

海底構造物による流況制御技術の研究

山崎宗広*・今村均**・本嶋克二***
宝田盛康****・上嶋英機*****

1. まえがき

21世紀に向けた沿岸海洋開発では、国土の拡張、新しい産業用地の確保、水産漁業の振興、あるいは海洋レジャー空間の確保など、多目的な海洋空間の利用が望まれている。これらの開発対象となる沿岸海域は、一般に大都市圏を身近に控えるため、生活・工業排水にともなう多量の汚濁物質の流入負荷を受ける。また、このような海域の多くは、停滞性海域であり、多目的な空間利用を行っていくためには、そこでの積極的な流動環境の創造が必要となる。

上述の観点にたって、著者らは、これまでに瀬戸内海海域において水質、及び流動環境の把握と解明を現地観測¹⁾から行うとともに、湾内流況を制御する技術として湾口地形操作²⁾を水理模型実験から検討してきた。湾内流況制御は、単に湾内水の海水交換を促進するものではなく、物質輸送の経路や、湾内流況パターンを制御することにある。

本報では、海底構造物としての衝立壁による湾内流況制御を扱う。そのため、まず衝立壁の基本的な設置効果を明らかにし、次いで衝立壁による矩形湾での湾内流況制御を試みる。

2. 海底構造物の設置効果

これまでに、衝立壁近傍の流況については、多くの研究がなされており、特に、定常流場³⁾⁴⁾での、後流域、剥離渦、乱れ特性などがかなり明らかにされている。これらによると、構造物の流れに対する効果は、①構造物上層での縮流、②構造物角部からの渦の剥離、③構造物背後での逆流域の形成、④主流域と逆流域との間での乱れの増大、とまとめられる。これらの構造物の設置効果は、二次元的な立場から調べたものであり、三次元的な立場で構造物の効果を調べたものは少ない。また、潮流のような振動流に対する構造物の効果を調べたものも少

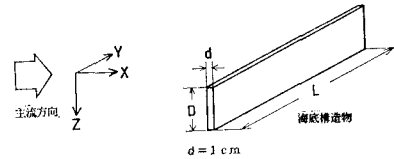


図-1 構造物形状と座標系

ない。従って、ここでは、まず二次元的立場と三次元的立場による構造物の設置効果の違いを、定常流の実験から明らかにする。次いで、鉛直二次元の立場から構造物の設置効果を振動流場の実験より明らかにする。

実験は、図-1に示すような構造物を主流に対し直角に設置して行う。

2.1 定常流場の実験結果

実験は、循環水槽（水路長 5.6 m, 水路幅 60 cm, 水深 15 cm, 主流速 6.1 cm/sec）を用い、水路側壁に堤防（高さ $D >$ 水深, 長さ $L = 1/2$ 水路幅）と潜堤（高さ $D = 1/2$ 水深, 長さ $L = 1/2$ 水路幅）を設置して行った。

それぞれの流速を図-2、図-3に示す。堤防の場合、逆流域内の流速は、構造物直後よりもやや離れた位置（2.5～4.5L 倍後方）の側壁側で強くなっている。さらに、潜堤の場合には、下層のみに逆流域が存在し、逆流

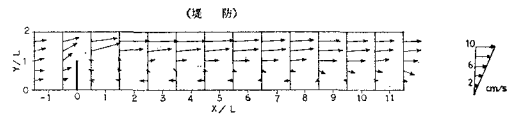


図-2 流速分布（堤防）

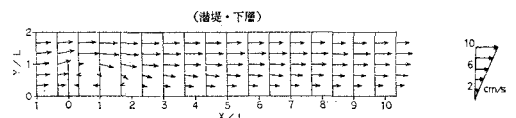
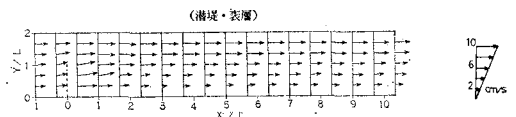


図-3 流速分布（潜堤）

* 正会員 通産省中国工業技術試験所 海洋工学研究室
** 正会員 五洋建設(株)技術研究所 海岸海洋研究室
*** 東和科学(株)環境科学課
**** 正会員 工修 通産省中国工業技術試験所 海洋工学研究室主研
***** 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

域の範囲は、堤防の場合より小さくなる。逆流域が小さくなる理由は、上層での縮流された流れと、下層の逆流域の流れが相反し打ち消し合っているためである。さらに観察によると、潜堤では構造物から剝離する渦によって鉛直混合が促進されていた。

2.2 振動流場の実験結果

実験に用いた水槽は、水路幅 50 cm, 水路長 10 m, 水深 50 cm の鉛直 2 次元水路である。振動流(周期 174 sec, 最大流速 3.9 cm/sec)は、水路両端部フロートの昇降によって発生させた(水位変動無し)。構造物の高さは、これまでに得られた知見により、水深の 2 割とした⁵⁾。

構造物直上(高さの 1.5 倍上方)での X 方向, Z 方向(図-1 参照)の流速の時系列変化を図-4 に示す。これより、潜堤が有る場合には、常に上向きの流れが存在し、転流時よりやや遅れて(1/8 周期後), Z 方向の流速は X 方向と同程度の大きさにまでなる。

このような Z 方向の流れによる上層と下層の混合効果を調べるために、染料実験(下層に連続放出)を実施した。図-5 は、鉛直 5 層に分割した各層ごとの染料の拡がり面積を写真撮影より判読し、累積して得たものである。図から、構造物の無い場合の染料は下層のみで拡がるのに対し、構造物が存在すると染料は表層まで速やかに達し、染料の拡がり率は、潮時に関係なくほぼ一定となっている。これには、乱れの外に、図-4 に示したように移流としての鉛直流の変化が大きく関与しているものと推察される。

図-6 は、このような移流の大きさを、一潮汐周期間の平均流の形で示したものである。これより、潜堤の前後に形成される鉛直循環流によって上下層の水は混合さ

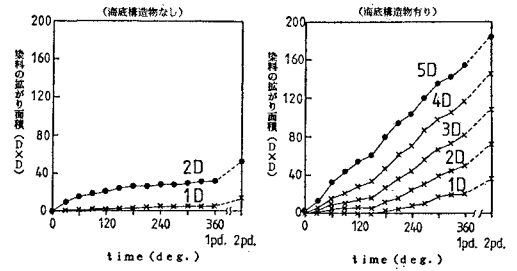


図-5 各層別の染料拡がり面積の時間的変化

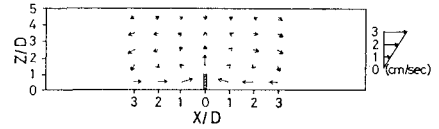


図-6 一潮汐周期間の平均流

れ、後は水平方向の移流によって流程距離内で分散される。

3. 矩形溝に対する流況制御実験

3.1 実験概要

矩形溝を対象として、2 章で示した構造物による湾内流況制御実験結果を以下に示す。実験は、2.1 節で示した循環水槽に、図-7 に示すモデル溝を水路中央の側壁に付加して行った。湾内流況の測定には、2 次元電磁流速計を使用した。また、構造物設置による湾内水の海水交換を評価するため、湾内の濃度が均一(5 ppm)になるように染料ローダミン B を溶かした後、湾内水の染料濃度変化をプローブ型濃度計により湾内代表 10 地点(湾角部及び中央部における上下 2 層)で測定した。

湾内流況と湾内水の交換速度を規定する因子は、湾形状、湾外における流れ、構造物の設置位置と設置角度、

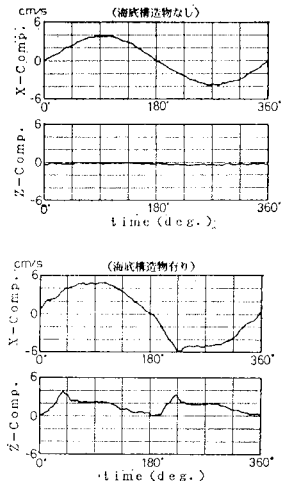


図-4 構造物直上における流速変化(高さ D の 1.5 倍上方で測定)

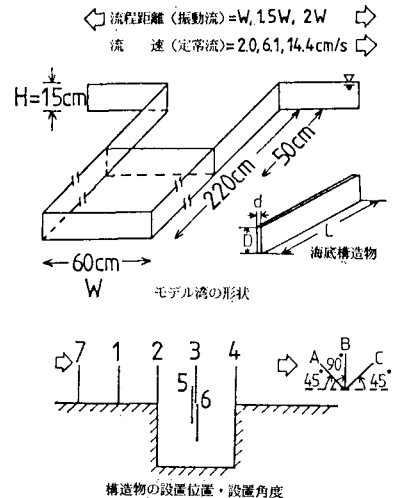


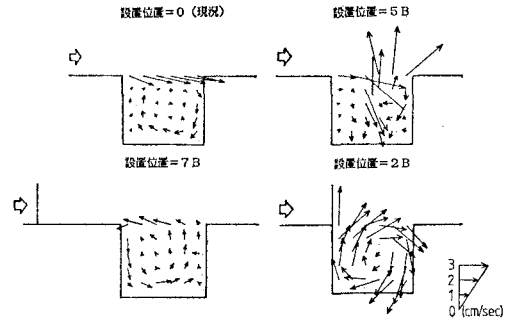
図-7 実験概要

構造物規模, である。実験は, これらの因子を組み合わせて行った。まず海底構造物の設置位置は, 図一7 に示す Case 1~7 とした。また, 設置角度は上流向き(A), 流れに直交(B), 下流向き(C), とした。そして, 湾外の流れについては, 潮流が振動流成分と恒流成分から表わされることから, 振動流場と定常流場の実験を別々に行った。振動流場の実験では, 流程距離を湾口幅の1, 1.5, 2 倍として行った。定常流場の実験では, 構造物規模, 湾形状も変化させた。構造物の規模は, 高さを1/4 水深~全水深(H)の範囲で, 長さを水路幅の1/8~1/2 の範囲で変化させた。また, 湾外の流れはフルード数を $1.6 \sim 12 \times 10^{-2}$ (レイノルズ数 $2 \sim 14 \times 10^3$) の範囲で変化させた。さらに湾の規模は, 湾奥長を湾口幅(W)の 5/6, 5/3, 11/3 と変化させた。

3.2 定常流場の実験結果

構造物設置位置及び設置角度による湾内水交換速度の変化を図一8 に示す。図中の値は, 現況(構造物を設置しない場合: Case 0)の平均滞留時間 $\tau_r = 637 \text{ sec}$ を100%として基準化したものである。○印は湾内全地点の平均を示し, 実線(潜堤, 構造物高さ $L=H/2$, 長さ $L=W/2$)及び点線(堤防, 構造物高さ $D>H$, 長さ $L=W/2$)で示した範囲は, 各地点の平均滞留時間の変動幅を示したものである。これより, Case 5 及び Case 2 (潜堤), Case 7 (堤防)では現況の1~3 割の時間で交換が促進される。また, 湾内水の交換にとっては, 構造物の設置角度よりも設置位置による影響が大きい。

図一9 は, 設置位置による特徴的な湾内流況パターンを示したものである。現況では, 湾内に環流がトラップされる。これにより湾内水の交換が悪くなっている(図一8 参照)。Case 5B では, 構造物が Case 0 におけるトラップされた環流を破壊し, 湾外水を湾内に導く働きをしている。Case 2B では, 構造物が Case 0 におけるトラップされた環流を強化する一方で, 構造物の逆流域から湾内水を湾外に引き出す働きをしている。Case



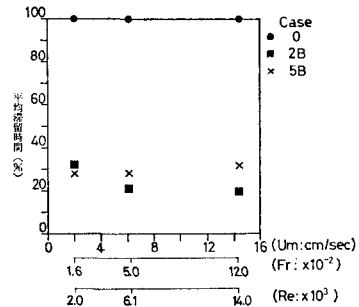
図一9 湾内の流速分布(下層)

7B では, 構造物が Case 0 にトラップされた環流の回転方向を逆にする働きをしている。

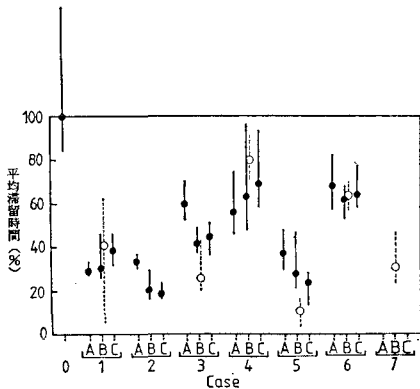
また, 図一10は湾外の流れの変化に対する湾内水の交換速度を Case 0, 2B, 5B(潜堤)について示したものである。フルード数, レイノルズ数が実験範囲で変化しても湾内水の海水交換速度は, 現況の2~3 割程度とほとんど変わらない。

図一11は, 湾奥長を湾口幅の11/3とした場合の, 流況を Case 0, 2B, 5B(潜堤)について示したものである。図から, 構造物設置が湾内流況に直接影響する範囲は, 湾口から湾奥方向へ向かって湾口幅の1.5倍までである。

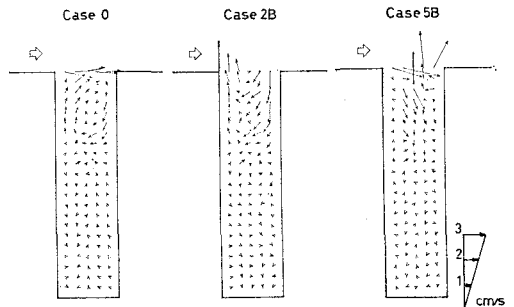
図一12は, 構造物の流影面積に基づいて湾内水の交換速度を整理したものである。このような図を使えば, 所



図一10 湾内の海水交換速度(流速の影響)



図一8 湾内の海水交換速度



図一11 湾内の流速分布(下層, 潜堤)

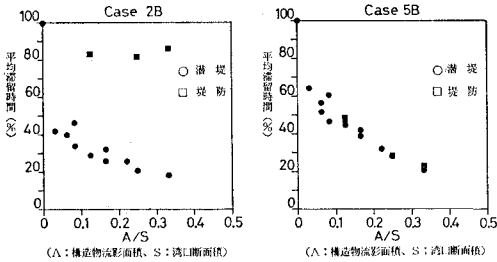


図-12 湾内の海水交換速度(構造物面積の影響)

要の湾内水海水交換速度をうるための構造物規模を決定することができる。

3.3 振動流場の実験結果

図-13は、湾外流動場の振動流による流程距離を湾口幅の1.5倍にした時の、半潮時間における流況パターンの変化を示したものである(後半の半潮時では流速ベクトルの矢印が逆向きになる)。図は、湾内水の交換が、湾内に形成された環流の転流直後における崩壊によって主に行われることを示すものである。このような、海水交換の機構は、湾外の振動流による流程距離が湾口幅の1, 2倍となる場合でも同様である。

次に、構造物設置による流況パターンの変化を Case 2B, 5B について調べ、湾内水交換速度を評価するために、染料実験を行った。図-14は、一潮汐間の平均流を Case 0 と、潜堤を用いた Case 2B, 5B について示したものである。Case 5B では Case 0 の湾内循環流が強化されるが、Case 2B では湾内循環流はほとんど消滅し、湾外の構造物周辺に循環流が形成される。Case 2B で

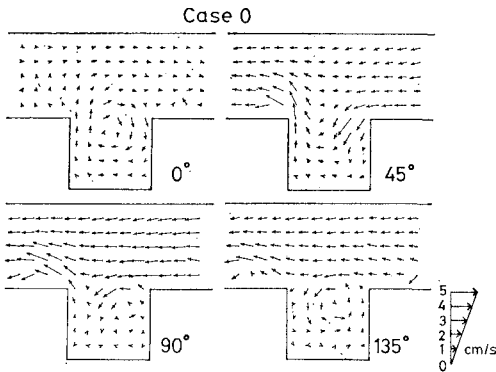


図-13 流速分布(憩流時の位相=0°)

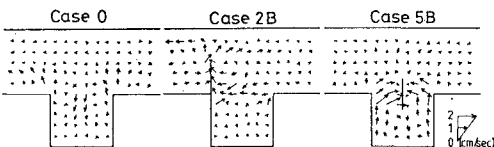


図-14 一潮汐周期間の平均流(下層)

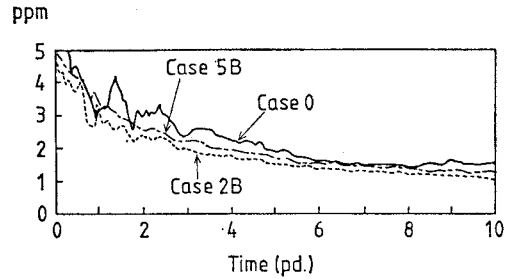


図-15 湾内平均濃度の変化

は、潜堤が湾から流出した湾内水の鉛直方向の混合を促進するものとなる。

図-15は、各ケースにおける湾内染料濃度の減衰例を示したものである。湾内水の交換速度は、どのケースもほとんど変わらず、湾外水の流程距離が湾口幅の1, 1.5, 2倍のときは Case 0 でそれぞれ4.6, 2.2, 2.5潮汐周期(平均滞留時間)となった。これは、武岡ら⁷⁾も指摘するように、湾外流程距離が湾口幅と同等又はそれ以上になると、図-13に示すような機構によって、湾内水は湾外に速やかに流出され、湾外の流程距離範囲内で拡がるためである。もし、湾外の流れに恒流成分が加わっていれば、各ケースにおける海水交換速度に差が出てくものと考えられるが、これについては、今後の検討課題である。

4. あとがき

湾外の恒流が振動流より卓越する場合には、海底構造物によって構造物近傍での流速を速め、後流域での逆流を湾内の適切な場所に引きおこせば、湾内流況を制御することが可能である。特に、現況において、湾外の流速が大きいかにも係わらず、湾内での環流がトラップされているような場合には、海底構造物を湾口中央部や、湾外上流部に設定することは、湾内流速の増大と流動経路を変化させ、海水交換の促進につながる。また、堤防を湾外上流部に設定することによって、湾内での環流方向を逆回転にすることも可能である。潜堤による後流域の水平スケールは、堤防によるものより小さくなる。

一方、湾外の流れが振動流である場合、海底構造物を用いても、海水交換の促進は、湾外振動流の流程距離に支配されるため、必ずしも可能であるとは限らない。しかし、湾内流況を変えることは可能である。振動流中での潜堤は、残差環流を生みだし、下層水の上層への移流を促進し速やかな上下層の混合に寄与する。

以上、潮流を積極的に利用することによって、湾内の流況の制御に海底構造物が有効であることを、実験的に明らかにすることができた。今後は、より現実的な課題として、定常+振動流場あるいは、成層場での検討が必要である。

参 考 文 献

- 1) 上嶋英機・湯浅一郎・宝田盛康・橋本英資・山崎宗広・田辺弘道：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. 661～665，1987.
 - 2) 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.
 - 3) 杜多 哲：魚礁後流の海水交換に関する研究，第30回海岸工学講演会論文集，pp. 623～627，1983.
 - 4) 鶴谷広一・松延 國・惟住智昭・柳嶋慎一：水中に設置された構造物背後の流れと乱流構造に関する研究，第34回海岸工学講演会論文集，pp. 581～585，1987.
 - 5) 清水虎重・有富範伊・森井伸正・葛原 徹・大竹臣哉・今村均・中瀬浩太：大規模渦発生礁の研究(その2)——基本形状と配置間隔——，五洋建設技術研究所年報，Vol. 13，pp. 21～30，1984.
 - 6) 武岡英隆：沿岸海域の海水交換，沿岸海洋研究ノート，第20巻，第2号，pp. 169～182，1984.
 - 7) 武岡英隆・樋口明生：地形性渦流による小港湾の海水交換，沿岸海洋研究ノート，第19巻，第2号，pp. 175～182，1982.
-