

大阪湾停滞性水域の流況改善技術に関する実験的研究

上嶋英機*・橋本英資****・田辺弘道**
宝田盛康***・山崎宗広****

1. ま え が き

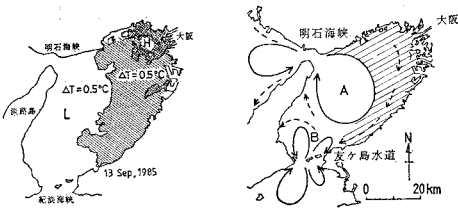
瀬戸内海の湾灘には閉鎖的で停滞性の強い水域が存在し、貧酸素水塊の形成や赤潮発生、底質悪化問題を呈している。一方、豊かさをほこる日本は今や、第2次海洋開発時代を迎え、日本沿岸一帯は海洋リゾート、海洋牧場等の海洋開発ブームで賑わい、海域利用の必要性が高まっている。このような中で、海域の適正な開発と環境保全とを両立する積極的な環境改善のための海域制御技術が強く望まれている。このため、本研究では停滞性水域の流動と水質環境を工学的手法により広域的、長期的な観点から改善し、多目的な海洋空間利用に対応し得る適正環境を創造するための流況制御技術の開発を進めている。

本研究の一環としてこれまで、閉鎖性の強い大阪湾及び別府湾における停滞性水域内の流動・水塊構造を明らかにする現地調査を実施した結果、停滞性水域内には強い閉鎖型循環流が存在していることが上嶋・湯浅ら(1987, 1988)によって確認された。更に、流況制御技術の基礎的な研究も進められ、宝田ら(1987)、山崎ら(1988)によりその結果が報告されている。

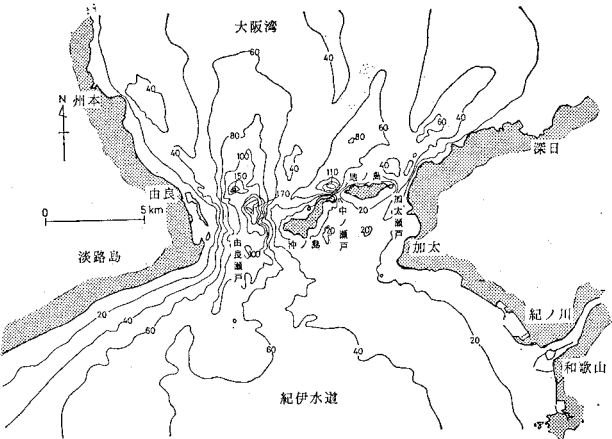
そこで本報では、大阪湾の停滞性水域改善のための具体的な流況制御工法として、湾口地形改変工法の適用による効果を検証するため、瀬戸内海大型水理模型を使用し実施した応用実験から、湾内流況変化と海水交換形態の変化について紹介する。

2. 実験内容

図一1は現状地形での大阪湾内に分布する循環流と停滞性水域の模式図を示したものであるが、湾内は明石海峡からの大きな時計回りの循環流 A (明石循環流) と、



図一1 大阪湾内の環流分布と停滞性水域模式図 (左図：海面熱画像からのスケッチ)



図一2 友ヶ島水道深・地形図

友ヶ島道からの湾口循環流 B の2つの循環流が存在し、両者の循環流に閉じ込められるように湾奥部に神戸沖から泉南沖にかけて停滞性水域が形成されている。

この大阪湾停滞性水域の流況改善を図るため、流況制御工法として、海底地形及び湾口地形の改変操作、及び海洋構造物の適正配置による工法を順次取扱い瀬戸内海大型水理模型 (水平 1/2000、鑿直 1/159) を使用して、実験的研究を進めているが、本実験では湾口地形改変工法を適用し、流況改善等の効果検証を行った。この工法は湾内に流入する潮流エネルギー量や海水交換量を制御可能とし、湾内循環流形態変化と海水交換の促進を図

* 正会員	工博	通産省中国工業技術試験所	海洋工学研究室長
**	理修	通産省中国工業技術試験所	海洋工学研究室主幹
*** 正会員	工修	通産省中国工業技術試験所	海洋工学研究室主幹
**** 正会員		通産省中国工業技術試験所	海洋工学研究室

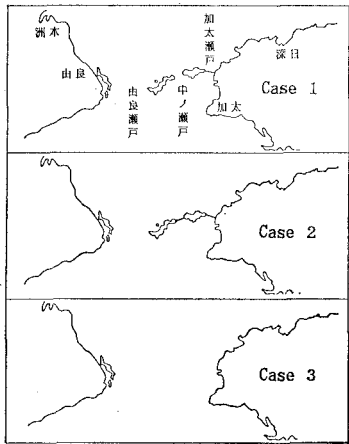


図-3 実験ケース (Case 1, 2, 3) と友ヶ島水道地形改変図

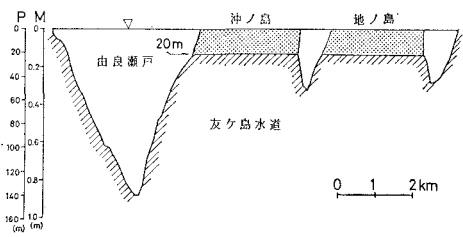


図-4 友ヶ島水道横断面図
(Case 3 : 沖ノ島, 地ノ島は水深 20m まで削除)

表-1 実験ケースと友ヶ島水道断面値

ケース	模型 (cm)	現地 (m)	割合 (%)
Case 0	9775.5	310857.8	100.0
Case 1	9121.2	290052.6	93.3
Case 2	8710.9	277005.1	89.1
Case 3	14229.2	452484.4	145.6

る上で大きな効果が期待できるものと考えられる。

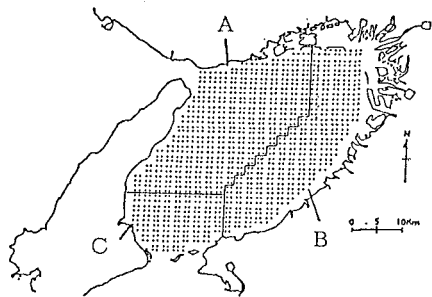
そこで、大阪湾の明石海峡と友ヶ島水道の2つの湾口部の中で、外洋に近い紀伊水道側湾口部の友ヶ島水道を対象として、湾口地形を各種改変し実験を行った。

図-2に示すように友ヶ島水道は全幅が約11 kmであるが、和歌山側の地ノ島、沖ノ島、そして淡路島側の由良間に、加太瀬戸、中ノ瀬戸、由良瀬戸の3つの瀬戸が存在し、前者の2つの瀬戸は水深が約50mと浅く、幅も1 km程度と狭いが、由良瀬戸(紀淡海峡)は水深140 mと深く、幅も約4 kmで全体の約35%となっている。また、各瀬戸部の断面積、由良瀬戸で全断面積の89%、中ノ瀬戸は4%、加太瀬戸は7%となっている。

そこで、実験ケースとしては、以下の4ケースを取り扱った。即ち、複数個の瀬戸部からなる友ヶ島水道の現状地形での実験をCase 0とし、他は図-3に示すよう

に、加太瀬戸のみを閉鎖した場合をCase 1、更に、中ノ瀬戸と加太瀬戸を閉鎖した場合をCase 2、図-4に示すように友ヶ島である沖ノ島、地ノ島の2つの島を水深20 mまで掘削し、水道部を全て開放した場合をCase 3として実験を行った。各実験ケースでの友ヶ島水道全体の断面積と割合についても表-1に示すとおりである。

実験内容としては①海峡部の流動形態変化、②湾内全体の潮汐潮流及び循環流規模の形態変化、③淀川河川水拡散形態の変化、④湾全体及び停滞性水域内物質の移動及び海水交換性の把握について調査した。実験潮汐として半日周潮(M_2 潮周期 282 秒)を水理模型内に与え、河川水は10 ppm濃度の染料水(ローダミン B)を使用し淀川から年平均流量で連続放流した。湾内流況及び海峡部流動測定は、友ヶ島水道横断測線上の代表点で電磁流速計による流速測定を行い、更に、横断測線上に模型水の比重に近いカラーボールを同時投入して追跡観測した。更に、各ケースでの海水交換実験では、図-5に示すように湾内を3水域に区分し、明石海峡循環域 A に赤ボール575個、泉南沖停滞水域 B には青ボール420個、友ヶ島循環域 C には緑ボール200個の合計1195個を模型海底面に設置したマグネットで均一に配置し、一斉に離脱させて全ボールの移動位置を追跡し湾内残留量及び、湾外への流出量を測定した。なお、模型内の潮位は大阪湾4地点、瀬戸内海全体で27地点で測定した。



水域	色	個数
A 水域	赤	575
B 水域	青	420
C 水域	緑	200

図-5 大阪湾内水域区分とボール配置

3. 実験結果

(1) 水道部の流動形態変化

友ヶ島水道部地形改変による各実験から1潮汐間における水道部流動パターンの変化を調べた。現状地形の水道部流況は図-1で示したように、由良瀬戸から淡路島

寄りに反時計回りの循環流が、加太瀬戸から時計回りの循環流が存在している。

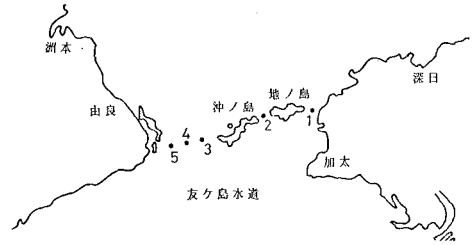
そこで、瀬戸部横断線から北流開始時（上げ潮時）にボールを投入し得た1潮汐間の流跡図が図—6である。図中、実線は上げ潮の半周期、点線が下げ潮の半周期である。由良瀬戸だけを開放した Case 2 の地形では、湾内流入域が Case 0 に比べて湾奥に深く侵入する縮流効果が見られ流軸は西に傾く。Case 3 では、水道部を全て開放したことによって断面積が増加したため、平均流速は減少し、湾奥への侵入は幅が広く均一に流入する結果が得られた。

次に、図—7 に示すように、友ヶ島水道部の各瀬戸部に St. 1 から St. 5 までの5測点に2成分電磁流速計を設置し、各実験ケースでの流速変動を測定した。測定した流速値から調和解析を行い、潮流楕円の長軸の流向、振幅（現地換算値）、位相について示したのが表—2である。各実験ケースにおける振幅値からは、現状地形 Case 0 の St. 2（中ノ瀬戸）で最も流速は速くなっている。Case 1 では St. 2 の振幅値には変化が見られず、St. 4, 5 で多少増加が認められる。更に、由良瀬戸（St. 3, 4, 5）のみを開放した Case 2 では、St. 4 の振幅が Case 0 に比べ約21%の増加、位相は12%進んでいる。全体的に断面縮小による縮流効果が見られる。

Case 3 では全体的に Case 0 に比べ振幅は減少しているが、St. 1 で55%に、St. 2 では66%、St. 3, 4, 5 の平均値では71%に減少している。位相も Case 0 と比較して St. 1 を除けば全体的に遅れの傾向を示している。

（2）大阪湾周辺の潮汐変化

大阪湾湾口部の地形改造に伴う瀬戸内海の全域における潮汐の変化を、図—8 に示した測点において測定し、10 周期間（ M_2 潮）の値から調和解析して得た結果を図示したものが図—9 である。この図は Case 1, 2, 3 の M_2 潮の潮汐振幅と位相について現状地形（Case 0）か



図—7 友ヶ島水道部横断線上の流速測定点

表—2 友ヶ島水道部各測点での潮流楕円、長軸の諸要素（振幅は現地換算）

	case	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5
方 向 (度)	0	25	3	9	35.4	2.2
	1	***	1	13	35.4	2.4
	2	***	***	12	35.7	2.7
	3	17	9	2	35.4	2.4
振 幅 (cm/s)	0	12.8	15.0	11.0	9.6	12.7
	1	***	15.0	11.5	11.1	13.4
	2	***	***	11.6	11.6	13.7
	3	7.0	9.9	7.1	6.6	10.0
位 相 (度)	0	45	47	68	86	79
	1	***	41	64	78	83
	2	***	***	60	74	83
	3	45	72	83	88	70

らの偏差で表し、振幅は、現地換算値で示した。

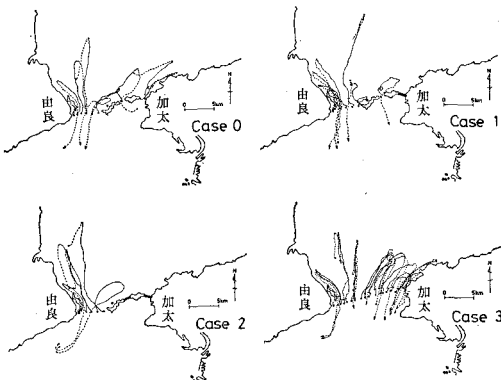
友ヶ島水道断面を縮小する Case 1, 2 の場合には、大阪湾内の潮汐の振幅は現況よりも減少し、沖ノ島、地ノ島を撤去する Case 3 での振幅は増加する。また、大阪湾の潮汐位相は Case 3 で、現況よりも遅れることが分かる。更に、大阪湾湾口部の地形改造に伴う潮汐の変化は大阪湾内にとどまらず、播磨灘以西においても認めることができ、その影響が瀬戸内海全体規模に達することが明らかとなった。

（3）大阪湾内の流況変化

湾内の代表点から同時放流したボールを10周期間追跡し得た恒流分布を図—10に示す。Case 0 に比べ各々のケースでは、明石からの循環流の規模とバランスを大きく変化させる結果となった。Case 1 の泉南沖（B 点）では Case 0 に比べ約2倍の速さの南下流となり、停滞性水域内の流況を大きく変化させる効果が示された。次に、Case 2 では、Case 1 より明石循環流域が南東にシフトしたため、神戸沖は Case 0 に近い恒流分布となるが、由良瀬戸（N 点）からの流入形態が異なる。更に、Case 3 では Case 0 で見られた友ヶ島付近の循環流 B が消去し、全体的に明石循環流を北へ押し上げる形に変化した。

（4）淀川河川水拡散形態の変化

大阪湾奥部の停滞性水域に分布する淀川河川水の拡散形態が、湾口部地形を改変することによりどのように変



図—6 1 潮汐間浮標流跡図—Case 0, 1, 2, 3

（実線：上げ潮期の0.5周期、点線：下げ潮期の0.5周期）

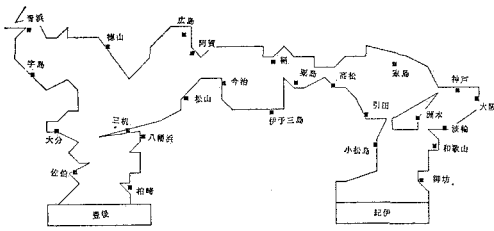
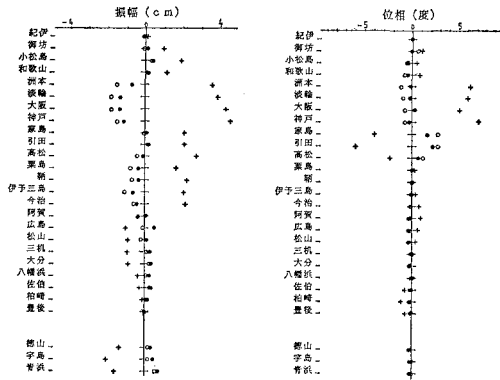


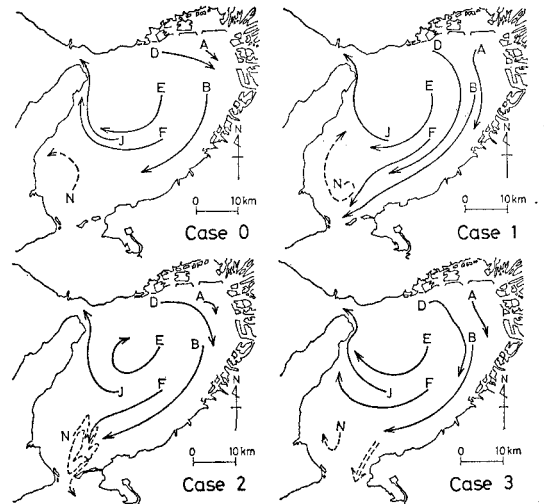
図-8 瀬戸内海模型内潮位測定点位置

図-9 各実験ケースにおける M_2 潮、潮汐振幅と位相の変化 (Case 0 の振幅及び位相に対する偏差 ●: Case 1, ○: Case 2, +: Case 3)

化するかを調べる実験を行った。即ち、淀川河口沖から泉南沖沿岸部に停滞する富栄養な河川水が赤潮の発生、貧酸素水塊の形成に大きく関わっているため、この水塊分布形態を変化させ、河川水の滞留を解除させるための流況改善と拡散促進が必要である。図-11 は、Case 0, 1, 2, 3 での50周期間の河川水移動分布を10周期毎の拡散前線と領域で示したものである(濃度分布ではない)。

河川水移動分布は前述の湾内流動形態に規定されているが、Case 0 の場合、淀川河口沖から友ヶ島水道に達した河川水は淡路島寄りに循環流に従って北上するため、河川水の滞留時間が長くなっている。

これに対し、Case 1 では、明石循環流の形態が変化することにより淀川河口沖から泉南沖にかけて河川水分布幅が広くなり、友ヶ島水道を抜ける河川水が多くなる。しかし、Case 2 の場合には明石循環流の拡張により沿岸部に押し込められた河川水は幅狭く張り付き、河川水の南下する時間が遅くなる。由良瀬戸から紀伊水道に流入するまで高濃度の染料水が維持され、湾内に広く拡散することは

図-10 大阪湾内代表点から10の周期間流跡図 Case 0, 1, 2, 3 (M_2 潮実験潮汐による恒流)

ない。

一方、Case 3 では、友ヶ島水道部の通過断面積が最も大きいにもかかわらず、河川水の分布状態は Case 2 とほぼ同じパターンを示すが、淀川河口から岸和田沖を南下する河川水の移動速度は最も遅い。しかし、40周期を過ぎて泉南から深日沖に河川水が到達すると友ヶ島水道部の広域な流動域に取り込まれ、一気に拡散希釈される。

以上各実験ケースでの河川水移動形態の中で、停滞性水域に分布する富栄養な河川水を拡散希釈しながら湾外に流出し水質改善を図る上で最も効果的な場合が Case 1 であり、Case 2, 3 は逆に、大阪湾奥部沿岸水域の河川水滞留時間を長くし、水質状態を更に悪化する可能性を

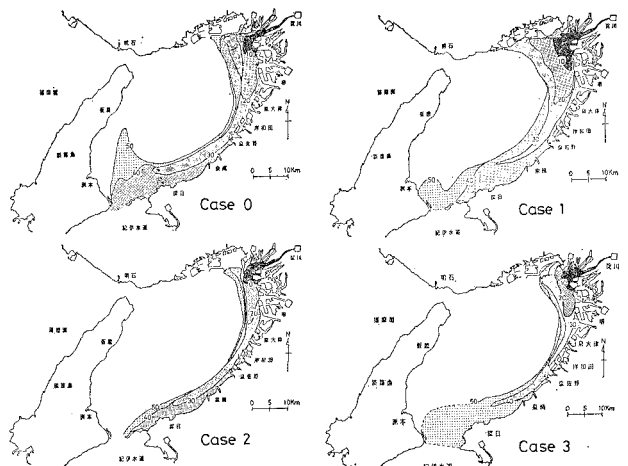


図-11 各実験ケースでの淀川河川水移動分布図 (図中の数字は周期数、50周期間)

示すことが明らかとなった。

(5) 湾全体及び湾内各水域の海水交換性

各実験ケースでの100周期目(約50日後)の大阪湾内ボール残留率と湾外流出率について示したが図-12である。図-5に示したように湾内3水域に配置した合計1195個のボールは、明石海峡を抜け播磨灘へ流出するものと友ヶ島を抜け紀伊水道に流出するものとに分かれる。100周期後大阪湾内に残留する率の最も少ないのが13.9%のCase 3で、この時の湾外流出率は紀伊水道で全体の71%、播磨灘で15%であった。次に、大阪湾内3水域に区分された各水域の交換性については、図-13に示す結果となった。停滞性水域(B水域)の100周期残留率は、Case 3とCase 1で11.9%、15.5%とCase 0の18.7%に比べ低く、現況での停滞性が改善される結果となっている。

4. 結 語

大阪湾停滞性水域の流況改善を目的として、湾口地形改変操作工法を瀬戸内海大型水理模型の大阪湾に適用し、友ヶ島水道の湾口地形を変化させる実験を行い、以下の結果を得た。

(1) 友ヶ島水道部の流動形態変化では、由良瀬戸だけを開放したCase 2が湾内に深く侵入する縮流効果を示し、Case 3では水道部から湾内へ広く均一に流入する形態が得られた。

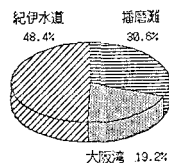
(2) 大阪湾内の潮位変化は、Case 1, 2で振幅は現況より減少し、Case 3で振幅は増加、位相は遅れることが分かった。さらに、瀬戸内海全域に対する潮位変化への影響は、播磨灘以西にまで達する結果となった。

(3) 湾内流況の形態変化としては、湾内循環流の規模とバランスを大きく変化させる結果となった。特にCase 1では、停滞性水域の泉南沖の流れが現状の約2倍の速さとなり、Case 2では明石循環流の規模が大きく湾東部に張り出す結果が見られた。

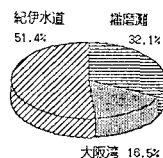
(4) 河川水拡散実験による淀川河川水の拡散形態の変化としては、Case 1で現状より拡散移動は促進するが、Case 2, 3では現状より悪化し、河川水の沿岸部張り付きが強くなる。

(5) 湾内残留率及び湾外流出率から見た湾全体の海水交換性については、Case 3の湾内残留率が13%と最も少なく、更に湾内を3水域に区分した中で停滞性水域(B水域)の残留率が最も少ない場合がCase 3であった。以上の結果からCase 1が湾口全断面積4%を改変しただけで他の改変率の高いケースに比べ、湾内流況変化及び海水交換性と河川水拡散の促進に大きな効果を持

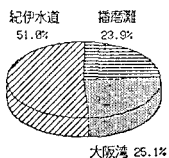
Case 0 (現状地形)



Case 1



Case 2



Case 3

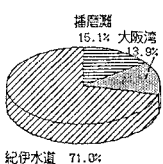


図-12 各実験ケースにおける大阪湾内残留率と湾外への流出率 (100周期実験結果)

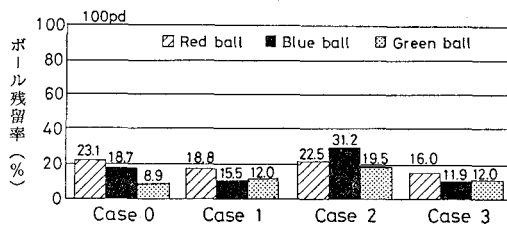


図-13 大阪湾内水域別湾内残留率の変化 (100周期実験結果)

つことが確認できた。

今後他の流況制御工法として海底地形改変による手法を用いて実験的にその効果を検証していきたい。

本研究は環境庁一括計上の公害防止技術特別研究による「潮流制御による瀬戸内海環境保全技術に関する研究」の一環として行ったものである。

参 考 文 献

- 上嶋英機・湯浅一郎・宝田盛康・橋本英資・山崎宗広・田辺弘道 (1987): 大阪湾停滞性水域の流動と水塊構造, 第34回海岸工学講演会論文集, pp. 661~665.
- 上嶋英機・湯浅一郎・宝田盛康・橋本英資・山崎宗広・田辺弘道 (1988): 別府湾停滞性水域の循環流と水塊構造, 第35回海岸工学講演会論文集, pp. 797~801.
- 宝田盛康・上嶋英機・橋本英資・山崎宗広・今村 均 (1987): 湾内水停滞性の制御・改善の実験的研究, 第34回海岸工学講演会論文集, pp. 666~669.
- 山崎宗広・今村 均・本嶋克二・宝田盛康・上嶋英機 (1988): 海底構造物による流況技術の研究, 第35回海岸工学講演会論文集, pp. 479~501.