

湾内水停滞性の制御・改善の実験的研究

宝田 盛康*・上嶋 英機**・橋本 英資***
山崎 宗広***・今村 均****

1. ま え が き

沿岸海域の積極的な利用は、21世紀に向けた大きな課題の一つになっている。近年のプロジェクト動向をみても¹⁾、沿岸海域の利用形態は増々多様なものとなるばかりでなく、利用空間の規模も従来以上に大きなものとなってきている。

広域的・長期的な観点からみると、沿岸海域の流動環境は、多様な利用形態の受入れや空間の提供を、必ずしも可能とするものにはなっていない。湾や灘の一部或は全体で、海水の動きが停滞ぎみとなる場合があり、これが海域利用を制限する因子となってくるからである。沿岸海域におけるこうした停滞的な流動環境を、潮流などの自然エネルギーをうまく利用して、人為的な地形操作や構造物の設置によって制御・改善しようとする試みは、意義のあるものである。

広域的・長期的な観点からみた海水の移動は、流れと地形の相互作用によって形成される方向性をもった循環流に左右される。流れとして潮流を考えた場合の循環流は、一般的には潮汐周期で平均した潮汐残差流として²⁾、³⁾、⁴⁾、また、流れの剝離によって形成される渦流に起因する流れとして⁵⁾、⁶⁾、理論的・実験的に研究されてきた。これらの成果を、湾や灘における広域的・長期的な流動

環境の制御・改善技術にまで発展させるためには、今後の研究の積み重ねが不可欠である。

本研究では、湾内水の全体が停滞ぎみとなる徳山湾を例にして、湾口部水深操作による湾内循環流の制御性を、瀬戸内海大型水理模型の実験結果から調べる。

2. 実験 結果

徳山湾を例にした実験は、図-1に示す瀬戸内海大型水理模型（水平 1/2000、鉛直 1/159）を使用して行う。実験潮汐は、半日周期（ M_2 潮、周期 282 秒）であり、紀伊・豊後・関内の3起潮装置によって与える。

湾口部水深の操作として、これを浅くするケースを扱う。これは、湾口断面積と湾水面積との比が或値以上であると、湾口の潮流を大きくでき⁷⁾、渦流なども含めて湾内の流れを変え得るからである。図-2(a)は、現況の徳山湾の地形形状を示したものである。湾のスケールは、約 9 km (L) × 4 km (W) で、大津島と大島間及び大津島と黒髪島間が主な開口部となっている。同 (b) は、各実験ケースにおける A-B 縦断面の水深を示したものであり、湾口最狭部での断面平均水深は、現況のケ

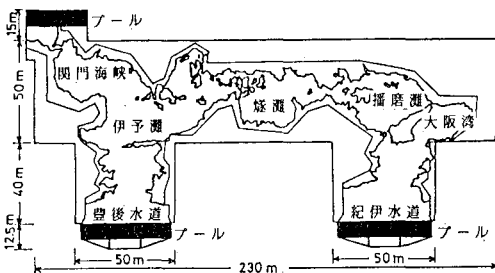


図-1 瀬戸内海大型水理模型平面図

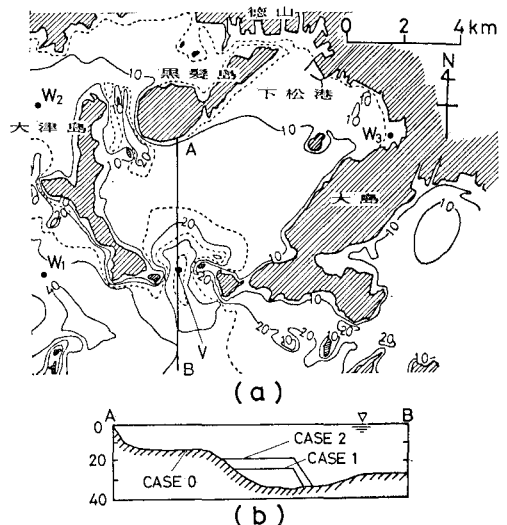


図-2 徳山湾海底地形 (a) 平面 (b) 縦断面

* 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
*** 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

ース0で30m, ケース1で24m, ケース2で19mである。

湾口水深操作による湾内流況の変化は, 水面に浮べたボール(比重0.92, 直径3cm)のCCDカメラで捉えた像を画像処理装置で処理し, その移動速度から調べる。また, 湾全体に対する湾口部水深操作の効果は, 湾内に一様に配置したボールを, 1潮汐周期ごとに写真撮影し, その湾内残留量の時間変化から平均滞留時間を求めて評価する。なお, 図-2の固定点 $W_1 \sim W_3$ で潮汐の, V 点で潮流の測定を行う。

3. 実験結果

表-1 は, $W_1 \sim W_3$ 及び V 点での潮汐・潮流の M_2 潮調和定数(模型値)を, W_1 点の位相を基準としたものである。 M_2 潮以外の倍潮成分は小さい。ま

表-1 調和定数 (M_2)

ケース	0	1	2
地点			
W_1	0.55 0	0.54 0	0.54 0
W_2	0.55 0	0.56 1	0.55 1
W_3	0.54 0	0.56 0	0.54 1
V	1.09 299	1.44 300	2.39 285

潮汐: 上段振幅 (cm)
下段位相 (W_1 基準)
潮流: 上段流速 (cm/sec)
下段位相 (W_1 基準)

た V 点における潮流は, 東西成分が小さいので, 南北成分でのみ示してある。湾口部水深を浅くしても, 湾内の潮汐振幅が殆んど変化せず, 湾口部の潮流流速は, 水深が浅くなると増大している。

図-3 は, ケース0の上げ潮期・下げ潮期(湾口で流れが湾内向きとなる時期は上げ潮期, この逆が下げ潮期)の最盛時の流況を示したものである。上げ潮期の流れは, 湾口部にある島のせいもあって, 北北東に向う流れと, 北西の開口部に向う北々西の流れとに分れる。下

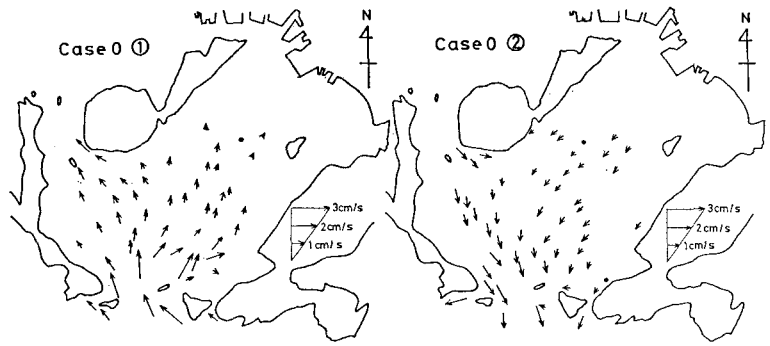


図-3 最盛時流況 (ケース 0)

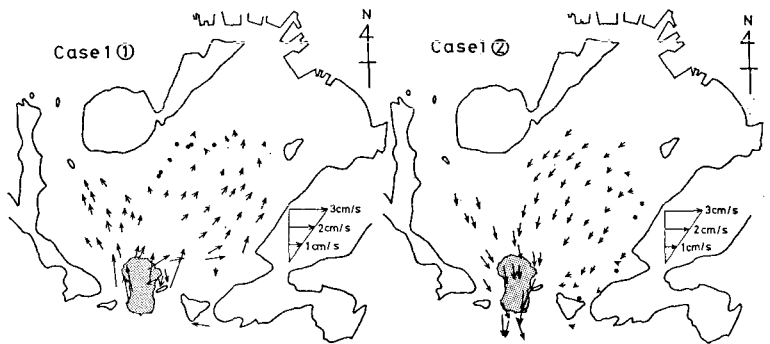


図-4 最盛時流況 (ケース 1)

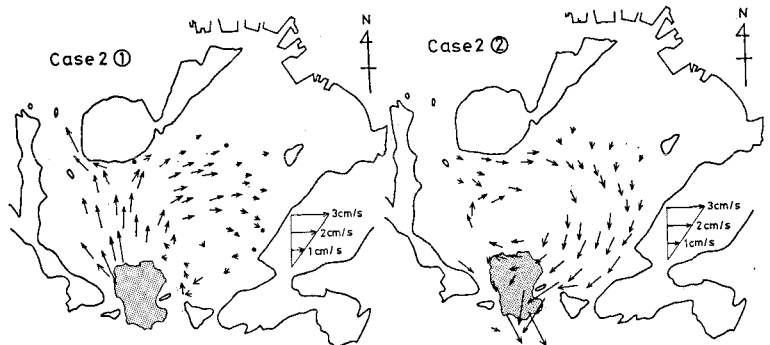


図-5 最盛時流況 (ケース 2)

げ潮期の流れは, 上げ潮期に北々東となっていた流れが南西の流れに, 北々西の流れが反転して南々東の流れとなっている。

図-4 は, ケース1(湾口断面平均水深20%減)の流況を最盛時で示したものである。上げ潮期の流れは, 湾口部にある小さな島の背後に渦流を形成する以外は, ケース0とほぼ同じである。下げ潮期の流れもケース0とほぼ同じであるが, 上げ潮期にみられた渦は最盛時に既に湾外に流出してしまっている。

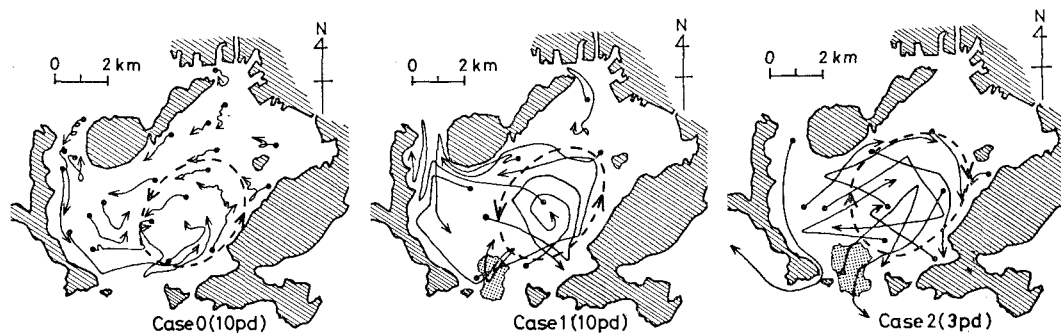


図-6 長周期流跡

図-3. 4の流況図で示された上げ潮期と下げ潮期の流向の違いは、湾内に時計回りの循環流が形成されることを示唆するものである。また、ケース1のような渦流が形成される位置では、そこで得られる経時的な流れを単純に潮汐周期平均してしまうと、恒常的な流れが存在するかにみえるので、潮汐差流の扱いには注意が必要である。

図-5は、ケース2(湾口断面平均水深30%減)の流況を示したものである。ケース0, 1と全く異なり、湾奥部を除き湾内に上げ・下げ潮流といった往復流がなく、時計回りの一方的な流れが湾内に存在している。①図には、ケース1のような渦流が明確に現われていないが、②図には渦流の存在が認められ、湾口で下げ潮流が最盛時になっているにもかかわらず、渦流が湾内に持続する。こうした渦の持続的存在が、片潮と呼ばれる流れを起こし、強い循環流を生み出しているといえる。

図-6は、潮汐周期より長い時間スケールでのボールの移動を追跡して求めた流跡図である。ケース0, 1は10潮汐周期間の、ケース2は3潮汐周期間の結果である。図-3~5でも示唆されたように、湾内の循環流が明確に示されている。こうした循環流によるボールの1巡時間を、図中の点線で示した経路で概略的に求めると、ケース0, 1, 2の順に40, 20, 10潮汐周期となる。

湾口部水深操作による上述の流況変化の効果は、或瞬間に湾内に存在していた海水(実験ではボールで代表)の湾内平均滞留時間からバルク的に評価できる。図-7は、湾内に一様に投入(湾口で潮流が湾外向となる瞬間に投入)したボールの湾内残留量の時間変化を、ボール投入時を1として示したものである。ボールの湾内残留量の低減は、ケース0, 1, 2の順に早くなっている。残留量の変化を e^{-at} で近似すると、ケース0, 1, 2に対する a は、それぞれ0.01, 0.015, 0.040となる。これによって、 e^{-at} を0から∞まで積分して得られる平均滞留時間は、ケース0, 1, 2に対し、100, 67, 25潮汐周期と求まる。ケース毎の平均滞留時間とボールの1巡時間

との関係は、定性的に一致しているようであり、徳山湾では湾口水深を浅くする地形操作は、湾内水と湾外水との交換を早めることになっている。

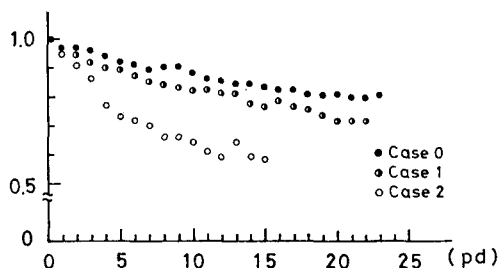


図-7 残留量変化

4. 考 察

前節での結果は、湾口部における人為的な地形操作が、広域的・長期的にみた湾内循環流を変え、バルク的な評価としての湾内水平平均滞留時間を制御し得ることを示すものである。そして、こうした循環流の変化には、潮汐流という周期的な流れの中で作り出される渦流が関与していると考えられることである。渦流が循環流に関与するということは、構造物の設置等による渦の挙動の制御を通じて、広域的・長期的な循環流の制御が可能になってくることである。

徳山湾で検出された潮汐流に伴う渦は、リモートセンシングを利用した Maruyasu 等⁹⁾の研究でも確認されており、流れの剝離してできる自由境界層でのコヒーレント渦が合体して作り出されたものとみなすことができる。Kashiwai は、こうした渦を潮汐渦と呼び、渦点モデルによるその挙動解析から、3種類の循環流を分類している。分類に使用したパラメータは、湾口水路長 L と湾口幅 W によるアスペクト比と、半潮汐周期間の湾口通過流量を長さの次元で示した R と W によるストロハール数に関連したパラメータである。湾口通過流量を

Q , 湾内水深を H_0 とすると, R と Q の間に $Q=\pi R^2 H_0/2$ なる関係がある。これは Q を半円柱で置きかえることであり, 半円柱の半径 R を Q の特性長とすることである。 Q はまた, 湾口流速を $U_0 \sin(2\pi t/T)$, 湾口水深を H_m とすれば, $Q=H_m U_0 T W/\pi$ となる。これらをもとに, 徳山湾の結果を整理すると図-8となる。同図には, 循環流の形態も同時に示した。形態Ⅱは, 湾内側で形成する潮汐渦が湾口水路までは流出するが, 湾外に流出してしまわず再び湾内に戻ってくる場合である。このような循環流の形態図を使えば, 湾口部地形操作による循環流形態を, あらかじめ予測することができる。然しながら, この形態図には湾のスケールが入っていないので, 湾内水の移動経路や時間を詳細に設定できるようなものが望まれる。また, 渦の挙動は海底地形形状によっても左右されるので, この面でも今後の研究が必要

である。

5. ま と め

湾・灘などにおける停滞的な流動環境を制御・改善する技術を開発することは, 沿岸海域の積極的利用を図って行く上で重要なことである。こうした立場から, 徳山湾を例に瀬戸内海大型水理模型を使用して, 湾口部水深操作による湾内流動環境の変化を調べた。主要な結論は,

- ① 湾口水深を浅くすることで, 湾口での潮流流速を増大させることができ, 湾内の循環流を大きく変えることができる。
- ② 循環流の変化によって, 湾内水の停滞性が改善され, その改善度合は平均滞留時間で評価でき, 循環流の1巡時間と定性的に一致した傾向を示す。
- ③ 循環流は, 湾口部の潮流の強さによって, 流れの剝離に起因した渦流の挙動によりその回転方向を変える。

である。

参 考 文 献

- 1) 極端保夫・上嶋英機・肥後竹彦・川名吉一郎: 瀬戸内海海域開発プロジェクト動向に関する調査研究, 中国工業技術試験所研究報告, 2号, 58p., 1986.
- 2) Yasuda, H.: Tide-induced residual currents and longitudinal dispersion of matter due to the boundary layer, 中国工業技術試験所研究報告, 3号, 79p, 1987.
- 3) Oonishi, Y.: A numerical study on the tidal residual flow, J. Oceanogr. Soc. Japan, 34, pp. 140~159, 1978.
- 4) Yanagi, T.: Fundamental study on the tidal residual circulation-II, J. Oceanogr. Soc. Japan, 34, pp. 67~72, 1978.
- 5) Kashiwai, N.: Tidal residual circulation produced by a tidal vortex, J. Oceanogr. Soc. Japan, 40, pp. 279~294, 1984.
- 6) Maruyasu, T., S. Onishi, T. Nishimura: Study of tidal vortices at the Naruto strait through remote sensing, Bulletin of the Remote Sensing Laboratory, Scie. Univ. Tokyo, 142p., 1981.
- 7) 中村 充: 水産土木学, 工業時事通信社, 508p, 1979.

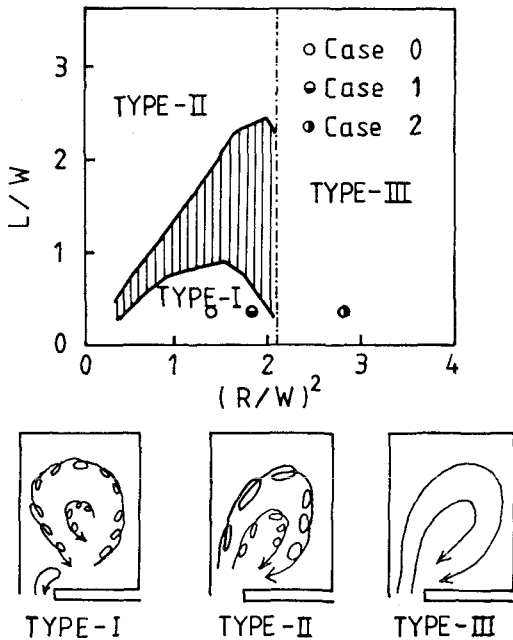


図-8 循環流存在領域と形態