

大阪湾の潮流に関する水理模型実験 (1)

今本 博健・石垣 泰輔・野井 潤生・馬場 康之

HYDRAULIC MODEL TEST OF TIDAL CURRENT IN OSAKA BAY

By *Hirotake* IMAMOTO, *Taisuke* ISHIGAKI, *Junki* NOI and *Yasuyuki* BABA

Synopsis

Tidal current in Osaka bay is complicated because of its topography. There are two straits which are Akashi strait and Tomogashima Strait. To assess the influence of reclamation along the shore, it is important to get hydraulic data of tide or tidal current. In this paper the hydraulic model test of Osaka bay, of which scale is 1/5000 in horizontal, 1/500 in vertical and which has two tide generators, is reported. The experimental data of tide and tidal currents show good agreement with observed data in the field.

1. はじめに

沿岸域の流れの特性を解明することは、ウォーターフロント開発や、環境問題への関心の高まりなどにより、重要な課題となっている。しかし、流れは極めて複雑であって、そこには潮流、密度流、河川の流入に伴う流れ、表面波に伴う流れなど、いくつかの種類の流れが存在する。また、このような流れがそれぞれ単独に存在するのではなく、いくつかが同時に存在しているため、流れの挙動が複雑な様相を呈する結果となっている。

大阪湾においても例外ではなく、上記の流れが複合した湾内水の流動が見られる。しかし、大阪湾は明石海峡、紀淡海峡（友ヶ島水道）という二つの開口部を持つために、海峡部での潮流速が大きく。潮流が湾内の流動特性に支配的であることが考えられており、従来より現地観測、水理模型実験および数値計算による多くの検討がなされ、その基本的な特性が明らかにされつつある。

著者らは、フルードの相似則に基づく大阪湾水理模型（水平縮尺：1/5000，鉛直縮尺：1/500）を用いて、大阪湾内の流況について検討してきた¹⁾。本研究ではこれまで起潮機は模型の太平洋側に1台設置されているのみであったのを、播磨灘側にも増設する改良を行なった。そこで、本報告では、従来より行なっている大阪湾全体を対象にした実験に加え、海峡部や湾奥部などの局所的な流況を対象にした実験の結果から湾内の流動特性について検討した。

2. 実験の概要

2.1 実験装置

大阪湾水理模型の概要を Fig. 1 に示す。模型の縮尺は、水平縮尺 1/5000，鉛直縮尺 1/500，であり面積 280 m² である。また、時間、流速など諸量の現地との対応を Table. 1 に示す。模型は、大阪湾および紀伊水道、播磨灘の一部を含む海域を対象としている。外壁はコンクリートブロック、海底はモルタルで作製

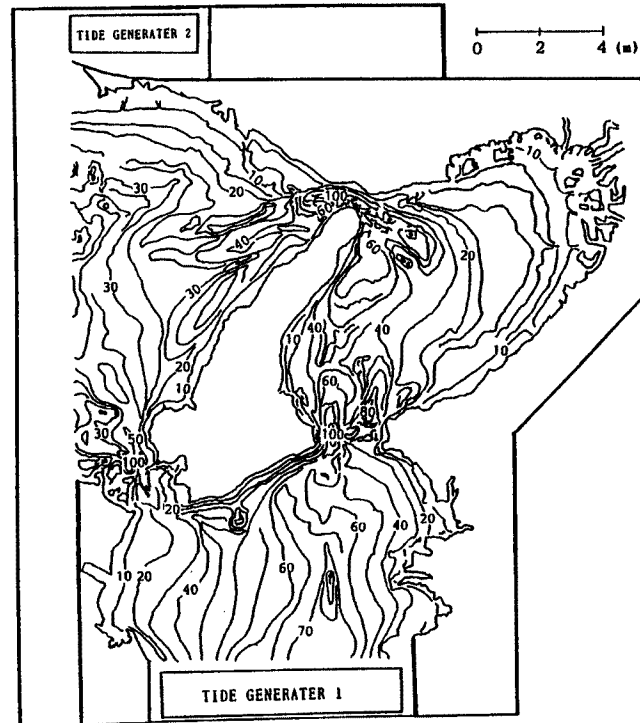


Fig. 1. Hydraulic model of Osaka bay.

Table 1. Scales in Osaka bay model

Factor	Scale	Prototype	model
Horizontal Distance x_r	1/5000	1000 m	20 cm
Vertical Distance y_r	1/500	1 m	2 mm
Time $t_r = x_r y_r^{-1/2}$	1/223.6	12 h 25 m	200 s
Velocity $v_r = y_r^{1/2}$	1/22.4	1 knot (1.852 km/s)	2.3 cm/s
Roughness $n_r = x_r^{-1/2} \cdot y_r^{2/3}$	1/0.89	0.025	0.028
Discharge $Q_r = x_r y_r^{3/2}$	1/5.6*10 ⁷	1000 m ³ /s	17.9 cc/s

し、表面は刷毛仕上げとした。海底、陸地共に油性ペンキで塗装し、模型裏はアスファルト防水加工を施してある。起潮機は、紀伊水道側と播磨灘側に設置した。いずれも油圧駆動式のプランジャー型で、それぞれのストロークおよび周期はコンピュータにより独立に制御可能である。

2.2 潮差および位相差

実験では、模型内の潮位計測点での潮差および位相差が、現地の観測結果と一致するように、調整を行った。

調整に用いた潮差および位相差は、海上保安庁の潮汐調和定数表を参照し、潮差は大潮 $2(M_2 + S_2)$ 、平均潮 $2M_2$ 、小潮 $2(M_2 - S_2)$ として算定したもの、位相差は M_2 潮のものを採用した。

従来の実験は、紀伊水道側に設置された起潮機のみを用いたものであるが、ここでは2台の起潮機を用いた。紀伊水道側の起潮機のみの場合を Case A、両方の起潮機を動かした場合を Case B として両者の潮差、位相差の比較を Fig. 2 に示す。図中、現地観測結果を線で、模型におけるデータを点で示している。位相差の基準は和歌山とした。図より、2台の起潮機を動かした場合に現地との一致が良好であり、起潮機を1台しか動かさない場合には、明石から高砂にかけての播磨灘での違いが目立つが、播磨灘側の起潮機を動かすことによって、潮差、位相差とも現地観測値に一致するようになっていく。

2.3 実験方法

本報告では、流れに追従するトレーサ（浮遊粒子）を水面に散布し、ある一定時間カメラを開放した際の流跡を写し込む方法によって表面の流況を捉えた。実験ケースは、大阪湾全域を対象としたもの（以下全域実験）と、湾内の部分的な流況を対象としたもの（以下部分実験）に分けられる。全域実験において、大阪湾全体を1台のカメラで撮影したものを一括実験、湾全体を6ブロックに分け、それぞれの領域を個別に撮

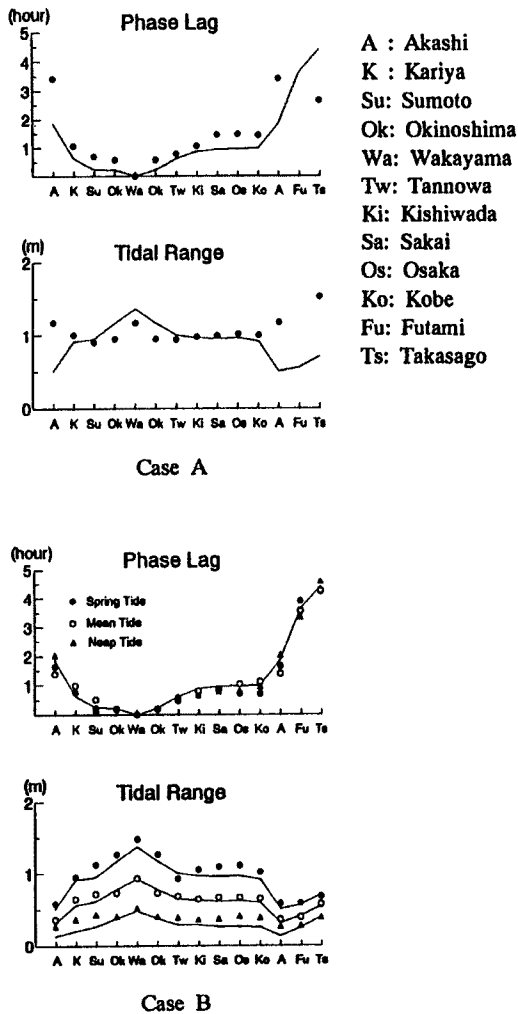


Fig. 2. Tidal range and phase lag measured in the model compared with the field data (Case A: single tide generator, Case B: dual tide generator).

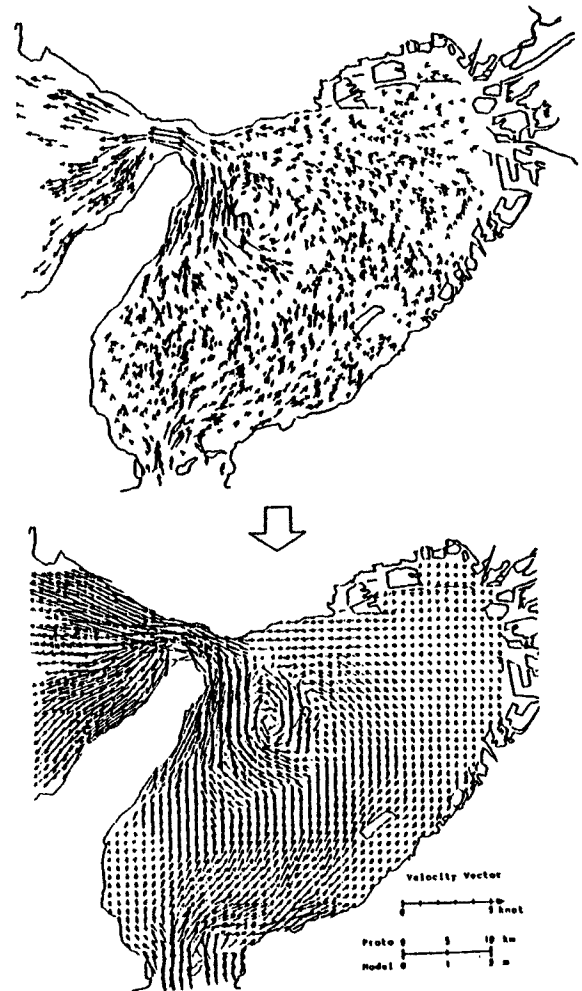


Fig. 3. Interpolation of measured velocity vectors to the node's data.

影したものを分割実験としている。一括実験は、主に湾全体の流況、特に主流部の流況を知るために行なったものである。ただし、各海域により流速に大きな差があるために、数種の開放時間で撮影している。

このようにして撮影されたデータより、デジタイザを用いてトレーサの移動距離を数値化し、流速を算出した。しかし、そのままではトレーサの分布によりデータの偏りが生じるため、湾域を格子に分割し、測定された流速ベクトルより格子点における流速ベクトルを内挿した。Fig. 3に、実測した流速ベクトルから格子点ベクトルへの変換例を示す。さらに、数値化した流速ベクトルから等流速線図および渦度を算出した。

なお、潮流の位相の定義は、Fig. 4に示すとおりである。友ヶ島水道の実験結果について検討する場合には、友ヶ島水道の位相を基準にしたが、それ以外の実験結果については、すべて明石海峡における位相を基準にしている。

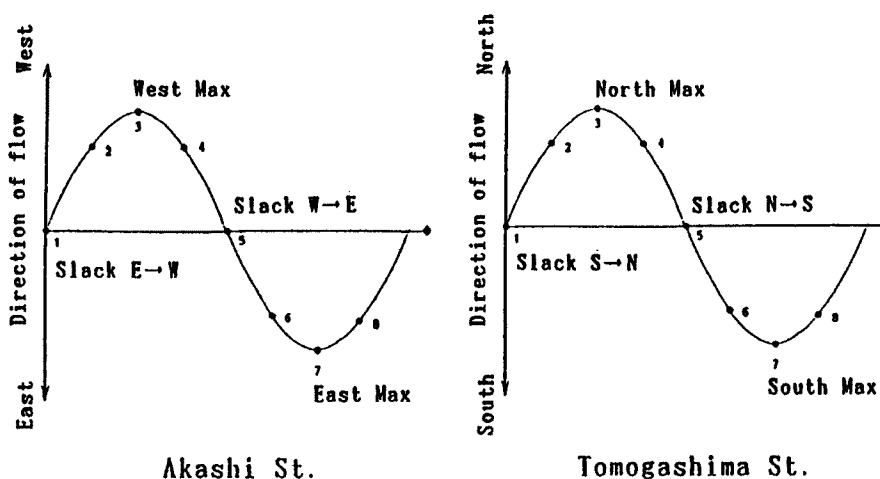


Fig. 4. Schematic tidal curve.

3. 潮流の流動特性

この章においては、まず、3.1, 3.2で明石海峡および友ヶ島水道を対象とした実験の結果から、海峡部における流況について検討する。続いて3.3, 3.4では大阪湾全体の流況について、細部における流れと関連させながら検討を加える。最後に3.5において、近年開発の進む湾奥部と関西国際空港周辺の流況についても言及する。

検討に入る前に、観測結果から得られている大阪湾の流況についてまとめて記す。大阪湾に限らず、日本全国の沿岸域の潮流について、最も基本的なデータを与えているのが、海上保安庁水路部から発刊されている潮流図である。大阪湾に関しては、大阪湾潮流図²⁾と、鳴門海峡・友ヶ島水道・明石海峡潮流図³⁾の2つがある。また、同庁からは、日本全国の水路部観測地点における、1年間を通じての潮位および潮流を記載した潮汐表⁴⁾も出されている。これによれば、観測期間中の任意時の潮位、潮流速を概算できる。大阪湾における水路部の潮流観測地点は、15昼夜連続観測点が11、数昼夜観測点が11、1昼夜観測点は130に及んでいる。それらの資料のうち、大阪湾の流況について説明されているところをピックアップし、他の資料^{5),6)}とも併せてまとめたものを以下に記す。なお、以下に使う地名はFig. 5を参照されたい。

・大阪湾

①湾内の流況の概要は、明石海峡、友ヶ島水道付近で流速が強大であるほか、友ヶ島水道と明石海峡を結ぶ

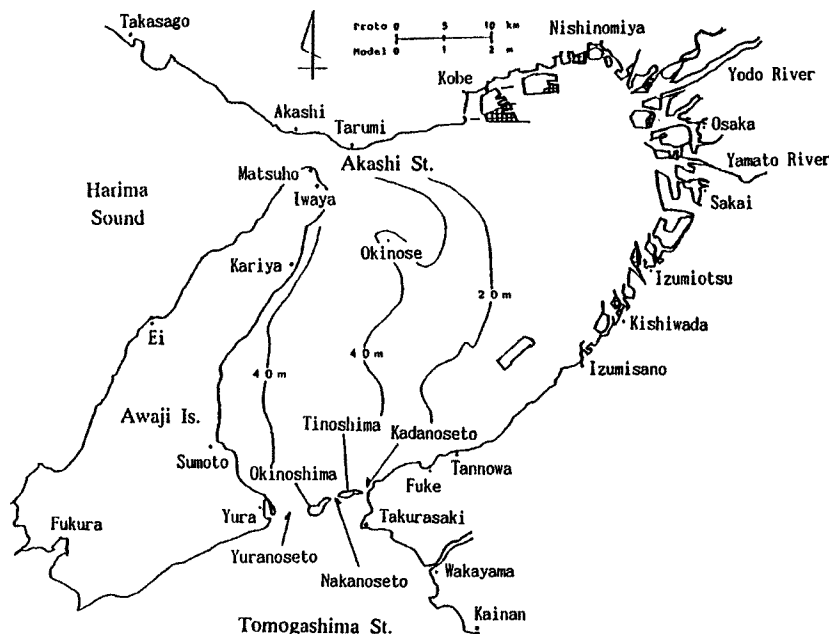


Fig. 5. Topography of Osaka bay.

一線付近は 1.5 knot 以上のところがあり、湾中央部の 20 m 等深線付近より強い。しかも、この潮流の強いところは潮流の日潮不等も小さい。神戸から南方に引いた一線の東側では、流速は一般に微弱で 0.5 knot を超えず、流速、流向とも日によって著しく変化し、一定しない。日潮不等は大きい。

- ②明石海峡西流最強時、すなわち友ヶ島水道の北流時（初期および末期各約 1 時間を除く）には、友ヶ島水道から明石海峡東口に至る一線付近の潮流はほぼ北方に向かい、流速は大潮時に約 1 knot に達し、流向はほぼ一定である。
- ③明石海峡の東流時、すなわち友ヶ島水道の南流時には、明石海峡東口付近から友ヶ島水道に至る一線付近では、ほぼ南南西へ流れ、大潮時には流速約 1 knot に達し、流向はほぼ一定である。また、明石海峡東口から東方に引いた一線付近では東方に流れ、その北側では反対の方向に流れる。
- ④沖の瀬東方、北東方 1～3 マイル付近には、常に南流する成分があり、明石海峡西流時には、沖の瀬に環流ができる。
- ⑤潮時は淡路島東岸付近が一番早く、次いで湾中央部、湾奥の大阪港付近が一番遅くなっている。
- ⑥明石海峡西流の初期から東流の初期にかけて、湾中央部の 20 m 等深線付近に潮目ができる。
- ⑦友ヶ島水道の潮流時は明石よりちょうど 1 時間早い。
- ⑧大阪港とその付近は海面下約 4 m を境として、上、下層が流況をやや異にする。また約 1 時間を周期とする振動があり、その振幅は 0.2 knot に達することがある。

・明石海峡

- ①明石海峡付近の潮流は、西流はほぼ高潮時に、東流はほぼ低潮時に流速が最強となる。潮汐の日潮不等は顕著で、毎月の過半数は 1 日 1 回潮となる。しかし、潮流の不等は大きくなく、潮汐が 1 日 1 回潮となっても、潮流は 1 日 2 回の東流および西流がある。
- ②主流は海峡の中心線上、海峡の幅約 1/3 の区域にあり、その北側は岸に向かうにしたがって次第に流速を減じ、主流の南側は激潮を生じるところがある。海峡の南北両側の潮時は主流部より 30～50 分早い。
- ③淡路島松帆崎付近の東側では東流最強の頃から反流を生じ、以後転流までその規模を広げて中央部より早

く転流する。西流末期にも反流が見られる。

④松帆崎の西側海岸でも西流の最盛期に反流を生じるようである。

⑤小潮時には、海峡中央部付近で大潮時の半分以下、東西両側でも40%減となる。

⑥松帆崎の東南東方1.3マイル付近の潮流は、中央主流とほぼ同じに転流し、流速は約1.4倍である。

・友ヶ島水道

①日潮不等は非常に大きい。不等が著しい時には1日潮不等1回潮となることがある。

②潮流は北流、南流ともに大きな不等があり、春秋の小潮時には特に大きい。

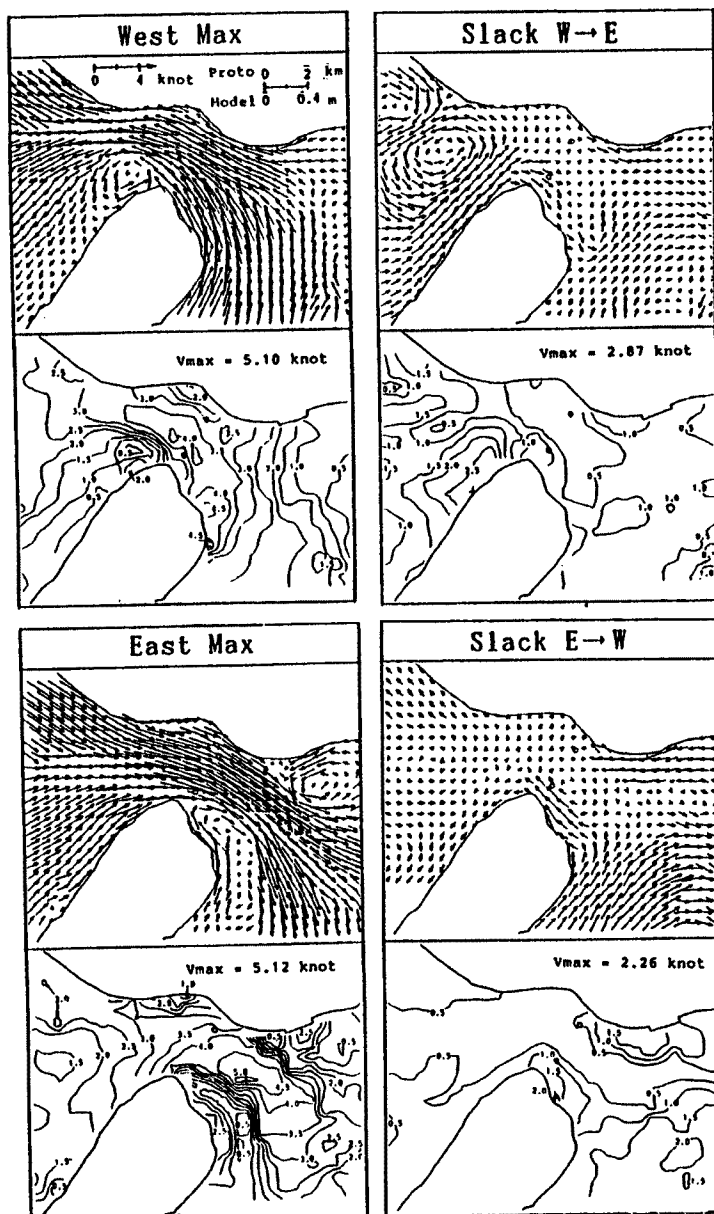


Fig. 6. Velocity vectors of tidal current in Akashi strait (Spring tide).

3.1 明石海峡の流況特性

明石海峡における潮流ベクトル図および等流速線図を、位相毎に Fig. 6 に示す。なお、以下に用いる地名については Fig. 5 を参照されたい。等流速線図には最速点を十字で示し、その値を図中に Vmax として表わしている。なお、図中の海峡部にある2つの小さな円は明石海峡大橋の橋脚である。

まず、西流最強時 (West Max) であるが、松帆崎の西沖で反時計回りの剝離渦が出来ている。このことは現地観測 (明石海峡 ④) においても確認されており、流速も現地での値とほぼ等しくなっている。剝離渦の中心部では渦度 $2.0 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ に達している。全体の流況を見て、他より流れが卓越していると思われるところを主流部と呼び、等流速線図の 3.5 knot 線を見ると、西流最強時の主流部の形が次のように推測できる。友ヶ島水道から北流してきた流れは、淡路島の岩屋をかすめるようにして海峡部に入り、明石海峡大橋の橋脚の間を通り、西に徐々に向きを変えて、海峡を抜けてから拡がってゆく。しかし、海峡を抜けてからも主流部は北の海域にあるために、淡路島西岸沿いの流速は遅い。また、海峡に向かってくる流れは、友ヶ島水道方向、すなわち北流してくる流れが卓越するため、西流最強時にもかかわらず垂水沖では 0.5 knot 程度しか流速が出ていないことが分かる。

西流から東流への憩流時 (Slack W → E) には、明石海峡西方の渦がまだ存在し続けるものの、渦の北側の流れよりも、淡路島西岸沿いを北東へ向かう流れが卓越し、憩流時にもかかわらず、松帆崎沖ですでに東流している。これは海峡南北両側の潮時は主流部より速いとする現地観測の結果 (明石海峡 ②) と一致する。

東流最強時 (East Max) の流況を見ると、海峡出口において2つの剝離渦がはっきりと認められる (明石海峡 ③ と一致)。渦の中心では両方とも渦度絶対値が $2.5 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ に達している。これらの渦によって垂水沖では西流、岩屋沖では北流しており、それらの流速は 2.5 knot に達している。また、等流速線図より明石海峡西方の海域では、海峡中央部より岸近くの流れの方が速く、海峡を抜けた流れの主流部は、開口部のほぼ二等分線の方向、すなわち南東の方向に、海峡幅の約 1/3 であり (明石海峡 ② と一致)、主流部と剝離域とで大きな速度勾配が出来ていることが分かる。最大流速値は現地観測値 4.2 knot よりも大きめであるが、現地観測点における値を等流速線図から読み取ると、約 4.0 knot であり、ほぼ等しくなっている。

東流から西流への憩流時 (Slack E → W) には、明石海峡西方に反時計回りの緩やかな流れが見られるが、その他に目立った渦は観察されない。図面右下に見える時計回りの速い流れは、沖の瀬にできた渦の一部分と考えられる。また、岩屋沖を北流した流れが、松帆崎沖を東流していることから、海峡中央部より速く転流していること (明石海峡 ③) が窺える。等流速線図を見ると、全体的に岸近くの流れが速く、岩屋沖で 2.0 knot、垂水沖で 1.5 knot 程度の西流が観察される。

以上が位相をおって観察した1周期の明石海峡の流況である。おもに主流部の位置や、反流渦の存在について述べてきたが、1周期を通しての流況についてまとめると次のようになる。

- ・西流、東流どちらに関しても淡路島沿いに転流の時期が早い。
- ・西流、東流どちらの場合も、最強時から憩流への移行時に、海峡を抜けた流れの背後に相反する2つの剝離渦が形成されるが、西流時に生成した渦は東流が始まると消滅してしまうのに比べて、東流時に出来た2つの渦のうち南側に出来た渦は大きく拡大し、沖の瀬の渦として、西流が始まっても存在し続ける。
- ・西流時は流れの遠心力のため、海峡を抜ける時に流向が北側にふれるが、東流時は大きく流向を変えることはなく、その開口部のほぼ二等分線上を進む。これは明石海峡の北西では、海底地形が大きく変化している場所があるのに対し、東側の地形は比較的一様であることも影響していると考えられる。

3.2 友ヶ島水道の流況特性

前節同様、友ヶ島水道周辺の地形図は Fig. 5 に示す。考察の対象とする位相は、明石海峡と同様、友ヶ島水道における潮流の最強時と、それぞれの間の憩流時であり、位相ごとに示す図 (Fig. 7) もそれぞれ潮流ベクトル図および等流速線図である。

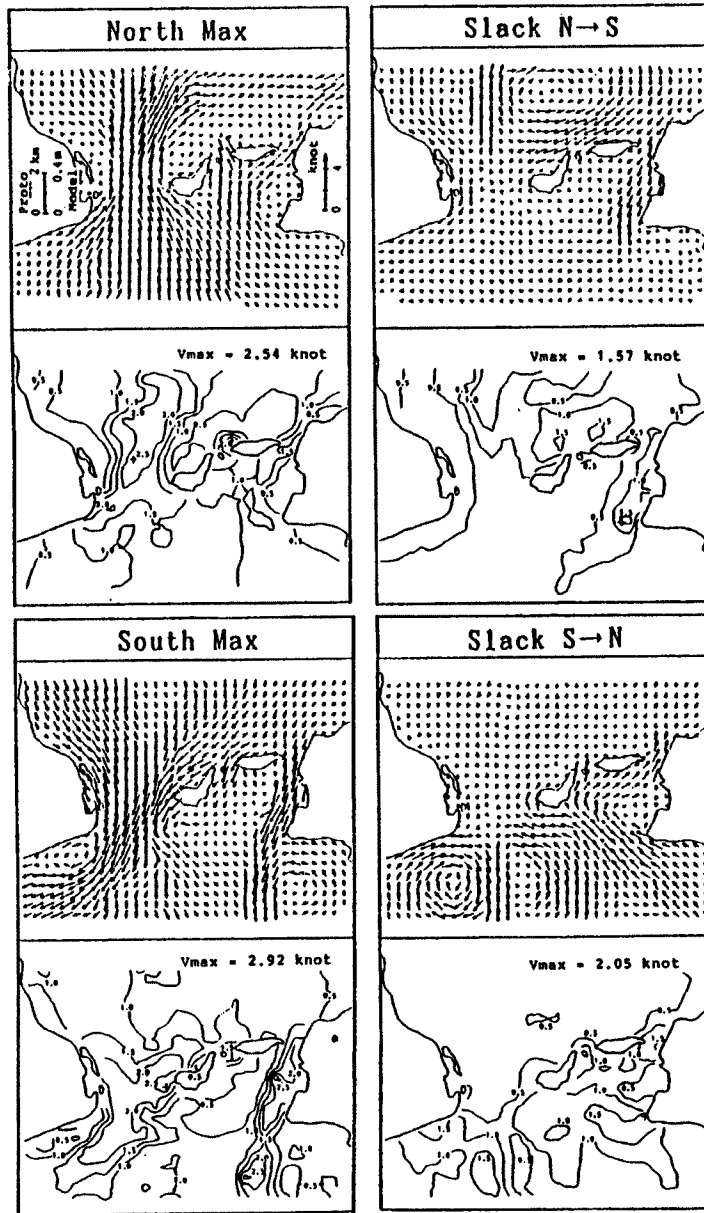


Fig. 7. Velocity vectors of tidal current in Tomogashima strait (Spring tide).

まず北流最強時 (North Max) であるが、等流速線図によると、友ヶ島水道を抜けた主流部は流向を真北から少し東へふっている。潮流ベクトル図によると、沖の島北側、地の島北側に剝離渦の形成がみられる。この位相では、由良の瀬戸での流速が一番速く、中の瀬戸は 2.0 knot、加太の瀬戸で 1.5 knot 程度の流速となっている。

北流から南流への憩流時 (Slack N→S) には、友ヶ島の北側に出来た渦が規模を拡大している。また友ヶ島のすぐ北の海域では、流速が 1.5 knot に達している。加太の瀬戸では早くも南流が卓越しており、由良の瀬戸よりも転流のタイミングが早い。淡路島東岸沿いにも由良の瀬戸を南流する流れが見られるが、一方、由良の瀬戸の北の海域には北へ向かう流れが残っている。

南流最強時 (South Max) には、由良の瀬戸を抜けた流れの背後の淡路島沖に、剝離渦が観察される。こ

の時、沖の島北岸沿いに速い南西向きの流れが観察され、淡路島東岸を南流してきたものと由良の瀬戸で合流して主流部を形成し、淡路島東岸を南西に向かっている。また、田倉崎の南側にも反時計回りの渦が観察される。由良の瀬戸の北の海域は周囲よりも流速が小さく、沖の島、地の島の南の海域は、停滞している様子が等流速線図からも窺える。

南流から北流への憩流時（Slack S→N）では、先の憩流時と同様、加太の瀬戸での転流が速く、1.0 knot程度の流速で北流している。淡路島沖に出来ていた渦は、その規模を拡大しながら、中心を南東に移動させている。また、和歌山沖から北西に向かう流れも強くなっており、田倉崎沖では2.05 knotの流速が出ている。そして、その流れは沖の島に当たり、島の南を西流する流れと、流向を北東に変えて加太の瀬戸に向かうと流れとに分かれる。田倉崎西沖では半径1 km程の時計回りの剝離渦が、由良の瀬戸の北には反時計回りの緩やかな流れが観察される。

以上が友ヶ島水道を対象とした実験における流況の詳細である。ここで1周期を通して見られた特徴についてまとめる。

- ・友ヶ島においては、明石海峡と異なり、由良の瀬戸、中の瀬戸、加太の瀬戸と言う3つの海峡部を持つため、流れが腹雑である。
- ・加太の瀬戸においては、由良の瀬戸より潮時が早く、その最速値も由良の瀬戸での値よりも大きい。
- ・北流時はほぼ北の方向に流れているが、南流時には沖の島の北をかすめて、淡路島東岸沿いを進むという

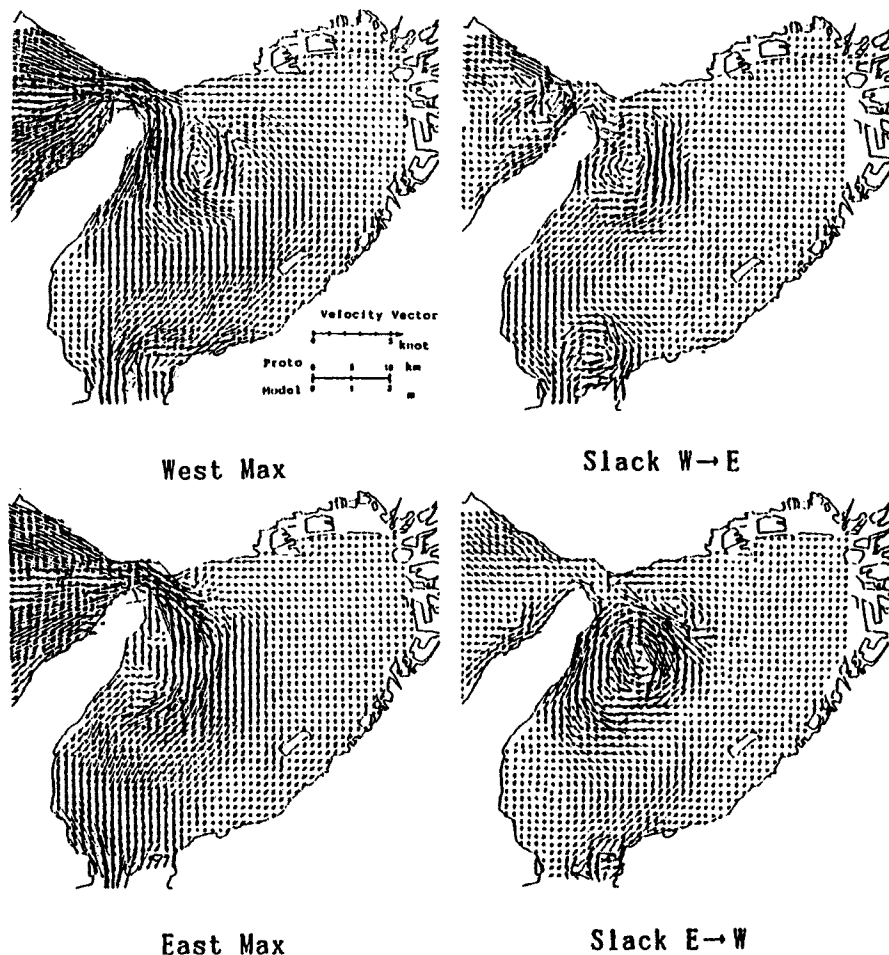


Fig. 8. Velocity vectors of tidal current in Osaka bay (Spring tide).

南西の方向の主流部を持つ。

3.3 大阪湾全体の流況特性

本節では、大阪湾全域を対象とした実験の結果について述べる。実験では、潮汐条件を大潮、平均潮、小潮の3通りに設定した。まず始めに大潮の場合における、1周期のうちの4位相について、湾全域流況の概要について検討を行う。平均潮、小潮の場合の結果については、大潮での結果と比較検討する。

Fig. 8 に大潮の場合の、各位相における潮流ベクトル図を示す。潮流ベクトル図の格子点間隔は現地換算で1kmである。また Fig. 9 には各位相における流線図を示す。以下これらの図をもとに、流況に関する検討を行う。

まず、明石海峡西流最強時 (West Max) には、沖の瀬 (大阪湾北西部にある海底の丘、最浅部水深は23m) に、時計回りの大規模な渦が観察される。これは現地観測による潮流図および記述 (大阪湾④) にも見られ、その半径は約2kmと考えられる。また、その渦の東側に、沖の瀬の渦に誘起されるように反時計回りの渦が観察される。一方、湾奥においては目立った渦は観察されない。神戸から南に引いた一線は、水深20m線にほぼ相当しており、それより東では流速が微弱であることが知れる (大阪湾①に一致)。主流部の形状は流線図から以下のようなものである。友ヶ島水道を北に抜けてから、流向を二手に分ける。1つは沖の瀬の渦の南側を時計回りに進み、岩屋沖をかすめて北流し、明石海峡を抜ける。もう1つは、沖の瀬の渦の北側を反時計回りに回って、明石海峡を西流する。

次に、明石海峡西流から東流への憩流時 (Slack W→E) には、流線図からも潮流ベクトル図からも、先

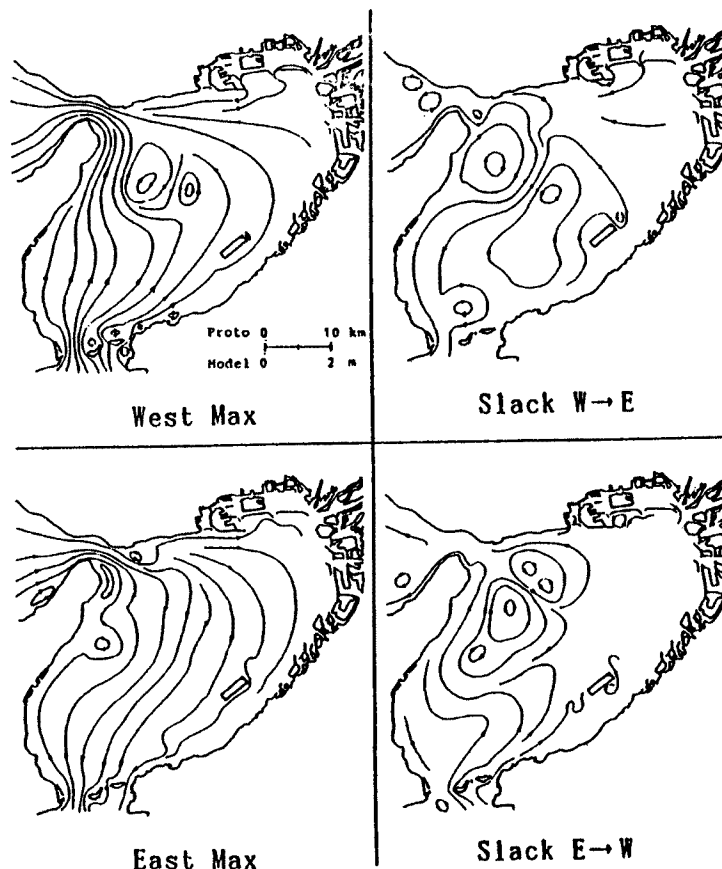


Fig. 9. Stream lines in Osaka bay (Spring tide).

の位相で観察された渦が、その水平方向スケールを拡大していることが認められる。友ヶ島水道北側の渦もその規模を拡大しており、その中の最速部では 1.0 knot 以上出ている。この渦は、時計回りであり、淡路島東岸沿いを南下する流れを大きく取り込んでいる。現地観測による潮流図を見ると、友ヶ島水道の北側に北流する成分があり、この渦の西縁の流れを測定したのと考えられる。また、沖の瀬上の時計回りの渦の東縁では、流速が 1.0 knot 以上の南へ向かう流れが卓越しており、現地観測と一致する。

明石海峡東流最強時（East Max）には、先の 2 つの位相において見られた沖の瀬の渦が、小さくなってほとんど見られなくなっている。逆に、明石海峡を抜けた流れの背後に、先の位相にはない 2 つの相反する剝離渦がベクトル図からも流線図からも明確に確認され、その中心部では渦度が $1.0 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ を越えている。明石海峡の西方および友ヶ島水道付近の海域では渦は認められない。現地観測による流況の記述（大阪湾③）と実験結果は、良く一致している。ただ、その記述の中にある「明石海峡東口から東方に引いた一線の北側での反対方向の流れ」という部分に関しては、反流渦以外にそのような流れは観察されない。主流部の形状を表わすと、播磨灘から明石海峡にかけて一様に縮流してきた流れは、明石海峡を抜けた後、沖の瀬上を南流して、南西に向きを変え、その後再び南に向きを戻して、友ヶ島水道を抜ける。西流最強時と比較すると、ちょうど S の字を逆にしたような形である。

明石海峡東流から西流への憩流時（Slack E → W）には、東流最強時に明石海峡の東にできた 2 つの剝離渦が、南東に移動しながら、その規模を拡大し、非常に大きくなっている。特に南側の大規模渦は、その中心がほぼ沖の瀬上に位置し、渦度の大きさは $1.0 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ に達する。北側の渦でも中心部の渦度は $6.0 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ に達し、これら 2 つの渦の間の流速は 2.73 knot と大きくなっている。以上の流況は現地観測結果と一致している。流線図によると、淡路島沿いに湾内から播磨灘に流線が 1 本抜けており、ベクトル図を見ても淡路島の海岸沿いに、岩屋から江井にかけて流れが速く、潮時の早いことが推測され、現地観測による記述（大阪湾⑤）と一致する。明石海峡西方の海域を見ると、海域中央部よりも、岸近くのほうが流速の大きいことが知れる。また、加太の瀬戸を抜けて北東へ向かう流れが卓越しており、友ヶ島水道では明石海峡よりもかなり潮時の早いことが推測される。流線図からは、六甲アイランド沖、関西国際空港の南側、洲本沖などで半径 1 km 程度の小さな渦が観察される。

以上、大潮の場合の実験結果から、位相を追って大阪湾内の流況をみてきたが、この他に 1 周期を通じて観察されたことをまとめる。

- ・ほとんどすべての位相において沖の瀬に時計回りの大規模渦が観察される。これは ADCP（超音波ドップラー流速計）による現地観測結果⁷⁾と一致する。
- ・0.5 knot 線は、おおよそ神戸から南に引いた一線よりも東に行くことはなく、湾奥の流動は位相にかかわらず、微弱であることが知れる。
- ・主流部は明石海峡西流時と東流時では位置が変わる。西流時には湾中央部を通り、東流時には淡路島寄りを通る。
- ・沖の瀬以外にも、位相によっては海峡部周辺で渦が観察されたが、それらは沖の瀬の渦のように、1 周期を通して見られるほどのものではない。

以上が、大潮の場合の大阪湾内の流況に関する実験結果である。潮汐条件を平均潮、小潮に変えた実験の結果について、Fig. 10 にそれぞれ流線図を示す。大潮の場合と比較すると、第一に、潮差が小さくなるにつれて潮流の流速が遅くなっている。それに伴って渦のスケールも小さくなり、平均潮において既に、沖の瀬の渦は、認めにくいほどにそのスケールを縮小し、小潮においては、渦らしきものはほとんど見られなくなっている。また、最強時の主流部の形も、大潮の時には大きく湾内を蛇行するのに比べて、潮差が小さくなると、その程度が小さくなり、小潮の場合には、明石海峡と友ヶ島水道の間を、ほぼ南北方向に流向を持つ往復する流れとなる。

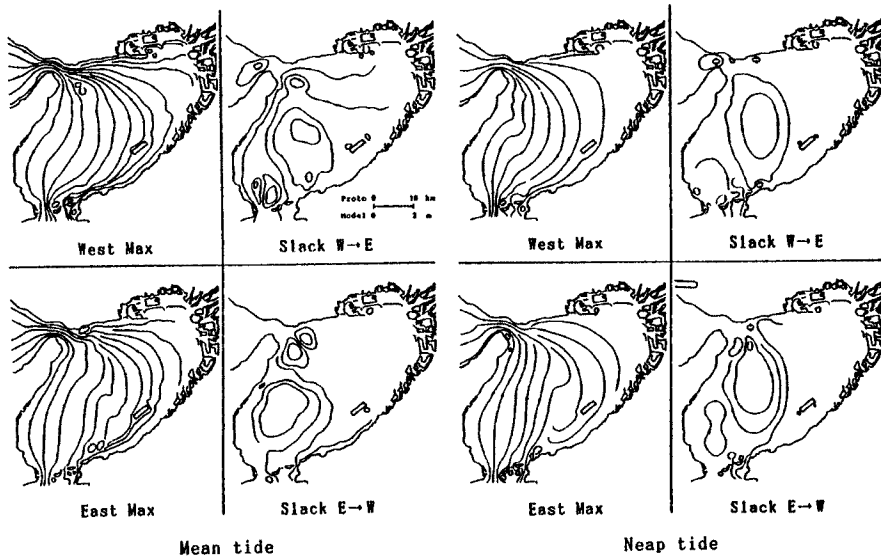


Fig. 10. Stream lines in Osaka bay (Mean tide, neap tide).

3.4 潮流のライフサイクル

前節において、大阪湾内には、沖の瀬に1周期を通じて見られる大規模渦が存在することについて述べた。この大規模渦の生成消滅過程を通して、大阪湾内の潮流の1周期のサイクルについて考察する。

沖の瀬に出来る渦の生成消滅過程を流線図をもとに考える。東流最強時に淡路島の松帆崎沖に出来る剝離渦が、その元になっているようで東流が弱まるにつれて南東に移動し、憩流を過ぎて、友ヶ島水道からの北流が始まっても、渦は潮流の主流部を、その西側に巻き込みながら存在する。そして、西流時から次の東流が始まるまで渦は存在し続ける、という一連の過程を推測することができる。この過程と湾内の流況を考慮すると、Fig. 11 に示すような湾内の潮流のライフサイクルが考えられる。沖の瀬の渦の生成の起点と考えられる、明石海峡東流最強時には、海峡の東側に2つの渦ができるが、南側の渦が北側のものより発達するのは、明石海峡から見て友ヶ島水道が南にあるため、主流の方向が南寄りとなり、沖の瀬の渦の回転を促進するためと思われる。

また、藤原⁹⁾によれば、「沖の瀬の渦のうち、南側の時計回りの渦は沖の瀬を中心として発達し、大潮期には極めて強くなり、潮時を問わず時計方向に回る循環流になる」としているが、本実験では、前述のように憩流から東流への移行時には、沖の瀬の渦は小さくなり、上の記述とは食い違うことになる。ただ、現地観測の潮流図を見るかぎりでは、東流最強時に沖の瀬上に渦は認められない。

3.5 埋立地周辺の流況特性

地形の変化によって、潮流の流動も変化すると予

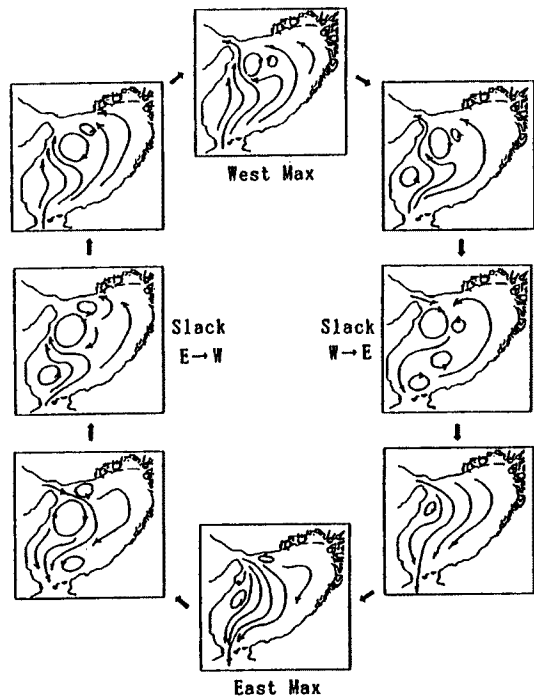


Fig. 11. Life cycle of tidal currents in Osaka bay.

想されるが、近年のウォーターフロントの開発により、大都市周辺の沿岸は、その姿を急激に変化させている。大阪湾もその例にもれることなく、湾岸には数多くの埋立の計画があり、さらには関西国際空港の建設も進んでいる。そこで、これら地形による流況の違いを知るために、湾奥部と、関西国際空港周辺の流況について検討する。潮流ベクトル図を Fig. 12 に示す。

まず、湾奥部の流況については、平成7年度の段階での沿岸地形を対象とした。潮流ベクトル図によると、六甲アイランド沖の防波堤付近の流れが速いことが認められる。この防波堤と、東側にある西宮沖の防波堤の間では、明石海峡西流最強時と、西流から東流への憩流時に、1 knot 前後の南向きの流れが観察される。また、ポートアイランド第2期事業地東側の海域では、位相を問わず反時計回りの渦が観察され、明石海峡西流から東流への憩流時に特に強くなっている。これは、流れの微弱な湾奥部といえども、地形の効果によって大規模な渦を生成する可能性があることを示唆している。また、淀川河口部の海域に比べると、神戸沖ではかなり潮流の卓越していることも読み取れる。

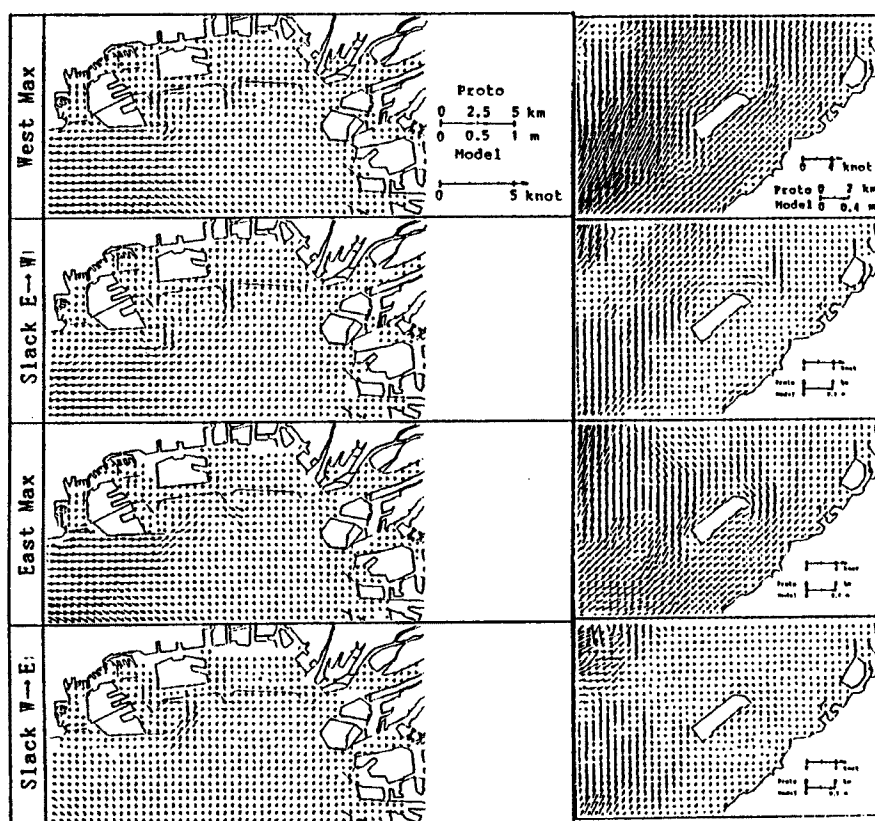


Fig. 12. Velocity vectors of tidal current in North-east part of Osaka bay and Kansai international airport (Spring tide).

次に、関西国際空港周辺の流況であるが、地形は第1期工事分を対象とした。明石海峡西流最強時には、空港島をはさんで北側と南側の両方に北東向きの流れが見られる。また、空港島の北側には、流速の遅い停滞域が形成されている。西流から東流への憩流時には、空港島の北側の海域に、先の位相で見られた流れが、引き続き見られ、その流れによる剥離渦らしきものも見られる。一方、南側の海域は、ほぼ停滞域となっている。明石海峡東流最強時には、明石海峡からの主流が、空港島付近まで達しており、空港島にあ

たって流向が変わっている様子も分かる。東流から西流への憩流時には、空港南西から来る流れと、北側からの南東流が周辺の海域でぶつかり、複雑な流況になっている。しかし、全体的に流速は小さい値となっている。

以上のように、沿岸の埋立等による地形の変化は、潮流の流動性に何らかの影響を及ぼす可能性があり、埋立の実施に当たっては、環境に及ぼす影響などの事前の調査が重要となる。

4. お わ り に

本報告は、大阪湾における潮流の流動特性を明らかにするために、大阪湾水理模型を用いて可視化実験を行ない、検討を加えたものである。従来の実験では、1台の起潮機で潮汐を起こしていたが、本実験においては、新たにもう1台起潮機を設置して、潮汐を起こした結果、従来よりもより良く現地での現象を再現できるようになった。実験結果と現地観測等との比較から、実験の精度はかなり良いことが確認された。

主な結果についてまとめると以下のようである。

- ①沖の瀬付近にほぼ1周期を通して時計回りの渦が観察された。これは従来の現地観測からも、その存在が指摘されている渦で、その生成消滅過程を捕らえることが出来た。沖の瀬の渦は、明石海峡東流最強時に淡路島の松帆崎沖に出来る剝離渦に、その端を発するようで、渦は規模や位置を少しずつ変化させながらも沖の瀬付近に存在し続け、次の東流が始まる頃にほとんど見られなくなり、再び剝離渦から発達してゆく。
- ②水深20m以深の海域を流れる主流部の形は、明石海峡西流時と東流時で変化する。すなわち明石海峡西流の時は友ヶ島水道を抜けた流れは湾中央部を通り、明石海峡東流時には、淡路島沿いを南流して友ヶ島に至る。一方、水深20m以浅の海域、およそ神戸から南に引いた一線よりも東の海域では、流速が0.5knotを越えることがなく、大規模な渦も観察されない。
- ③潮汐条件による違いを見ると、大潮、平均潮、小潮となるにつれて流速が遅くなり、それに伴って渦のスケールも小さくなる。最強時の主流部の形も、大潮の時には大きく蛇行するのに比べて、潮差が小さくなるにつれて、その度合いが小さくなり、小潮の場合は、明石海峡と友ヶ島水道の間をほぼ南北方向に往復する流れとなる。
- ④明石海峡、友ヶ島水道においては、友ヶ島水道の流況の方が複雑であるが、どちらの場合も海峡を抜けた流れの背後に剝離渦が認められた。また、海峡内では転流時に位相差が認められ、明石海峡では海峡中央部より、淡路島沿いに転流の位相が早く、友ヶ島水道では、加太の瀬戸において由良の瀬戸よりもかなり転流の位相が早い。
- ⑤埋め立てによる沿岸地形の変化は、潮流の流動に何らかの影響があることが観察された。湾内の埋め立てに際しては、流況の変化およびその変化による影響を事前に把握することが望ましい。

以上が、得られた主な結果である。本報告の実験は、現地を対象とした模型実験であり、その結果の検討に際しては、できるかぎり現地観測によるデータと比較するようにした。本文中の比較を見るかぎりでは、現地での現象の再現性は良く、実験結果もかなりの信頼性があると考えられる。一方、本報告は潮流場のみを考慮した実験であるが、冒頭で述べたように、湾内の流動は様々な流れによって引き起こされていることを考えると、今後の課題として、大阪湾における潮流場以外の現象の評価法の確立が挙げられる。

参 考 文 献

- 1) 今本博健・大年邦雄・鈴木 隆：大阪湾の潮流と海水交換に関する研究，京都大学防災研究所年報，第35号B-2，pp. 331-348，1992.

- 2) 海上保安庁：大阪湾潮流図，海図第6201号，1969.
- 3) 海上保安庁：鳴門海峡。友ヶ島水道・明石海峡潮流図，海図第6202号，1985.
- 4) 海上保安庁：潮汐表，第1巻，1987.
- 5) (財) 海上保安協会神戸地方本部：沿岸域情報ハンドブック（大阪湾・播磨灘・紀伊水道・土佐湾），1990.
- 6) 日本海洋学会，沿岸海洋研究部会編：日本全国沿岸海洋誌，東海大学出版会，1987.
- 7) 山田紀男：大阪湾の潮流と流程図について，海上保安庁水路要報，第92号，pp. 23-29, 1972.
- 8) 藤原建紀・肥後竹彦・高杉由夫：大阪湾の恒流と潮流・渦，海岸工学論文集，pp. 209-213, 1989.