

[特 集]

流況制御による海水交換促進の 技術に関する水理模型実験

山崎宗広¹・村上和男²・上嶋英機³¹正会員 (独法)産業技術総合研究所 海洋資源環境研究部門 (〒737-0197 広島県呉市広末広2-2-2)²正会員 工博 (独法)産業技術総合研究所 海洋資源環境研究部門 (〒737-0197 広島県呉市広末広2-2-2)

(現:武蔵工業大学教授 工学部都市基盤工学科 (〒158-8557 東京都世田谷区玉堤1-28-1))

³正会員 工博 (独法)産業技術総合研究所 海洋資源環境研究部門 (〒737-0197 広島県呉市広末広2-2-2)

本研究では、環境修復技術における海水の流れの重要性に着目し、停滞域の流れを制御して海水交換を促進する技術について検討した。技術としては、要素的な海底構造物の設置や湾口部の地形改変工法を取り上げ、湾形を2つのタイプに分けて湾内循環流の変化機構と海水交換の変化を平面水槽実験や瀬戸内海大型水理模型実験により評価した。その結果、湾口部が開放的であっても湾奥部が停滞しているような湾では、海底構造物を湾口前面の位置に設置することで、湾外の流れを導入し停滞域を解消することができる。また、湾口部が狭く閉鎖的な湾では、湾口部の深みを埋め込む地形改変工法が有効であり、海水交換の改善に効果的な手段になることが分かった。

Key Words : *flow control, water exchange enhancement, hydraulic model experiment, submerged dike, topography modification*

1. はじめに

流れの遅い停滞域では、外海との海水交換が小さく、そのために水質環境が極度に悪い。そのような水質環境の悪い停滞域は、瀬戸内海の閉鎖性海域に多くみられる。

瀬戸内海等の閉鎖性海域の汚濁防止策として、これまでに陸側から各種の排水規制が実施されてきた。しかしながら、大都市を背後に控える海域では、有機性の汚濁物質による水質汚染は未だに改善されておらず、広い範囲で貧酸素水塊の形成や赤潮の発生といった、水質環境問題が依然として存在している。この水質環境問題の原因は、排水規制等の努力にも拘わらず閉鎖性海域に流入する汚濁負荷量が、自浄作用や海水交換によって海域外に出ていく量よりも多く、有機性の汚濁物質がその海域内に蓄積することにある。そして、その原因の主要なものとして、流れが遅く停滞域となっていることが多い。

本研究では、環境修復技術における海水の流れの

重要性に着目し、停滞域の流れを制御して海水交換を促進する技術について検討した。技術としては、要素的な海底構造物の設置や湾口部の地形改変工法を取り上げ、湾形を2つのタイプに分けて湾内循環流の変化機構と海水交換の変化を平面水槽実験や瀬戸内海大型水理模型実験により評価した。

2. 閉鎖性内湾の水質環境における海水流動の重要性

図-1は、これまでの瀬戸内海大型水理模型実験結果¹⁾を基にして、海水交換の悪い停滞域を模式的に示したものである。なお陰影部で示した停滞域は、超音波流速計より得られたM₂潮に対する潮流楕円要素の長軸方向の振幅値と染料を使った海水交換実験結果より総合的に判断して得た。図中の数字は、現地換算したM₂潮の潮流楕円要素の長軸方向の振幅値である。停滞域は東から、大阪湾、播磨灘、燧

灘、広島湾、周防灘および別府湾である。

次に、塩沢ら²⁾が瀬戸内海全域における441地点の底質調査より明らかにした底質汚染の分布を図-2に示す。図-1に示した停滞域と底質の汚染場所がよく一致している。これは、停滞域の水質が汚染されて有機物がその海域に堆積しやすく、また汚染された底質からの栄養塩の溶出による汚濁負荷等があるからであり、海域の流動は水質環境にとって重要な要素であることが理解できる。

以上の観点から、流れを制御することによって浄化機能の増進や海水交換を促進することのできる、海域の環境修復技術の開発を考察する。

3. 流況制御による海水交換促進実験

停滞域の流れを制御して、外海域のフレッシュな海水との交換量を大きくし、汚染された海域の環境を修復する工法について考える。海水交換の促進に

は、潮流と地形との相互作用による残差流の調整が最も効果的であることが分かっているが、潮流の発生原因である潮汐の発生自体を制御することは、天体運動が制御出来ない限り不可能である。従って、流況を制御するとなると、地形的な要因を調整する以外に方法はない。瀬戸内海を例にすると、湾規模の広域的な流況制御の工法として先ず考えられることは、潮流が強い湾口部や海峡部における構造物の設置や地形操作である。

一般的に、閉鎖的な地形では停滞域が存在しやすく、開放的な地形では停滞域が存在しにくいと考えられる。しかし、別府湾は図-1に示したように、湾口部が開放的であっても湾内の流れが弱くて停滞域となっている。この別府湾の底層では、夏季になると無酸素状態になることが塩沢ら³⁾により報告されている。そこで、図-3に示すように湾を典型的な2つのタイプに分類して考察する。タイプIは、湾口幅 b が湾幅 W と同程度の大きさの開放的な湾であって、湾外では比較的強い潮流があるが湾内の海水が

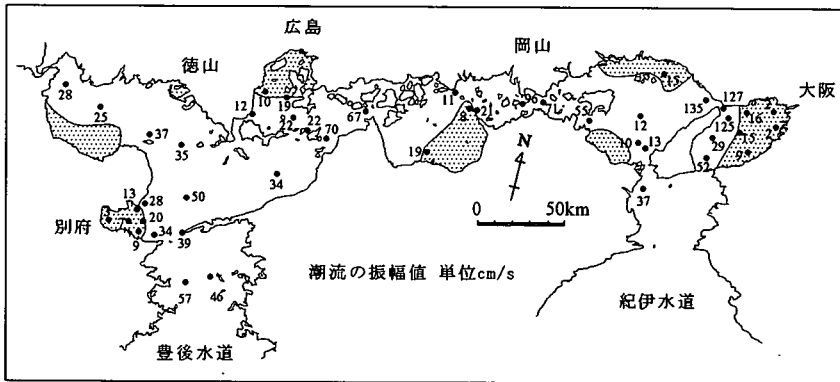


図-1 瀬戸内海の代表点における潮流の振幅値と停滞域の模式図
(瀬戸内海大型水理模型実験結果¹⁾より作成)

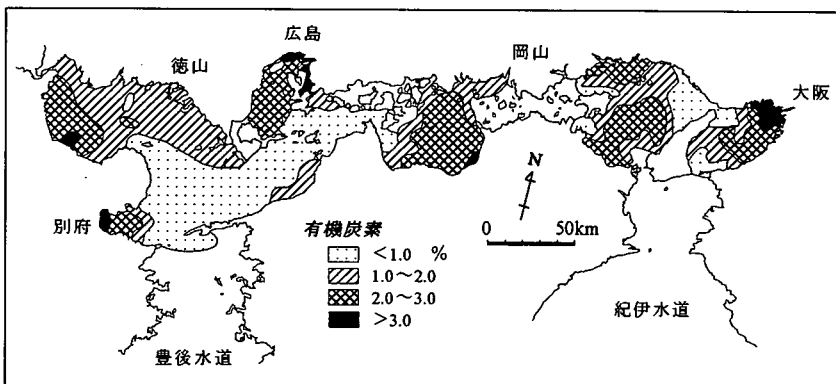


図-2 瀬戸内海の堆積物中における有機炭素の分布²⁾

停滞している場合であり、別府湾を想定したものである。タイプIIは、湾口が狭い閉鎖的な湾であって、湾口部では比較的強い潮流があるが湾内の海水が停滞している場合であり、徳山湾を想定したものである。徳山湾も湾内は停滞して水質・底質が汚染されており、生活環境の保全に関する環境基準はB類型に指定されている。

ここでは、停滞域の流れを制御して海水交換を促進する技術として、タイプIの湾に対しては構造物によって湾外の潮流エネルギーを利用する海底構造物設置工法を、タイプIIの湾に対しては湾口水深操作によって湾口部の潮流エネルギーを利用する湾口地形改変工法を取り上げる。以下、それぞれの工法について水理模型実験の結果を述べる。

(1) 湾口部が開放的なタイプI形状での停滞域

実験に使用した水槽は、図-4に示す平面水槽である。水槽の端部には、プランジャー式起潮装置が設備されており、潮流はこのプランジャーの昇降によって作り出すことができる。実験は、水槽内に湾口部が開放的なタイプI形状の矩形湾を図-3に示した流れの方向に設定して、海底構造物の設置効果を検討した。

矩形湾の規模は、別府湾を想定しながら湾口幅と湾幅を60cm、湾長を50cmとした。潮流の実験条件は、湾外の流程が湾口幅の1.5倍にあたる90cmとし、周期を120秒、水深を15cmとした。海底構造物は厚さ1cmの合板を使用して作り、海底構造物の規模は、長さを湾口幅の1/2にあたる30cm、高さを水深の1/2にあたる7.5cmの潜堤型タイプとした。

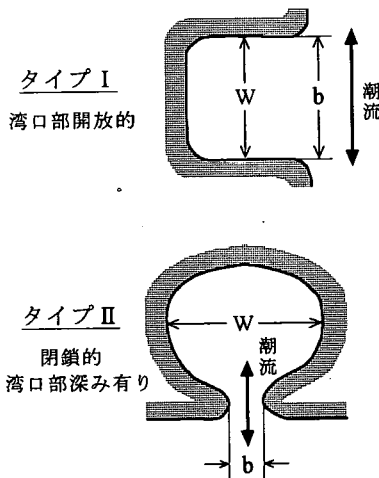


図-3 基本的な湾形タイプの分類
(b: 湾口幅, W: 湾幅)

湾内流況の測定には、二次元電磁流速計（アレック電子製、ACM-250型）を使用し、上層（水面下2.5cmの位置）と下層（水面下11.5cmの位置）において湾内を中心に湾外も含めて10cm間隔格子状の100測点の位置で行った。

図-5は、海底構造物の設置の有無による流況パターンの変化を示したものである。図は、流速計より得られた流速分布を1/8周期毎に流況パターンの形で模式的に示したものであり、潜堤型海底構造物は湾口中央部に設置している。潮流の位相は、湾外の流れが図面の上下向きから下向きとなる転流時を0deg.としている。

構造物を設置しないケース（図中(a)）では、上層も下層もほぼ同様な流れのパターンを示し、位相0deg.の転流時には湾内に反時計回りの流れが存在する。その後、湾口上流側において流れの剥離による渦が形成され、湾内には時計回りの流れが発生するようになる。この時計回りの流れは、徐々に発達し位相135deg.の時点では、湾外の主流から閉じこめられた形となる。なお位相90deg.の流れの最強時には、循環流に閉じこめられるような形で湾奥部に停滞域が存在している。

一方、潜堤型海底構造物を設置したケース（図中(b)）では、位相0deg.の転流時には湾内に時計回りと反時計回りの流れが存在する。位相45deg.の時点では、湾内に湾口上流側からの流れの剥離による渦が、時計回りの流れとして湾内に形成される。更に、下層では構造物を迂回し下流側の湾口から湾外に流出する流れが作り出される。こうした流れのパターンは、位相90deg.、135deg.でも持続される。このように構造物の設置は、湾外の強い流れを湾内に導入することができる。

なお、別府湾は潮流が卓越している海域であるが、山崎ら⁴⁾は海流が卓越している場を想定して定常流場におけるタイプI形状の実験を実施している。それによると、構造物の設置位置を変えることにより

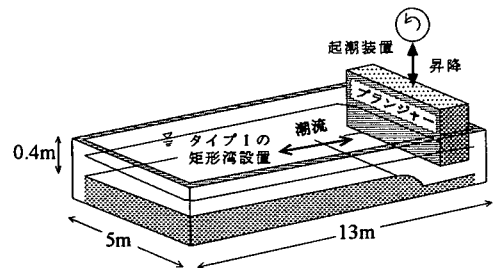
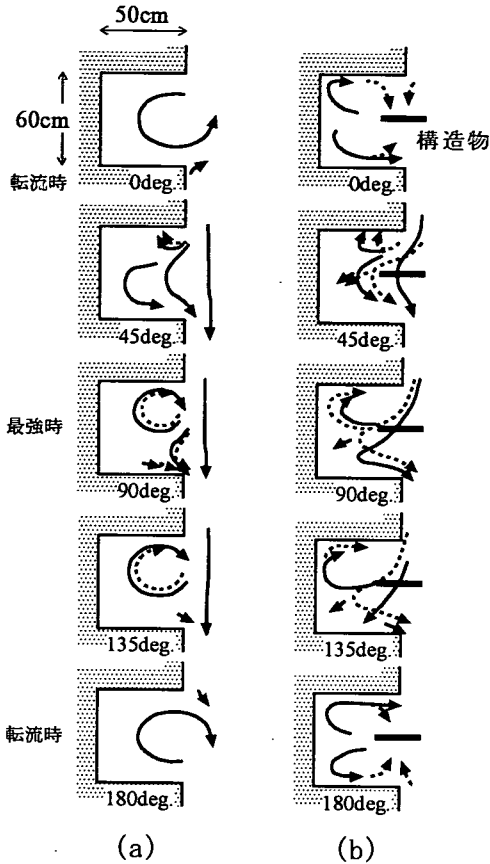


図-4 平面水槽の概観図



実線：上層の流れ，破線：下層の流れ

図-5 潜堤型海底構造物の設置の有無による流況の変化
(a)：構造物なし，(b)：構造物設置

湾内の環流方向を逆方向に変えることが可能であることを示している。

次に、この平面水槽実験の結果を踏まえ、瀬戸内海大型水理模型内の別府湾に海底構造物設置工法を適用した。

実験装置である瀬戸内海大型水理模型は、Froudeの相似則に従い、水平縮尺 1/2000、鉛直縮尺 1/159の歪み模型であり、海底地形は詳細な海図を基に製作されている⁹⁾。実験は、潮汐を現地と同様に再現させるため、紀伊水道、豊後水道および響灘の3ヶ所の起潮装置に、瀬戸内海で卓越する半日周潮(M₂潮)を与えて行った。湾内の流況変化は、水面に浮かべた浮標ボール(比重0.92、直径6cm)の動きをビデオ撮影して評価した。

別府湾は、湾口部が開放的で平均水深が50m近くある。図-6は、模型の現況における残差流と停滞

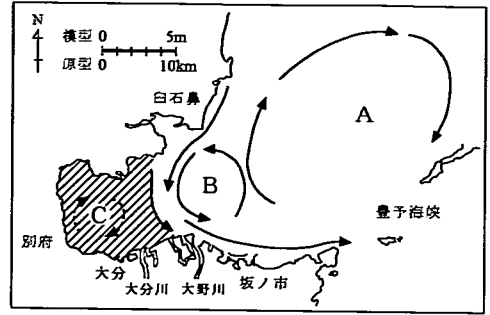


図-6 別府湾の残差流と停滞域(陰影部)

域を示したものである。白石鼻沿いに南下する強い残差流が存在し、湾口の前面には豊予海峡の潮流に起源する強い残差循環流A、湾内にはB、Cの残差循環流が存在している。この湾奥部に形成される残差循環流Cは非常に弱く、湾奥部の海水は停滞している。なお、上嶋ら⁹⁾は現地調査により、この弱い時計回りの残差循環流と湾奥部が停滞域になっていることを確認している。

湾奥部の停滞域の改善を図る手段として堤防型タイプの海底構造物を利用した。これは構造物により、湾口前面における強い潮流エネルギーや白石鼻沿いに南下する強い残差流を湾内に導入するためである。

図-7は、堤防型海底構造物の設置の有無による流況の変化を示したものである。図は、浮標ボールを5潮汐周期間追跡して得たものであり、堤防型海底構造物は、長さ2m(現地換算4km)とし、湾口部に設置した。なお堤防型海底構造物は、厚さ1cmの合板を使用して作り、構造物の高さは水深より30cm高くした。現況地形CaseB0の場合、湾口部の流れは早いものの湾内の海水は停滞している。一方、海底構造物を設置したCaseB1の場合、湾口部の反時計回りの循環流が湾内に入り込むようになり、湾奥部では現状地形に比べて流動の規模は大きくなっている。

海水交換は、図-7に示す①-②ラインより湾内側の領域を湾内と定義し、250個の浮標ボールを均一に初期配置して、浮標ボールの湾内残留率より評価した。実験開始から100潮汐周期後の湾内残留率を算定すると、現況地形のCaseB0の場合は70%、海底構造物を設置したCaseB1の場合は18%となり、海底構造物を設置することで残留率の値は約1/4と小さくなっている。

このように海底構造物の設置は、湾外の強い流れを湾内に導入し、海水交換を促進することができる。この海水交換の促進のメカニズムは、水平循環流に

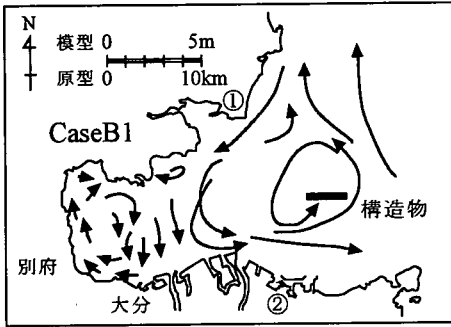
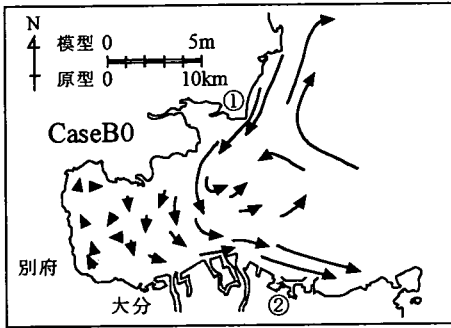


図-7 別府湾における堤防型海底構造物の設置の有無による流況の変化

よる海水交換が大きく増大しているためであると推測される。

(2) 湾口部が閉鎖的なタイプII形状での停滞域

一般的に閉鎖性の強い湾の湾口部の水深は、湾内に比べて深くなっていることが多い。例えば、徳山湾がそうである。ここでは、湾口部の深みを埋め込んで水深を浅くする地形改変工法について述べる。

閉鎖的なタイプII形状のような湾では、夏季になると鉛直的に成層化することが多い。そこで平面水槽実験では、このような夏の成層期を想定した場合も含めて、湾口地形改変工法の効果を矩形湾の流動変化より評価した。

実験に使用した水槽は、図-8に示す二成層流平面水槽である。この水槽は、淡水(上層)と塩水(下層)を用いて作成した二成層状態において、空気圧制御により水槽内に潮汐を発生させることができる。実験は、徳山湾を想定しながら水槽内に湾口部が閉鎖的なタイプII形状の矩形湾を設定した。

図-9は設定した矩形湾の地形を示したものである。矩形湾の規模は、湾幅と湾長を2m、湾口幅を0.2mとし、湾口水深を20cm、湾内水深を10cmとした。成層条件は、山口県内海水産試験場が行った徳山湾の現地調査結果⁷⁾を参考にして、上層と下層の密度

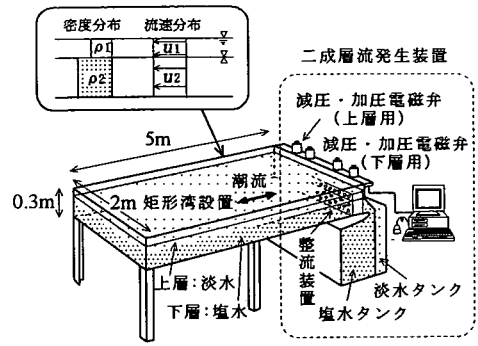
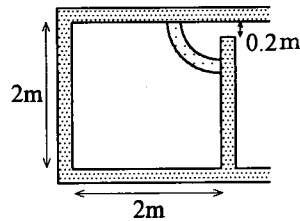


図-8 二成層流平面水槽の概観図

(平面図)



(側面図)

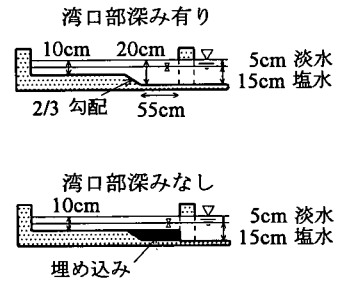


図-9 タイプII形状の矩形湾実験地形

差 $\Delta \sigma_t$ ((下層密度 - 上層密度) \times 1000) を 0 (成層なし、一様密度)、2.87、4.87 と変化させ、湾内における層厚は上層、下層とも 5cm とした。潮汐条件は、振幅を 0.58cm、周期を 180 秒とした。海水交換促進のための湾口部の深み埋め込み操作は、図-9で示すように湾内の水深と等しくなるまでの規模とした。

なお、徳山湾の夏季における密度成層は、湾内に流れ込む大きな流量の河川がないために塩分成層よりも水温成層が発達していることが、山崎ら⁸⁾により報告されている。そのため実験では、図-8の流速分布で示すように、上層と下層の流速が等しくなるように制御用計算機で制御し、エスチュアリー循環

のない二成層流状態を再現することにした。

湾内の流況変化は、湾内に均一に初期配置した上層用と下層用の浮標の動きをビデオ撮影して評価した。この上層浮標は直径 2cm の発泡スチロール製のものを、下層浮標は下層の流れを捉えるために十字型抵抗板を取り付けたものを使用した。

図-10は、平面水槽実験より得られた成層がなく湾口部に深みがある CaseH0 の流跡変化を示したものである。図は、上層浮標および下層浮標を 3 潮汐周期間追跡して得たものである。成層がなく湾口部に深みがある CaseH0 の場合には、湾口部に比較的強い流れがみられるものの、湾奥部では流れが殆どなく停滞し、上層浮標と下層浮標の動きに顕著な違いはみられない。

図-11は、成層がなく地形改変を施した CaseH1 の、1 潮汐周期間の流跡を示したものである。湾口部の深みを埋め込むと、上層、下層とも湾内の流れが強化されて CaseH0 で存在していた湾奥部の停滞域を解消し、湾全体に強い反時計回りの循環流が生

深み有り地形 (CaseH0)

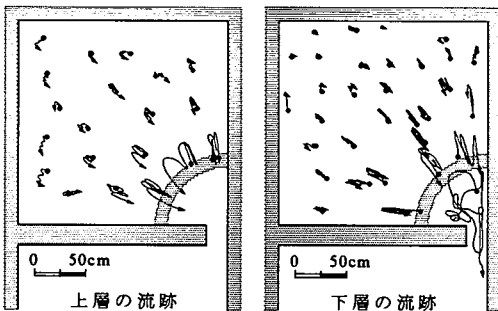


図-10 深み有り地形における上層および下層の流跡変化 (3潮汐周期間浮標を追跡, 成層なし)

深みなし地形 (CaseH1)

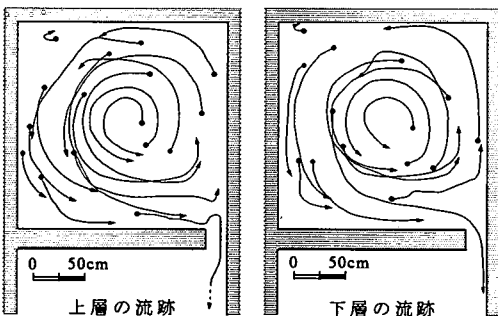


図-11 深みなし地形における上層および下層の流跡変化 (1潮汐周期間浮標を追跡, 成層なし)

じる。この地形改変による流動の変化は、湾口部で発達した渦度が、深み有り地形の場合には湾口部の深みで減衰して湾内に輸送されないのに対し、深みなし地形では地形変化がないので湾奥部に輸送されたことによると思われる。

図-12は、PTV システム (nexus 製 PTV II 型) より得られた湾内における平均渦度の時間変化を湾口部の下げ潮後の憩流時を 0deg.として 1 潮汐間に渡って示したものである。この PTV システムとは、流れ場に投入した個々の浮標の動きを画像処理により追跡し、流速分布を測定する粒子追跡計測手法のことである。図に示す平均渦度は、各メッシュ点での渦度 ($\omega = \partial v / \partial x - \partial u / \partial y$) を求め、その値の湾内全域の平均値を求めたものである。両実験ケースとも湾内の平均渦度は、上げ潮期に発達して下げ潮期には減衰している。しかし、その値は湾口部の深み有無によって大きく異なり、深みの有る CaseH0 よりも深みのない CaseH1 の方が 1 桁ほど大きい。この湾口部の深み埋め込みが、上げ潮時に湾口部で生成される反時計回りの渦度を湾内に輸送させ、この渦度が湾内の循環流を促進したものと考えられる。

図-13は、海水交換を評価するために、湾内に残留する浮標の時間変化を示したものである。図の浮標残留率は、各潮時における湾内に残留する上層用と下層用の浮標の合計個数を投入量で正規化して示したものであり、横軸の時間単位 pd.は 1 潮汐周期を表す。浮標残留率の時間変化をみると、湾口部の深みを埋め込んだ CaseH1 の方が減少速度が早く、海水交換の良いことが分かる。

均一流体場における深み埋め込みの海水交換性の改善に対する効果は、平均滞留時間が CaseH0 に対し 62 潮汐周期、CaseH1 に対し 10 潮汐周期と評価され、湾内の滞留時間を 1/6 に減少させている。こ

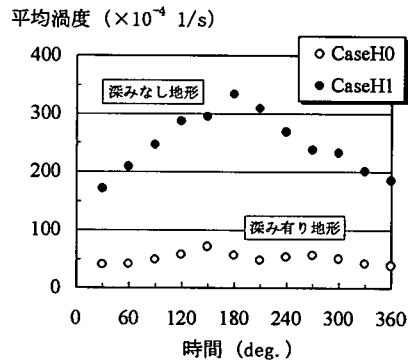


図-12 湾内における平均渦度の時間変化

浮標残留率 (%)

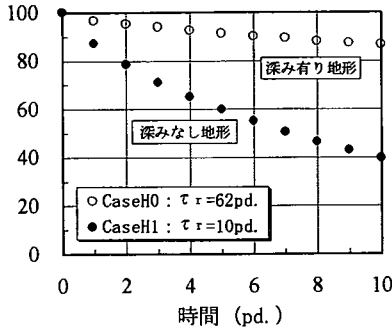


図-13 湾内における浮標残留率の時間変化 (成層なし)

の平均滞留時間 τ_r は、図-13に示した浮標残留率変化を $\exp(-at)$ 、(t は潮汐周期、 a は定数) で近似し、 $0 \sim \infty$ まで積分して求めた。

なお山崎ら^{8), 9)}は、数 km から 10km ほどの大きさを持つ小内湾や湾幅と湾長の水平形状の異なる湾に対しても、地形改変による海水交換促進の効果が認められることを報告している。

次に、成層場の実験結果について述べる。

図-14, 15は、上層と下層の密度差 $\Delta \sigma_t$ が 2.87, 4.87 の場合の、上層浮標および下層浮標の流跡を示したものである。図-10に示した密度成層がない条件では、上層浮標と下層浮標の動きに違いはみられなかったが、図-14, 15に示すように密度成層が存在すると、上層浮標と下層浮標の動きに変化がみられ、その移動量は下層よりも上層の方が大きい。また CaseS1 よりも成層強度の強い CaseS2 の方が流動の規模は大きく、上層、下層とも湾内に反時計回りの水平循環流がみられる。この湾口部に深みを持つ地形の上層の流れの違いは、密度成層が存在することにより海水の上下混合が弱くなり、上層では海底地形の深みの影響を受けることが小さくなったためだと考えられる。

図-16は、湾内に残留する浮標の時間変化を示したものである。湾内水全体の海水交換を評価するために、浮標残留率は上層用と下層用の浮標の合計個数より求めた。浮標残留率の時間変化は、均一流体場の時と同様に密度成層場においても湾口部の深みを埋め込んだ実験ケースの方が減少速度が早く、海水交換の良いことが分かる。また両地形とも成層強度の強い方が、浮標残留率の値は小さい。

密度成層場における深み埋め込みの海水交換性の改善に対する効果は、平均滞留時間が深み有り地形の CaseS1, S2 に対し 35, 28 潮汐周期、深み埋め

成層 $\Delta \sigma_t = 2.87$ (CaseS1)

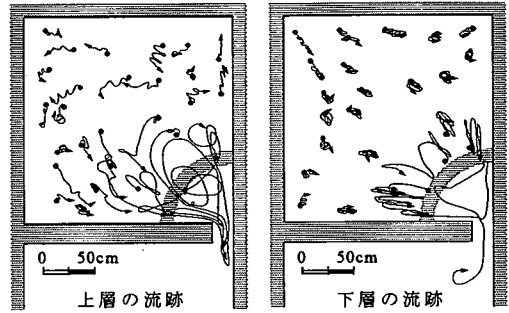


図-14 成層場の深み有り地形における流跡の変化 (3潮汐周期間浮標を追跡, 成層 $\Delta \sigma_t = 2.87$)

成層 $\Delta \sigma_t = 4.87$ (CaseS2)

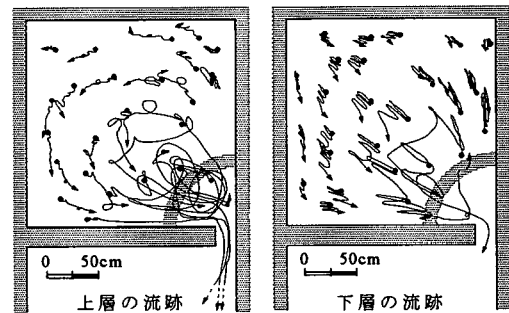


図-15 成層場の深み有り地形における流跡の変化 (3潮汐周期間浮標を追跡, 成層 $\Delta \sigma_t = 4.87$)

浮標残留率 (%)

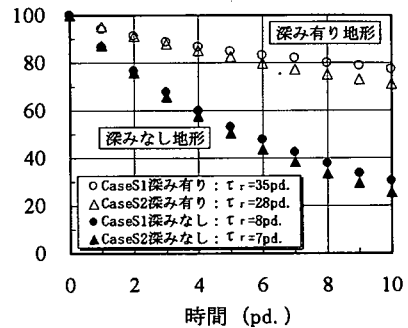


図-16 湾内における浮標残留率の時間変化 (成層あり)

込み地形の実験ケースがそれぞれ 8, 7 潮汐周期と評価された。以上のことにより、湾口部の深みを埋め込む地形改変工法は、海域が成層状態にある場合でも有効であることが分かった。

次に、瀬戸内海大型水理模型内の徳山湾に湾口地形改変工法を適用した。ここでは、著者らによる実験結果の報告のもとに、その内容を説明する。

図-17は、現況の徳山湾の地形形状を示したものである。湾の現地スケールは、約9km×4kmであり、大津島と大島間および大津島と黒髪島間が主な開口部となっている。模型実験としては、大津島と大島間にある深みを埋める地形改変工法を試みた。

図-17の(b)は、A-B断面の水深を示したものであり、湾口の最狭部での断面平均水深は、現況地形のCaseT0で30m（模型上の水深は18.9cm）、湾口部の深みを埋め込んだ地形のCaseT1で19m（模型上の水深は11.9cm）である。ここでも湾内の流況変化は、水面に浮かべた浮標ボール（比重0.92、直径6cm）の動きをビデオ撮影して評価した。

図-18は浮標ボールの流跡を示し、CaseT0の場合は10潮汐周期間、CaseT1の場合は3潮汐周期間に渡って追跡して得たものである。図中に示した点線の経路での、一巡時間を概略的に求めると、CaseT0、T1の順に、40、10潮汐周期となり、残差循環流は、地形改変を施した方が強く、循環方向が逆になっている。これは、湾口部にある深みを埋め戻すという地形操作が、湾口部で形成される渦度の湾内への輸送・残留を助長するためと推論される。

海水交換の評価は、湾内に均一に初期配置した164個の浮標ボールの残留率変化より行った。

図-19は、湾内に残留する浮標ボールの時間変化を示したものである。浮標残留率の時間変化は、湾

口部の深みを埋め込んだ CaseT1 方が減少速度が早く、海水交換の良いことが分かる。

深み埋め込みの海水交換性の改善に対する効果は、平均滞留時間が CaseT0 に対し 100 潮汐周期、CaseT1 に対し 25 潮汐周期と評価され、湾内の滞留時間を 1/4 に減少させている。こうした湾口部の地形改変は、湾内の循環流を変化させ、湾内水全体の

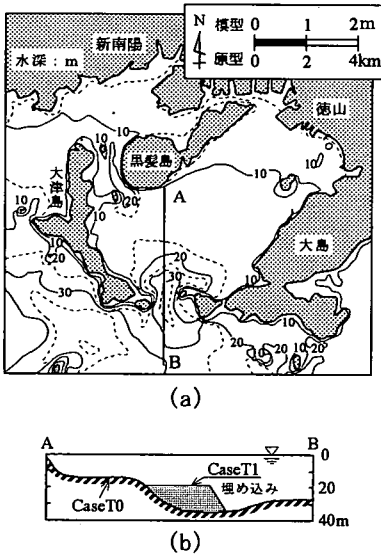


図-17 徳山湾の地形形状と実験ケース

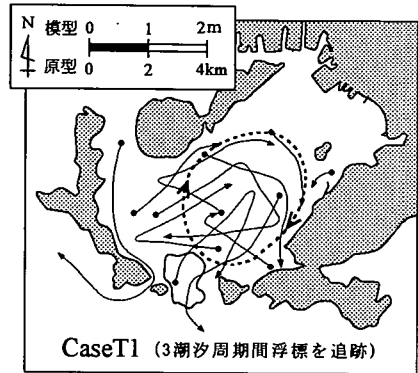
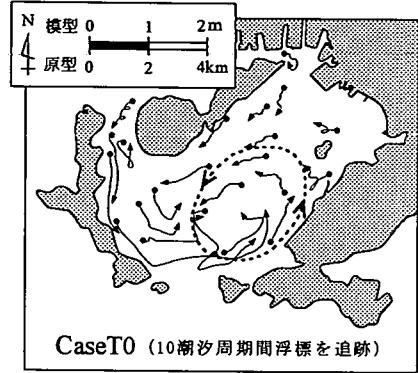


図-18 湾口地形改変による循環流の変化 (CaseT0: 現状地形, CaseT1: 地形改変)

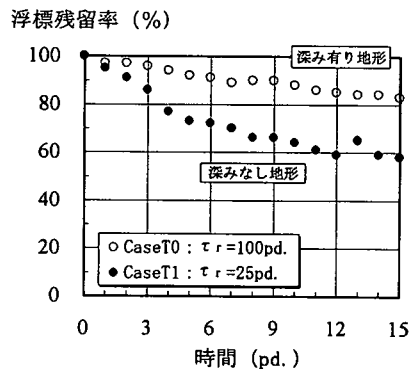


図-19 徳山湾における浮標残留率の時間変化

海水交換を改善する。地形改変による海水交換の促進のメカニズムは、湾口部の潮流の増大により湾口部での渦度の発生が大きくなり、これが湾内に輸送されて水平循環流を増大させ、海水交換を促進したためと推測される。

なお水理模型実験では、密度流や吹送流による鉛直循環流の効果を考慮していない。村上¹³⁾は、水深が深くて密度流や吹送流等によって鉛直循環流が存在するような海域では、湾口幅が狭いほど鉛直循環流による海水交換が小さくなることを指摘している。ここで扱った技術を現地へ適用する場合には、その現場海域の流れの特性を良く把握し、海水交換のどのメカニズムを促進し、または抑制するのかを検討することが必要である。

4. おわりに

これまで陸側から各種の排水規制が実施されてきたが、瀬戸内海の閉鎖性内湾では、海水の停滞性に起因して、広い範囲で貧酸素水塊の形成や赤潮の発生といった、水質環境問題が依然として起きている。今後の生活の豊かさの充実に向けた、沿岸海域の有効利用を進めて行く上で、これは大きな支障になり、海の持つ自浄能力を高めるといった、解決策が必要になる。平面水槽や瀬戸内海大型水理模型でケーススタディ的に進めた流況制御による海水交換促進実験は、こうした視点に立つものであり、構造物の設置や地形操作といった人為的手段によって、停滞性海域の流動を積極的に改変し、物理的側面から海の持つ自浄能力を改善することの可能性を検討したものである。水理模型実験により得られた成果を以下に要約する。

湾口部が開放的な形状での停滞域を対象とした水理模型実験より、

- (1) 海底構造物の設置は、湾外の強い流れを湾内に導入し、海水交換を促進することができる。
- (2) 別府湾において海底構造物設置工法を適用し、その効果を確認した。

湾口部が閉鎖的な形状での停滞域を対象とした水理模型実験より、

- (3) 湾口部の深みを埋め込む地形改変工法は、湾内の流れを強化して湾奥部の停滞域を解消し、海水交換を促進することができる。この効果は、海域が成層状態にある場合でも有効である。
- (4) 地形改変による流動の変化は、湾口部で発達した渦度が、深み有り地形の場合湾口部の深みで減

衰して湾内に輸送されないのに対し、深みなし地形では地形変化がないので湾奥部に輸送されたためだと考えられた。

- (5) 湾口部に深みを持つ地形の場合、密度成層が存在すると、下層よりも上層の方が流れは大きくなる。これは、密度成層が存在することにより海水の上下混合が弱くなり、上層では海底地形の深みの影響を受けることが小さくなったためだと考えられた。
- (6) 徳山湾において湾口部の地形改変工法を適用し、その効果を確認した。

参考文献

- 1) 中国工業技術試験所：瀬戸内海全域の汚濁予測に関する研究，中国工業技術試験所報告書，849p.，1980.
- 2) 塩沢孝之，川名吉一郎，星加 章，谷本照巳，滝村修：瀬戸内海の底質，中国工業技術試験所報告，第4号，pp.1-24，1979.
- 3) 塩沢孝之，川名吉一郎，星加 章，谷本照巳，滝村修：別府湾の環境化学的研究，中国工業技術試験所報告，第3号，pp.17-26，1978.
- 4) 山崎宗広，今村 均，本嶋克二，宝田盛康，上嶋英機：海底構造物による流況制御技術の研究，第35回海岸工学講演会論文集，pp.497-501，1988.
- 5) 中国工業技術試験所：瀬戸内海大型水理模型—その施設と設備—，中国工業技術試験所大型水理模型資料，94p.，1976.
- 6) 上嶋英機，湯浅一郎，宝田盛康，橋本英資，山崎宗広，田辺弘道：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.797-801，1988.
- 7) 廣本正和，藤村治夫：浅海定線調査，山口県内海水産試験場報告，第27号，pp.85-110，1999.
- 8) 山崎宗広，村上和男，早川典生：流況制御による環境修復技術の現地への適用性について，海岸工学論文集，第49巻，pp.1271-1275，2002.
- 9) 山崎宗広，宝田盛康，上嶋英機，朝位孝二：湾口部地形改変による停滞性海域の流況改善に関する実験的研究，海岸工学論文集，第45巻，pp.1026-1030，1998.
- 10) 宝田盛康，上嶋英機，橋本英資，山崎宗広，今村均：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.666-669，1987.
- 11) 村上和男：閉鎖性内湾域の海水浄化に係わる水理・水質環境に関する研究，港湾技研資料，No.900，142p.，1998.

(2003.1.10 受付)

HYDRAULIC MODEL EXPERIMENT ABOUT TECHNIQUE OF WATER EXCHANGE ENHANCEMENT BY FLOW CONTROL

Munehiro YAMASAKI, Kazuo MURAKAMI and Hideki UESHIMA

In order to find out effective measures to improve the bay water mass exchange, we carried out hydraulic model experiments. The experiment showed that the dike may change the circulating flow in the basin to improve the residence time of the basin water. The hollow filling around the bay mouth was very effective to strengthen the residual circulation in the bay. It was also highly improve the water mass exchange between the bay and adjacent sea. The effective of this method was also confirmed by the experiments of more realistical bays selected in the physical model of the Seto Inland Sea.