く1000mにも及び、波高(H)と波長(L)の比(H/L)が極めて小さく、砕波のしにくい性質がある。津波の主な被害は津波の砕波による陸岸へのはい上りによって発生する。

水深の深い沖合では、津波の周期が長く約15分程度で沖合の水面がゆっくり上下運動を繰り返すのであるが浅い沿岸部に来ると砕波すなわち段波となり、陸岸部をそ上する。したがって、津波を海岸に寄せつけないので反射させることが津波を防御する手段となる。

このため、沖合の水深10~20m以上の深い海底に防波堤を設けると津波は砕波しないで重複波となり反射する。また、うつろの内外で水位の位相のずれが生じ、うつろ内の津波による水位変化の幅は小さくなる。

このように、水深の深い所にうつろを設けることによって津波を防御する。

4)-(9) 高潮の防御

高潮は低気圧による海面の吸い上げと風による吹き寄せ、さらに砕波による海面の上昇に高波が加わり高潮によって被害を蒙る。浄化防波堤で囲われた水域は常に静穏で潮位の位相のずれによって常に潮位のピークは低くなる。

4)-(10) 外敵からの防御

砕波堤で囲われた静穏浄化水域には鯨等の外敵も近づけない。

5) 活性化(自浄)機能

うつろの活性化(再生)機能については、次に堤体と干潟の活性化について述べる。

5)-(1) 堤体の活性化

潮汐の変化に伴い時間的に流れの方向が変化するため、うつろの堤体には目詰まりが生じにくい。

また、うつろを構成する堤体は常に波浪ばっ気により、水中の溶存酸素が高く、堤体の捨石等の表面に藻類、イソギンチャク、カキ、イガイ、フジツボ、巻き貝、アワビ、ナマコ、エビ、カニ類の付着生物が生息して、堤体内で新しい生態系を構成し常にうつろの活性化が繰り返されている。

年に何回か来襲する台風によって、うつろの堤体で波浪が砕波され、その波圧によって堤体内の活性化が行われ砕波による圧力のピークが大きく効果を上げる。

5)-(2) 人口潟の活性化

砕波堤で囲われたうつろな潮感帯の水域は人工の干潟である。葦等の植物が繁殖し、鳥類や貝類、ごかい、かに、えび等の底生動物が生息するようになり、新しい生態環境を形成しうつろの活性化機能を推進する。

また、真黒なヘドロ海域がうつろを構成することにより、写真-5のように海岸一体が茶褐色となり海岸の石の上にはこけのような海藻が付着して、砂の中や石の下にはごかいが生息するようになり、底質の活性化が進行

する。

写真-5 うつろ付近の海岸



6) 土地の創造機能

静穏化機能の一つとして、潮位変化のある泥濁水域でうつろを構成すれば泥水の泥の粒子が自然に沈降する。

潮汐変化のある泥濁水域では泥水が6時間で静穏水域に流入して沈降し、上澄みが6時間で流出し、さらに新しい泥水がうつろ内に6時間で流入して沈降浄化した上澄みが6時間で流出する。このように自然の操作を繰り返すことによって、囲われたうつろな水域に土が沈澱して、土地を構成することになる。

写真-7 右は泥水が沈降したもの

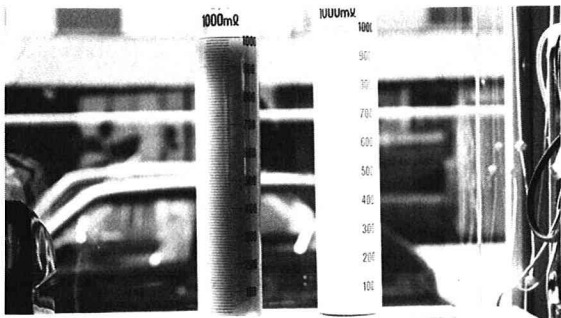


写真-6 うつろの内と外

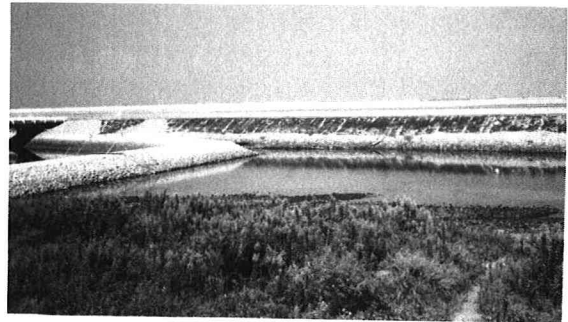


写真-8 泥水が自然に沈降して出来た土地



写真-7は中国杭州湾の泥水が沈降したもの（右のメスシリンダー）で、写真-8は中国杭州湾の泥濁水域に護岸で囲われた水域を構成したことにより砂泥が自然に沈降して出来た土地である。

7) 生産機能

うつろの静穏と浄化等の機能を活用して、海洋牧場畜養事業等の生産機能をも有している。

堤体によって囲われたうつろの内、外で水温差が生ずる。1978年5月～1989年3月までの間、大阪湾の埋立地で構成されたうつろの内、外の水温を測定した結果は図-5の通りであり、夏期及び冬期では内外の水温差は1～2℃程度であるが、水温が上昇または降下する初夏や秋の季節には水温の差は1～3℃と大きくなっている。

以上のうつろでの生息魚類は次の通りである。

7) - (1) 自然に生息していた魚類

マイワシ、マボラ、コノシロ、スズキ、クロダイ、マハゼ、ネズミゴチ、メバル、カサゴ、クロソイ、ヨウジウオ、クルマエビ、イソスジエビ、カザミ、モクズガニ、アナジャコ、アサリ、カキ

7) - (2) 放流した魚類

クロダイ稚魚、マダイ稚魚、クルマエビ、カサゴ、キュウセン、クロソイ、マコガレイ、テラピア（淡水魚）

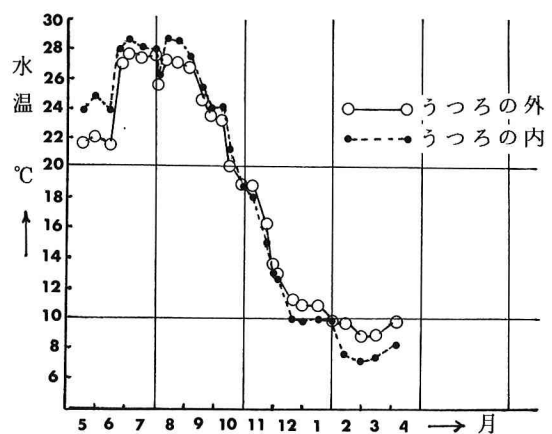
7) - (3) 継年生息した魚類（下線は放流した魚類）

マイワシ、スズキ、マハゼ、ネズミゴチ、マダイ、クロダイ、メバル、カサゴ、クロソイ、マコガレイ、ヒラメ、ヨウジウオ、クルマエビ、イソスジエビ、モクズガニ、カサミ、アサリ、カキ

8) その他の機能（うつろの漢性）

囲われたうつろの水域が小さいと、囲われている存在観が明らかであるが、うつろの規模が大きくなればなるほど水面の曲率や波浪、霧や霞等によってうつろ本体が「漢」として目立たなくなる。これをうつろの「漢性」

図-5 うつろ内外の水温の変化



という。

水面の曲率によって、対岸のうつろを見ることの出来る距離 L は、人の目の高さ h_1 、対岸の砕波堤の水面上の高さ h_2 、うつろ内の波浪高さ h_3 、地球の半径を R とすれば次式で表される。

$$L = \sqrt{(R+h_1)^2 - (R+h_2)^2} + \sqrt{(R+h_2)^2 - (R+h_3)^2} \dots \dots \dots (2)$$

例えば、 $h_1 = 1.2\text{m}$ 、 $h_2 = 3.0\text{m}$ 、 $h_3 = 0.1\text{m}$ 、 $R = 6370\text{ km}$ とすれば、 $L = 9.8\text{ km}$ となり、1辺約10 km以上のうつろでは景観的にもうつろの存在観がない。

5. あとがき

以上のように「海洋の空」は波浪や潮汐の自然のエネルギーを有効に活用して水をきれいにし、津波やごみ、油を防御し、泥砂を止め、人口干潟や泥水中の砂を集めて土地を創造し、海洋牧場として魚貝類を生産して、自らの機能を活性化する。また、うつろを開放することにより激しい潮流を発生させ掃流力を高めて運河や水路を掘り、これを維持しようとするものである。規模を大きくすることによって漠として存在観のない機能を有する構造物であるといえる。

したがって、今後海洋の保全と開発を進める上で人口環礁（海洋の空）は大きな役割を果たすものと確信するものである。

<参考文献>

- 1) 護岸の曝気能比較に関する実験 堀江毅、細川恭史、三好英一 第27回海岸工学講演会講演集
- 2) 沿岸部におけるDOの挙動に関する基礎的研究 細井由彦、村上仁士 水質汚濁研究 第7巻 1984年
- 3) 人口接触環礁（海洋の空）による静穏浄化水域の創造とその応用 赤井一昭、上田伸三、和田安彦、津田良平、菅原武之 第13回海洋開発シンポジウム論文集（土木学会）1988年
- 4) 砕波堤による海域浄化システム—人工環礁による海域総量規制への応用— 赤井一昭、上田伸三、和田安彦 他 第14回環境問題シンポジウム講演論文集 1986年9月
- 5) 海洋の空（うつろ）を利用した海浜 赤井一昭、上田伸三、菅原武之 他 日本海洋学会春季大会要旨集
- 6) 第3回中国海洋開発調査団成果—汚濁海域、杭州湾（金山）水質浄化— 赤井一昭 開発 1988年10月
- 7) 中国海洋開発の構想 上田伸三、津田良平、赤井一昭、玉瀬富夫 1987年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集
- 8) 静穏浄化水域の創造とその応用 加藤重一、赤井一昭、上田伸三、和田安彦 第8回海洋工学シンポジウム（日本造船学会）1986年1月
- 9) 人口接触環礁（海洋の空）による静穏浄化水域の創造とその応用 赤井一昭、上田伸三、和田安彦、津田良平、菅原武之 第13回海洋開発シンポジウム論文集（土木学会）1988年11月
- 10) Water Purification System with Permeable Rubble-mound Breakwater, K.Akai, S.Ueda, Y.Wada, TECHNO-OCEAN '88, KOBE, JAPAN, 1988.11.
- 11) 砕波堤を利用した水域の浄化システム「水域のうつろ」 赤井一昭、上田伸三 他 第13回環境問題シンポジウム講演論文集
- 12) 「海洋の空」の「動」—遡上水路の構想— 赤井一昭、上田伸三、和田安彦、上嶋英機 第9回海洋工学シンポジウム（日本造船学会）1989年7月