

瀬戸内海の水質予測と導流堤による水質改善工

中村 充*・乃万俊文**・萩野静也***・富田和夫****

1. はじめに

瀬戸内海は沿岸漁業の中核としてエビ、タイ、ハマチ
 その他高級魚の主産地であった。しかし昭和30年代後
 半より海域の汚染、富栄養化によって高級魚類の棲息は
 少なくなり、漁獲物はイワシなどの雑魚に変わってきた。
 他方、汚染、富栄養化の程度を示す赤潮の発生頻度、発生
 海域の広さは年ごとに大きくなり、昭和47年には発生
 件数164件で80億円にのぼる漁業被害を生じている。

図-1は昭和47年における赤潮発生海域を示している。
 これらは重大な社会問題として提起され、負荷総量規制
 による瀬戸内海環境保護の特別立法が行われ、49~51年
 内に産業廃水中のCOD負荷を半減する措置が講じられ
 た。これは一つの前進であるが、この措置で瀬戸内海は

赤潮発生海域 (S.47年)

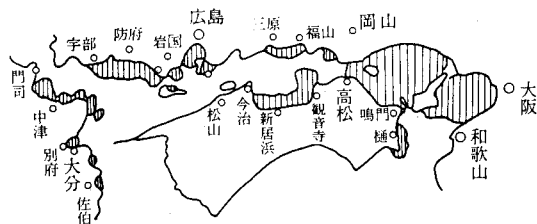


図-1 赤潮発生海域

往時の環境を取りもどせるであろうか。本報告は、この
 問題について検討したものであり、水質改善対策として
 導流堤による潮流制御工法を提案する。瀬戸内海水質浄
 化工法については、いくつかの案が提案されているが、
 ここに示す案は効果が確実な実用的提案と信ずる。

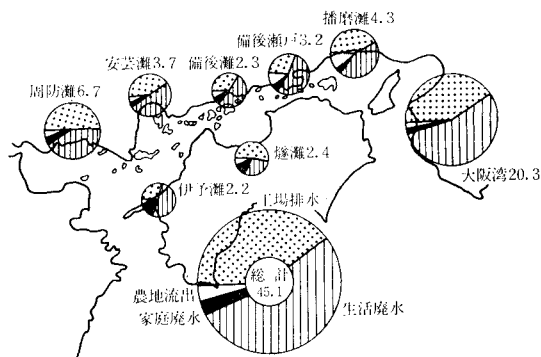
2. 瀬戸内海の富栄養化

有機水銀、PCB その他有害物質の海中排出は論外と
 して、内海漁場においては富栄養化による赤潮その他の
 漁業障害が起こっている。瀬戸内海における水質特性を
 述べると次のようである。

(1) 負荷の現状

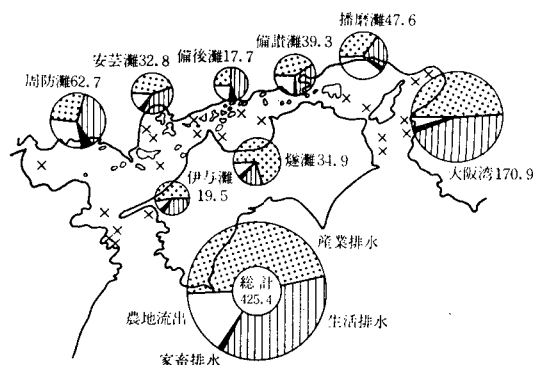
海水の富・過栄養化を構成する主たる栄養塩であるリ

* 正会員 農博 農業土木試験場水産土木部
 ** 正会員 農業土木試験場水産土木部
 *** 農業土木試験場水産土木部
 **** 東海大学海洋学部学生



リン負荷 (トン/日) 昭和44年瀬戸内海 (豊後、紀伊水道を除く)

図-2 リン負荷 (村上による)



チッ素負荷 (トン/日) 昭和44年瀬戸内海 (豊後・紀伊水道のぞく)

図-3 チッ素負荷 (村上による)

ン、チッ素の瀬戸内海に対する全負荷量は 図-2, 3 に
 示すように、昭和44年度においてはリン負荷 45.1t/日、
 チッ素負荷 425.4t/日 である¹⁾。これらは海域において
 は溶出あるいは沈殿する。これらの負荷のうち外海に拡
 散搬出されるのは溶出成分であり、不溶解成分は海底に
 沈殿し蓄積する。都市下水における溶解性物質比率は約
 6割²⁾であり、その中の、溶解性チッ素は約15% である
 から全体の8~10% である。よって瀬戸内海における
 溶解性チッ素負荷は35~43t/日と見積ることができる。

(2) 瀬戸内海の水交換特性

瀬戸内海と外海の水の交換量 q は $7 \times 10^{10} \text{ m}^3/\text{年}$ であ
 る³⁾。また瀬戸内海の水面積 A は $1.6 \times 10^{10} \text{ m}^2$ 、水容
 積 V は $4.9 \times 10^{11} \text{ m}^3$ である⁴⁾。瀬戸内海全域の平均潮

表一 瀬戸内海諸海域の諸要因
(安井善一, 1930 より)

項目	面 積		容 積		平均深さ
	Km ²	%	Km ³	%	m
播磨灘	3,425.90	21.99	88.71	18.21	25.6
備前灘	916.38	5.88	12.73	2.61	13.9
備後灘・鞆灘	1,906.44	12.23	35.59	7.30	18.6
芸予海峡	622.18	3.99	16.88	3.46	27.1
安芸灘	574.07	3.60	20.77	4.26	36.1
広島湾	1,058.02	6.79	25.30	5.19	23.9
伊予灘	3,498.98	22.46	196.52	40.33	56.1
別府湾	475.25	3.05	17.13	3.52	36.1
周防灘	3,100.71	19.90	73.63	15.11	23.7
瀬戸内海合計	15,577.93	100	487.26	100	29.0

位差は約 1.6m である。よって、年間交流量 $Q=1.8 \times 10^{13} \text{ m}^3/\text{年}$ であり、交流量に対する交換率 α は 0.4% にすぎない。

(3) チッ素濃度の変化

瀬戸内海の富栄養化の指標としてチッ素を用い、その濃度の時間的変化を検討する。

チッ素濃度 C の時間的変化は負荷量を N 、内海の初期濃度を C_a 、外海濃度を C_0 として式 (1) が得られる。

$$C = \left(\frac{N}{q} + C_0 \right) - \left(\frac{N}{q} + C_0 - C_a \right) \exp \left(- \frac{q}{V} t \right) \quad \dots\dots\dots (1)$$

$N=35 \text{ t/日}$ 、 $C_0=0.2 \mu\text{g-atoms/l}$ (昭和30年における濃度) として計算すれば 図-4 を得る。

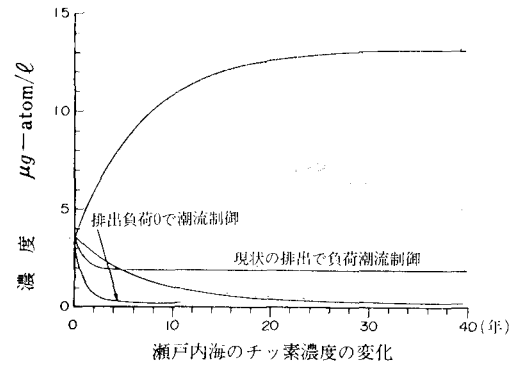


図-4 溶解性チッ素の濃度変化

図-4 に見るように瀬戸内海の水質は汚染負荷に対し平衡濃度に達していないことに着目しなければならない。現状においてさえ重大な障害を生じている瀬戸内海の過栄養化がこのままの負荷を続けるならば20年後には現状の約5倍となる。負荷の軽減は最も確実な方法であるが、今回行われようとしている排出規制も 図-2, 3 を見てわかるように工場廃水からの負荷を半減しても生活廃水、農業廃水を考えれば全負荷が 3/4 になるにすぎない。このとき平衡濃度は現状の約4倍となる。

負荷の現われかたは昭和47年7月の豪雨のように一挙に陸上の栄養排水を流出し負荷の大きい年と、48年のように降雨が少なく負荷の小さい年とがあり、負荷の変動は自然条件に影響される場合もあるが、平均的議論として 図-4 は重大な意味をもっている。工場廃水のみならず全負荷の約 1/2 を占める生活廃水、農業廃水は軽減することは困難であり、瀬戸内海を浄化するためには単なる負荷規制のみでは十分でなく、積極的な浄化工法が必要である。

3. 潮流制御

海水が潮汐によって流動エネルギーをもちながら往復潮流として海水交換に役立っていない場合、導流堤によって往復時の流れ易さを制御して恒流成分を惹起しようとするものである。現在検討中の導流堤は 図-5 に示す1対の双曲線形導流堤である。この水理機構は別途「導流堤による潮流制御について」⁹⁾ として報告する。

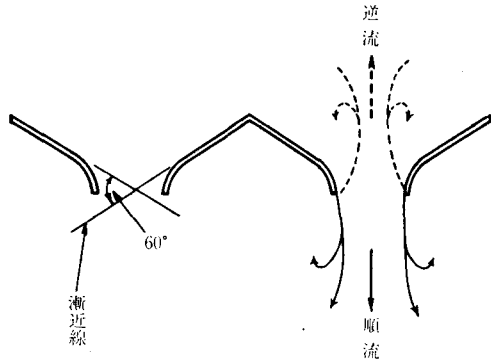


図-5 潮流制御工

(1) 明石海峡模型実験

瀬戸内海に通じる明石、鳴門、豊予、関門の4海峡のうち、支配的大きさをもつのは豊予、明石海峡である。表-1 に瀬戸内海の子な海峡の大きさを示す。現実の工

表-2 瀬戸内海の子な海峡の諸要因
(安井善一, 1930 および 1972 年潮汐表より)

項目	幅	最小断面面積	平均深さ	最大流速	
				ノット	m/s
海峡	Km	Km ²	m		
鳴門海峡	1.48	0.02481	16.8	10.2	5.2
明石海峡	4.00	0.19999	50.0	6.9	3.5
下関海峡	0.64	0.00870	13.6	8.2	4.2
豊予海峡	12.40	1.33960	108.0	5.8	3.0

事を考慮し地形的に明石海峡にて潮流制御を行うことを考える。明石海峡の中央流心部に 図-5 の導流堤を大阪側に狭さくして配置することを考え、幾何的縮尺 1/500 の無歪模型を用いて検討した。

条件は次のようである。観測は上、下流部の水位、流速、浮子による流跡線、色素による渦流領域である。

実験によって得られた平均流量係数 C は、

順流のとき $C=0.93$

逆流のとき $C=0.64$

である。

表—3 実験諸元

諸 元	原 型	模 型	縮 尺
水 平 長	2,400m	4.8m	1/500 (幅)
鉛 直 長	70m	14cm	1/500 (深さ)
時 間	—	—	1/22.4
流 速	2.21m/S~	99cm/S~	1/22.4
流 量	$3.7 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{S} \sim$	$66 \ell/\text{S} \sim$	$1/(5.6 \times 10^6)$
海 底 摩 擦 係 数	0.0026	0.0026	1/1
粗 度 係 数	$0.033 \text{ S/m}^{1/2}$	$0.012 \text{ S/m}^{1/2}$	1/2.73

(2) 潮流制御効果

導流堤以外の明石海峡地形による流量係数は、ほぼ 0.84 であるから、導流堤施工によって

順流のとき $C=0.93 \times 0.84=0.77$

逆流のとき $C=0.64 \times 0.84=0.54$

この潮流制御工を施工した場合の瀬戸内海の海水交換は、全域モデルによる検討が必要であるが、ここでは大まかな見積りを行う。

現況における明石海峡通水断面積 A は、 $1.68 \times 10^5 \text{ m}^2$ であり、導流堤配置後は $A=0.67 \times 10^6 \text{ m}^2$ となる。この縮小によって明石海峡通過流量は通水断面積比までは小さくならないが、導流堤効果を過大に見積らないために、この比率で考えると現況における平均流量 $7.0 \times 10^9 \text{ m}^3/6 \text{ hr}$ であり、制御工設置後の流量は $2.8 \times 10^9 \text{ m}^3/6 \text{ hr}$ 、したがって海水交換量 q は、

$$q = 2.8 \times 10^9 (0.77 - 0.54) = 6.4 \times 10^8 \text{ m}^3/12 \text{ hr} \\ = 4.7 \times 10^{11} \text{ m}^3/\text{年}$$

となり、設置前に対し約 7 倍の交換量となる。

この q を用いて式 (1) を計算した結果も 図—4 に示してある。

図—4 の効果は上述のように小さく見積ったものであるが、現状の負荷に対して 3 年後には約 3/5 の濃度に希釈される。

4. 導流堤による潮流制御工の特色

ここに提案した工法の特色を若干述べる。

① 天然の持つ潮汐エネルギーを海水交換に役立つよう制御するもので、人工的動力を必要としない。

② 瀬戸内海、大阪湾の富栄養水塊が紀伊水道を通じ

て黒潮に流れるが、紀伊水道の往復流で現濃度の約 1.2~2% に希釈され、紀伊水道、黒潮流が過栄養化して障害を起こすことはない。むしろ有害物質は含んではない。

③ 瀬戸内海の恒流は研究者、調査ごとに時計回りあるいは反時計回りと報告され詳細は明らかでないが、本工法はこれらに影響されないで効果を見積ることができる程度に、恒流成分を発生させることが可能である。

④ 導流堤の周辺に適当な魚礁群を配置し、全体を人工魚礁として漁場価値を高めることができる。

⑤ 工事費が比較的少なく、工法もそれほど困難でない。

なお、問題点として

⑥ 航路機能を阻害しない導流堤配置の検討、が残される。

5. 結 言

瀬戸内海の汚染は溶解物質に限っても現状のままでは 20 年後に約 5 倍となり進行過程にある。このため産業廃水の負荷規制は必要なことであるが、生活廃水、農業廃水が 1/2 以上を占めていることを考えれば、負荷量規制のみでは浄化の方向へ進まない。他方大洋は貧栄養で特に暖海系水塊では栄養分は深海に沈殿し未利用のまま放置されている。もしこれを上下混合すれば海洋における水産の生産力は約 80 倍になるとクリスティ、スコットは試算しているくらいである。チッ素やリンなどの栄養塩は海全体としては不足しているのであって、その分布に問題があるのである。沿岸の静穏な海域は産業、生活空間として適しているため、このような内湾、内海に負荷が偏る。逆にこのような海域は海水交換が悪く、過栄養海域となっているのである。海への栄養塩の負荷はその海域の海水交換特性に応じて定められなければならない。また適当な濃度で排出されなければならない。

海域の浄化をはかる有効な手段は海水交換、拡散の促進であり、瀬戸内海を浄化するために海峡部に導流堤を設置して潮流制御を行うことを提案する次第である。

参 考 文 献

- 1) 村上彰男：赤潮の発生環境、水産土木 No. 9~1, 1973.
- 2) 下水の一般的性質、衛生工学ハンドブック
- 3) 宇野木早苗：瀬戸内海における海水の交流と物質の拡散、海岸工学講演会論文集, 1970.
- 4) 安井善一：瀬戸内海諸海域の諸要因, 1930.
- 5) 中村 充・乃万俊文・萩野静也・吉沢 裕・浅沼讓二：導流堤による潮流制御について、海岸工学講演会論文集, 1974.