

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

大阪府港湾局
摂南大学工学部
関西大学工学部
近畿大学農学部
水域浄化システムプロジェクトチーム

正会員 赤井一昭
正会員 上田伸三
正会員 和田安彦
津田良平
正会員 菅原武之

1. 概要

最近海洋や湖沼の水域が汚染され、大きな社会問題となっている。

また、沿岸の領海200海里が確定し日本は海洋大国となったが、海洋のほとんどが未開発の状態である。この資源的にも空間的にも無限の可能性を秘めた巨大なフロンティアを人類の英知と技術を結集して開発することが私たちの役割である。

多空隙を有する砕波堤が水の浄化効果の高いことを発見し、このような防波堤を「浄化防波堤」という。浄化防波堤で囲んで静穏浄化水域を造ったものを「人工接触環礁」または「海洋の空(うつろ)」と名付け、このような水質浄化システムは海洋の透明度、臭気、濁度の改善、有機物の除去、窒素、リンの濃度の低下、赤潮、油汚染、ごみの防止等の水域の浄化に寄与する。同時に波浪や潮汐のエネルギーを吸収し、静穏化を保持すると共に、浄化防波堤を沖合の水深の深い場所に設置することにより津波を反射させ、漂砂飛沫に至る海洋に発生する悪を防止する。さらに海洋空間を利用すれば、浮体構造物の設置場所、海洋牧場、海水浴場や下水の三次処理として利用することもできる。この研究は、以上の多角的な面から浄化防波堤とその応用について究明していこうとするものである。

2. 「人工接触環礁」の浄化機構

多空隙を有する礫などに汚水を通すと水質が浄化されることは広く一般に知られている。筆者らはこれを防波堤に応用し、透過性の防波堤が水質浄化効果を持つことを明らかにした。そして浄化しようとする水域を浄化効果の高い多空隙の防波堤「浄化防波堤」で囲い、静穏浄化水域を設け、囲まれた水域を浄化するものである。防波堤による水域の浄化システムは、次の水質浄化機能により構成されていると考えられる。

(1) 波浪ばっ気：波浪が浄化防波堤に当たると砕波し、空中に飛散すると同時に空気を混入し、攪はん作用によって、水と空気の接触を高め、水中の溶存酸素を増加させる。

(2) 接触酸化：浄化防波堤を構成する石、礫の表面に付着成長する生物と、水を繰返し接触することにより、水中の有機物、栄養塩類などを除去する。

(3) 酸化池：汚水を水深の浅い池などに滞留させると植物性プランクトンが発生し、酸素を生成することにより、有機物の酸化などが行われ、水質が浄化されるのが酸化池である。浄化防波堤で締め切られた水域が沿岸域である場合には、この酸化池と同様な効果をもつ。

(4) 沈澱池：浄化防波堤で締め切られた水域は波浪や流速が小さく、水中の沈澱可能物質を除去できる。

3. 水質浄化の実験

昭和58年より、堤体構造と堤体の材料による波浪曝気の効果について、 $S=1/10$ の水槽実験を行ってきた¹⁴。その後、昭和60年度より、大阪湾の埋立地を利用して海洋の空(うつろ)の水質浄化効果の実測を進めている。

このうつろの実験池の規模は、縦120m、横50m、深さ約6mである。そして海域の水質が悪化する夏期に水域内2ヶ所6測定、水域外3ヶ所18測定の水温、波高、透明度、臭気、水色、濃度、PH、DO、COD、SSについて測定をした。その結果の各々の平均値は表-1の通りである¹。

表-1 水域浄化システムの効果測定結果

	浄化水域内	浄化水域外	比較
天候	快晴	快晴	
気温(℃)	32.6	32.7	
水温(℃)	29.9	26.4	
流速(m/s)	0	0.33	
周期(秒)	0~0.9	2.53	
波高(cm)	3.3	16.17	
透明度(cm)	170	60	2.8倍
臭気	無、貝類	魚腐、し尿、油、海藻	
水色	8~9	12~20	
濁度	0.2	0.56	64%減
pH	8.53	8.36	
DO(ppm)	6.53	7.68	15%減
COD(ppm)	3.73	4.64	20%減
SS(ppm)	4.61	6.06	24%減

特に窒素およびリンについて、うつろ内、外の濃度の経年変化をみると図-1、図-2に示すとおりとなる¹。また、「淀川左岸流域下水道処理場に関する技術報告書」(昭和60年6月8日)によっても、ばっ気付礫間接触酸化によるアンモニア系窒素の除去効果のあることが明らかとなっている。¹⁷

今回(昭和63年6月8日)、大阪湾の赤潮発生時に泉大津市のうつろの実験池(1500m²)を利用して、COD、濁度、SSの除去効果について実測を行った。

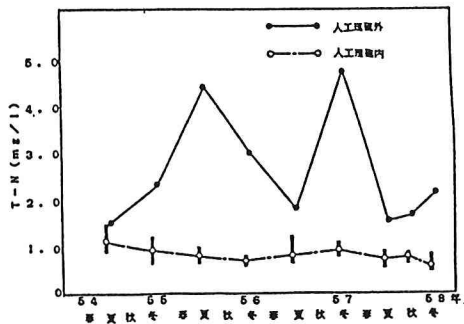


図-1 (T-N)

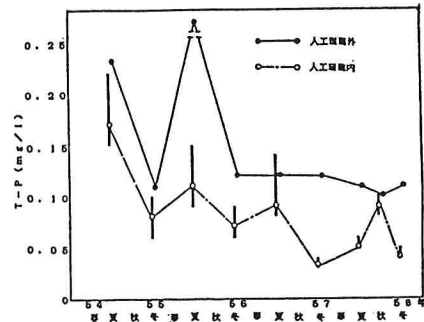


図-2 (T-P)

上げ潮時には外洋の赤潮が捨て石堤を透過して、うつろ内に流入し内、外の水質のちがいが生ずる。写真-2は外洋の赤潮の状況であり、写真-3は捨て石堤を透過したきれいな水域の状況である。写真-1は採水された内外の水質の違いを示したものである。その部分の採水をし、水質試験をした結果は表-2の通りである。

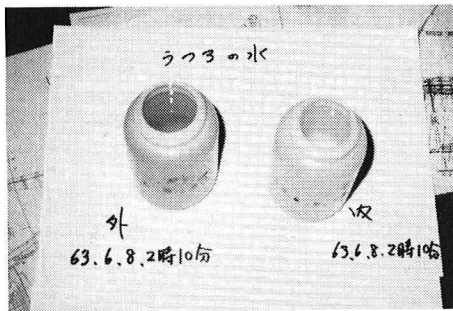


写真-1 うつろ内、外の比較

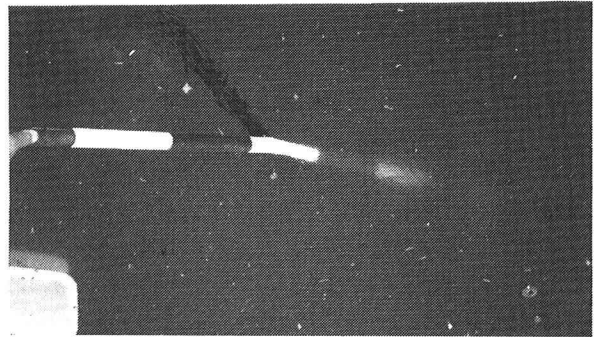


写真-2 赤潮の発生した水域(外洋)

この結果、捨て石堤を透過した赤潮のCODの除去率は63%、SSは83%であった。

また、引潮時にきれいな水が捨て石堤を透過して、外洋の赤潮を希釈し、きれになる現象が確認されている⁶。今回さし潮時の外洋の水質と、引潮時の外洋の水質を測定し、表-3で比較した。これによるとSSで67%減となり、赤潮の発生したうつろの外部の水質の浄化が認められる。

さらに、上記の効果を検証するため、昭和63年8月31日にさし潮時のうつろ内外の水質と引潮時の外洋のうつろ近傍の水質と、うつろの影響を受けない水域の水質を測定し比較した。この結果は表-4のとおりである。

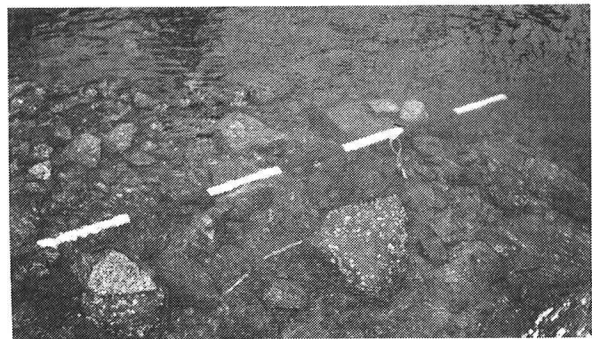


写真-3

表-2 赤潮時うつろ内外の水質の比較

分析項目	外洋(赤潮)	うつろ内	除去率
SS mg/l	12 mg/l	2 mg/l	83%
COD mg/l	10 mg/l	3.7 mg/l	63%
濁度	18	3	83%

表-3 うつろの外洋の浄化効果

分析項目	さし潮時の外洋	引潮時の外洋	差
SS mg/l	12	4	67%減
COD mg/l	10	6.8	32%減
濁度	18	6	67%減

表-4 うつろの水質浄化効果の検証 注)うつろ外の採水は水深線約30cm

測定項目	さし潮		引潮		比較			
	A外(9.20)	B内(9.20)	C外洋うつろ近傍	D外洋の沖	A-B	A-C	D-C	A-D
pH	7.8	7.7	7.5	7.9	0	4	5	-1
塩分濃度 %	3.0	3.0	3.0	3.0	0	0	0	0
COD mg/l	2.0	1.1	1.9	1.9	4.5%	5	0	5
濁度	5.0	1	1	5.0	80 %	80	80	0
SS mg/l	4.2	<1	1.8	3.0	70 %	57	40	29

以上の結果、PHや塩分濃度で見ると、雨水や地下水の影響も無いと考えられる。さし潮時にうつろの外の水質と引潮時の沖合の水質はほとんど変りなく、引潮時同じ外洋の海水であっても、うつろの近傍の水質とうつろの影響を受けない沖合の海水の間には、水質の差異が認められ、うつろ近傍の海水はきれいである。引潮時には、うつろ近傍の水質が数値的にもきれいになり、浄化された水による希釈現象が認められる。

中国の長江河口の砂泥水域 5 万 km² の開発の可能性を進めるために、昭和61年度より日中共同で現地調査を進めてきた。中国杭州湾の汚濁水の沈降試験を行った結果(写真-4)および汚濁水の粒度分布は、図-3のとおりであった。

さらに、昭和62年11月、第2回の現地視察では、中国連雲港市新橋鎮の地先の、土堰堤で囲まれたうつろ(約300m×300m)の実験池(写真-5)の静穏浄化水域で静穏化による沈降浄化効果が実証された(写真-7)。写真-6は中国連雲港市地先の泥濁水域であり、写真-7は写真-5を拡大したものである。これによると、透明で太陽の光が底面に映っており、きれいな状況がうかがえる。

また、中国杭州湾の金山地先の埋立地を利用して、うつろの実験計画を進めており、昨年度からえびの養殖も進められている(約150m×300m)。この土堰堤で構成された静穏化水域に流入した杭州湾の泥水が沈降浄化されてきれいな水域になっていることを、昭和63年8月の第3回中国海洋開発視察団と中国の関係者により確認することができた。写真-9は杭州湾の延々と広がる泥濁水域、写真-10は杭州湾の金山地先のエビの養殖場として建設された静穏化浄化水域である。写真-8の左のメスシリンダーは杭州湾の泥水、右のメスシリンダーは浄化されたうつろ内の水である。また、これらの水質の相違については表-5に示すとおりである。

表-5 中国杭州湾におけるうつろの浄化効果

項目	杭州湾	うつろ内	差
pH	7.5	7.5	0
塩分濃度	1.1	1.1	0
COD mg/l	5.1	6.0	18%増
濁度	204	48	76%減
SS mg/l	220	30	86%減

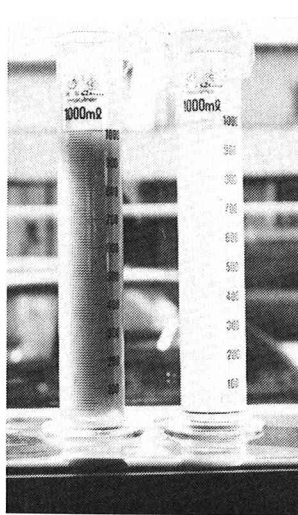


写真-4 (右は沈降浄化したもの)

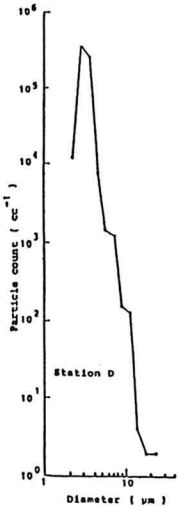


図-3

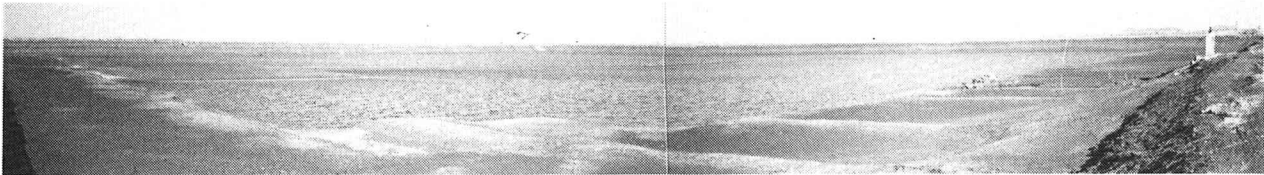


写真-5 中国連雲港市新橋鎮のうつろ(約300×300m)

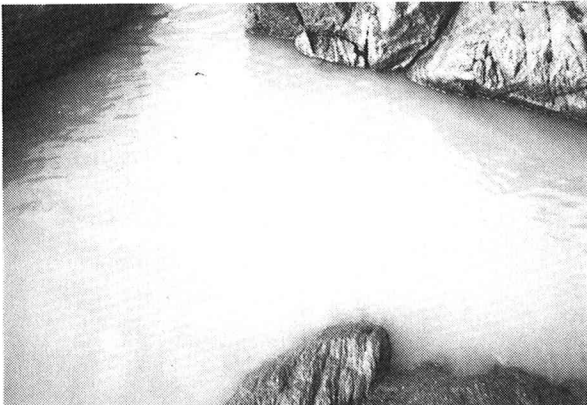


写真-6 中国連雲港市地先の泥濁水域

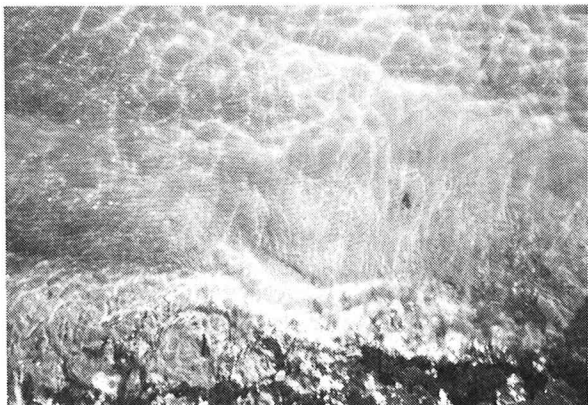


写真-7 (写真-5)の拡大したもの(透明)

PH、塩分濃度から考察した場合、うつろ内に地下水、河川水や雨水の流入は考えられず、杭州湾の泥濁水が浄化されたものと考えられる。水質的には、濁度が76%、SSで86%減少しており、CODがむしろ18%増加している。これはエビの養殖場として利用しており、飼料を投入している関係であると考えられる。以上のように、長江河口の泥濁水はうつろの静穏浄化水域を設けることにより浄化されることが明らかとなった。

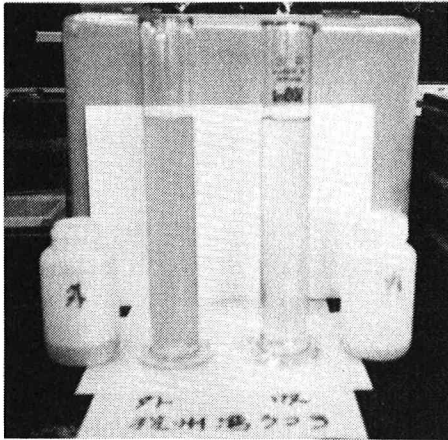


写真-8 うつろ内、外の比較

4. 「海洋の空(うつろ)」の応用

1)、海域浄化への応用

波浪や潮汐のエネルギーを利用して、人工接触環礁(海洋の空)の効果を海域浄化に応用しようとするものである。

(1) 赤潮防御への応用 赤潮はプランクトンの異常発生に起因するものである。人工接触環礁(海洋の空)の赤潮の除去率は高く³⁾ 回収されたプランクトンは、生物循環の中で処理される。さらに赤潮の原因となる窒素、磷の除去効果も高い。

(2) 汚濁河川の浄化への応用 汚濁河川の水質浄化に有効であるので¹⁰⁾、これを利用した河川構造を考える。河口部はテクノオーシャン'88シンポジウムにおいて発表した。

(3) 下水三次処理への応用 人工接触環礁(海洋の空)を利用して下水の三次処理を検討し予測したものが表-6である。

(4) ごみ防御への応用 海浜のごみを分析した結果³⁾、他の水域より流入してきたごみが約90%で、これを排除する。

(5) 油汚染防止への応用 人工接触環礁(海洋の空)の油汚染防御効果が大きい³⁾。さらに流出防御にも役立つ。

(6) 脱窒、脱磷への応用 人工接触環礁(海洋の空)の脱窒、脱磷の効果が高い。

(7) プランクトン回収への応用 プランクトンを除去して回収されたプランクトンは、新しい生物循環の中で水産資源に変換される³⁾。

(8) 海域総量規制への応用 実測値のCODの除去率20%⁶⁾を利用して、わが国の代表的な汚染水域(瀬戸内、東京湾、伊勢湾)の総発生負荷量COD10%を削減するためのうつろの面積を試算すると表-7のとおりである。その後、総発生負荷量の伸び悩みもあり、表-3に示すように除去率32%以上になれば各水域の目標達成の必要面積は2/3以下でも可能である。

2) 静穏化の応用

浄化防波堤で囲まれた人工接触環礁(海洋の空)の水域は、波浪もなく、潮流もない静穏な水域であるのでその特性を生かす。

(1) 津波防御への応用 浄化防波堤を水深の深い沖合に設けることによって、津波を反射させ寄せ付けない⁷⁾。

(2) 漂砂防御への応用 浄化防波堤で囲まれた静穏な水域は、海底の砂礫移動もなく、砂州や沿岸浸食、河口閉塞を防止する。

(3) 飛沫防御への応用 静穏な水域に接する地域は飛沫の防御効果が大きい。

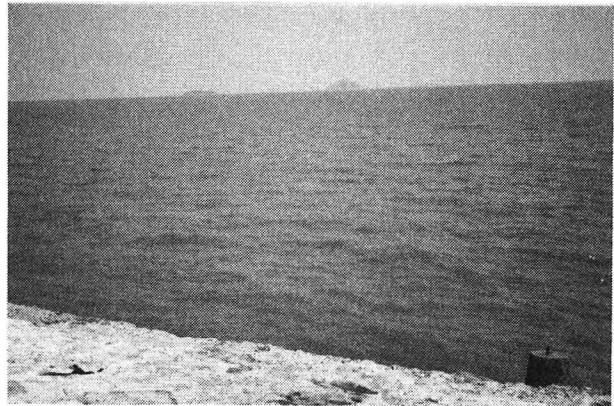


写真-9 杭州湾の泥濁水域(外洋)



写真-10 杭州湾金山の静穏化水域(うつろ内)

表-6 放流原水の水質予測

	流入原水の水質 (下水の二次処理水)	除 去 率		放流原水の水質
		沈澱法	酸化池及接触酸化	
BOD	20 ppm	30%(25~35%)	74.7%(69~89%)	3.5ppm
SS	30 ppm	35%(30~40%)	77%(59~95%)	4.5ppm
T-N	16.5 ppm	79%(60~99.5%)		3.4ppm
T-P	1.1 ppm	81%(72~90%)		0.2ppm

表-7 人工接触環礁必要面積

地 域	10%削減量潮汐平均値 COD(t/日)×日2回(m)	必要面積 (km ²)
瀬戸内海地域	94.4	1.34
伊勢湾地域	28.6	1.3
東京湾地域	42.4	0.87

(4) 高潮防御への応用 低気圧による海水の吸上げと、風による海面の吹きよせ、碎波等による海面の上昇に高波が加わり、高潮による被害が発生する。浄化防波堤で囲まれた水域は常に静穏で、潮位の位相のずれを生じ常に潮位のピークは低くなる。

(5) 波浪防御への応用 浄化防波堤で囲まれた水域は波浪の進入もなくなり、吹送距離は短くなるので波浪が小さくなる。

(6) 海流の防御への応用 潮汐や波浪によって、潮流や沿岸流が発生する。浄化防波堤で囲まれた水域は、海の流れもなく静穏である。

3) 開発への応用

人工接触環礁(海洋の空)の静穏浄化水域やこのメカニズムを利用して開発事業の中に組み込んでいこうとするもので、砂泥水域を開発し、人工海浜、浮体構造、海洋牧場、畜養漁地、海つり公園、海洋都市、海洋の外敵防御等に応用するものである。

(1) 砂泥水域開発への応用 砂泥水域は波浪や沿岸流によって常に砂泥が巻き上げられ、海底地盤が移動し、藻類や魚貝が生息しにくく、利用しにくい水域である^{13, 15}。このため、浄化防波堤を利用して静穏浄化水域を構成し、砂を固定し、砂泥を沈降させ、水をきれいにし、人工的にも利用の可能な水域を造成しようとするものである。現在日中間で中国の砂泥水域の開発の研究を進めている。

(2) 人工海浜への応用 海水浴場を浄化防波堤で囲むことによって、きれいで静穏な水域を設け、赤潮、油汚染、ごみ、波浪、潮流、鯨等の外敵を防御すると共に、砂の流出を防止する。

(3) 浮体構造物への応用 最近海洋空間の利用問題がクローズアップされ、各省庁、各分野で研究が進められている⁷。浮体構造物による海洋空間を利用するため、浄化防波堤で囲まれた静穏浄化水域を設け、海上レストラン、海上ホテル、浮体の下水処理場や工場プラント、見本市会場、住宅、海上空港を浮体構造として利用する。このとき海面が静穏になるため、係留施設、浮体構造自身のピッチング、ローリング等による波浪応力が軽減され、経済的となる。海域浄化の効果もある。

(4) 海洋牧場への応用 沿岸の領海200海里が進む中で取る漁業から作る漁業へと漁法が変わりつつある。現在、海洋牧場への指向が一段と高まってきた。中でも「海洋の空」を利用した囲まれた静穏浄化水域は、赤潮や油汚染を防止し、莫大な自然のクロレラやプランクトンを新しい生物循環の中に取り入れ、おいしい魚作りを進めるために好都合である。現在大阪湾で開発者と漁業者との共存共栄を志向して、真鯛、黒鯛、カレイ、ヒラメ、車エビ等のうつろによる実験を行っている。

(5) 畜養漁業への応用 漁種の大半は季節的に市場価格の変動が大きく、現在の網を利用した生簀では長期間畜養することが不可能な魚種が多い。また、大都市周辺では海水が汚れ、特に赤潮や油汚染による被害が大きく、畜養事業が不安定で歩留まりも少なくなる。このため浄化防波堤で囲まれたうつろを利用したきれいな安定した畜養事業を可能にする(実験中)。

(6) 海つり公園への応用 現在我国には多くの海つり公園が開設されているが、ほとんどが自然の海域を対象としたものが多く、にが潮の発生等の被害を被る。このため浄化防波堤で囲まれた常にきれいな水域で、季節に応じたおいしい魚を魚種も豊富にし、つり客の要望に答えられる海つり公園を作ろうとするものである。写真-11はうつろを利用した海つり公園の構想図である。

(7) 自然水族館への応用 水をきれいにすると共に囲まれた水域を利用して珍魚を放流し、時には人が泳ぎながら自然の中で魚類を観察する。

(8) 大地創造への応用 泥濁水域に、将来の土地造成に合わせたうつろを構成することにより、泥濁水が自然の潮汐の変化によりうつろ内に流入し、写真-4のように沈降浄化を繰り返すことによって、次第に大地を構成する。

(9) 外敵防御への応用 浄化防波堤で囲まれた静穏浄化水域には鯨や潜水艦等の海洋の外敵も近づけない。

5. あとがき

うつろに関する実験は、昭和58年より摂南大学水工学研究室の水槽を用いて始めて以来、大阪湾の埋立地を利

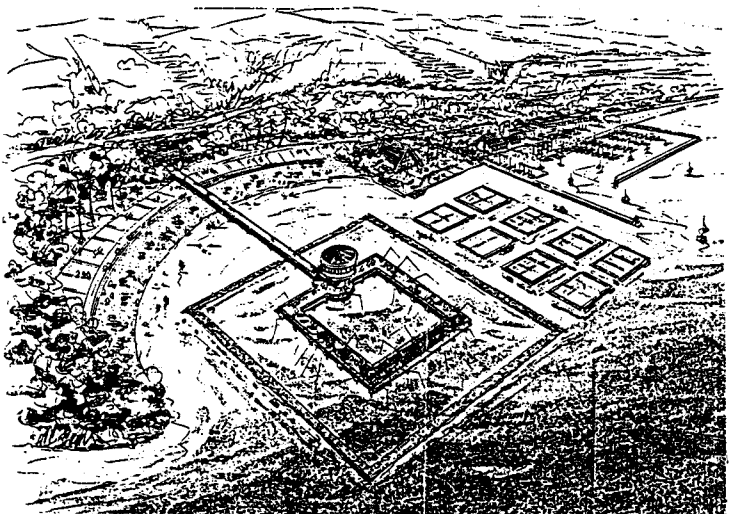


写真-11 うつろを利用した海つり公園の構想図

用して水質および水産に関する実験を繰り返してきた。また、中国長江河口の5万km²の砂泥水域を開発研究するために、昭和61年8月に第1回中国海洋開発視察団として現地調査を進めて以来、今年8月で第3回を数えるまでになった。このような中で、人工接触環礁(海洋の空)の効果の全容が少しずつ明らかとなってきた。特に昭和63年8月25日には中国の杭州湾で日中の関係者が現地のうつろの効果を確認することができた。うつろの水質浄化は自然の現象であり、土木、生物、水産、下水、気象、海洋、造船、環境、バイオテクノロジー等各分野にまたがっている。これからは各々の部門において基礎的な研究を進めると共に、他方では利用目的に合わせた具体的な研究を進める必要がある。

この間大阪府港湾局、企業局、農林水産関係各位のご協力をいただくと共に、土木学会関西支部「静穏浄化水域の創造とその応用」に関する共同研究グループ、日本浄化ブロック協会、大阪湾海洋牧場勉強会、日中海洋開発プロジェクト推進協議会の関係各位の御協力に感謝申し上げますと共に、特に大阪大学の末石富太郎先生、橋本獎先生、東海大学酒匂敏次先生、東京水産大学加藤重一先生、摂南大学合田健先生等の御声援を賜わり厚く御礼申し上げます。さらに中国の華東師範大学(上海海岸帯資源開発研究センター所長)陳吉余先生、上海同済大学曲則生先生、中国國務院揚喙芥先生、上海同済大学顧国維先生、上海市水利局(長江口開発整備局)胡承建先生、上海水産大学馬家海先生、華東師範大学盧志英先生、上海水産研究所趙利華先生、同済大学李国建先生の各先生におかれましては共同研究者として御支援いただいたことについて感謝申し上げます次第であります。

参考文献

- 1) 護岸の曝気能比較に関する実験、堀江、細川、三好 第27回海岸工学講演会論文集(1980)
- 2) 沿岸部におけるDOの挙動に関する基礎的研究、細井、村上 水質汚濁研究 第7巻第5号301-309、1984
- 3) 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、上田他 第13回環境問題シンポジウム講演論文集 1985、8月
- 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、上田、和田他 第14回環境問題シンポジウム講演論文集 1986、9
- 5) 海洋のうつろ(海洋開発の基本構想) 赤井、上田他 1985年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集
- 6) 瀬戸内海等の総量規制と人工珊瑚環礁の効果、赤井、上田、和田他 土木学会第41回年次学術講演会 S 61
- 7) 静穏浄化水域の創造とその応用、加藤、赤井、上田、和田 第8回海洋工学シンポジウム S 61、1 日本造船学会
- 8) 中国海洋開発の構想一 上田、津田、赤井、玉瀬 1987年度日本海洋学会秋季大会講演要旨
- 9) 水域の汚染防止システム、赤井 第10回建設技術発表会論文集 S 58年 大阪府
- 10) 河川浄化システムの構想、赤井、玉瀬、石谷、檜物 第14回建設技術発表会論文集 S 62、6 大阪府
- 11) 海洋の空(うつろ)を利用した海浜 赤井、上田、菅原他 1986年 日本海洋学会春季大会要旨集
- 12) 水域の浄化システム(水域のうつろ)、S 60年度関西支部年次学術講演会講演概要 土木学会関西支部
- 13) 長江の河口に海洋牧場計画、“海洋の空”一静穏浄化水域の創造をめざして、赤井、開発 S 61年9月号
- 14) 水域の浄化システム、赤井 第11回建設技術発表会論文集 S 59年 大阪府
- 15) 「海洋のうつろ」中国海洋開発構想、赤井 第19号 1985、2、5 (社)全建(大阪府地方協会)
- 16) 東京湾における海中の濁りの分布と濁った海水の動き、松生 第1回環境科学シンポジウム
- 17) 淀川左岸流域下水道、渚処理場に関する技術調査報告書、S 60年3月 大阪府東部下水事務所、下水道事業団
- 18) 大阪湾海洋牧場勉強会一魚釣り施設資料 S 63、4、27 パシフィックコンサルタント
- 19) 中国海洋開発の現地踏査について、第14回建設技術発表会論文集 S 62年6月 大阪府
- 20) バイオテクを組み込んだ新しい汚泥、廃棄物処理システム、大阪大学工学部環境工学科 橋本獎



写真の左は静穏浄化水域
右は杭州湾の汚濁水域

写真-12 中国杭州湾の水質浄化の検証状況