

港湾技術研究所報告 (REPORT OF P.H.R.I.)

第12巻 第3号 (Vol. 12, No. 3), 1973年9月 (Sept. 1973)

目 次 (CONTENTS)

1. 衝撃碎波圧を受ける混成防波堤の挙動に関する考察……………合田良実…………… 3
(Motion of Composite Breakwater on Elastic Foundation under the Action of Impulsive Breaking Wave Pressure……………Yoshimi GODA)
2. 防波堤の設計波圧に関する研究……………合田良実……………31
(A New Method of Wave Pressure Calculation for the Design of Composite Breakwater……………Yoshimi GODA)
3. 前面に遊歩道を持つ海浜護岸について——越波特性からの断面形の検討——
……………服部典節・佐藤昭二……………71
(On the profile of seawalls at the resort beach……………Michiyo HATTORI and Shoji SATO)
4. 大阪湾の潮流と物質拡散に関する模型実験
……………金子安雄・堀江毅・村上和男・上野信行・久保正則……………99
(Model Experiment on Tidal Current and Substance Diffusion OSAKA Bay……………Yasuo KANEKO, Takeshi HORIE, Kazuo MURAKAMI, Nobuyuki UENO and Masanori KUBO)
5. 長期間海水作用を受けたコンクリートはりのひびわれと内部鉄筋の腐食について
……………関博・丸山浩…………… 203
(Corrosion of Steel Bars at Crack of Reinforced Concrete Exposed to Sea Environments……………Hiroshi SEKI and Hiroshi MARUYAMA)
6. 雑貨埠頭の上屋・倉庫のシステム設計 (第2報)
……………早藤能伸・工藤和男…………… 227
(System Design of Transitsheds and Warehouses (Part-2)
……………Yoshinobu HAYAFUJI and Kazuo KUDO)
7. 細砂送流時における濃度分布および流速分布について
……………是石昭夫・八木得次・奥出律…………… 245
(On the distribution of solid concentration and flow velocity at time of transporting the fine sand in a horizontal pipe……………Akio KOREISHI, Tokuji YAGI and Tadasu OKUDE)
8. エアリフトの揚水特性について……………岡山義邦・八木得次…………… 261
(On the Air-Lift Characteristics with Gas-Liquid Mixture……………Yoshikuni OKAYAMA and Tokuji YAGI)

4. 大阪湾の潮流と物質拡散に関する模型実験

金子安雄*・堀江毅**・村上和男***・上野信行****・久保正則****

要 旨

大阪湾内の港湾計画に基く沿岸埋立地、新関西国際空港（埋立方式）等の大規模埋立地造成計画が実施された場合に、これら大規模埋立地が湾内潮流および汚染物質の拡散におよぼす影響を水理模型によって実験的に検討したものである。

実験模型は平面縮尺 $1/2000$ 、垂直縮尺 $1/200$ のコンクリート製で、大阪湾全域（含河川感潮域）および紀伊水道、播磨灘の一部を再現している。実験手法のうち潮流現象は外海から潮汐現象を空気圧式起潮機で与え湾内に潮流を発生させ、物質拡散現象については、湾内の拡散は潮流の流動に基く水平乱流拡散が主体であるとの観点に立って、潮流による拡散現象を扱っている。

この実験から、湾内潮流は、沿岸埋立地造成による影響は少なく、空港埋立地の影響も湾奥への廻流を若干抑制する程度であり、湾奥部の流速変化は現況に較べ $0.1\sim 0.2\text{kt}$ と少ない。汚染物質の拡散は湾内潮流の流動に対応し、大潮時は湾東部沿岸に添って南下し、小潮時は湾中央に拡散する傾向にある。空港埋立地造成後も拡散パターンの変化は少なく、むしろ拡散を促進する傾向が把握された。

* 海洋水理部 海水汚染水理研究室長

** 海洋水理部 主任研究官

*** 海洋水理部 海水汚染水理研究室

**** 前海洋水理部 海水汚染水理研究室

4. Model Experiment On Tidal Current and Substance Diffusion in Osaka Bay

Yasuo KANEKO*

Takeshi HORIE**

Kazuo MURAKAMI***

Nobuyuki UENO****

Masanori KUBO****

Synopsis

Model experiments were conducted in order to investigate the effect of seashore and offshore reclamations upon tidal currents and diffusive pollutants in Osaka Bay.

Model basin is made with concrete with 1/2000 in horizontal scale and 1/200 in vertical and covers whole the bay (including tide-affected regions of rivers), Kii Channel and a part of inland sea; Harima Nada.

Tide was given the model by a pneumatic-type tide generator. Tidal flow patterns were obtained from the film analysis of continuous pictures of floats. Diffusion patterns were investigated by the sampling of dye tracer (Rhodamine B) and its fluo-analysis. In this study, the main factor of the pollutant diffusion is considered to be the horizontal turbulent diffusion due to velocity variation of tidal current.

From a series of experiments, following points are found; the effects of seashore reclamations on the tidal currents in the bay would be negligible small and the variation of the currents due to artificial island is just 0.1 to 0.2 knot in the inner bay compared with the existing currents. Only the large-scale tidal circuit toward the inner bay is slightly reduced. The diffusion patterns of dye are well correspond to those of tidal currents; injected dye tends to flow down to south direction along east coast during spring tide, whereas, disperse along the main-axis of the bay during neap. The reclamation for offshore airport causes small variation of diffusion pattern and results in the improvement of dispersion speed.

* Chief of the Marine Diffusion Laboratory, Marine Hydrodynamics Division

** Senior Research Engineer, Marine Hydrodynamics Division

*** Member of the Marine Diffusion Laboratory, Marine Hydrodynamics Division

**** Ex-member of Marine Diffusion Laboratory, Marine Hydrodynamics Division

目 次

要 旨	99
1. ま え が き	103
2. 大阪湾の潮流・汚染状況	104
2.1 潮 流	104
2.2 汚 染 状 況	109
3. 実 験 手 法	109
3.1 実 験 方 針	109
3.2 相 似 律	111
3.3 現象支配因子の取扱い	113
3.4 模 型 縮 尺	113
4. 実 験 施 設	114
4.1 模 型	114
4.2 起 潮 装 置	114
4.3 計 測 装 置	114
5. 実 験 条 件 お よ び ケ ー ス	116
5.1 実 験 条 件	116
5.2 実 験 ケ ー ス	118
6. 予 備 実 験	119
6.1 潮 流	119
6.2 拡 散	119
7. 実 験 結 果	120
7.1 潮 流	120
7.2 埋立に伴う潮流変化	165
7.3 拡 散	165
7.4 埋立に伴う拡散変化	188
8. 考 察	198
8.1 流 況	198
8.2 汚 染	199
9. 結 論	200
10. あ と が き	201
参 考 文 献	201

1. まえがき

大阪湾は我が国のはば中央に位置し、地理的条件および気象・海象条件に恵まれているため、遠く難波の昔より経済・貿易の中枢として発展して来た。現在この湾岸一帯はわが国の代表的な重工業地帯の一つである阪神工業地帯として隆盛を極めており、さらに湾岸周辺には神戸、尼崎、大阪、堺など多くの大、中都市が連なり、それぞれの都市およびそれに連なる背後地に対する海上交通の拠点ともなっている。

近年の経済高度成長政策は、これら沿岸の大都市および工業地帯の急激な膨張を引き起し、人口の集中、生産規模の拡大に対処するため湾岸周辺浅海部は急速に埋立られて来た。この結果大阪湾は昭和30年より45年に至る15年間に約 27.6km² の海面が失われたことになり、これは大阪湾の約2%の面積にあたる¹⁾。

また近代社会における交通輸送体系のなかで航空機の占める位置は著しく上昇し、その機動性と安全性の確立によって、機材は益々大型化するとともに利用率は急激に伸展している。運輸省の調査推計²⁾によるわが国の航空旅客数は、毎年国内線29%、国際線23%の割合で増加しており、関西地区の輸送需要の見通しについても、昭和50年度に国内線旅客 2,000 万人、国際線旅客 230 万人と予測しており、この増加傾向から関西地区航空輸送需要に対処するため、空港能力の増強を図る必要があるとし、新空港建設候補地として、大阪湾の海上が挙げられ

ている。このような情勢から大阪湾の海面は更に失われようとする状況下にある。

他方、近年臨海工業地帯からの産業廃水、都市下水の河川、海域への排出量が急激に増加し公共水域の汚濁が著しい。大阪湾においても湾奥水域の汚染が著しく、一部水域では既に漁場価値が喪失したとさえ言われている。この水質汚濁現象は益々拡大する傾向にあり、被害は水産業界のみに止らず生活環境にまで波及し、その悪化は大きな社会問題となり、環境保全の立場から汚水の規制および埋立地の制限も行なわれようとしている。このような情勢の下で大規模埋立地の造成については、海域の水理現象および環境に与える影響に関し事前に十分検討し、その対策を保有しておく必要がある。

本報告書は前記の観点から、大阪湾内大規模埋立地の造成が、湾内潮流および汚水の拡散におよぼす影響を水理模型実験によって検討したものである。

海灣内の潮流および汚染現象の予測技術としての水理模型実験の活用は最近とみに盛んになり、多くの成果が発表されている³⁾⁴⁾。けれども広域な浅海海灣における汚水の混合拡散現象には多くの要素が関係し、その機構は複雑であり、実体を正確に把握することも困難である。さらに混合拡散現象の理論的研究面でも不明な点があり、この種の水理模型実験技術についても原型と模型の相似性に問題が残されている現状である。したがって実験手法も確立していないが、現時点では、一般に海灣における汚水拡散現象は水平乱流拡散が主体であるとして

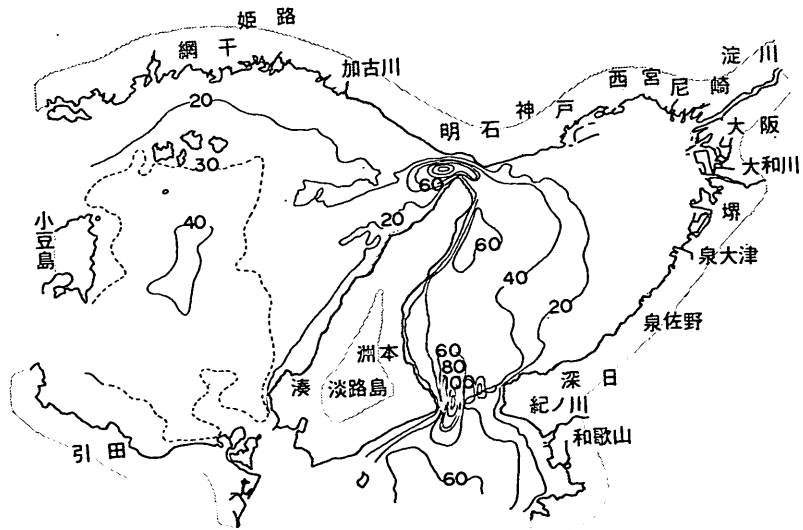


図-1 大阪湾地形水深図

扱われており、乱流にエネルギーを供給するのは潮流が主因であるとの考え方に基ずいている。この実験でも前述の考え方により、大阪湾の潮流現象を再現し、湾内流況、汚水濃度分布状況の変化を、現状地形、大規模埋立地形等について実験を行なった。

2. 大阪湾の潮流、汚染状況

2.1 潮流

大阪湾は図-1に示すように、周囲 160km、面積 140、

000 ha、長軸 60km、短軸 30km の楕円状を有し、南は友ヶ島水道を通して紀伊水道から太平洋に、西は明石海峡を経て播磨灘、瀬戸内海に通じている。瀬戸内海は複雑な地形と広大な水面積を有し、その南西端は豊後水道で外洋と連なり、他端は関門海峡によって日本海と結ばれている。このため大阪湾内の潮流、潮汐は太平洋および瀬戸内海両水域の影響を受け、潮汐現象に特性がみられる。

大阪湾内の潮流観測は既に数多く実施され、潮汐観測

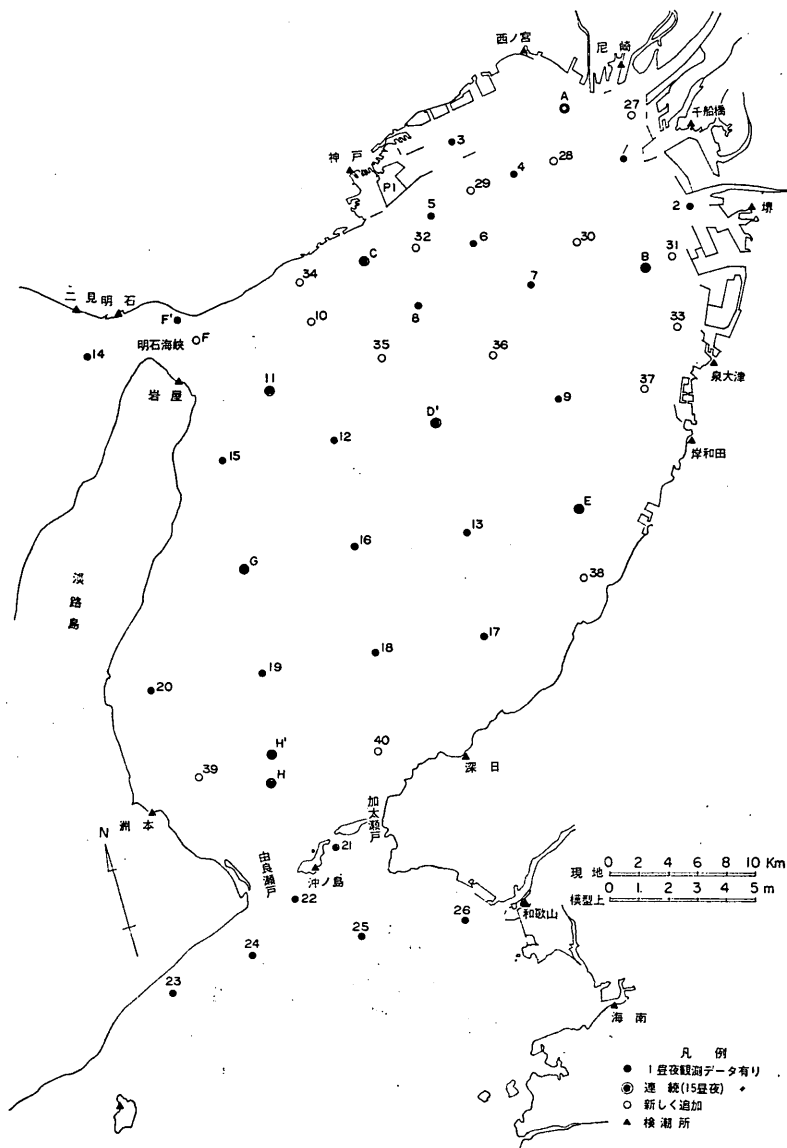


図-2 潮流観測位置図

大阪湾の潮流と物質拡散に関する模型実験

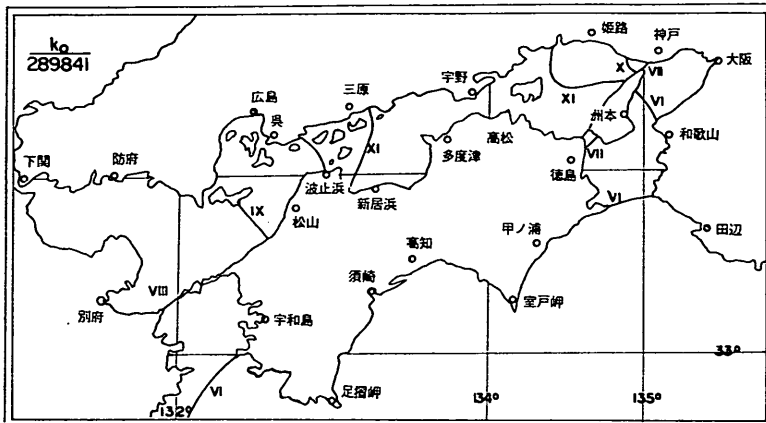


図-3-1 M_2 同潮時図

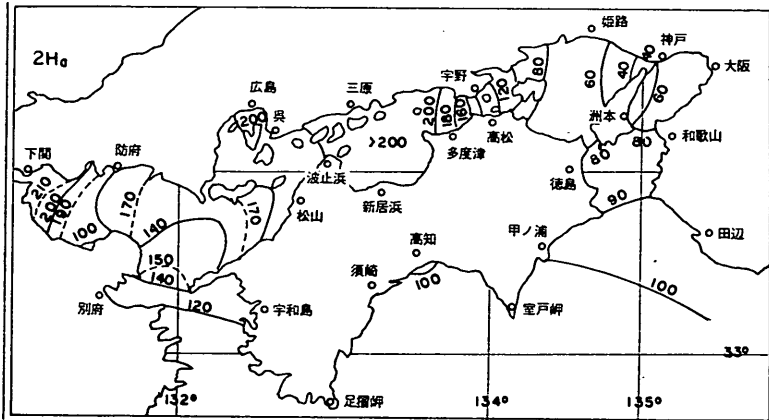


図-3-2 M_2 同潮差図

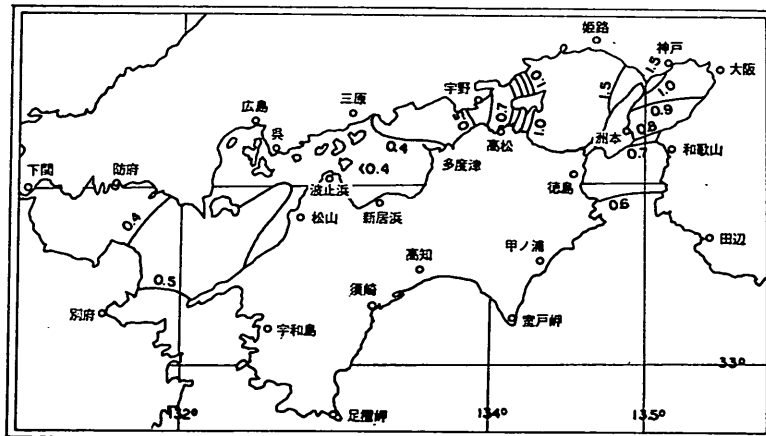


図-4 日潮不等図

表-1 大阪湾沿岸潮汐定数表 (M_2 , S_2 , O_1 , K_1)

	和歌山 H K		友ヶ島 H K		由良 H K		淡輪 H K		大阪 H K	
M_1	46.2	186.4	38.8	192.5	32.9	190.5	33.0	205.0	31.5	213.3
S_2	22.2	210.3	19.8	215.4	17.0	214.3	18.3	224.6	17.0	236.3
O_1	18.0	171.7	18.7	181.9	17.9	182.3	19.1	180.6	19.2	181.2
K_1	24.2	192.4	25.3	201.1	22.9	205.7	25.5	202.7	26.8	205.6

	尼崎 H K		神戸 H K		明石 H K		高砂 H K		姫路 H K	
M_2	31.0	215.7	31.1	215.9	15.9	240.3	27.4	314.3	31.1	315.8
S_2	17.2	230.4	16.7	234.4	9.3	236.6	7.7	306.5	8.7	313.4
O_1	19.6	193.9	17.3	177.9	16.7	201.3	20.4	200.5	20.8	202.3
K_1	25.6	203.7	26.5	206.0	23.6	216.4	27.9	225.9	28.2	226.0

は沿岸各地(神戸, 大阪……など)約20ヶ所で自記検潮機により常時測定が行なわれており, これらの結果は神戸海洋気象台, 水路部等から発表され⁵⁾⁶⁾, 大阪湾潮流図が刊行されている⁷⁾。最近では運輸省第三港湾建設局が大阪湾の総合開発計画のための基礎調査の一環として, 昭和46年8月~9月にかけて図-2の場所で潮流観測を行なっている⁸⁾。

ここでこれら各観測結果から得られた大阪湾内の潮汐潮流の性質を要約すれば

- (1) 外洋から紀伊水道を北上する潮浪の半日周潮成分 M_2 潮は約2時間で明石海峡に達するが, 海峡を通過するのに約2時間を要している。 S_2 潮もほぼ同様である(図-3-1~2)。潮汐の振幅は湾内に入って明石海峡に至るまでに約1/3に急減し, 海峡通過後備後灘において, 豊後水道から侵入した西方の潮浪と合体し振幅を増幅させる(図-4)。日周潮は周期が長いため内海水域で自由振動による定常波を成長させる作用はなく日周潮汐の振幅変化は小さい。
- (2) 日潮不等は紀伊水道からの潮浪の不等が著しく, 図-4に示す不等図によれば, 明石海峡を中心とした水域一帯では日周潮位が半日周潮を上回っており(1.0<), 1日1回潮が卓越することを示している。表-1に沿岸各地の潮汐調和常数を示したが, 本表からも湾内潮汐の特性を感得することができる。
- (3) 湾内潮流は図-5-1~3の各図に明石海峡を基準とした潮流分布を示したが, 漲潮時友ヶ島水道を北上する

潮流の主流は淡路島よりの大水深の需筋を通過し, この海域では流速 50cm/s 以上の速さで明石海峡に抜ける。湾奥大阪港水域は主流より派生した潮流が廻流する形態を示しており, 流速も湾奥に近づくに従って低下し, 湾奥では数 cm/s 以下となっている。明石海峡は潮汐1日1回潮のときでも潮流は2回/1日の変

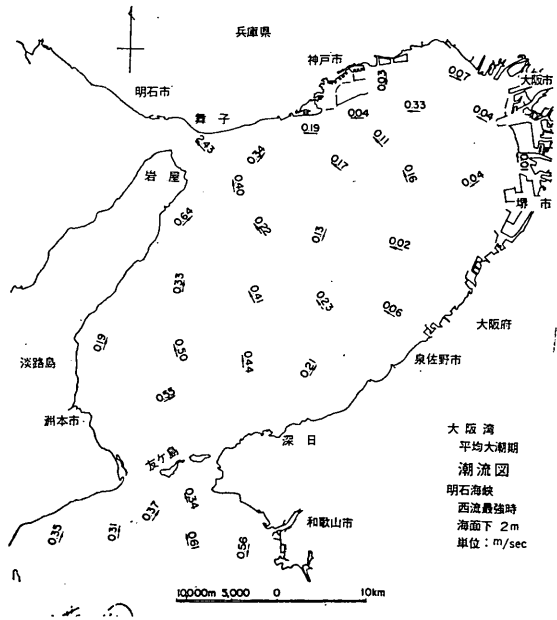


図-5-1 潮流図

大阪湾の潮流と物質拡散に関する模型実験

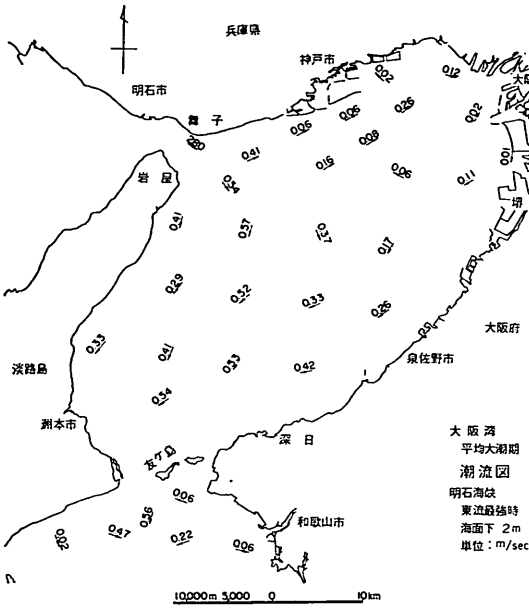


図-5-2 潮流図

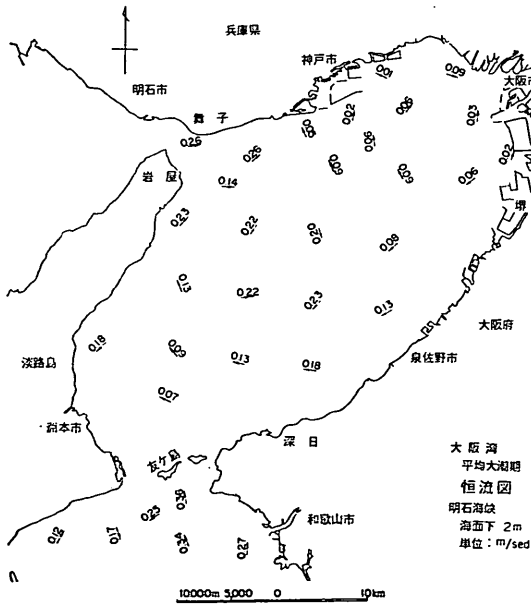


図-5-3 潮流図

化が生じ、流速は平均大潮時で約 200cm/s と速い。

退潮流は漲潮流と全く逆な流向を示しているが、主流は漲潮流同様、淡路島よりの大水深域を通過し、湾内へは主流から派生した潮流が廻流する。図-6は湾内の流況を模式化したものであり、図-7は明石海峡を基準

とした潮流速比の分布を示す⁹⁾。

(4) 湾内恒流の分布は図-5~3 に示したように、沖の瀬を中心にした環流があり、湾奥西宮前面水域にも環流傾向がみられる。さらに湾東部には陸地に沿った低速の恒流が明確である。沖の瀬附近の恒流流速は約 25 cm/sの速い流速を示すが、湾奥部の恒流速は小さいが潮流速とほぼ同値である点に特徴が見られる。図-8は恒流のパターンを模式化したものであり、図-9は明石海峡を基準にした恒流の流速比である。なお図-9で阪南地区から堺地区前面に恒流の速い水域が存在しているが、これは淀川などの河川流によるものと考えられる。

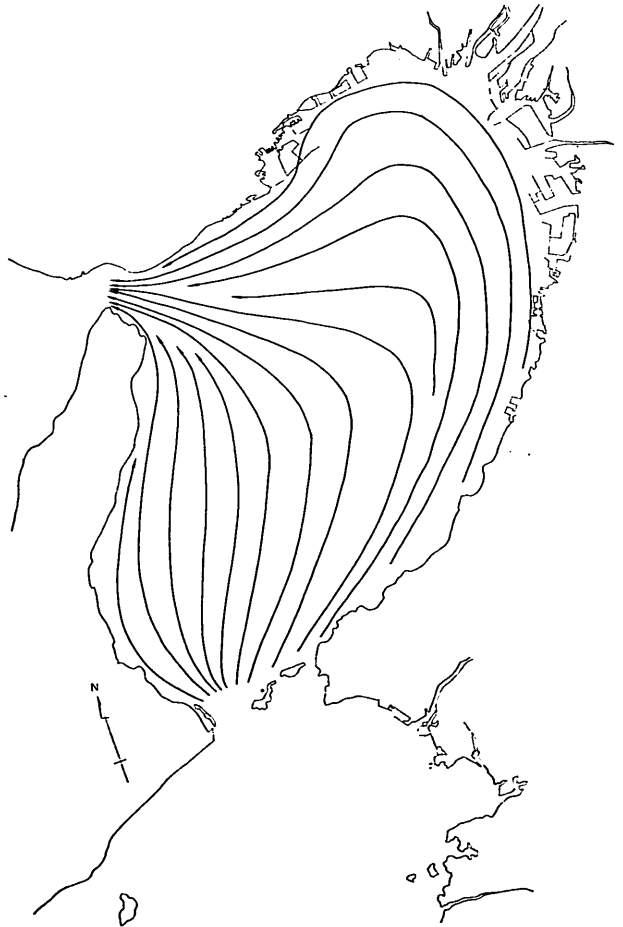


図-6 潮流の主流向線図 (漲潮流)

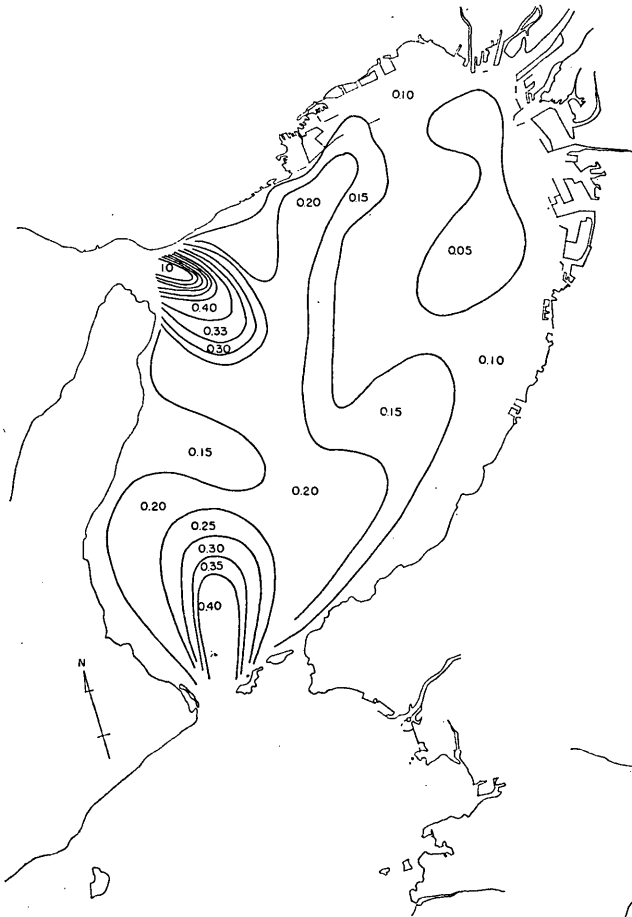


図-7 潮流流速比分布図 (基準点明石海峡)

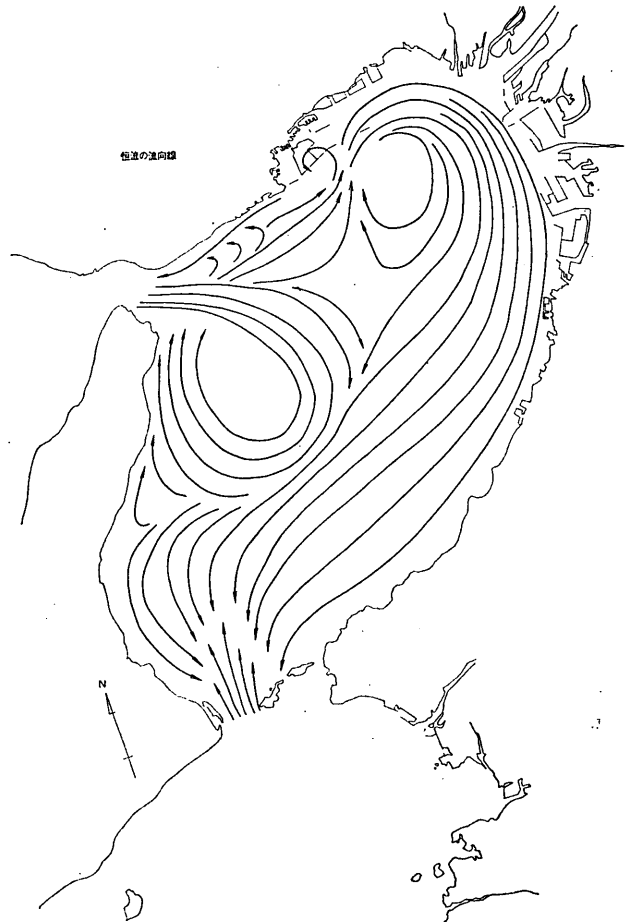


図-8 恒流の流向線図

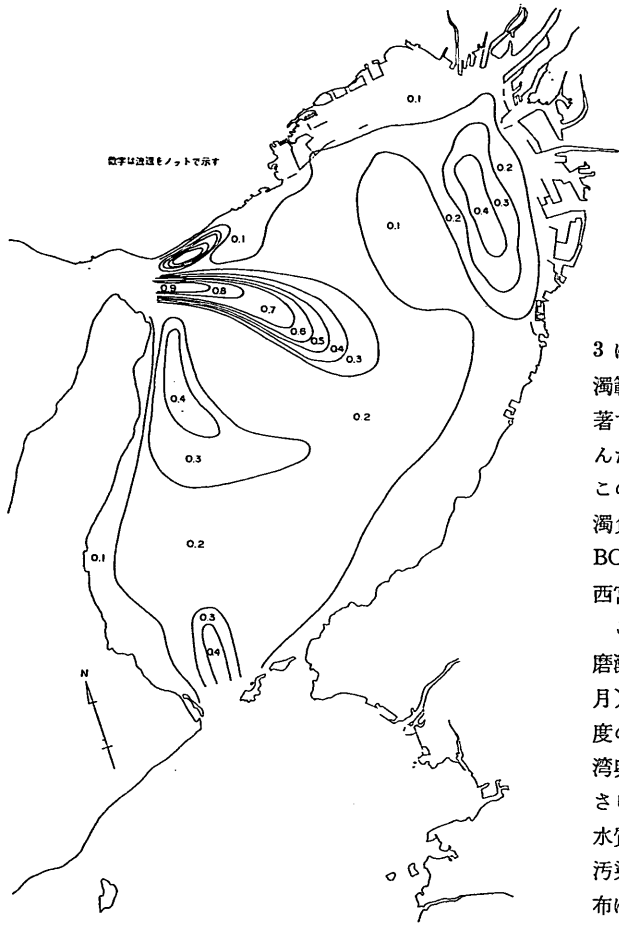


図-9 恒流の流速分布図

2.2 汚染状況

大阪湾の水質汚染が問題化したのは、わが国の経済が急速に立直った昭和30年以降とされている。水質汚染が問題となる以前には、汚染に関する系統的な調査は殆ど実施されておらず、大阪湾の過去の水質状況を把握するのは困難であるが、大正13年神戸海洋気象台が行なった大阪湾の海洋観測結果によれば、武庫川河口から大和川河口に至る同湾周辺の沿岸海域は、透明度1~1.5mで陸地から流入する汚濁水の影響がすでに局地的に現れている。

昭和41~43年にかけて、大阪府、兵庫県合同による大阪湾水質調査(年1回、41年のみ年2回)が行なわれた。調査結果¹⁰⁾の一部を図-10-1~3の各図に示したが、図-10-1は水色の3年間の平均値を示したもので、海水の濁りは大阪港を中心とした湾奥部にあり、湾総体的にみた

傾向は神戸和田岬~堺港以北の海域では色相8以下で強く汚濁されていることを示している。

(小さな数字が外観上強い汚濁を表す) 図-10-2のCODの分布についても、神戸港~大阪港~岸和田市に至る間の距岸3~8kmの沿岸部で5ppm以上の値を示し、湾奥全般的に4ppm以上で汚濁の強いことを表わしている。このほかNH₄-Nの分布でも、尼崎港~堺港にかけて0.5ppm以上の高濃度水域を示し、神戸港沖にも0.3ppm以上の水塊が存在している。図-10-3は特にCOD、濁度、NH₄-Nの分布図から湾内の汚濁範囲を推定したものであり、大阪湾奥沿岸の汚濁が顕著であり、汚濁の根源は、湾奥に流入する都市下水を含んだ河川水によるものであることが明確に推察できる。このことは、水質調査と同時にこなされた大阪湾への汚濁負荷量調査結果でも明らかであり、汚濁物質総量はBOD負荷量で約560t/日に達し、このうち70~80%が西宮~大和川までの湾奥部に集中的に流入している。

この後昭和46年に運輸省第三港湾建設局は大阪湾、播磨灘の水質調査を実施したが¹¹⁾、夏期(7月)と冬期(11月)の観測結果はCODの分布状態が一変しており、濃度の傾向を把握することが困難であるが、総体的に大阪湾奥および大都市地先海域の汚染が強く現われている。さらに昭和47年度環境庁が瀬戸内海全域にかけて広範な水質調査(年4回)を実施したが¹²⁾、このうち大阪湾の汚染状況をCODの分布について見ると、表層の濃度分布は、湾全体に2~3ppm以上となり、特に神戸および堺港前面に局部的な高濃度(8ppm)の汚染域が現われている。この観測においても汚染濃度の季節的変動が著しい。

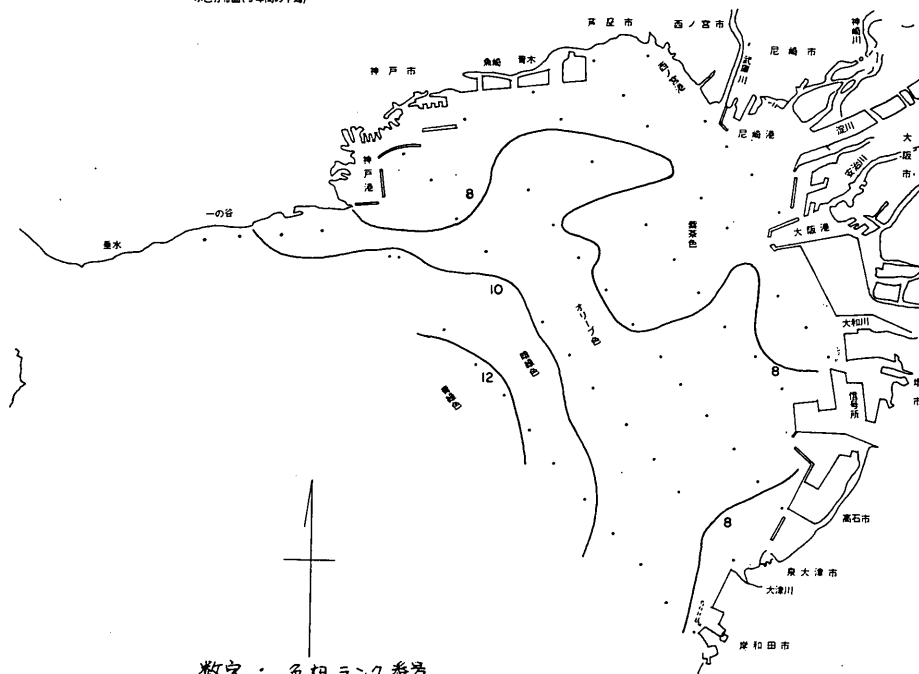
これらの水質調査結果から大阪湾内の汚染源は、都市下水および臨海工業地帯からの廃水の流入によるものであることが明らかであり、経年的な汚濁変化は、各調査が一時期のものであるから明確に断定できないが、昭和43年頃が最も汚染された状態であり、その後徐々に清浄化しつつあるように推察される。

3. 実験手法

3.1 実験方針

海域において汚染物質が海水と混合し拡散する機構は複雑であり、その拡散分布の形態は海域の地形、水理条件によって異なるとともに時間的にも変化する。拡散した汚染物質の設度に関しては、地形のほか流入量、流入場所、流速分布、拡散係数などが関係する。実験に際し

水色分布図(3年間の平均)



数字：色相ランク番号
 (小さな数字が外観上強い汚濁を表す)

図-10-1 汚濁現況

化学的酸素需要量分布図(3年間の平均)(ppm)

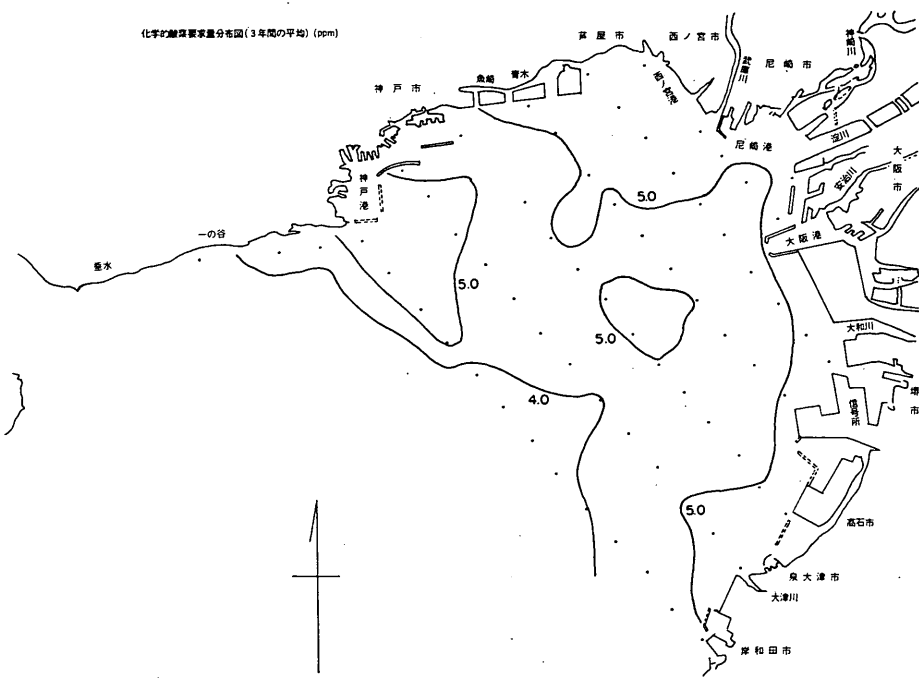


図-10-2 汚濁現況

大阪湾の潮流と物質拡散に関する模型実験

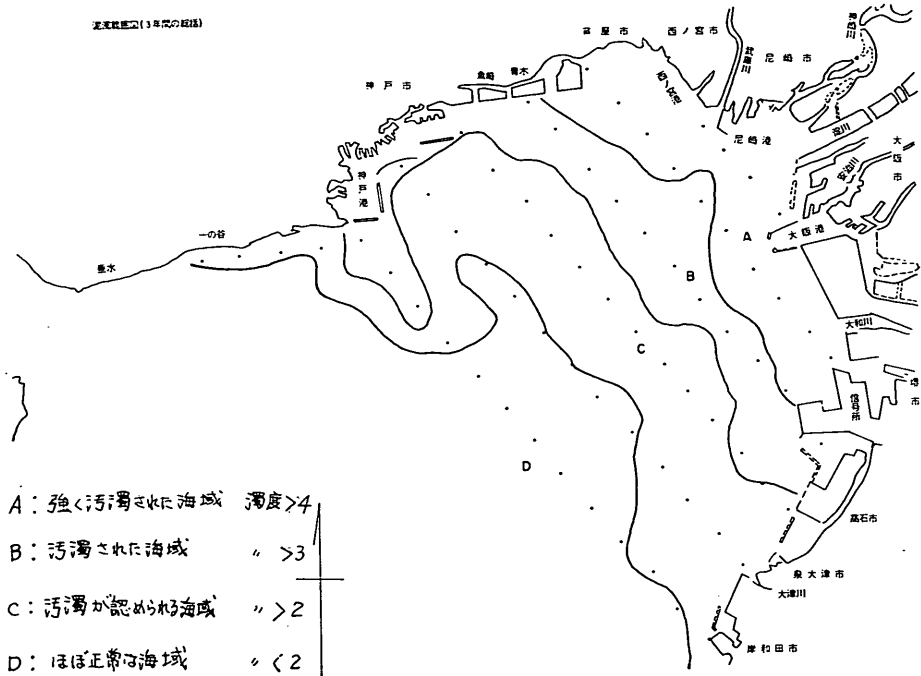


図-10-3 汚 濁 現 況

てこれらの関係因子の総てを再現出来れば最も望ましいが、現在の手法、施設では到底不可能であるため拡散現象について基本的な形態を規定し、実験で扱う範囲を明確に定めておく必要がある。

一般に海域で汚染物質が混合拡散する基本的な原因は (a)分子拡散, (b)鉛直, 水平渦動拡散, (c)潮流, 海流による移流(1種の渦動拡散)で働く汚染希釈に大別される。このうち分子拡散は渦動拡散に較べ、その効果は小さく、拡散係数のオーダーも小さいので無視することができる。したがって海域の混合拡散を支配する主因は渦動拡散と移流と考えられる。

海域の流れは乱流であり、流れの中には種々の大きさの乱れが存在する。この乱れにエネルギーを供給するのは潮流, 海流, 河川流, 密度流および波浪, 風などが考えられ、大阪湾のような内湾で乱流にエネルギーを供給する主体は潮流であり、他の要素は局所的なエネルギーを与えるに止まると思われる。潮流の流動につれて汚水の拡散を観察すると、潮流は平均流として汚水塊の場所的移動を受持ち、その中に存在する乱れが汚水塊と周囲の海水との混合を起しているものと見られる。この観察時間が短い場合は、潮流オーダーの渦は移流効果として把握され、長い場合は、大きな渦として拡散に寄与すると理解される。この結果放流長時間後の汚染物質

の拡がり、潮流の excursion によって移動し、最終的な分散方向は湾内の恒流に支配されるとみなしてよいであろう。また潮流現象は一般に水平方向の運動が卓越しており、海域の水平方向のデメンションは、鉛直方向のデメンションより遙かに大きい。拡散係数も、一般に水平拡散係数が鉛直拡散係数の $10^4 \sim 10^5$ 倍といわれている。

以上の観点から大阪湾内の汚染物質の混合拡散現象の形態は、湾内潮流に基く水平乱流拡散として扱うことにした。なお原型の汚染濃度は前記の物理現象のほか、沈澱, 吸着, 化学変化などの現象によって影響を受ける管であるが、実験ではこれら作用の再現が出来ないので一切考慮しないことにした。

3.2 相 似 律

模型実験に必要なことは、原型と模型の間に力学的相似が成立することである。この実験は潮流および汚染水の拡散を扱うため、相似則は潮流および拡散現象の両者について考慮しなければならない。

(1) 潮 流

潮汐および長周期波の運動に伴う流れは、水平方向に卓越しているので、圧力は静水圧とみなされ、海水密度も一定として考察する。広域な海面は水平と仮定し、水表面に水平軸、水深方向に鉛直軸をとった場合の、流体

の運動方程式は近似的に

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} &= \lambda v - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_x}{\partial z} \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} &= -\lambda u - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_y}{\partial z} \\ P &= P_0(x, y) + \rho g z \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ここで z 方向の流速 w は u, v にくらべ相対的に小さいので $w=0$ と仮定している。

u, v : それぞれ x, y 方向の流速成分, t : 時間, λ : 地球自転の偏向力 ($2\omega \sin \phi$), ω : 自転の角速度 $= 7.29 \times 10^{-5}$, ϕ : 緯度, P_0 : 大気圧, τ : 摩擦力

(1)式において流速 u, v を鉛直方向に平均した成分 U, V について運動を考えれば

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial U_1}{\partial t_1} + m U_1 \frac{\partial U_1}{\partial x_1} + m V_1 \frac{\partial U_1}{\partial y_1} &= \lambda V_1 - g \left(\frac{\partial \xi_1}{\partial x_1} \right) - \frac{\tau_{x1}}{\rho_1 h_1} \\ \frac{\partial V_1}{\partial t_1} + m U_1 \frac{\partial V_1}{\partial x_1} + m V_1 \frac{\partial V_1}{\partial y_1} &= -\lambda U_1 - g \left(\frac{\partial \xi_1}{\partial y_1} \right) - \frac{\tau_{y1}}{\rho_1 h_1} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

ここで m : 流速の鉛直分布に関する係数, ξ : 水面座標, h : 水深を示す。なお海面 ($z=0$) での摩擦力 (τ) は無視する。suffix 1 は原型を表す。

模型および原型に生ずる現象が相似であるためには、原型に関する(2)式と模型についての(2)式に対応する各項の比がそれぞれ等しくなければならない。そこで原型と模型の関係を(3)式のようにおく。

$$\left. \begin{aligned} l = \frac{x_1}{x_2} = \frac{y_1}{y_2} \quad d = \frac{h_1}{h_2} \quad t = \frac{t_1}{t_2} \\ U = \frac{U_1}{U_2} = \frac{V_1}{V_2} \quad P = \frac{P_1}{P_2} \quad \rho = \frac{\rho_1}{\rho_2} \quad \tau = \frac{\tau_1}{\tau_2} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

ここで suffix 2 は模型値を表す。

(3)式の関係を(2)式に代入し模型において(2)式が成立する条件を求めれば

$$m_r = \left(2\omega \frac{l}{U} \sin \phi \right)_r = \left(\frac{gd}{U^2} \right)_r = \left(\frac{\tau l}{\rho U^2 d} \right)_r = 1 \quad (4)$$

ここで suffix r は原型と模型の比を表す。

(4)式から $m_r \doteq 1$, $g=1$ とすれば

$$\left(\frac{gd}{U^2} \right)_r = \left(\frac{d}{U^2} \right)_r = 1 \quad \therefore U_r = d_r^{1/2} \quad (5)$$

$$U = \frac{l}{T} \quad \text{から} \quad T_r = \frac{l_r}{d_r^{1/2}} \quad (6)$$

摩擦項(粘性項)は

$$\left(\frac{\tau l}{\rho U^2 d} \right)_r = 1 \quad \therefore \tau_r = \frac{\rho_r d_r^2}{l_r} \quad (7)$$

ここで $\tau = c\rho U^2$ の形で定義し, (7)式に代入し $\rho_r \doteq 1$ とすれば摩擦抵抗係数 c に関する関係は

$$c_r = \frac{\tau_r}{\rho_r U_r^2} = \frac{d_r}{l_r} \quad (8)$$

これらの関係で(6)式はフルード数を合せる関係式であり, 時間スケールの縮尺を与え, (8)式は摩擦抵抗を規定する条件を表す。

(5)式から水深比を模型の垂直縮尺比に一致させれば, すなわち $d=h'$ とすれば流速比 $U_r = (h')^{1/2}$ となる。また(8)式の c_r を Manning の粗度係数 n で表わせば

$$n_r = d_r^{2/3} l_r^{-1/2} \quad (9)$$

地球自転の偏向力は(4)式から

$$\left(2\omega \frac{l}{U} \sin \phi \right)_r = 1$$

w は一定であるから

$$\frac{l_r}{U_r} \times \phi' = 1 \quad (10)$$

ここで ϕ' は原型と模型の緯度の比であり, (10)式は角速度の時間縮尺を表す。

流量 Q の関係は(11)式となる

$$Q_r = U_r l_r d_r = l_r d_r^{3/2} \quad (11)$$

(2) 拡 散

海域中の汚染物質濃度の変化は(12)式で表わされ, (12)式は一般に拡散方程式とよばれる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial S}{\partial t} + u \frac{\partial S}{\partial x} + v \frac{\partial S}{\partial y} + w \frac{\partial S}{\partial z} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial S}{\partial x} \right) \\ &+ \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial S}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial S}{\partial z} \right) \\ &+ W_0 \frac{\partial S}{\partial z} - CS \end{aligned} \quad (12)$$

ここで S : 物質濃度, t : 時間, u, v, w : x, y, z 方向の流速成分, K_x, K_y, K_z : x, y, z 方向の拡散係数, W_0 : 物質の沈降速度, C : 自浄係数

(12)式左辺2~4項は移流項, 右辺1~3項は拡散項を表す。ここで前述の潮流で仮定した条件に従い, 拡散は潮流の流動に伴う水平成分のみ考慮すれば(沈澱, 自浄作用は無視する)

$$\frac{\partial S}{\partial t} + u \frac{\partial S}{\partial x} + v \frac{\partial S}{\partial y} = K_x \frac{\partial^2 S}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 S}{\partial y^2} \quad (13)$$

拡散現象においても潮流同様に原型と模型の間に相似が必要であり, このためには原型と模型についての(13)式で, 各対応する各項の比が等しくなければならない。ここで原型と模型の関係を(3)式同様に下記の如くおく

$$S = \frac{S_1}{S_2}, \quad U = \frac{u_1}{u_2} = \frac{v_1}{v_2}, \quad t = \frac{t_1}{t_2} \quad (14)$$

$$l = \frac{x_1}{x_2} = \frac{y_1}{y_2}, \quad K = \frac{K_{x1}}{K_{x2}} = \frac{K_{y1}}{K_{y2}} \quad \left\{ \right.$$

ここで suffix 1, 2 は(3)式と同様とする。

(14)式の関係を(13)式に代入し、模型での条件を求めれば

$$\left(\frac{K}{l, U} \right)_r = 1 \quad (15)$$

$$\therefore K_r = l_r U_r = l_r h_r^{\frac{1}{2}} \quad (16)$$

3.3 現象支配因子の取扱い

(1) 潮流

原型における流体の運動が(1)式で表されるとすれば、方程式の各項総てを模型に考慮することが必要となるが相似則から規定される重力項・粘性項と地球自転の偏向力は同時に満足させることは出来ない。そこで大阪湾における現象について(1)式中のオーダーを検討してみる。ただし大阪湾の規模は下記のように見積る (CGS 単位) と、下記のように概算される。

長さ	~10 ⁶	慣性項	~10 ⁻³ ~10 ⁻⁴
速度	~10 ¹ ~10 ²	重力項	~10 ⁻³
深さ	~10 ³	粘性項	~10 ⁻³
時間	~10 ⁴	コリオリ項	~10 ⁻⁵

この結果、慣性項、重力項、粘性項はほぼ同値であり慣性項は無視出来ないが、コリオリ項は他項に較べオーダーが小さいので無視できると考え、実験では慣性項、重力項、粘性項についてのみ考慮することにした。けれどもコリオリ項は湾内の恒流成分に関係する筈であるから、この効果は別途河川流の流入によって補正することにした。

(2) 拡散

汚染物質の混合拡散の主因は、海域の流れの中に存在する乱れによるものであるから、模型内の流れも原型同様な乱れを再現することが必要であり、このためには、乱れのスペクトル形状を相似に保つことが最も望ましい。けれど原型の乱れに関しては資料が皆無であり、乱流の中で拡散の度合を示す拡散係数についても全く不明である。そこで前述したように乱流にエネルギーを供給するのは湾内の潮流であるから、流れの相似を確保するとともに、模型内の流れが十分に乱れを保持し、拡散係数が一般にいわれる 10⁴~10⁵(cm²/s) 程度になるように人工粗度をもって調整し、拡散現象の確立を図った。

(粗度は後述)

次に汚染物質および負荷量に関しては、原型海域の汚濁指標が明確でない現在、どのような物質・量を採用すべきか、実験目的、測定器、相似性等について検討した結果、一般に最も多く測定されている。汚水の COD を

指標として採用することにし、実験上のトレーサーとして蛍光染料(ローダミンB)を使用することにした。この蛍光染料は、水によく溶解し、物理・化学的性質が安定しており、取扱いが容易であることが条件となる。

この結果、原型の COD 値は化学的な数値であるとともに、その濃度は時間的にも変化するいわゆる非保存系の物質濃度であるのに対して、実験では、自浄作用の伴わない、いわゆる保存系の物質によって、拡散による濃度変化を扱ったことになる。したがって実験から得られた濃度の絶対値は直接原型の汚染物質濃度に対応しないことを留意しておかなければならない。

3.4 模型縮尺

大阪湾内の潮汐、潮流現象は前述したように、紀伊水道を通じての外洋と、明石海峡を通しての播磨灘両水域の影響を受けており、特に湾奥の大阪から神戸付近にかけては播磨灘の影響が卓越している。したがって模型に再現すべき海域の範囲は大阪湾内外の関係海域を考慮しなければならない。また実験目的の一つである汚水の拡散現象は水平乱流拡散として扱うことに決めたことから模型上の流れは原型同様乱流でなければならない。これは力学的相似性の保持の上からも必要な条件である。このため模型上の Reynolds 数が大きくなるように、さらに表面張力、粘性の影響を除去するためにも模型上の水深は大きい方が望ましい。

他方実験水槽に制限があり、模型実験の基本原則である幾何学的相似の縮尺を採用すると前記の要求を満足することは出来ないで、模型は歪めざるを得ない。模型歪については一般に潮汐現象など長周期波を扱う場合はそれに見合う摩擦抵抗を合致させれば相似性を保つことができるが、拡散現象に関しては歪模型によって相似性が得られるという確かな理論的根拠はない¹³⁾。

模型実験で最も必要なことは、現象の再現を確立することであり、理論的に規定される縮尺の模型でも、必ずしも満足な現象の再現は期し難いので、むしろ条件を緩和し歪模型を作ることによって現況の再現を図る場合が多い。本実験においても歪の少ないことを第一条件とし実験目的、現象の再現性、計測方法などを考慮し、水平縮尺 1/2000、垂直縮尺 1/200 の歪模型を製作することにした。

ここで相似律から決定される模型の水理要素の縮率は下記のようになる。

$$l=1/2000, \quad d=1/200, \quad U=1/14.14, \quad T=1/141 \\ Q=1/5.6 \times 10^6, \quad n=1/0.763, \quad K=1/2.8 \times 10^4$$

4. 実験施設

4.1 模型

模型は起潮装置を有する上屋つき実験場内に図-11に示すように、紀伊水道から播磨灘に対応する水面積を持つ範囲を ($L=45\text{m}$, $b=25\text{m}$) $l=1/2000$, $d=1/200$ の両縮尺でコンクリートおよびモルタルで作られた。模型の平面地形は昭和46年度時点をもって現況とした。水深は海図を基本とし、沿岸細部は局所的な深淺測量図を用いたが、特に友ヶ島水道、明石海峡は5cm間隔で横断地形の木型を作り固定した。さらに播磨灘は水深一定とし水面積の一部を再現している。

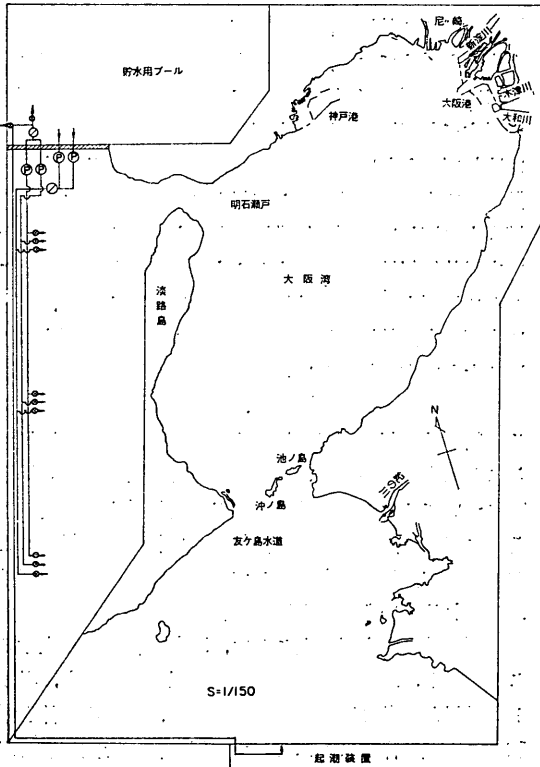


図-11 模型配置図

模型上の恒流現象の再現を図るため河川流を考慮する必要から、神崎川、武庫川、新淀川、正蓮寺川、尻無川、木津川、大和川、紀の川、有田川の10河川について背水到達地点までの感潮水域の河積を再現するとともに、大阪港域内の運河筋はできる限り再限している。

また模型には相似律から規定される摩擦抵抗を与えなければならないが、本項に関する原型の値は全く不明である。そこで、この実験と併行して実施された東京湾潮流模型実験¹⁴⁾の手法を応用し、幅3cmの銅板を50cm千鳥間隔に高さ $DL \pm 0\text{cm}$ まで海底上に付設した。(予備実験参照)

4.2 起潮装置

大阪湾は友ヶ島水道、明石海峡の2ヶ所からの潮汐現象が作用しているので、実験も同じく2ヶ所で潮汐を発生させる必要がある。このため図-11に示した模型配置から実験潮汐の主体は紀伊水道側とし既設の起潮装置を用い、播磨灘側はポンプを利用して潮汐現象を与えた。起潮原理は図-12の如く、模型水面の一端に在る空気室(幅40m, 高さ3m, 奥行4mの気密室)内に外部から30kWのプロワーで送られる空気を空気圧作動制御弁を通して気密室に吸入、吐出し模型水面上に所定の潮汐を発生させる方法である。この運転は制御室内の自動制御装置によってコントロールされ、制御装置内には関数指示器、調節記録計、水位記録計が付設され、発生波は振幅10cm(max), 周期1~100分までの起生が可能である。

ポンプ給排水装置は図-11の場所にポンプ(SQFM100 $\%$, 3.7kW)4台設置し、模型内および貯水プールの水を交互に給排水できるようにそれぞれ1箇所ずつ電磁弁が取り付けられている。電磁弁の開閉は低周波発信器(FG100AS)による正弦波で自動的に作動し、起潮装置の自動制御装置と連動が可能である。流量の調節はそれぞれの配管端にあるスルース弁で行なわれる。

4.3 計測装置

(1) 潮汐、潮流

模型上の潮位測定は小型容量式波高計を用い、ペン書オシログラフに記録したが、測定位置は明石、大阪、友

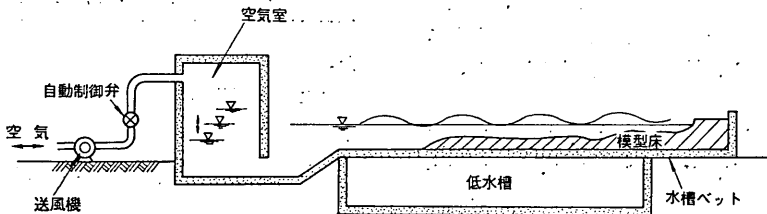


図-12 起潮原理図

大阪湾の潮流と物質拡散に関する模型実験

ガ島、和歌山、起潮機前の5ヶ所である。(予備実験の項参照)

模型潮流は、湾全体の流況を同時刻に把握する必要から、 $\phi=50\%$ 、 $t=8\%$ の発泡スチロール製のフロートを投入し、その流動を天井に設置したカメラ(35%)10台で2~4秒間隔に1~10潮汐間撮影した。フロートの投入は水面上に張られたワイヤーに固定した電磁石に吸着させておき、所定の流況時に全箇同時に放流できるように

になっている。撮影されたフロートの流動はフィルム解析装置を用いて流跡図を画き、この図から流速流向が算定された。

(2) 汚水濃度

陸岸および河川から流入する汚水が潮流によって湾内に拡散した後の濃度の把握は、湾内代表点で同時採水し濃度分析する方式を採用した。

図-13に採水点を示したが、この採水点で水面下約一

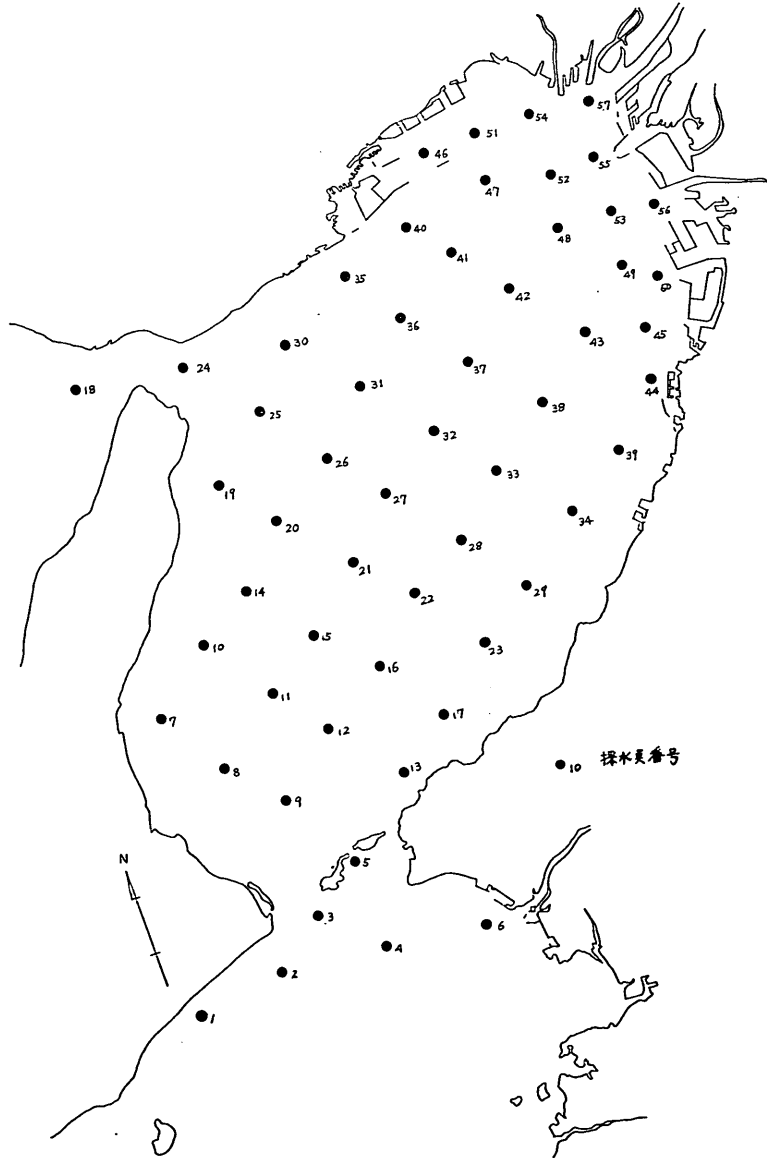


図-13 採水点位置図

5cm 層の汚水を、0~60潮汐（一部80潮汐）まで10潮汐ごとに、友ガ島水道において憩流から漲流に移るいわゆる最干潮時に採水し、採水試料は蛍光濃度分析器 Turner 社110型)で濃度測定をおこない、ppm または ppb 単位で表示した。

5. 実験条件およびケース

5.1 実験条件

(1) 潮汐

大阪湾の潮流現象は、友ガ島水道、明石海峡によって規制されているが、その根元は外洋の潮汐変化に誘起されたものである。したがって実験潮汐として、紀伊水道に面する和歌山における潮汐定数値を沖波として採用し周期は潮汐振幅の大きな半日周期をもって起潮機の正弦波発信器のインプットデータとした。実験潮汐は大潮小潮時を対象としたが、和歌山における各潮汐の振幅は下記の通りである。(半振幅)

振 幅

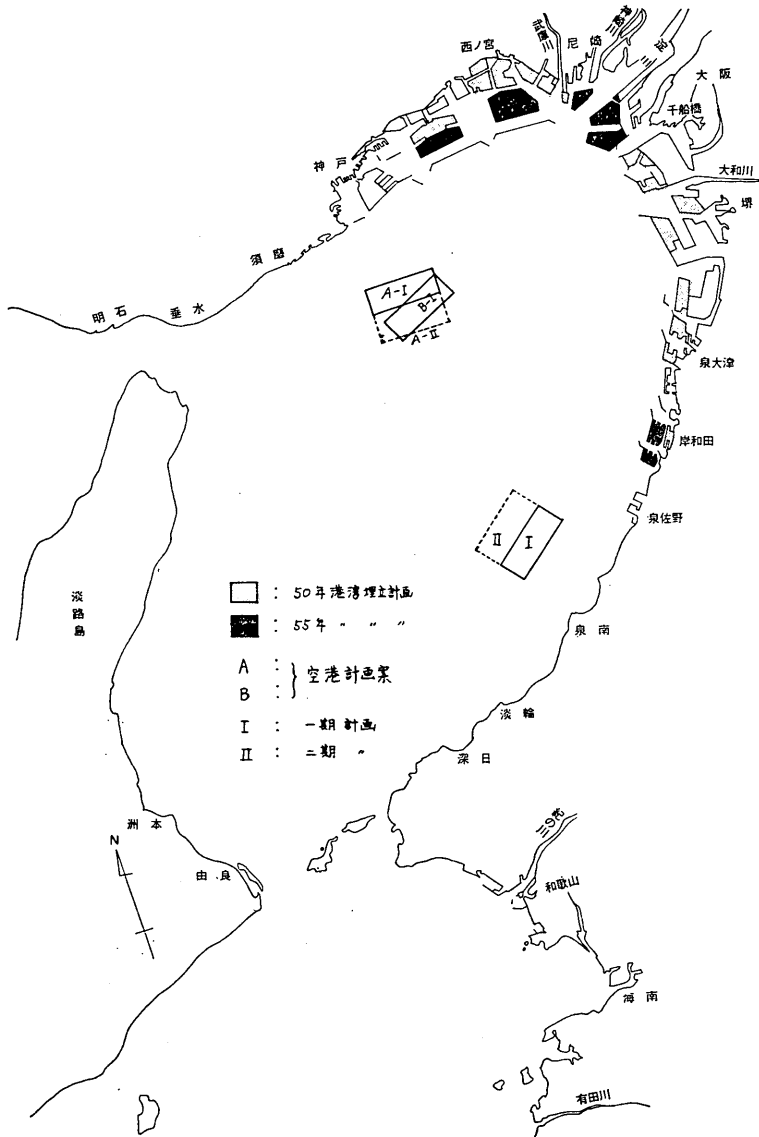


図-14 埋立計画図

大阪湾の潮流と物質拡散に関する模型実験

大 潮 $H_P = M_2 + S_2 = 68.4\text{cm}$ $H_m = 0.34\text{cm}$

小 潮 $H_P = M_2 - S_2 = 0.24\text{cm}$ $H_m = 0.12\text{cm}$

周 期 $T_P = 12\text{h}25\text{m}$ $T_m = 5\text{m}16\text{s}$

明石海峡から神戸～大阪港にかけては、前述したように播磨灘の潮汐の影響を受けて、潮汐～潮流の関係は複雑であり、流速も友ガ島水道に較べ総体的に速い。そこで当該水域の流況を調整するため前記給排水ポンプの始動時間および流量を調整し、大潮、小潮時の流速の再現を図っている。

(2) 河川流量

模型上の流況、特に恒流成分の再現を図るため、湾内に流入する河川のうち、年平均流量 $5\text{ m}^3/\text{s}$ 以上および汚濁が著しい河川流量を考慮し、表-2に示す9河川を選定した。流量は年平均流量¹⁵⁾を与えることにした。なお安治、尻無、木津の各河川については各々の流量不明のため単純に3等分した。

このほか大阪湾沿岸工業地帯および下水処理場などから放流される水量は相当量にのぼるであろうと思われる

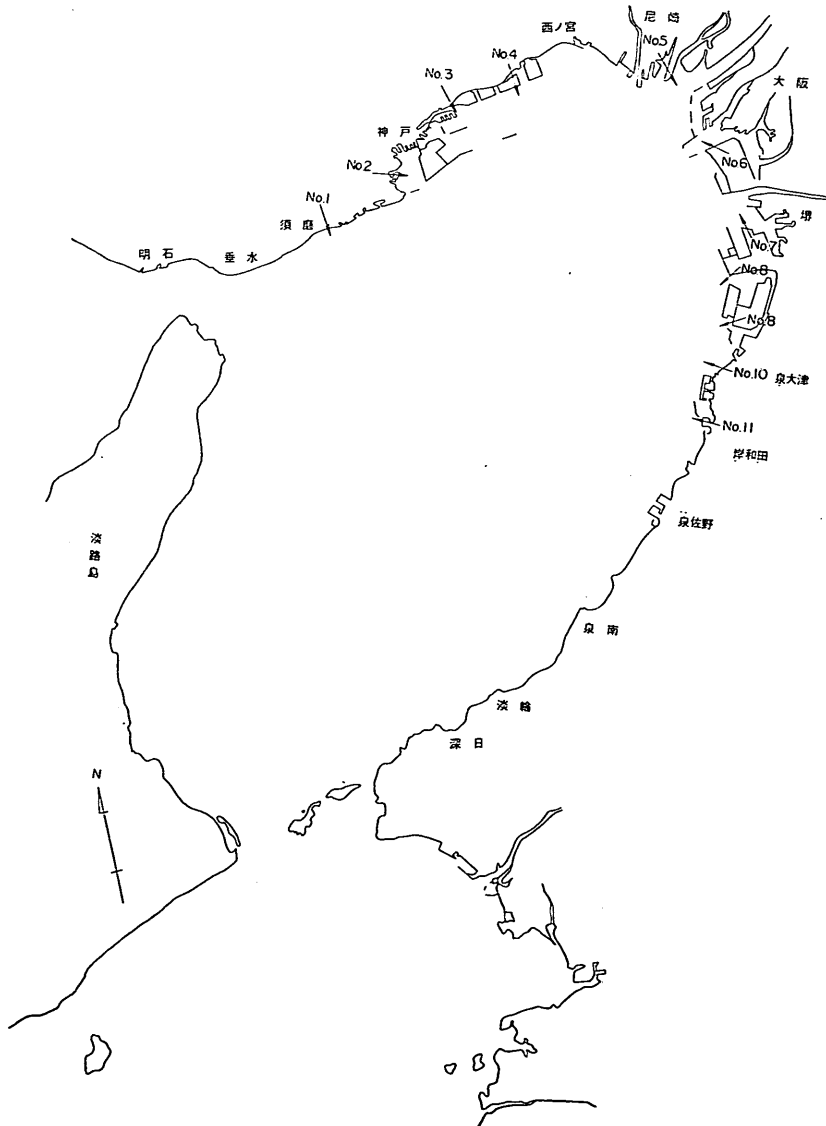


図-15 染料投入位置図

表-2 河川流量表

河川名	Q _P (m ³ /s)	Q _m (cc/s)
武庫川	3.1	0.6
神崎川	9.8	1.7
新淀川	302.2	53.4
正蓮寺川	10.0	1.8
安治川	85.0	5.0
尻無川		5.0
木津川		5.0
大和川	21.8	3.5
紀の川	67.1	11.9

が不明のため考慮していない。

模型河川流は陸上に設けた貯水槽（水頭一定）からビニールホースで各河川の感潮域上流端に配水，放流している。

(3) 沿岸埋立計画，空港

湾内の埋立法線は昭和50年および55年計画案を採用し（図-14参照），空港は現時点の素案で神戸沖，泉南沖の2案¹⁶⁾，その規模はI期工，幅2.0km，長さ5.0kmとし，幅4.0kmに拡張したII期工についても一部考慮することにした。模型上の埋立地の構造は，総て直立型式の不透過である。

(4) 染料投入場所，量

模型上の染料投入地点は，原型の汚濁調査結果から，流入河川および沿岸工業地帯に代表点11点を選定した。

図-15に投入場所を示す。

投入各地点の汚濁負荷量は，昭和42～44年大阪府，兵庫県協同調査結果¹⁷⁾から，BOD濃度をCOD濃度に

換算し（BOD値×1.5=COD値）*，廃水量を考慮して決定した。この結果，場所によって低濃度ながら放流量の多い地点，これとは逆な地点があり，実験上不都合である。そこで実験上の困難を避けるため，污水投入量（Q_m）を全点で等しく0.5cc/sとし，各点で所定の負荷量（ $q_m = C_{COD} \times Q_m$ ）が与えられるように濃度を換算している。表-3に染料投入地点，染料濃度を示す。

5.2 実験ケース

地形と潮汐を組合せた実験ケースを表-4に示す。（埋立地形は図-14参照）

表-4 実験ケース

実験No.	地形	潮流		汚染		備考
		大潮	小潮	大潮	小潮	
1	現況	○	○	◎	◎	○，◎印，実験ケース
2	50年港湾埋立計画	○	—	○	—	神…神戸沖
3	No.2+神，空，I(A)	○	—	—	—	泉…泉南沖
4	" + 泉，空 I	○	—	—	—	空…空港
5	55年港湾埋立計画	○	○	◎	◎	I…1期工規模
6	No.5 I 神，空，I(A)	○	○	◎	◎	II…1 "
7	" II(A)	○	—	○	○	(A)…法線を示す
8	" I(B)	○	—	—	—	(B)…A案に対し
9	" + 泉，空，I	○	○	◎	◎	23°Wの法線
10	" II	○	—	○	—	

表-4の中で◎印のケースは実験施設のポンプ給排水装置用のバルブの取替え，および採水器の取水孔の改造を

* 污水のBOD値とCOD値の関係は明確でないが，河川における報告例を参考としCOD/BOD=1.5とした¹⁸⁾。

表-3 実験染料投入地点，染料濃度

No.	染料投入点 地域名	原型汚染水流量	模型汚染水流量	原型BOD濃度	※換算COD濃度	投入量 Q _m =0.5(cc/sec)とした場合の換算COD濃度
		Q _P (ton/日)	Q _m (cc/秒)	C _{BOD} (ppm)	C _{cod} (ppm)	C _{cod} (ppm)
1	須磨	369×10 ³	0.75	51.5	77.3	116
2		1226	2.51	13.1	19.7	99
3		135	0.28	44.4	66.6	37
4		658	1.35	24.3	36.5	99
5	淀川河口	11291	23.09	18.8	28.2	1300
6	大阪港	11000	22.49	13.1	19.7	886
7		堺	1687	3.45	22.5	33.8
8	泉大津	253	0.52	83.0	124.5	129
9		200	0.41	30.0	45.0	37
10		239	0.49	46.0	69.0	68
11	岸和田	200	0.41	10.0	15.0	12

行なった後の実験である。改造の結果、汚染濃度及びパターンに旧装置による結果と若干相違が見られるが、基本的な湾内の潮流、拡散パターンへの影響は小さい。

6. 予備実験

本実験に先立って模型現象の相似性を検討するために予備実験を行い、潮流、拡散両現象の再現を図った。

6.1 潮流

この実験は重力項、および粘性項が重要な要素であり両項の慣性項に対する比を原型との関係について同時に規定するためには、模型の粘性項を相似律で定められた量に与える必要がある。しかし原型についての粘性抵抗に関しては全く不明であり、同じ粘性項を代表する量としての摩擦抵抗係数 f および Manning の海底粗度係数 n についても資料がないため、一般にいわれている $f=0.015$, $n=0.025$ の値も適当か否か確認できなかった。したがって原型と模型の潮流に対する相似性の確認は最終的に観測値が整っている。湾内潮流記録によることとし、模型の潮流パターンが原型同様な分布を示すまで、試行錯誤的に前述した粗度抵抗を調整した。この結果、当初設定した銅板による粗度抵抗では、淡路島よりの大水深域で不足傾向が把握されたので、新たに 5 cm 角のモルタルブロックを銅板の間に付設した。

一般に流れに関する模型実験においては、相似律から規定される摩擦抵抗を完全に施行し、潮汐現象を与えた場合、模型面に生ずる、流況、水位現象は原型と相似が保持される筈である。けれどもこの実験では播磨灘側の潮汐現象は前述したポンプ装置で与えている関係上、原型同様な潮汐現象は再現できなかった。このため湾奥から明石海峡付近にかけての潮汐現象の再現は止むを得ず無視し、潮流の再現にのみ限定しポンプ装置の流量、位相の調整を行い、位相変化と流速に焦点を合せた。

次に必要なことは模型面の潮流パターンが、起潮開始後何時間（何潮汐）で定常な原型同様のパターンを示すか決定しなければならない。これによって測定開始の時点が決定される。この点試行の結果起潮開始後約 20~25 潮汐でほぼ原型に近い潮流パターンを得られることを確認した。この時間は潮汐振幅、水の粘性、摩擦抵抗によって異なり一律に決らないが、この実験では各潮汐とも起潮開始後 2 時間とした。（汚染実験の場合は染料投入開始）

実験水位は大阪港における平均水位を採用し静水面とした。

6.2 拡散

模型上の拡散を比較すべき原型の資料がないため、直接原型との対比はできないが、拡散の度合いを示す拡散係数 K は、大阪湾内でもコロモゴルフの $L^{4/3}$ 則が適用できるものと仮定し、模型面での染料の拡がりの時間変化から相似性の検討を行なった。

染料を瞬間的放出し、拡がった染料域外縁での濃度は常に等しいと仮定し、染料域の形を円に換算する。この場合 r_i, r_{i-1} を、それぞれ、時刻 t_i, t_{i-1} における換算半径、また S_i, S_{i-1} をそれぞれの時刻の染料域面積とすると、拡散係数と K の関係は(17)式で示される¹⁹⁾。

$$K = \frac{r_i^2 - r_{i-1}^2}{4(t_i - t_{i-1})} = \frac{S_i - S_{i-1}}{4\pi(t_i - t_{i-1})} \quad (17)$$

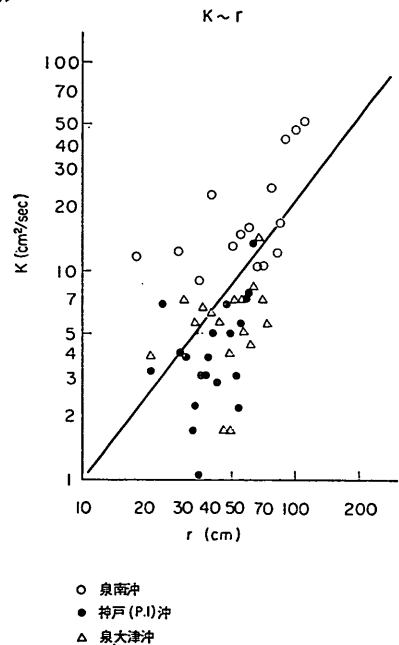


図-16 拡散係数

図-16 は模型内代表地区で染料を投入し、(17)式から K を算出し、染料雲の相当半径 r との関係を示したものである。

図から模型内でも流速の比較的速い泉南沖水域では理論的な $1/3$ 乗則にはほぼ合致する傾向が認められるが、流速の小さい水域では r の範囲は狭少で且つ、その傾向も 2~2.2 乗を示している。この原因については明確でないが、おそらく、流の中の乱れの構造の相違によるものと考えられる。そこで模型内でも乱れが十分に発達するように前述した人工粗度に新たに $\phi=2.5$ cm, $H=3$ cm のビニールパイプ粗度を付加した。

なお図-16 から模型の K 値(2~50 cm^2/s)を原型値に換算すれば $5\sim 14\times 10^4\text{cm}^2/\text{s}$ となり、原型 K 値のオーダーとしてはほぼ妥当なものと思われる。

7. 実験結果

7.1 潮流

本実験結果の潮流速は総て原型の流速値に換算して表示し、分布状況は友ガ島水道の流速が最大値を持つ漲潮

退潮流に図示した。

(1) 現況

漲潮時初期友ガ島水道において南流から北流に転じた直後でも明石海峡、神戸沖では依然として播磨灘からの流れが湾内に流入しているが、友ガ島水道の漲潮流速が増加するにしたがって明石海峡の東流は衰退し、沖の瀬付近を中心とする右廻りの環流が徐々に発達してくる。友ガ島で最大流速を示す頃には、湾内の環流は消失し、

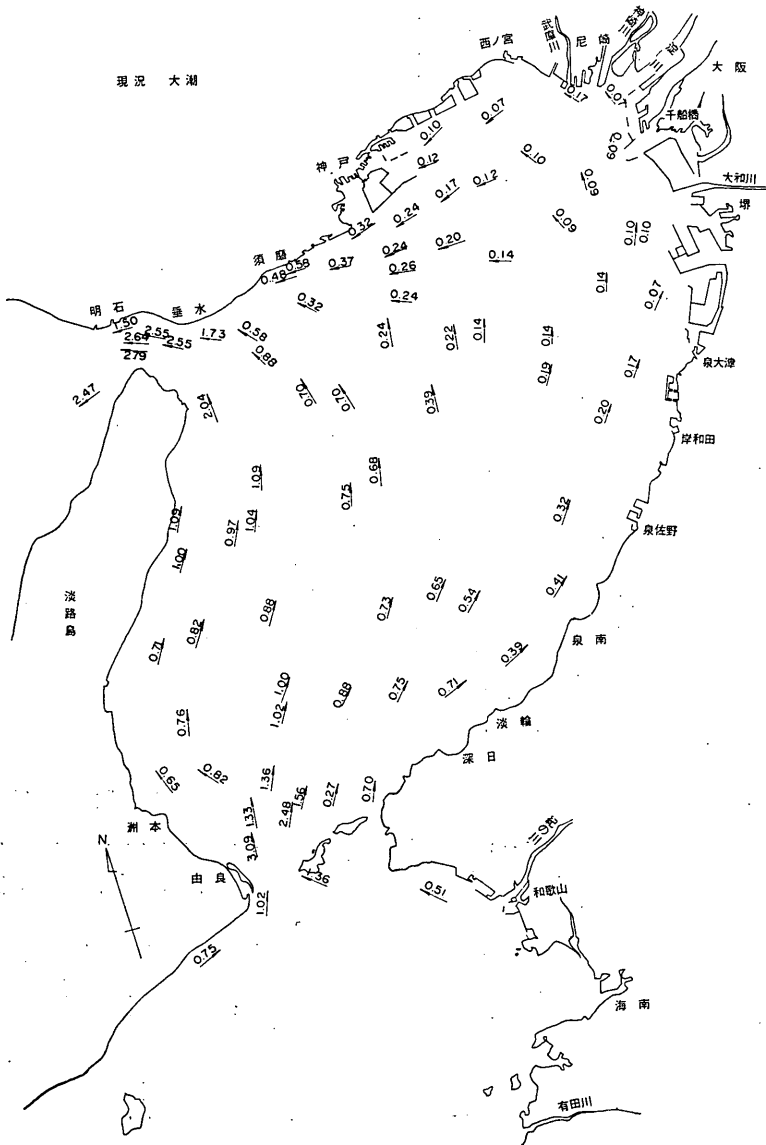


図-17 潮流図(現況、大潮漲潮)

大阪湾の潮流と物質拡散に関する模型実験

一様に明石海峡に向う漲潮流となり図-17のパターンを示す流況となる。明石海峡最大流速時刻と友ガ島最大流速時刻の関係は模型上で約25~30秒、原型で1~1.5時間程度、明石海峡側が遅れている。明石海峡の西流が衰え憩流に至るまでに友ガ島水道ではすでに憩流から転流し南流となっている。

湾内流速は淡路島の東、友ガ島~明石海峡を結ぶ、大水深域が最も速く1.0kt以上の流速を持ち、湾中部、湾奥部の順に流速が低下し、神戸~泉佐野線以北の湾奥では0.5kt以下で、湾奥沿岸部は特に流速が小さく0.1kt程度となっている。友ガ島水道の最大流速は2.5~3.0ktで原型とはほぼ同値であるが、明石海峡では図-17によれば最大2.8ktで原型の4.2ktに較べ遙かに小さくなっている。これは友ガ島を基準にしての値であり、明石海峡の最大値は友ガ島の約1.5倍であることを考慮すれば、ほぼ妥当な流速である。

退潮流の流況は漲潮流と全く逆な流況を示している。すなわち友ガ島水道において北流から南流に転じた直後は明石海峡付近水域ではなお西流であるが、友ガ島水道の南流が発達するにつれて、沖の瀬付近を中心とする環流が漲潮時同様に発生してくるが、その生成時間は短かく、東流ないし南流に変じ、友ガ島水道の南流が最盛期には図-18の流況を示すようになる。

湾内の流況は漲潮時同様に明石海峡から淡路島よりの大水深域が速い流速で友ガ島水道に南下し、湾内へは、速い濡筋から派生した流れが湾奥部へ廻流し、淀川等の各河川水と合流して、湾東部沿岸を南下し、友ガ島水道に至る流況を示している。湾内の流速は総体的に漲潮流に較べ速く、淀川河口の流速でも0.2~0.3ktを示しており、友ガ島水道に接近するに従って増速する傾向にある。明石海峡の潮流は漲流時同様に友ガ島最大流発生後約1時間で最大流となり、流速も友ガ島水道流速値の約1.5倍であり、4~4.5ktとなる。

神戸から西宮にかけての沿岸部は一部に弱い反流傾向が生じているが、流向は定かでない。

図-19は湾内潮汐間のフロートの流跡を画いたもので一潮汐間の潮流の流動距離を示している。図によれば一般に流速の速い淡路島よりの大水深域で流動が大きく、湾奥神戸~大阪港にかけての水域の流動が小さい。また泉南沿岸は陸地に添って潮流が流動している様相が理解できる。

図の流跡がねじれたような軌跡を画くものもあり、一周期後でもフロートは始点(投入点)に戻っていない。これはその場所における恒流を表わすものと考えられる。

恒流とは一般に流向に関係のない海流などを表わすものがあるが、実験では海流を考慮していないが、恒流現象を発生させるため河川流量を流入させている。したがって現象的には潮流以外の恒流に似た流れの作用によるものと考えられるので、図-19から求めた恒流のパターンを図-20に示す。

図-20は10潮汐間の各干潮憩流時のフロート位置を追跡したものであり、この結果によれば、沖の瀬付近から湾中央にかけて時計廻りの大きな環流が明瞭にみられる。神戸から西宮付近沿岸では明確でないが西流傾向の恒流があり、大阪港から阪南、泉北、泉南の湾東部は陸岸に併行した湾口に向う流れが生じている。この恒流も淡路島よりの大水深域に近づくと西流傾向に変化する。淡路島よりの大水深域は測点が少なく(フロートが写真機の撮影範囲から飛出してしまうため)、恒流の傾向を明確に把握出来ないが恒流流速は小さいと思われる。また友ガ島水道南部のフロートが水道を通過した後湾内に流入している流跡から、前記大水深領域の恒流は西流傾向を示しているものと考えられる。

小潮時の流況は潮流振幅が小さいため、大潮時に較べ流速の低下が著しい。このため湾内流況の基本的なパターンは大潮時と同じ傾向であるが、湾内に流入する河川水の影響が流況に著しく現われてくる。図-21, 22に漲潮、退潮流の分布図を示したが、友ガ島水道、明石海峡でも流速1.0kt程度となり、湾奥沿岸水域は0.1kt以下の微弱な流れとなる。この傾向は図-23の流跡からも明らかで、湾奥沿岸水域では漂流傾向が見られる。さらに図-24の恒流図では大潮時沖の瀬付近から湾中央に発生した環流が衰えて小規模となり、この環流によって湾東部沿岸に庄流傾向を持っていた淀川等各河川流の成分が強くなり、大阪湾の長軸方向添いに淡路島東部方面に流れ込む様相がある。この結果小潮時には湾東部沿いの南下流成分がほとんど見られず、逆に沿岸添いに弱い北上流成分さえ現われる。したがって小潮時には大潮時の場合と、恒流に関して流況を異にする傾向がある。

(2) 50年港湾埋立計画

実験から得られた大潮時の漲、退潮流の湾内分布を図-25, 26に示す。

両図に見られるように50年港湾埋立地の大阪湾の流況におよぼす影響は、図-17, 18に較べ特に著しい違いは生じていない。しかし局部的には埋立地の造成によって海岸線が前進したことおよび、特に神戸~西宮間ではその前面に防波堤が設置されたことによって、須磨、垂水の海岸線と一直線状を形成する配置となるため、図-25の

大阪湾の潮流と物質拡散に関する模型実験



図-19 流跡図(現況, 大潮)

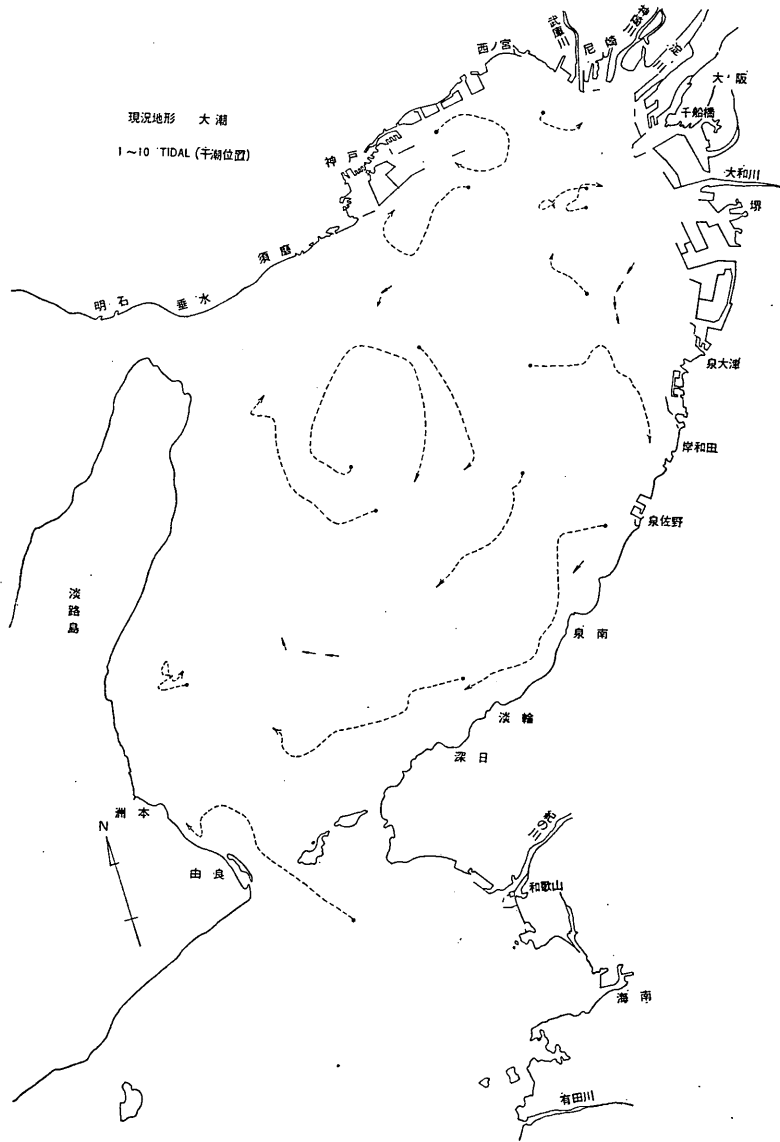


图-20 恒流，流跡图

大阪湾の潮流と物質拡散に関する模型実験

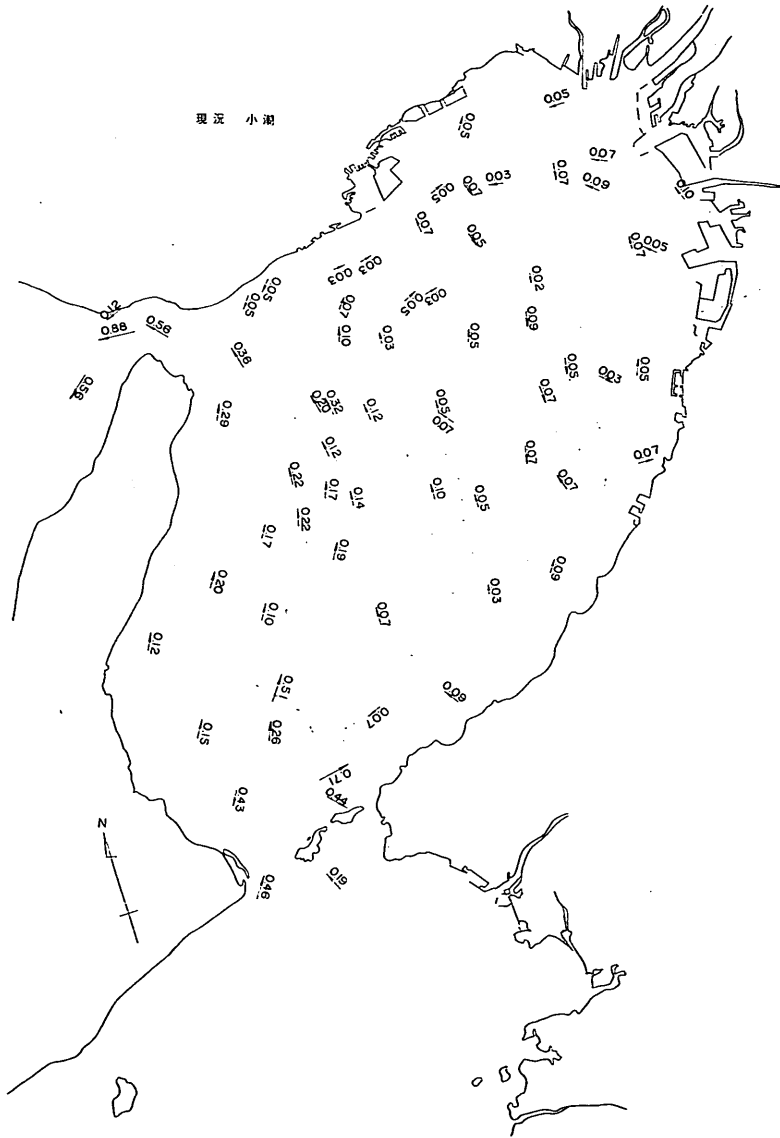


図-21 潮流図（現況，小潮，漲潮）

大阪湾の潮流と物質拡散に関する模型実験

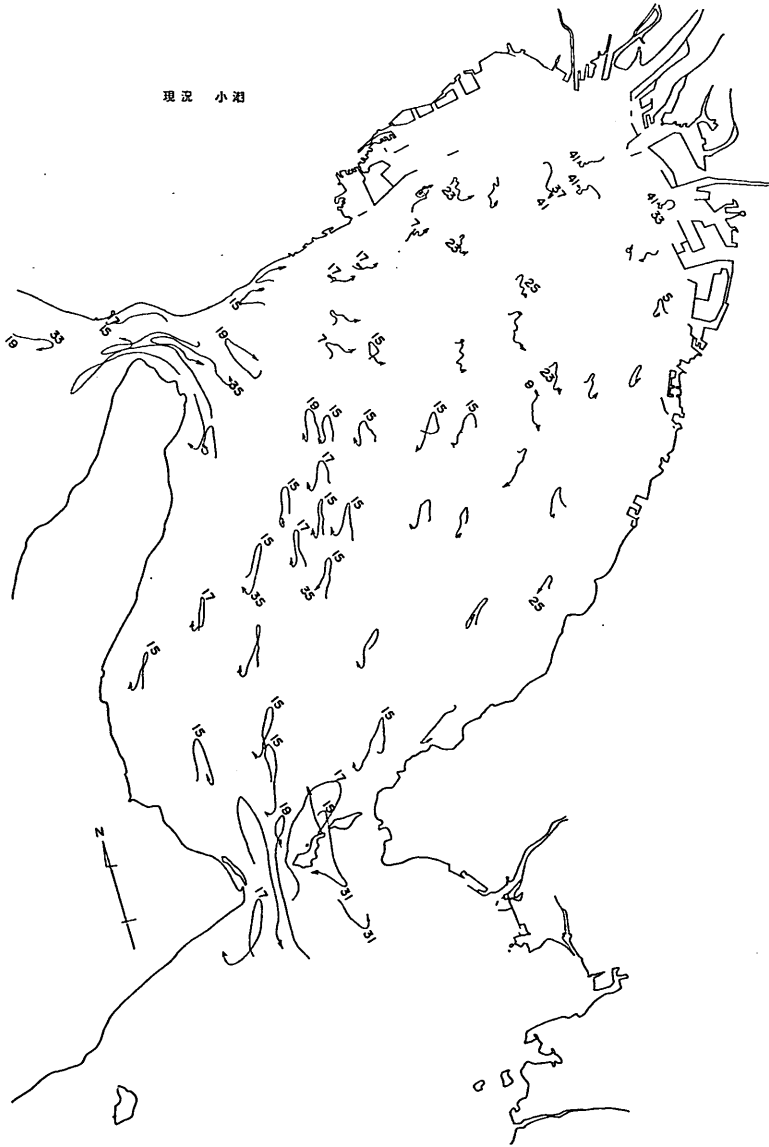


図-23 流跡図（現況，小潮）



图-24 恒流，流跡図（現況，小潮）

大阪湾の潮流と物質拡散に関する模型実験

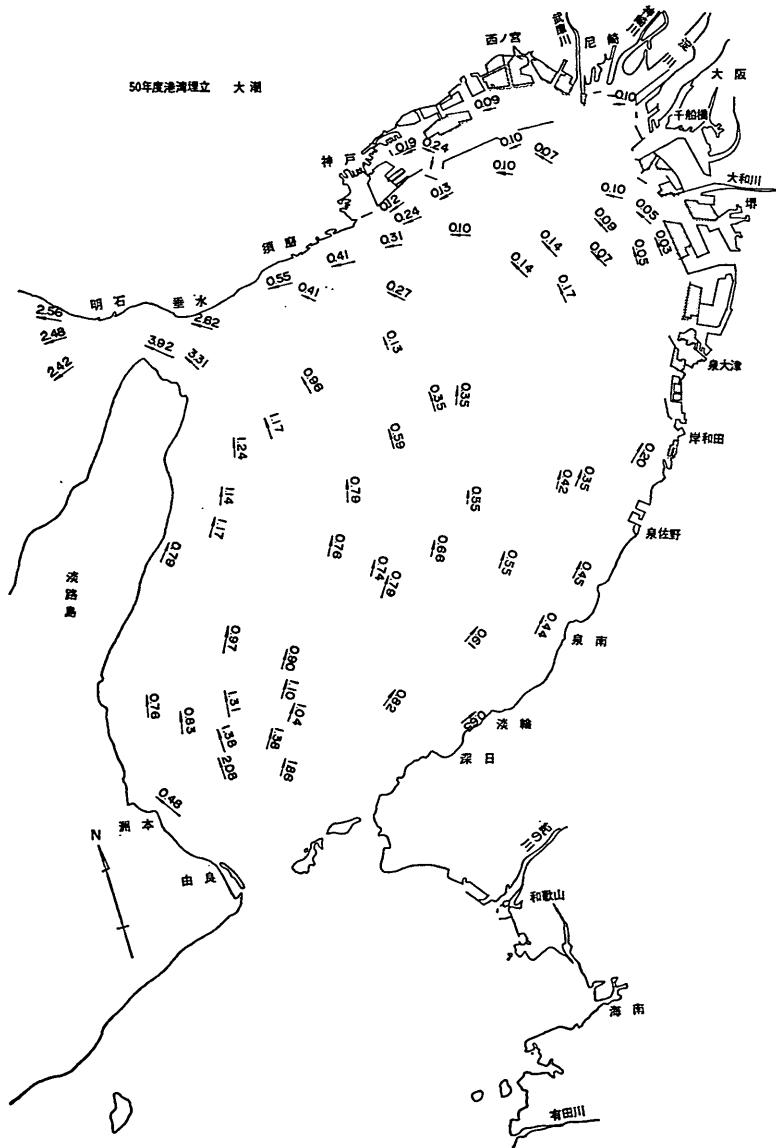


図-25 潮流図 (50年大潮, 漲潮)

漲潮流では流線が整調化された様相がみられる。けれども増速する傾向はない。反面防波堤に囲まれた港内側の水域は流速が停滞する。

図-26の退潮流は埋立地による流線の整調化が目立ち須磨、垂水沖の流速が現況に比べ僅かながら増速している。この明石海峡からの流入勢力は岸和田沖に向って泉南沖の南下流に継がっている様相を呈する。このため現況時淀川などの河川流が顕著であった湾奥では流況が明確でなく、一部には滞留状態を示す水域も現われる。

図-27は図-24と同じ方法で求めた恒流の流跡を示したもので、図から沖の瀬付近を中心とした環流は現況時のそれよりやや規模を拡大した形となり、湾奥部から流出する河川流を巻き込む形を成して泉南方向に南下する流速を強めている。また神戸～西宮間では防波堤によって流線が単純化された効果となるためか、現況時の湾奥部水域に存在した小さな恒流は消失して東流成分が強まった傾向となって、この成分が河川流の南下に対する圧流効果を与える結果となっているように見受けられる。このほか泉佐野から友ガ島水道にかけての水域一帯の流跡は現況時に比べ明確な変化はない。

(3) 50年港湾計画神戸沖空港 I (A)

空港設置場所は図-14に示したように神戸ポートアイランド沖約5km地点である。

図-28, 29に湾内漲潮、退潮の流速分布を示してあるが、漲潮時の流況を空港設置しない場合(図-25)と比較すれば判るように、漲潮時友ガ島水道から流入し、淡路島よりの濡筋および湾奥に大廻りして明石海峡に抜ける基本的な湾内の流況パターンには変化が生じていない。しかし空港付近水域、特にポートアイランド(P.I)と空港埋立地間は西流速がやや低下しており、また空港東部から堺地先の水域では北西流が強まっている。これは従来泉南沿岸から湾奥に廻流し、神戸沖から明石海峡に向っていた潮流が空港設置によって、その沖側を廻流する傾向が現われたものと思われる。なお空港埋立地近傍の局部には速い流れの生ずる地点が現われる(0.41 kt)。

図-29の退潮流も漲潮流同様に現況時の湾内流況の基本的パターンには著しい変化は見られないけれども、空港埋立地によって、退潮時明石海峡から湾内に流入する沿岸部の潮流は2分され、空港埋立地とP.Iの間は一種の水路状となるため、この水域を通過する流れは増速する。この潮流の一部は神戸沖防波堤の開口部から港域内に流入し、防波堤を東流する流況が見られる。堤外の流れも西宮～大阪港へと流去し、大阪港付近からの河川流と合流して、湾東部沿岸添いに南下する潮流を増速させ

る効果となっており、図-26に見られた湾奥水域の微弱的な流れは消失している。

恒流成分は図-30に示したように、空港埋立地によって従来沖の瀬付近を中心とした環流はやや西方に移動した形態を持つ、湾東部沿岸添いの南下流の幅を拡げた流況となる。これは湾奥から神戸付近沿岸の防波堤外水域の恒流が複雑に変化していることから肯定でき、特に大阪港付近河川流の流出が神戸～P.I間付近まで流れる恒流が現われ、空港西側を廻って湾内に流去する様相もみられる。

(4) 50年港湾計画泉南沖空港 I

泉南地先5kmの位置に海岸線とほぼ平行に設置する案である。(図-14参照)

湾内流速分布を図-31, 32の各図に示す。この水域は漲潮、退潮流ともに流速が弱いところであり、実験でも空港設置による潮流変化を把握し難かった。特に神戸沖案に見られたような、空港埋立地と陸岸との水路状の水域における流況も本ケースでは見られず、現況と同様な流れとなっており、空港埋立地の局所的な流動もスムーズである。

(5) 55年港湾埋立計画

図-33, 34にそれぞれ友ガ島水道における大潮時の漲潮退潮最盛期の湾内流況を示した。沿岸部埋立が進行しても湾内潮流の基本的な流動パターンは、50年時点埋立地と比べ変化はないが、湾奥部大阪港から西宮付近にかけては埋立地による潮流の流動が複雑化してくる。

図-33の漲潮流によれば、泉北沿岸潮流は淀川河口に集中する様相を示し、西宮～神戸間の防波堤開口部からは湾内に向って流出する潮流があり、防波堤前面の流れが複雑である。これは淀川河口に集中する潮流が防波堤内を廻流するためである。図-34の退潮流は淀川河口付近の新埋立地によって、河口位置が湾内に移動させられた形状となったために、淀川、神崎、武庫3河川からの流出水は防波堤前面に添って流れ、明石海峡から流入する南東流と直接衝突する様相を呈している。この結果湾東部泉南側の潮流速が若干低下する一因を成している。この状況は図-35の流況図からも確認することができる。

図-35の流況図によれば、図-27の50年港湾埋立計画の流跡に比べ沖の瀬付近の環流の中心は約3km程、西方に移動した形であり、岸和田から南の南下流の領域が西方に拡張している。さらに淀川河口の外側に2つの小さな環流成分が発生しており、河口付近の埋立地による河口流出水の縮流効果と思われる。

つぎに小潮に対する湾内の潮流分布を図-36, 37の両

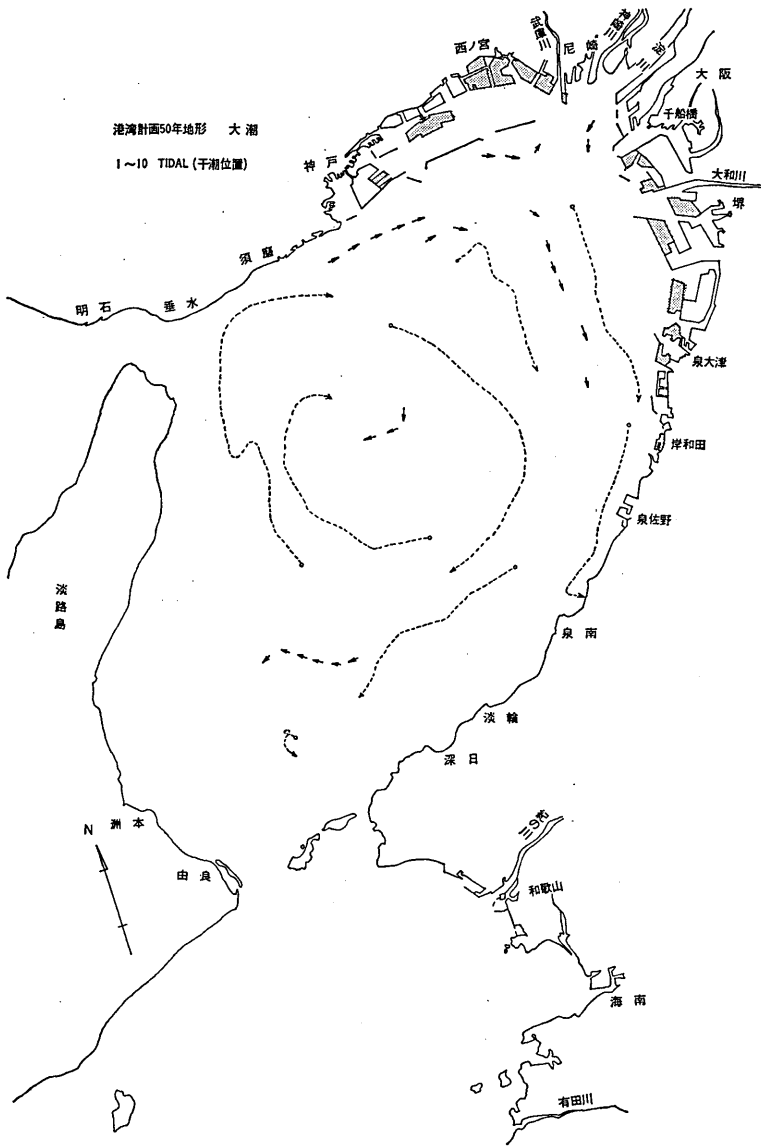


図-27 恒流，流跡図（50年，大潮）

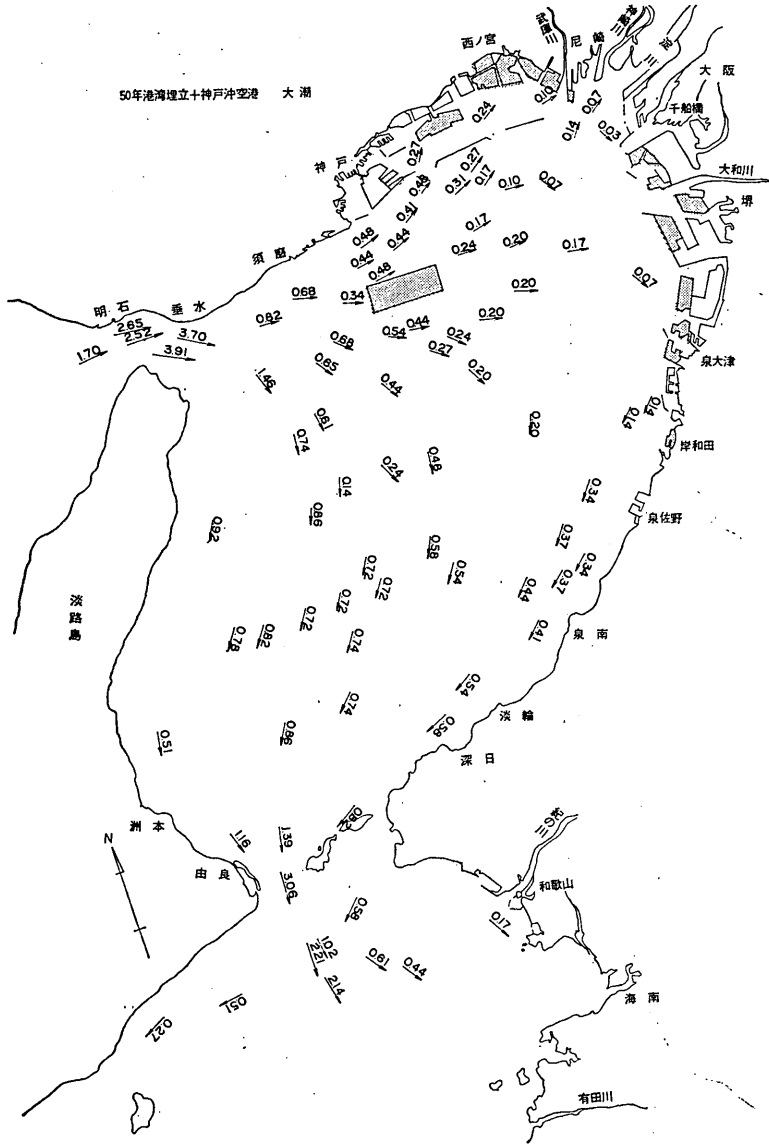


図-29 潮流図(50年神戸空港, 大潮, 退潮)

大阪湾の潮流と物質拡散に関する模型実験

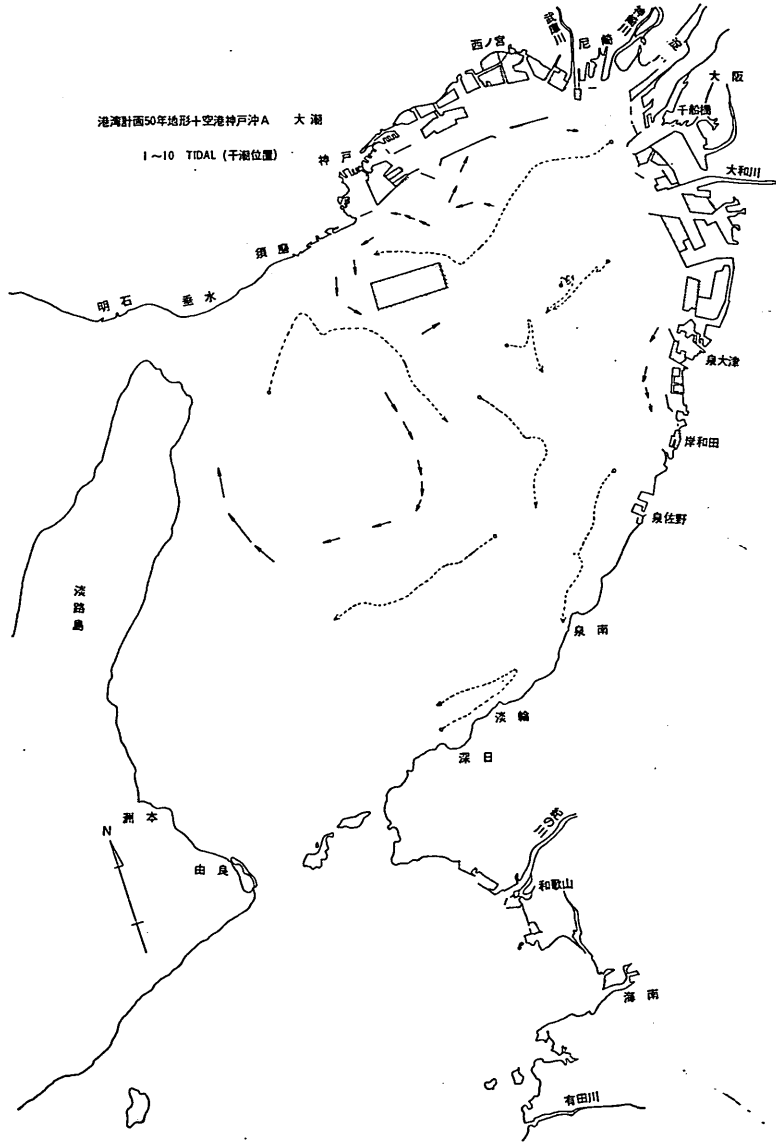


図-30 恒流，流跡図（50年神戸空港，大潮，退潮）

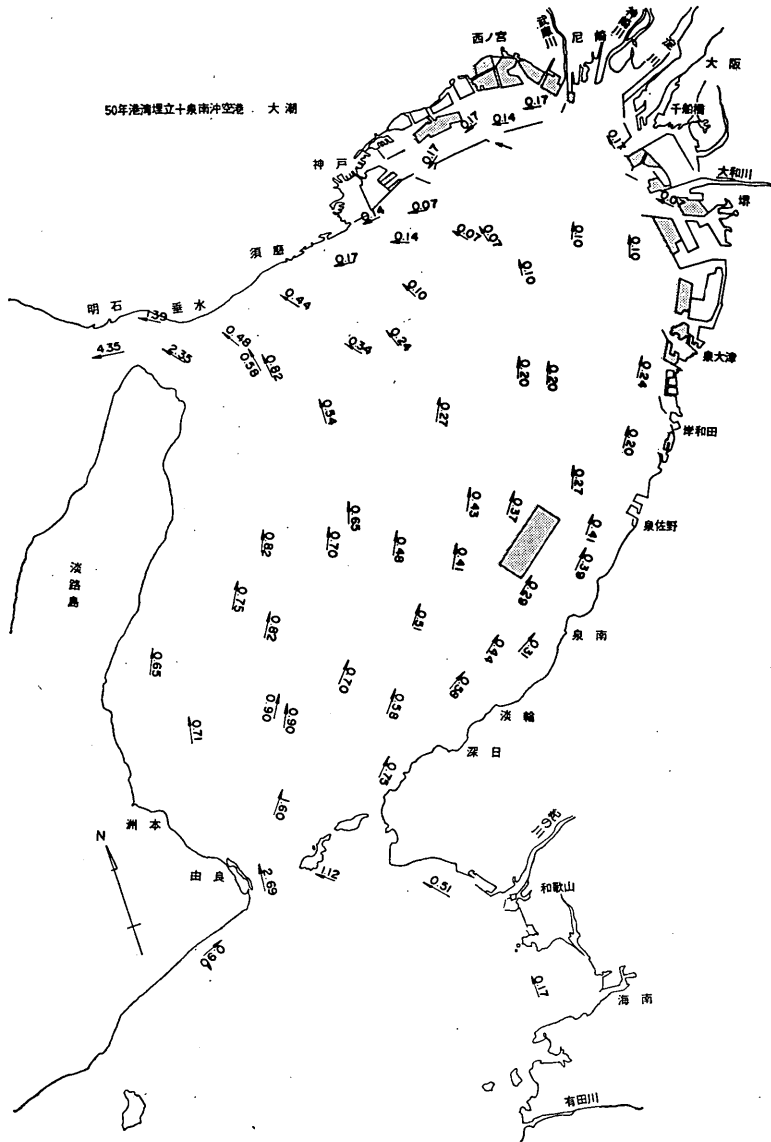


図-31 潮流図 (50年泉南, 大潮, 漲潮)

大阪湾の潮流と物質拡散に関する模型実験

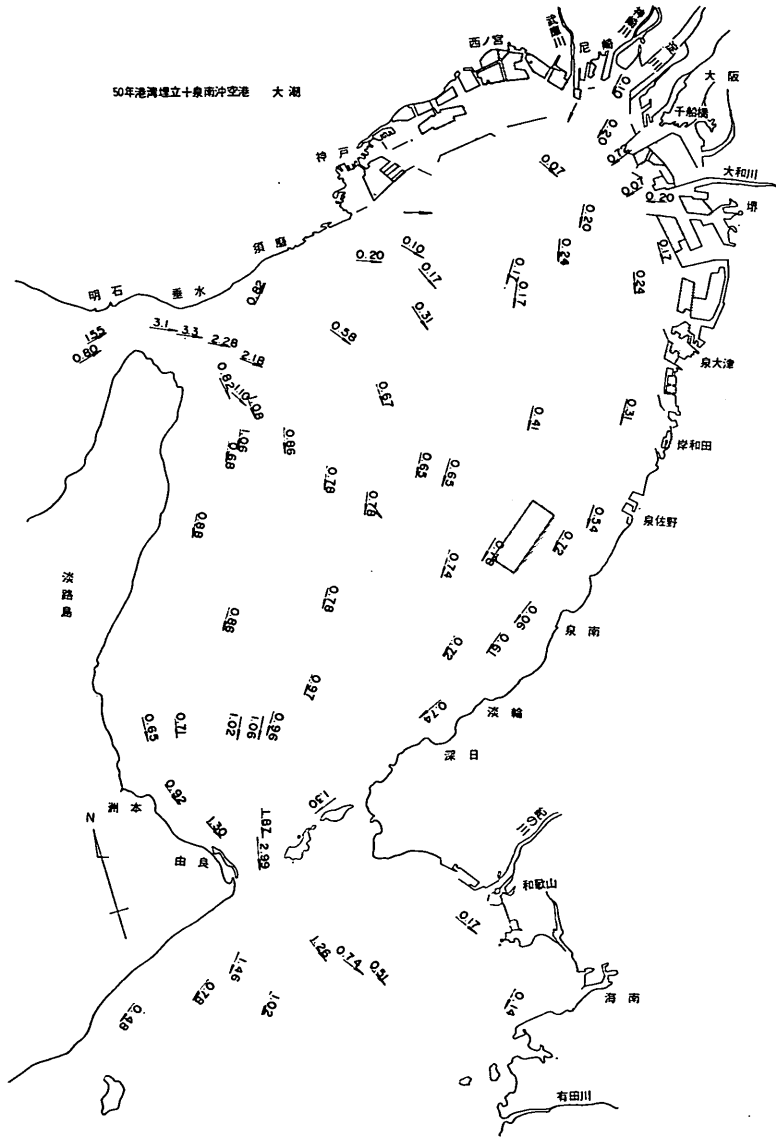


図-32 潮流図 (50年+泉南, 大潮, 退潮)

大阪湾の潮流と物質拡散に関する模型実験

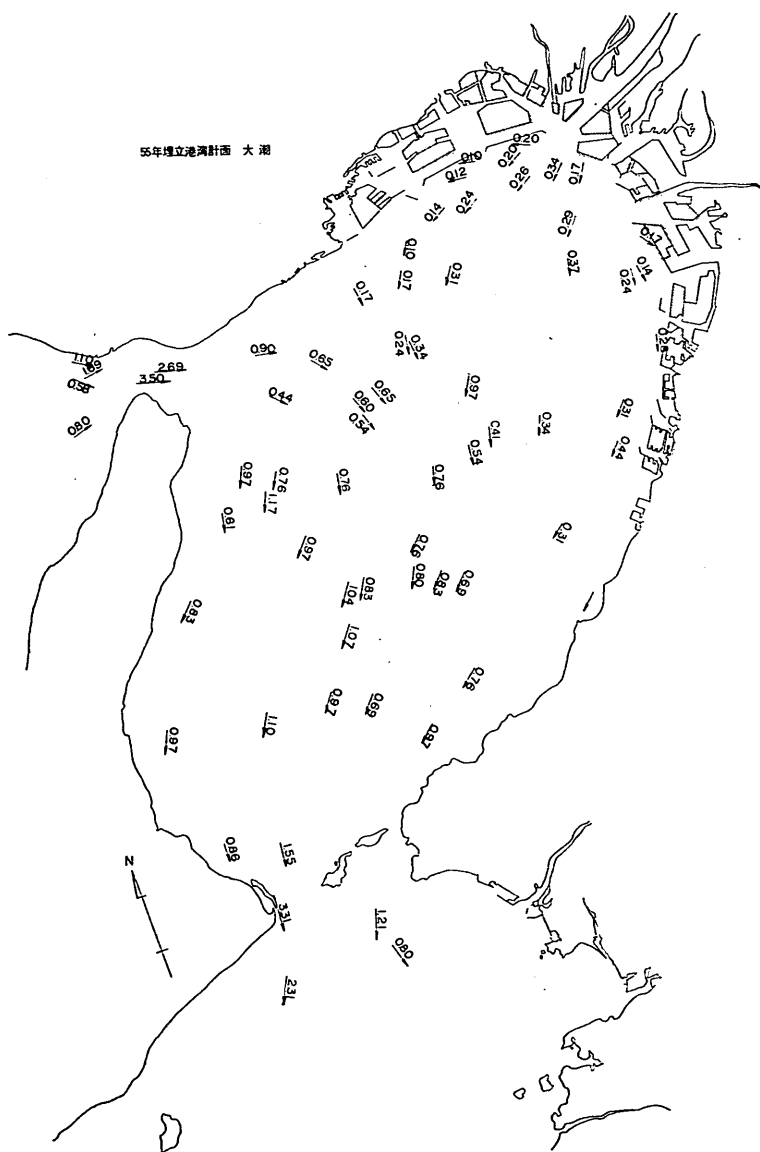


図-34 潮流図 (55年, 大潮, 退潮)

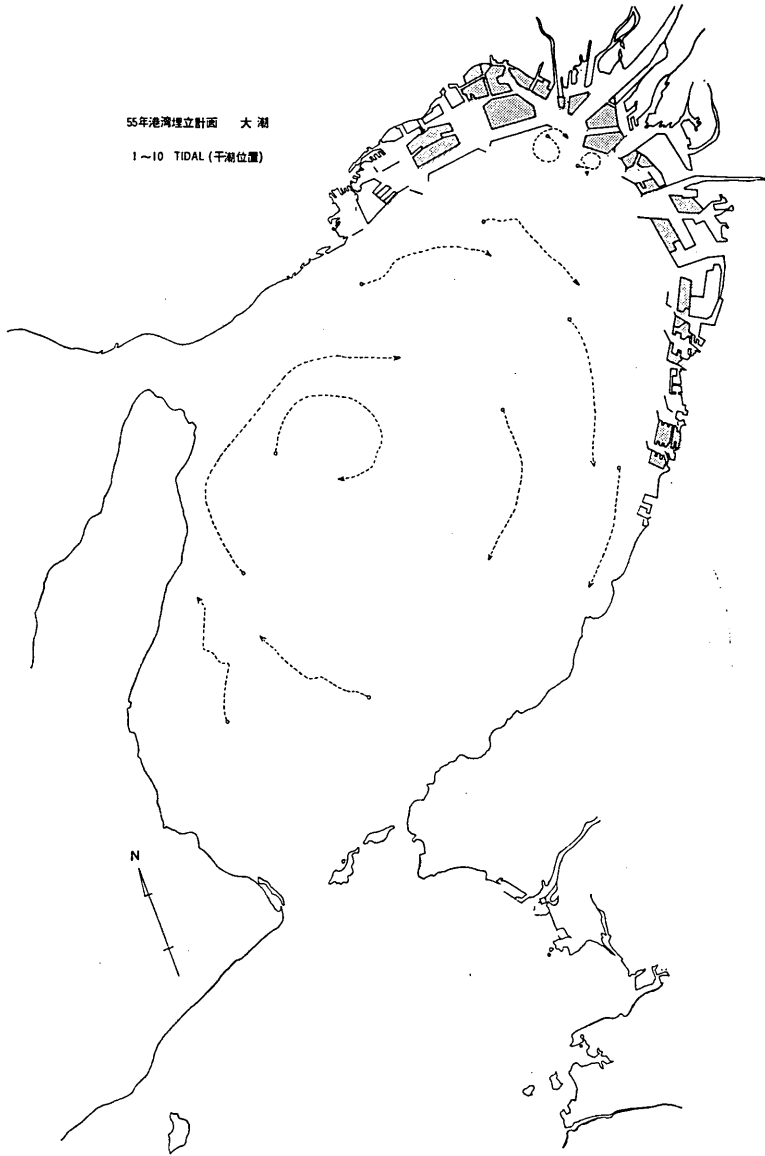


图-35 恒流, 流跡图 (55年大潮)

大阪湾の潮流と物質拡散に関する模型実験

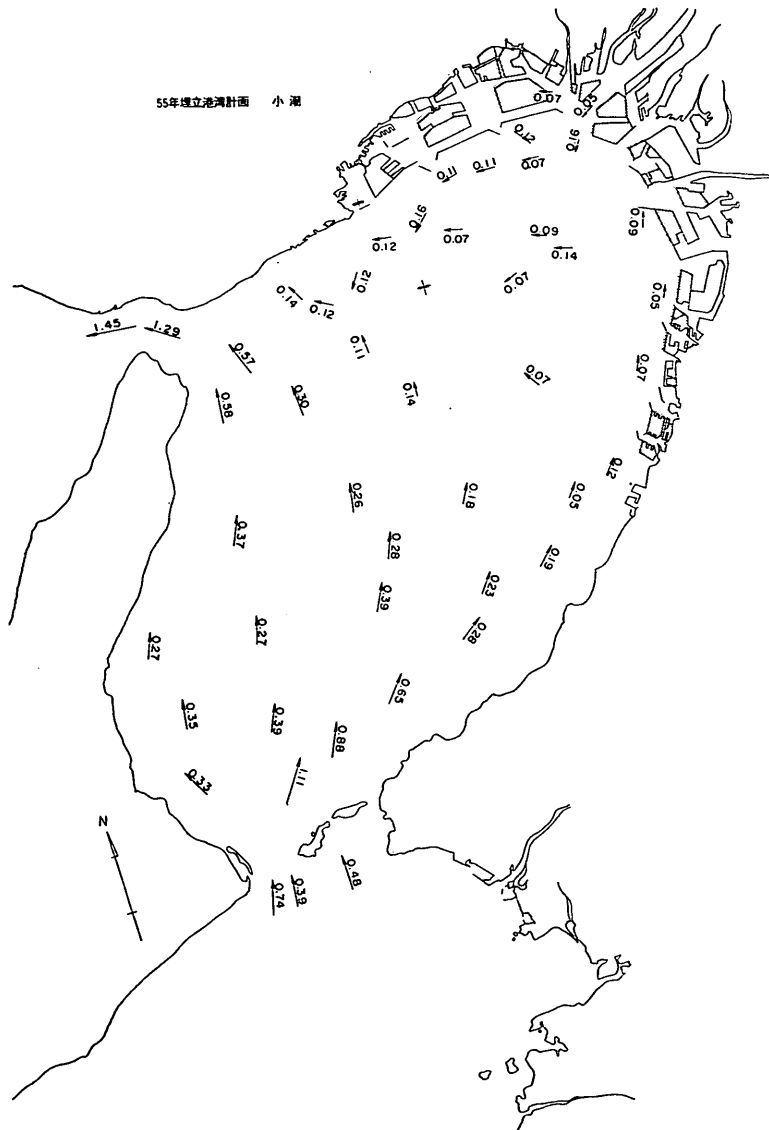


図-36 潮流図(55年小潮, 漲潮)

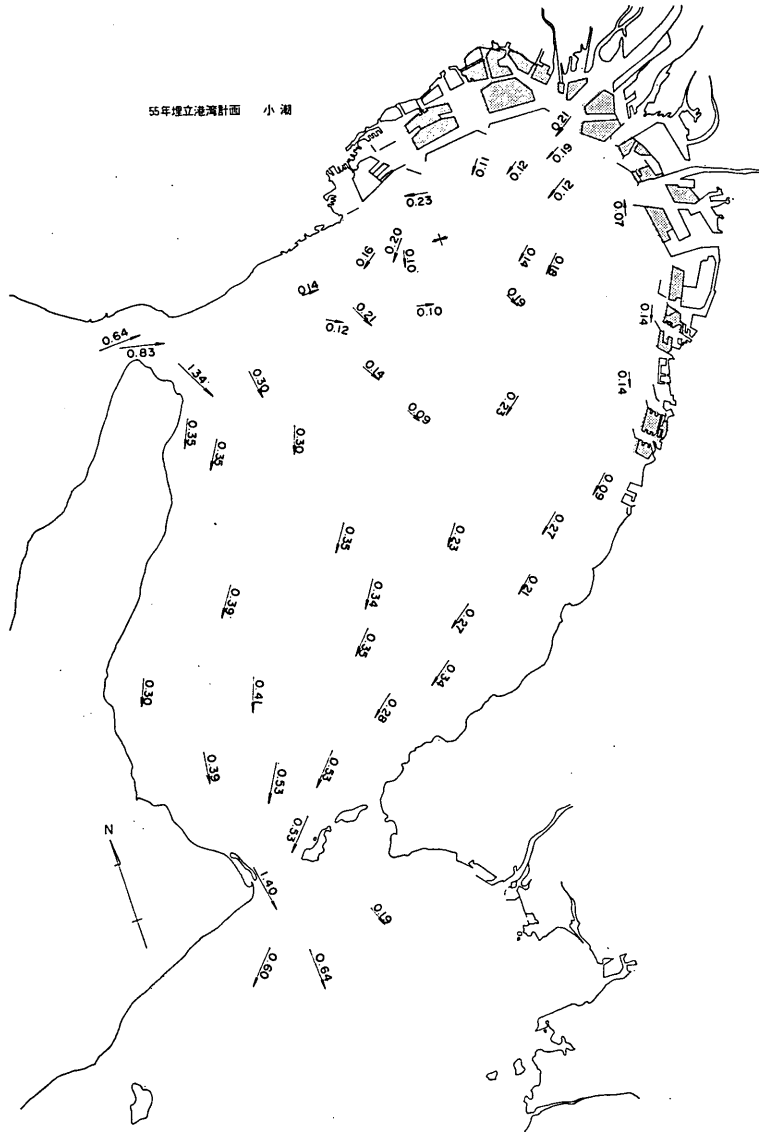


図-37 潮流図 (55年小潮, 退潮)

大阪湾の潮流と物質拡散に関する模型実験

図に示す。この分布を同じ小潮時の現況(図-21, 22)と対比してみると、流速は沿岸埋立地の造成によってやや増速すると共に、湾奥水域における流向の変動が目立っている。この傾向は大潮時と同様である。図-38は一潮汐間のフロートの流動を画いたもので、現況の対応図(図-23)と比較して、パターンは大差がない。

図-39に恒流の流跡を示したが、流速が総体的に小さくなっており、且つ流れの動揺が現われている。また湾奥河川流の影響が著しく、河川流線方向の恒流の存在が推定できる。

(6) 55年港湾計画神戸空港 I (A)

大潮漲潮時の流速分布を前述の55年港湾計画のみの流速分布(図-33)に比べ、大阪湾内の潮流のパターンは総体的に変化していないが、空港埋立地とP.I間は水路状となるため、湾奥を大廻りして明石海峡へ抜ける潮流が幾分増速し、空港東北部集辺には0.51 ktの流速が生じている。実験結果の流速分布を図-40に示す。図-41の退潮流は空港埋立地によって明石海峡から流入する流れは前述の図-29同様2分割された形となり、主流は淡路島よりの濡筋に向うが、その分流はP.I間の水路に流入し大阪港付近から流出する河川流を押戻す形となって、空港東側水域での流線が乱れている。この結果泉南沿岸の南下流がやや低下しているように思われる。

小潮時の流況は図-42, 43に示したが、いままで述べて来たように小潮時は潮流が低下し、河川流の勢力が現われる傾向は、このケースの退潮流にも著しく、図-43に見られるように、空港埋立地とP.I間は退潮時に際しても西流の様相があり、湾奥からの河川流の一部は空港西側水域まで流れて、湾奥に流入する。しかし流速は微弱である。このことから大阪湾の潮流の流動は、その主体を淡路島よりの大水深の濡筋に集める傾向が、空港埋立地の造成によって一層強められ、反面空港東側から大阪港にかけての水域では、小潮時河川流の影響がさらに著しくなり、流動が小さくなる様相がある。この傾向は図-44に示した恒流の流跡からも十分に感得することが出来る。

(7) 55年港湾計画+神戸沖空港 II (A)

空港埋立地の規模がI期に比べ約2倍に拡張した案である。実験結果の潮流分布を図-45, 46に示す。拡張によって空港周辺水域に、漲潮、退潮流ともに影響が現われている。すなわち友ガ島水道、明石海峡を通過して湾内奥部に廻流していた潮流は、その拡がる範囲が狭められた様相があり、湾奥部に廻流した潮流は、空港南西部を通過する傾向が見られ、このため湾奥部の流れが低下し

ている。特に漲潮時前述の各実験に見られた空港～P.I間の水路の流速低下が目立つが、退潮流は変化が少ない。しかし退潮流時泉南沿岸を南下する潮流は前実験にくらべて0.1～0.2 kt程度全般的に低速となる。

図-47に示したフロートの流動を見ても判るように空港東部の大阪湾から泉天津前面水域一帯の流動が小さくなり、友ガ島、明石海峡から流出入する潮流は水20m以深水域に限定される傾向となっている。この結果、沖の瀬付近の環流の中心はやや南下しているものと推察される。

(8) 55年港湾計画+神戸沖空港 I (B)

空港 I (B)案とは、その埋立法線を I (A)案に対し、23°左廻りに回転し、滑走路の方向を神戸付近の海岸線とほぼ平行にした案であり(図-14参照)、ただし設置位置はP.I沖7 kmとした計画である。

このケースについての潮流分布は図-48, 49に示してあるが、前述の I (A)案(図-40, 41)と対比しても明らかのように、局部的に空港周辺の流向が若干変向するのを除けば、湾総体的な流速流向は I (A)案とほとんど同じであり、この程度の法線の相違は実験的に把握し難い。

(9) 55年港湾計画+泉南沖空港 I (A)

大潮時漲潮、退潮流の湾内潮流分布が図-50, 51の各図に示してある。湾全体的な潮流のパターンは、前実験ケースと大差なく、空港周辺の流況も空港埋立地によって2分されるが、流線の乱れは見られず、漲退潮流ともにスムーズに流れる。また空港埋立地と陸岸との狭窄部も特に増速された様相もない。小潮時については流速も総体的に低速なため、空港設置に伴う潮流の変化は把握困難である。図-52, 53にその分布図を示す。図-54の流跡図からは、空港埋立地湾奥側水域がやや乱れている様相が見られるが、この流速は0.15～0.17 kt程度であり問題にならないであろう。

(10) 55年港湾計画+泉南沖空港 II (A)

空港規模 I (A)案に対し、湾奥側に2倍に拡張した案であり、図-55, 56に潮流分布を示す。

大阪湾内全般的な流況は空港埋立地の倍増によって、漲潮流、退潮流ともに湾奥西側に押出された傾向がみられ、陸岸への接近が制御されてくる。この結果、空港埋立地湾奥水域の流況がI期工に比べやや変化する。また空港埋立地と陸岸の狭窄部もやや増速を示す結果となる。しかし空港埋立地が倍増したにも拘らず、湾全般的な流況はI期工に比べ変化が少ない。図-56の退潮流では局部的に空港埋立地の流れの下手側に反流による廻流が発生しているが、渦流にまでは成長しない。

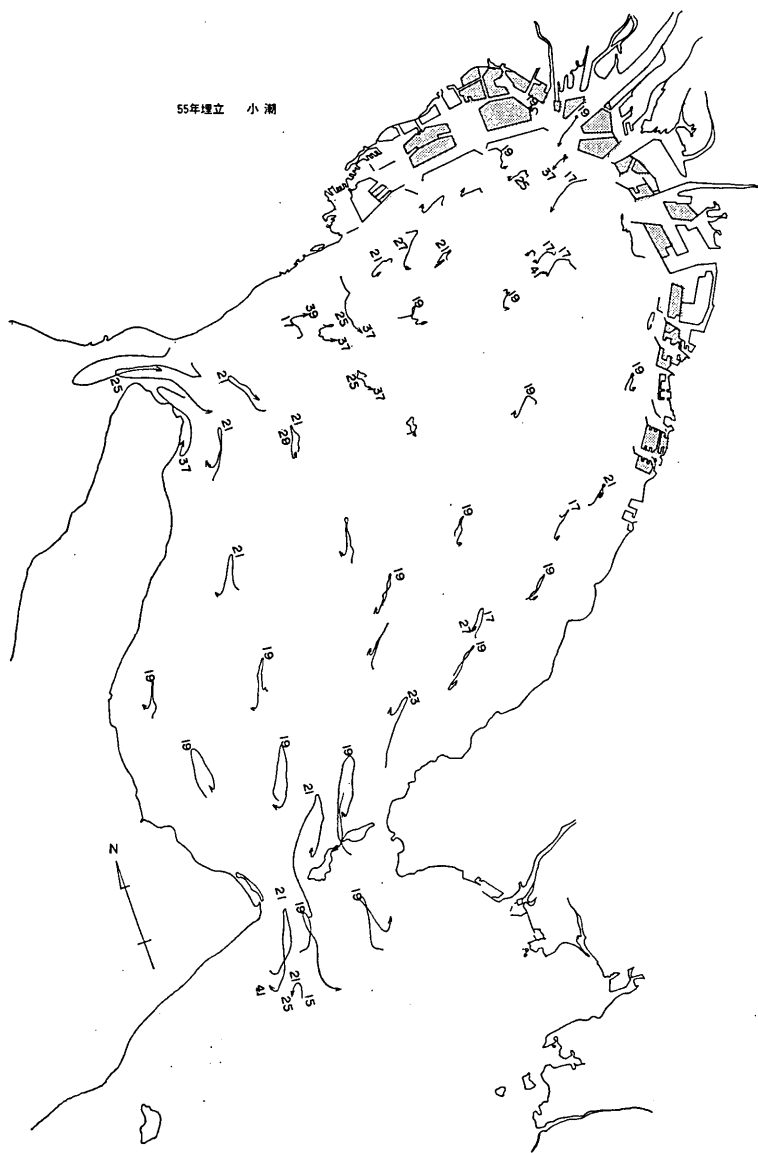


图-38 流跡図 (65年, 小潮)

大阪湾の潮流と物質拡散に関する模型実験



図-39 恒流, 流跡図 (55年, 小潮)

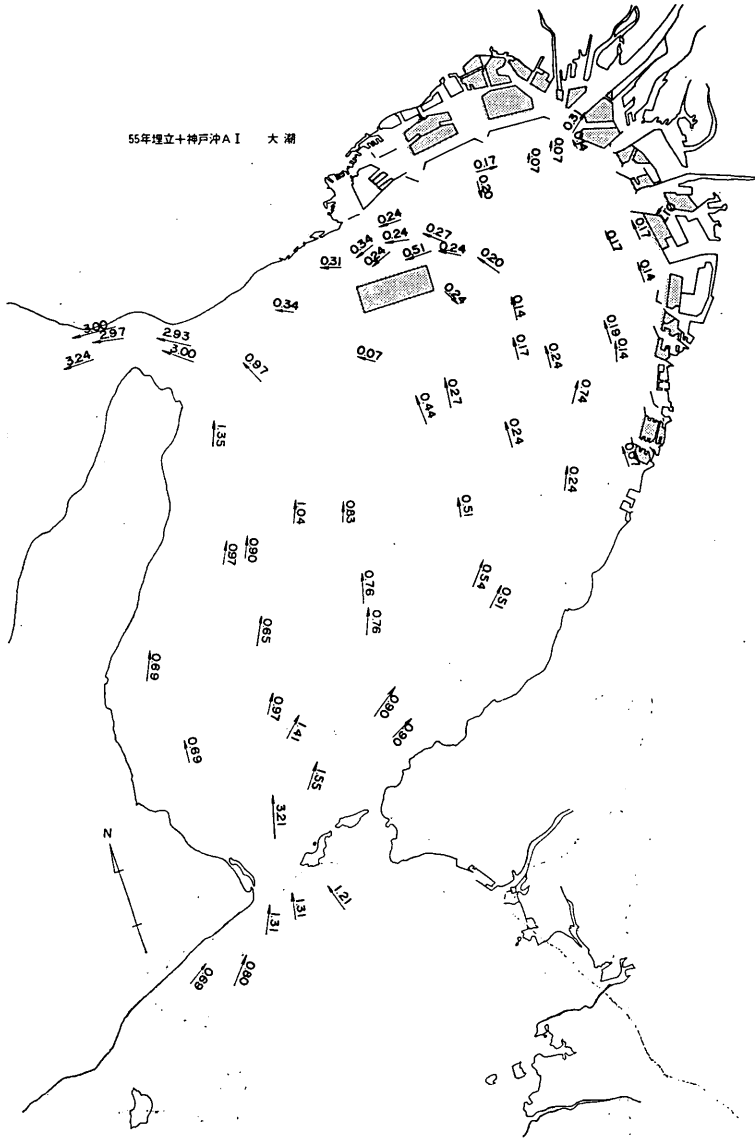


図-40 潮流図 (55年+神戸A I, 大潮, 漲潮)

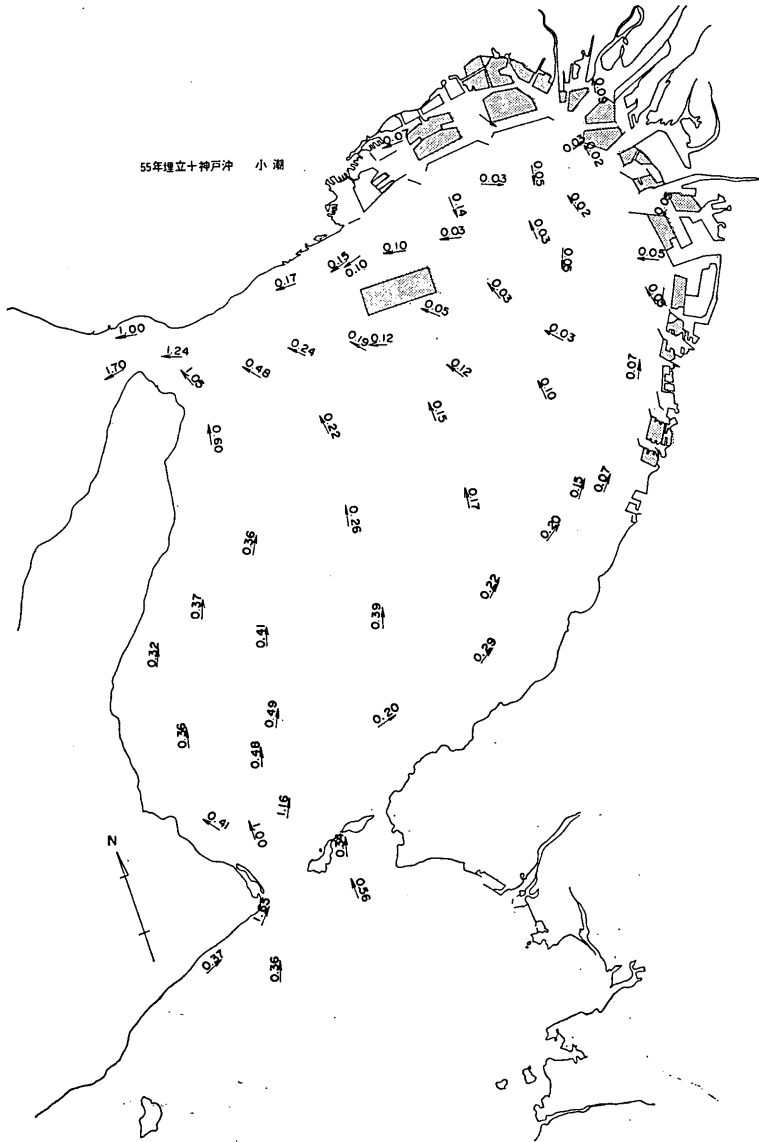


図-42 潮流図 (55年+A I, 神戸小湖, 漲潮)

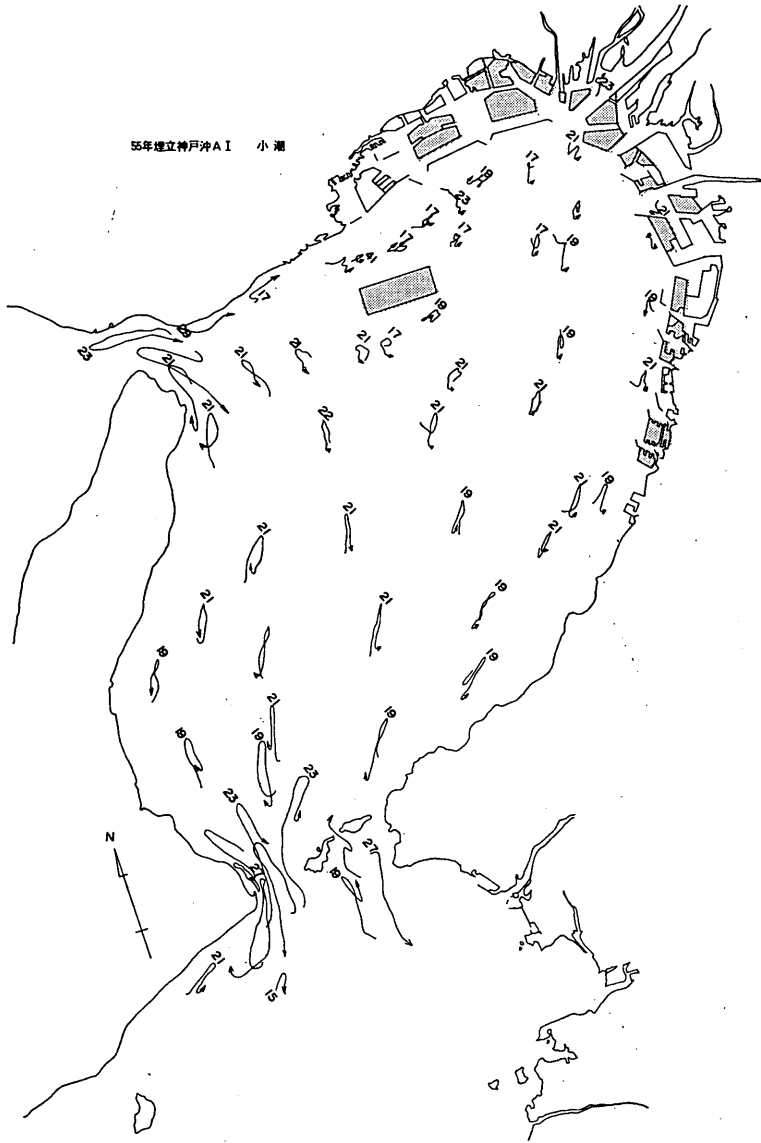


图-44 流跡图 (55年+神戸A I, 小潮)

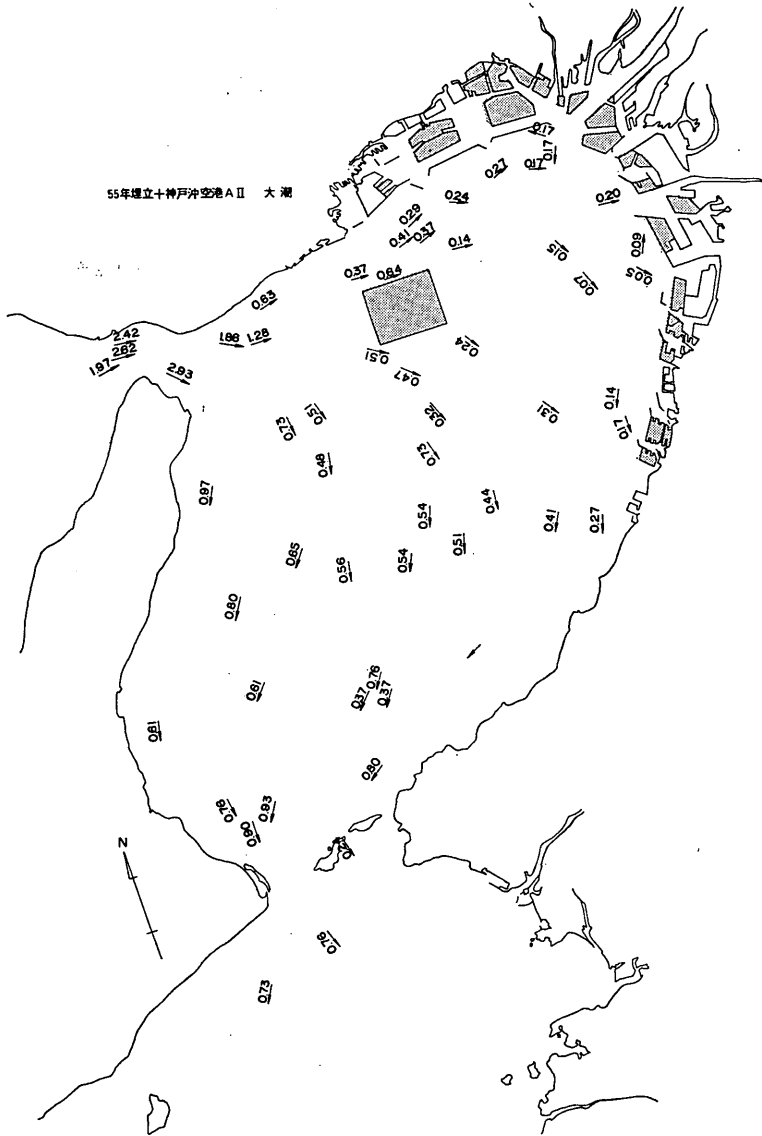


図-46 潮流図 (55年+神戸ⅡA, 大潮, 退潮)

大阪湾の潮流と物質拡散に関する模型実験



図-47 流跡図 (55年+神戸ⅡA, 大潮)

大阪湾の潮流と物質拡散に関する模型実験

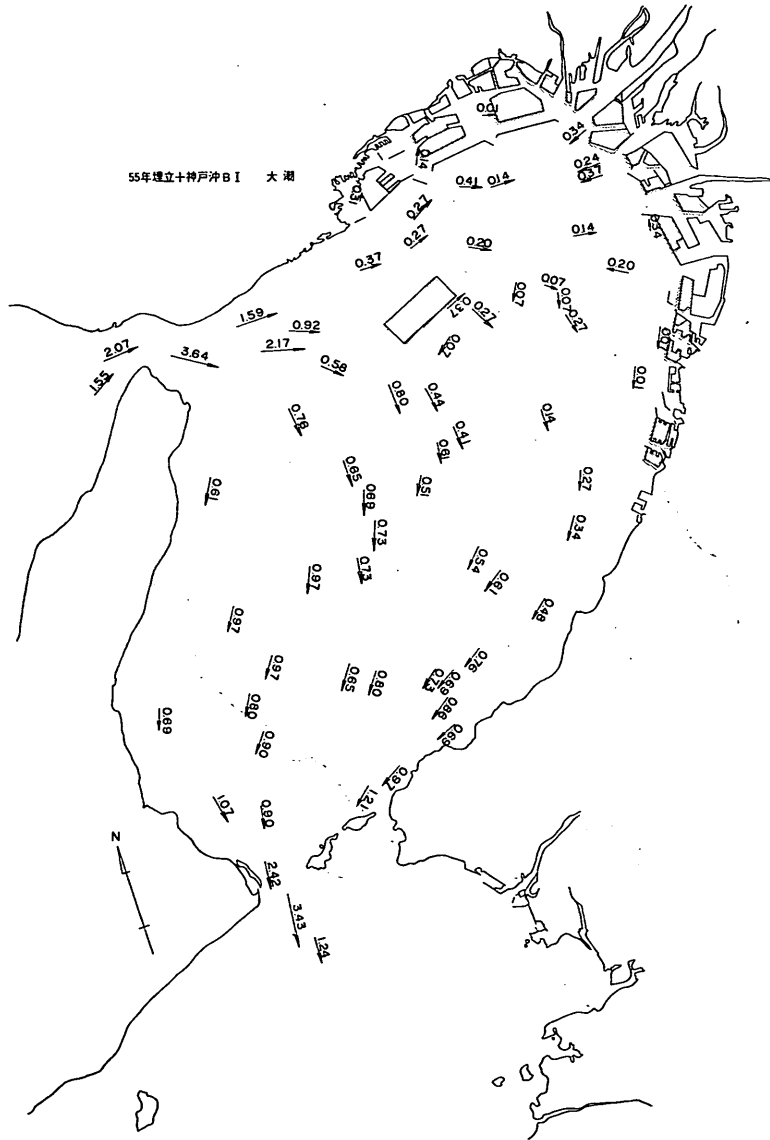


図-49 潮流図 (55年+神戸B I, 大潮, 退潮)

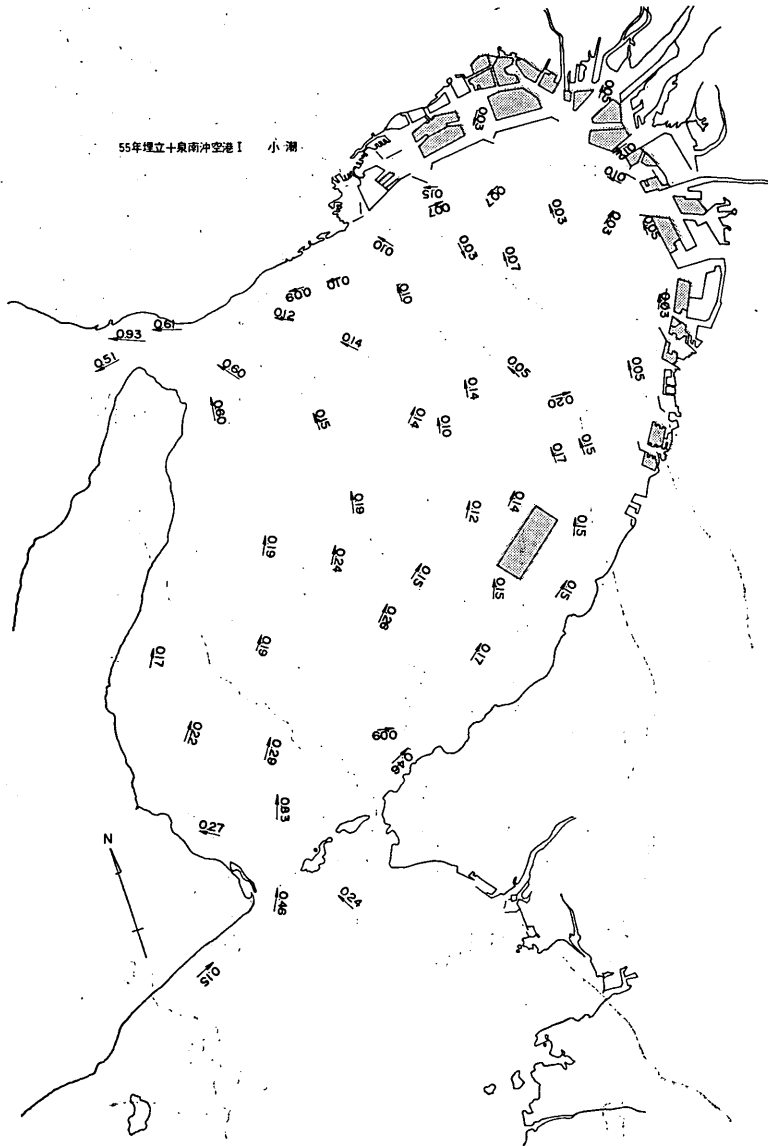


図-52 潮流図 (55年+泉南I, 小潮, 漲潮)

大阪湾の潮流と物質拡散に関する模型実験

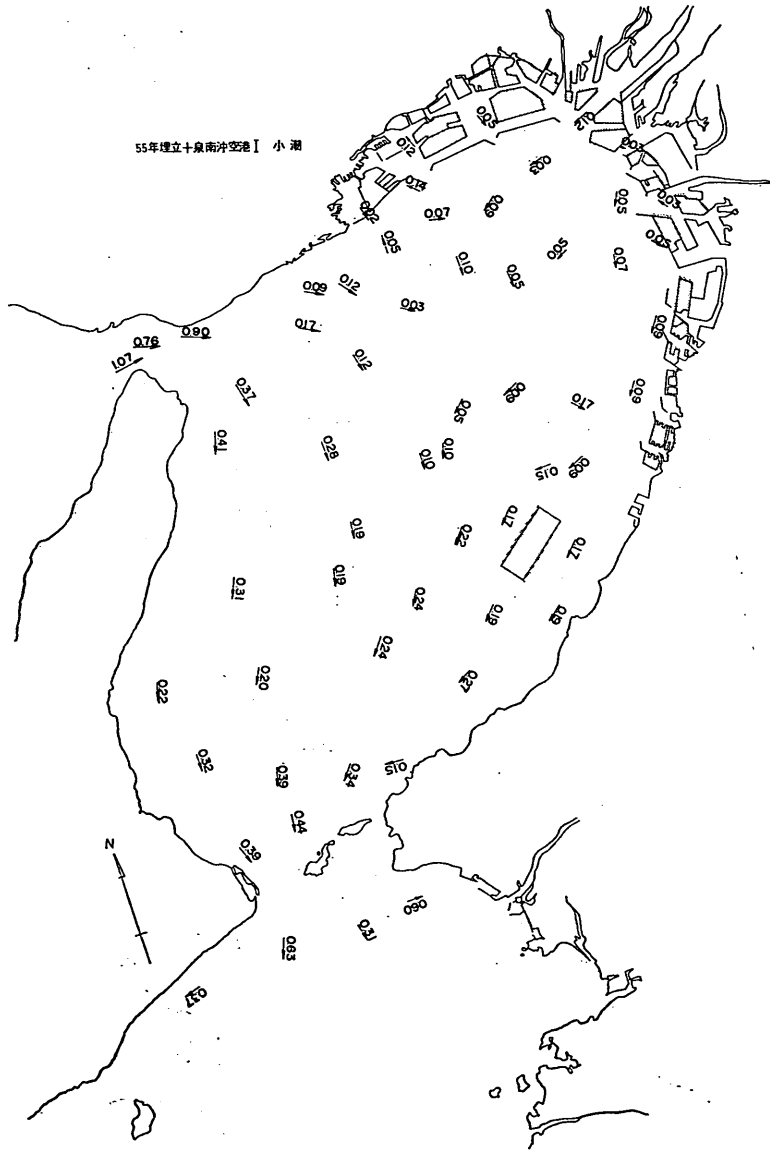


図-53 潮流図 (55年+泉南 I, 小湖, 退潮)

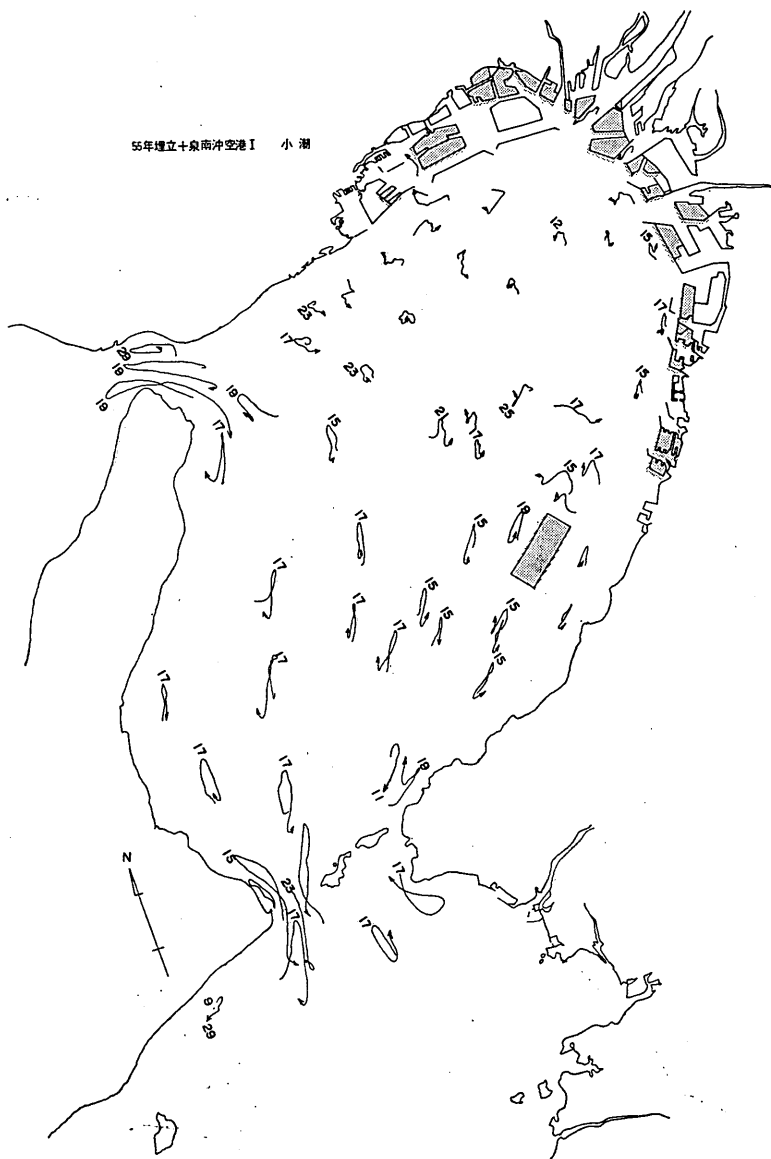


図-54 流跡図 (55年+泉南I, 小湖)

大阪湾の潮流と物質拡散に関する模型実験



図-57 流跡図（55年+泉南Ⅱ，大潮）

表-5 地区別平均潮流

	イ 明石海峡	ロ 須磨海岸 前面	ハ 空港北航 路	ニ 将来計画 港口	ホ 尼崎港前 面	ヘ 堺港前面	ト 阪南港前 面	チ 空港南側	リ 泉南市前 面	ヌ 友ガ島海 峡
大 潮										
上げ潮最強時										
現 況	NW 2.7	W 0.5	W 0.3	W 0.1	NE 0.1	NE 0.1	NE 0.2	N 0.3	NE 0.4	N 3.3
50年埋立	NW 3.3	W 0.5	W 0.2	W 0.1	NE 0.1	N 0.1	—	N 0.4	NE 0.5	—
55年埋立	NW 3.8	W 0.6	NW 0.2	W 0.2	NE 0.3	N 0.2	N 0.1	N 0.5	NE 0.5	N 3.6
50年+神戸A I	W 3.4	W 0.6	N 0.1	NW 0.2	NE 0.3	N 0.3	N 0.2	NE 0.3	NE 0.3	N 2.6
55年+神戸A I	NW 3.0	NW 0.4	W 0.3	NW 0.2	NE 0.3	N 0.2	N 0.2	N 0.4	NE 0.4	N 3.2
55年+神戸A II	NW 3.0	NW 0.3	W 0.3	NW 0.1	NE 0.3	N 0.2	N 0.2	N 0.4	NE 0.4	N 3.2
55年+神戸B I	NW 3.1	NW 0.3	W 0.3	NW 0.1	N 0.4	N 0.2	NE 0.2	N 0.3	—	N 2.7
50年+泉南 I	NW 2.4	NW 0.5	W 0.2	W 0.1	NE 0.3	N 0.1	N 0.2	NE 0.3	NE 0.4	N 2.7
55年+泉南 I	NW 2.0	NW 0.3	W 0.2	NW 0.2	NE 0.4	N 0.4	N 0.2	NE 0.3	NE 0.3	N 1.7
55年+泉南 II	NW 3.0	NW 0.3	W 0.1	NW 0.1	NE 0.3	NE 0.2	N 0.2	N 0.2	NE 0.5	N 2.3
下げ潮最強時										
現 況	SE 3.1	E 0.4	E 0.2	SW 0.2	SW 0.3	S 0.2	SW 0.4	S 0.7	SW 0.6	S 3.3
50年埋立	SE 3.0	E 0.3	E 0.2	SW 0.2	SW 0.2	S 0.1	SW 0.4	S 0.6	SW 0.7	S 2.5
55年埋立	E 3.1	E 0.9	S 0.2	SW 0.2	SW 0.3	S 0.2	SW 0.3	S 0.7	SW 0.4	S 3.3
50年+神戸A I	SE 3.8	E 0.7	E 0.5	E 0.2	NE 0.1	S 0.1	SW 0.2	SE 0.5	SW 0.4	S 3.1
55年+神戸A I	E 3.0	E 1.0	E 0.3	E 0.3	N 0.4	S 0.2	S 0.1	SE 0.7	SW 0.4	S 2.6
55年+神戸A II	SE 3.9	E 0.6	E 0.5	E 0.2	—	S 0.1	S 0.2	SE 0.4	SW 0.4	—
55年+神戸B I	SE 3.7	E 1.3	E 0.3	E 0.2	SW 0.4	NW 0.3	SW 0.1	S 0.6	SW 0.4	S 2.9
50年+泉 I	SE 3.2	—	SE 0.2	SW 0.1	SW 0.2	S 0.2	S 0.3	S 0.6	SW 0.6	S 3.0
55年+泉 I	SE 2.7	—	SE 0.3	SW 0.3	N 0.2	E 0.1	S 0.2	S 0.4	SW 0.4	S 2.5
55年+泉 II	SE 3.2	—	SE 0.2	SW 0.2	—	E 0.1	S 0.1	S 0.6	SW 0.6	S 2.4
小 潮										
上げ潮最強時										
現 況	NW 0.7	NW 0.1	N 0.1	S 0.1	NW 0.1	N 0.1	N 0.1	N 0.1	NE 0.1	N 0.5
55年埋立	NW 1.4	NW 0.2	W 0.1	W 0.1	SW 0.1	N 0.1	NE 0.1	N 0.2	NE 0.2	N 0.8
55年+神戸 I	NW 1.2	W 0.2	W 0.1	NW 0.1	N 0.1	NW 0.1	N 0.1	N 0.2	NE 0.2	N 1.2
55年+泉 I	NW 1.0	W 0.1	NW 0.1	NW 0.1	NE 0.1	N 0.1	N 0.1	N 0.1	NE 0.2	N 0.8
下げ潮最強時										
現 況	E 0.6	E 0.1	E 0.2	E 0.1	SE 0.1	NE 0.1	E 0.1	SE 0.1	SW 0.1	S 0.6
55年埋立	SE 1.3	E 0.2	SW 0.2	SW 0.1	SW 0.2	N 0.1	S 0.1	SE 0.1	SW 0.2	S 1.3
55年+神戸 I	SE 1.3	E 0.1	W 0.1	SW 0.1	SW 0.2	S 0.1	SW 0.1	S 0.2	SW 0.2	S 1.2
55年+泉 I	SE 0.5	E 0.3	NE 0.1	—	SW 0.1	E 0.1	S 0.1	S 0.1	—	S 0.6

図-57 のフロートの軌跡によっても前述の流況がほぼ肯定できる。

7.2 埋立に伴う潮流変化

前述した各実験によって大阪湾内の潮流変化の概略は把握できるが、各実験ケースとの関連を示すために図-58 に示す湾内10水域について、各水域内に含まれるフロートの流速の平均値と流向の卓越方向を、各実験ケース別に示したのが表-5である。ただし本表の流速値は友ガ島水道を基準とした（最盛期）湾内の流速であり、明石海峡では前述したように約25秒（1時間）の遅れがあり流速値も約1.5倍しなければならないことになるので、明石海峡を基準とした潮流図とは直接比較することは出来ないで注意しなければならない。

表-5によって得られる主たる特徴を列記すれば下記の通りである。

- (1) 明石、友ガ島両水道の流速値は変動が激しいが、この原因は、両海峡とも流速が大きく、且つ流れの乱れが強いため、流速測定用フロートの位置的、時間的なズレが生じ易い。このため流速の変動が大きく出ているものであり適確な流速値の把握が困難であった。なお空港および港湾計画に伴う埋立地の造成によって生ずる湾内水面積の減少は2～2%僅か程度であるからそのため明石、友ガ島両水道の流速に影響するとは考えられず、表-5の流速の変動は乱れによる計測上の誤差といえる。
- (2) 須磨海岸前面(ロ)水域では退潮流時に空港埋立地の影響による増速が著しく1.0～1.3ktの速い潮流が観測されている。この水域は空港埋立地によって退潮流が2分割される直前の水域で、明石海峡に近いので、模型上の渦乱流の効果が入り易く、表-5の速い流速値も多分にその影響が及んだものと解釈される。また尼崎港前面の(ハ)水域では各埋立ケース共に漲潮時のみ増速し0.3～0.4ktを示し、湾央の(イ)水域の流速と同値を示しているが、これは、湾側の広域から各埋立地の間隙に流入する接近流に似た流れの効果と考えられる。
- (3) 大阪港から湾東部沿岸にかけての水域および湾央水域では、顕著な変化は把握し難い。
- (4) 小潮時については、各水域の漲潮、退潮ともに流速の絶対値が小さいため流速変動の様相は表-5の平均値からは予測が困難である。

7.3 拡 散

前述の4～5で述べた条件、手法により湾内の染料濃度を測定したが、この種の実験で重要なことは、染料投入後何潮汐（何時間）目の濃度を以って表示すべきかの

問題がある。この時間は、模型規模、拡散状態、汚濁負荷量などによって異なるので安易に決定できないが、この実験では湾奥から流入した染料が友ガ島水道から湾外に流出するのを一つの目安として60潮汐目の濃度を以って示すことにした。このほか拡散経過を示す目的で30潮汐目の濃度分布も図示したが、図上の数字は染料（ローダミンB水溶液）の濃度であることを付記する。

(1) 現 況

現況地形の大潮時における30および60潮汐目の濃度分布を図-59, 60に示した。染料投入直後は淀川など河川からの河川水の流れによって西宮、淀川、大阪港および泉大津の沿岸にかけて高濃度の分布を示してくる。その後時間経過によっても湾内に拡散してくるが、図-59の30潮汐目（約15日後）になると濃度前線のうち湾東部側の拡散が促進されてくる。さらに60潮汐目（約30日）になると図-60に示したように濃度前線は湾内に分散するとともに湾東部の沿岸友ガ島水道付近に達しており、湾央付近に拡散して希釈された染料の一部は漲潮流に乗って明石海峡に向かって流れ、友ガ島水道から湾外の和歌山付近にも達している。この拡散パターンは潮流実験によって得られた潮流の流動とよく対応しており、長期な汚水流動は湾内の恒流に支配されていることが判る。さらに汚水濃度は流入汚濁負荷量に比例しており、湾奥尼崎、淀川水域が高濃度となっている。

小潮時染料投入初期段階の拡散域は大潮時同様に湾西部沿岸に添って流出してくるが、20～30潮汐目頃から河川流による流れののって、湾の長軸方向に湾央に向かって汚染領域を伸展する。これは小潮時特有の拡散であり、潮流実験で測得された恒流現象と一致している。30潮汐目の分布を図-61に示す。60潮汐目を経過する時点でも濃度前線は依然と湾央に張出す形となり、大潮時に見られた湾東部沿岸に沿って友ガ島に達する傾向は低下し、図-62に示すように泉佐野付近止りで、汚染水域が湾奥部に限定される。この傾向は潮流実験の流況と極めてよい対応を持っている。そして1ppm(1,000ppb)以上の高濃度領域が大潮時に較べ増大している。

この結果、汚水の分布は大潮時には卓越する潮流によって移動分散し、長期的に湾内恒流方向に拡散してゆき小潮時は潮流速が低下する結果、河川流の影響が卓越して汚水の移動、分散、希釈に強い作用を及ぼしていることが理解される。

(2) 港湾計画による埋立地の影響

(i) 昭和50年時点……本ケースは前掲表-4に示した採水器改造前の表層一点採水による結果である。したが

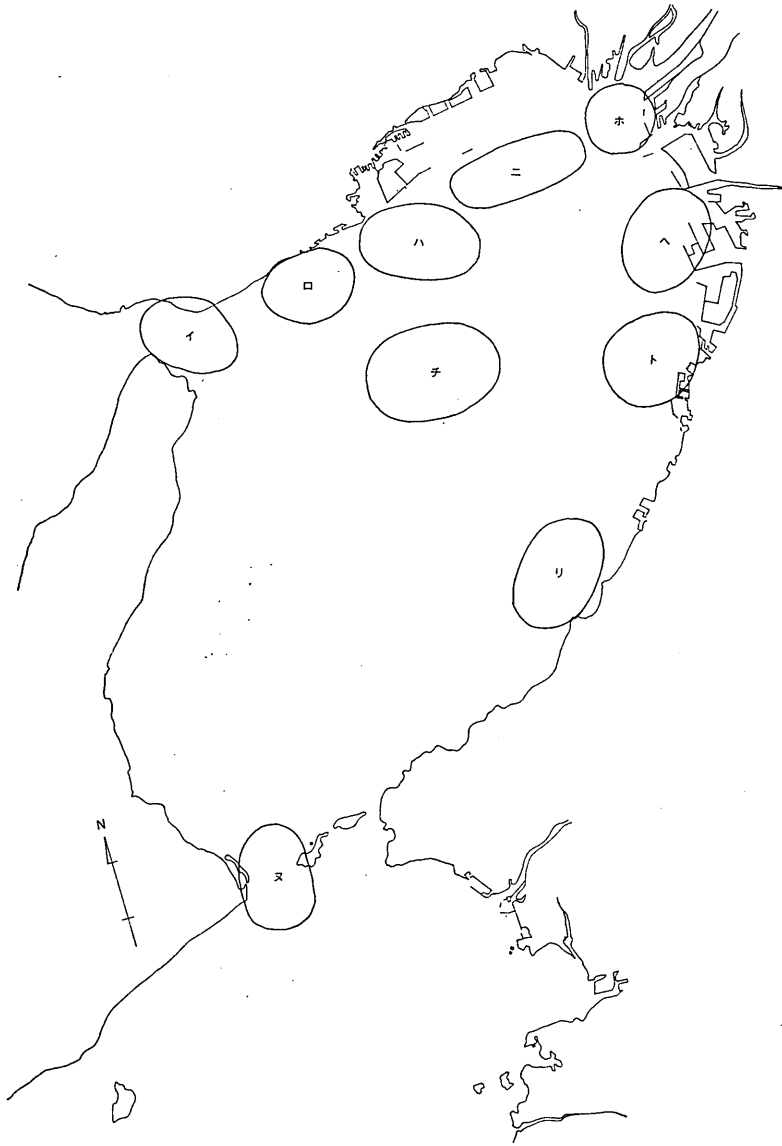


図-58 流速比較水域図

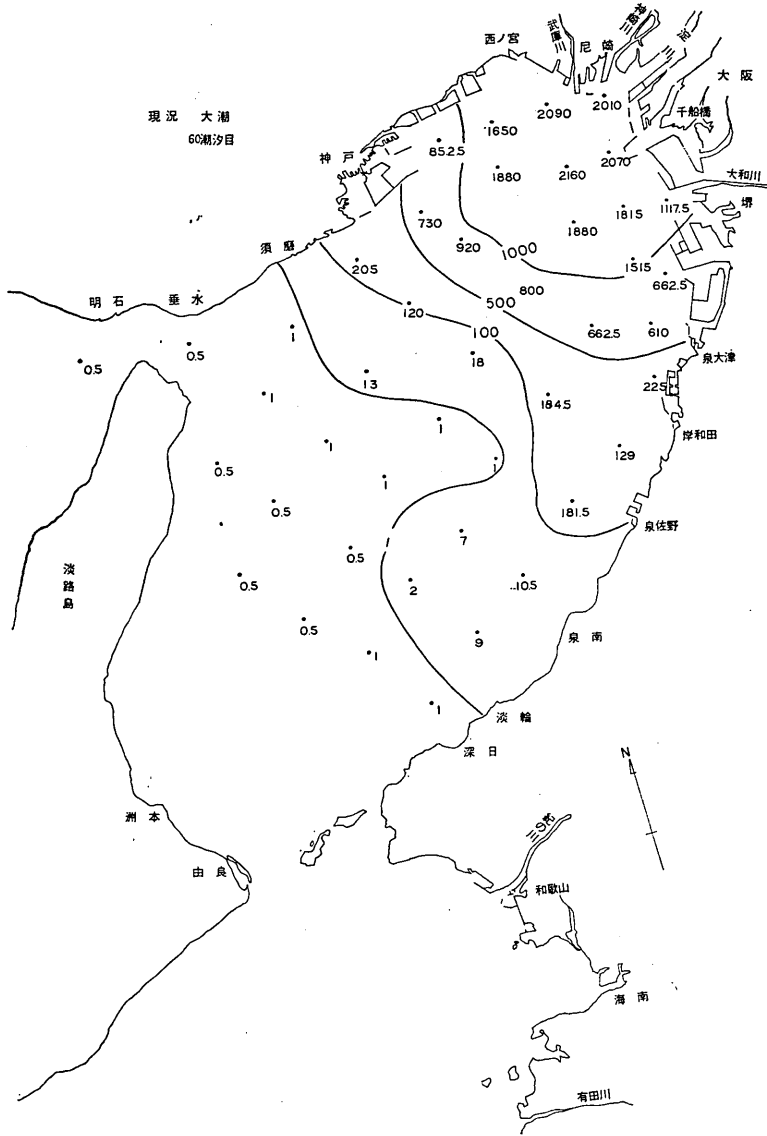


図-60 濃度分布図(現況, 大潮60潮汐目)

大阪湾の潮流と物質拡散に関する模型実験

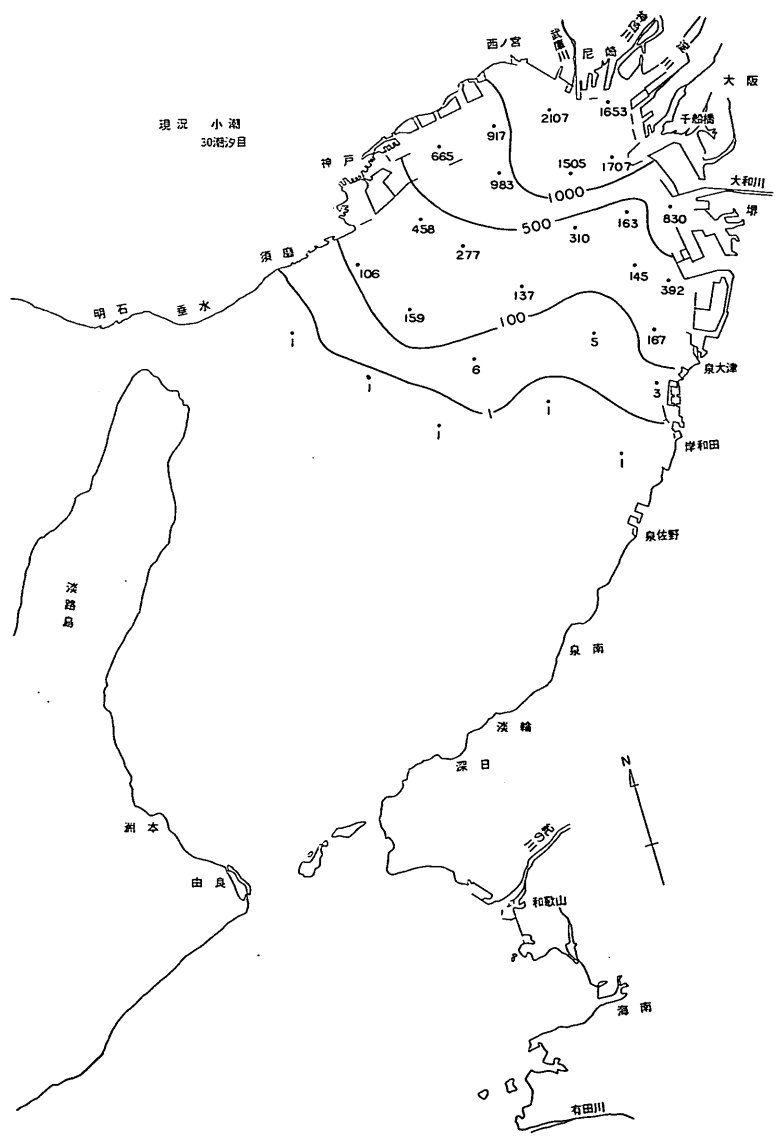


図-61 濃度分布図 (現況, 小潮30潮汐目)

大阪湾の潮流と物質拡散に関する模型実験

って湾内濃度は一局部において他の実験結果より高濃度を示している場所が生じている。図-63, 64に30, 60潮汐目の濃度分布を示してあるが、染料投入初期の拡散状況は前実験同様に西宮～神戸水域にかけても拡がっているが、30潮汐目頃から湾東部沿岸に汚染が集中する傾向がある。60潮汐目にはこの傾向がさらに著しくなっており希釈された汚水の濃度前線は友ガ島水道に至し、さらに淡路島側に廻流する様相がみられる。この濃度分布は潮流実験で観測された流況とほぼ同型であり、神戸～西宮間に設置された防波堤による整流効果と受け取られる。

湾奥淀川および大阪港から阪南地区にかけて1 ppm以上の高濃度の狭小な水域があるが、この水域の潮流は前述したように停滞傾向が見られたこととよく合致している。

(ii) 昭和55年時点……神戸～西宮間の防波堤内の埋立および淀川河口付近の埋立地の造成によって、各残存水域の流れが弱まり、汚水は投入後約10潮汐程度まではその近傍に滞留して近辺の水域を汚染した後、防波堤開口部および埋立地の間隙を通過して湾内に流入する。湾内に流入した後は拡散速度を急速に増加させている。この傾向は50年埋立ケースの実験に較べて特に神戸寄り水域で著しく、図-65の30潮汐目ですでに0.5～1.0ppm程度の汚染が生じてくる。さらに時間経過につれて潮流によって分散され、湾内の恒流によって湾東部沿岸に添って南下して来る。(図-66) この分布を前実験(i)と対比してみると、計測装置に若干の差違があるけれども、実験(i)の高濃度汚染域が淀川河口から阪南地区に拡がったのに対して、実験(ii)では西宮から神戸方向に拡がり湾中央に張り出す傾向の変化が目立っている。この傾向も潮流実験の流況変化と合致しており、特に淀川河口付近の埋立地造成によって河口が湾中央に近づくとともに、その河口法線の影響である。また防波堤で囲まれた西宮～神戸間の港湾内の水域の汚染速度が急速であり、且つ濃度も高くなる結果を示している。

小潮時の実験結果はすでに現況地形で述べたように汚水の拡散は河川流による影響が強く、淀川を中心とした各汚染源から湾中央に向かって分散しているが、図-67, 68に図示した濃度分布図からもこの傾向は明らかである。大潮時においては、汚染源から埋立地に囲まれた水域および防波堤開口部を通過して湾内に流出した汚水が、湾内の速い潮流で急速に拡散したのに較べ、小潮時には、湾内へ流出した後も、潮流速が遅いため拡散範囲が狭く染料投入後からの時間経過からすれば拡散速度が著しく減退している結果となる。これは現況小潮時図-61, 62と

対比しても明らかなように湾軸方向への拡散傾向は同じであるが、軸距離に対する濃度比(dc/dx)が小さい。

(3) 神戸沖空港埋立案による影響

(i) 空港I期A案(実験 No. 6)……このケース潮流実験では空港設置によって漲潮流、退潮流とも空港南西部を通過する傾向が見出され、須磨、神戸～西宮付近の流速が現況に較べて若干増速している。この結果拡散現象も現況に比して促進されており、染料投入開始後から20潮汐目頃までは神戸沖の拡散が進んでいる。30潮汐目に入ると図-69に示すように神戸沖の拡散速度が低下し反面湾東部の拡散が速くなっているが、このパターンは空港西部を回流した汚染水の南下によるものである。これは前実験の潮流の流動に合致している。図-70の60潮汐目には泉南沿岸を南下した沖合の希釈水は旋回して明石海峡に抜ける様相が明瞭に認められる。

小潮時の拡散分布は図-71, 72に示してあるが、今まで他のケースに見られたように河川流の影響が端的に現われており湾中央から神戸沖を通過し空港西端を廻流して湾中央に拡散してゆく傾向が大潮以上に明確である。反面湾東部沿岸の拡散が遅いのが特徴である。

(ii) 空港II期A案(実験 Ro. 7)

前記I期案に較べ拡散パターンの特性はより明確に現われている。図-73, 74は大潮時の30, 60潮汐目のパターンを示しているが、空港規模が増大した結果空港北部から湾東部にかけての拡散が促進されている。空港周辺の北東部には湾中央に入る環流の発生によって30潮汐目ではまだ汚染されておらず、空港西部の廻流による流れが変化していることから汚染水の流出も少なくなっている。さらに時間経過と共に湾東部沿岸の拡散速度は一層速まり図-74の60潮汐目では友ガ島水道を抜けて和歌山沖にまで達し、明石海峡付近を除く大阪湾全域に拡散すると共に湾奥の濃度も異常に高く5.0ppmとなる。

小潮時は図-75, 76に示すように河川流の効果によって湾中央付近に流出が生じており30潮汐では空港埋立の南東部を通過して湾中央に拡散してくる。空港予定位置より湾中央に流出した汚染水は湾内の南下恒流によって湾口へ向って流出傾向を示すと一部は明石海峡に向けて拡散する様相は他の実験ケースと同様である。

(4) 泉南沖空港埋立案による影響

(i) 空港I期A案(実験 No. 9)

大潮時の拡散パターンを図-77, 78の両図に示したが、大潮特有の湾東部沿岸に添って、染料が拡散してゆく状況を示している。30潮汐では既に空港予定位置まで拡散しており、現況および神戸沖I期A案よりやや拡散速度

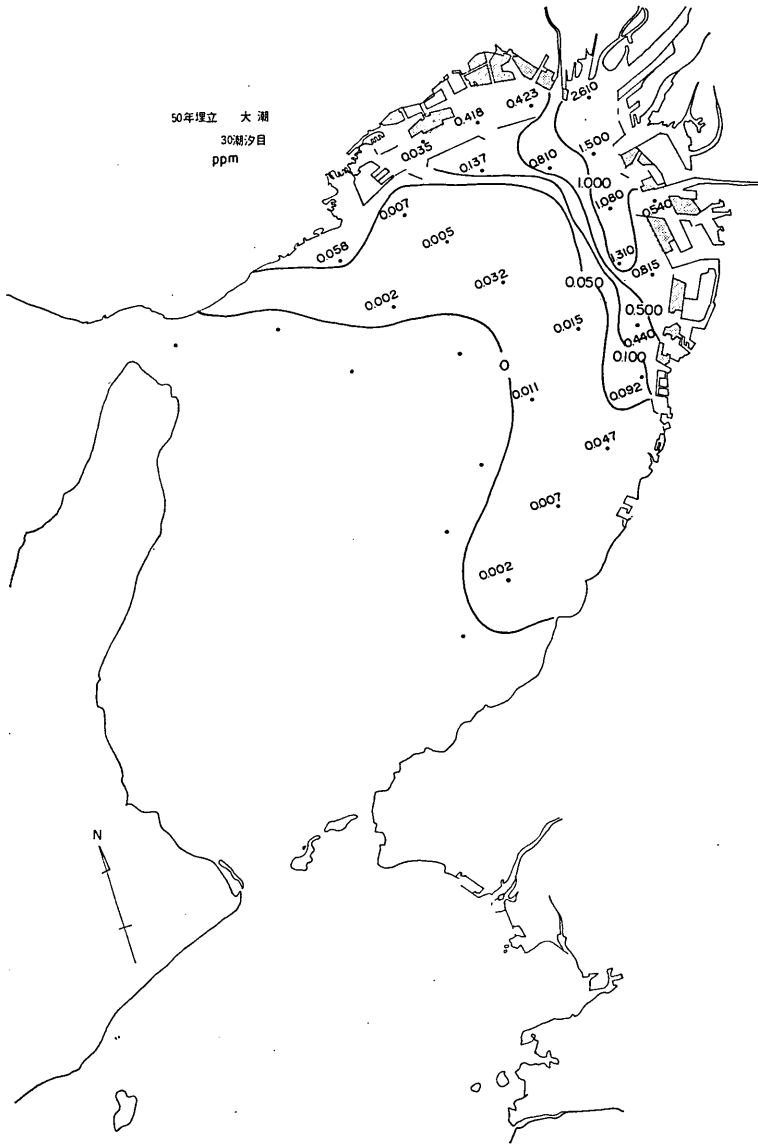


図-63 濃度分布図(50年埋立, 大潮, 30潮汐目)

大阪湾の潮流と物質拡散に関する模型実験

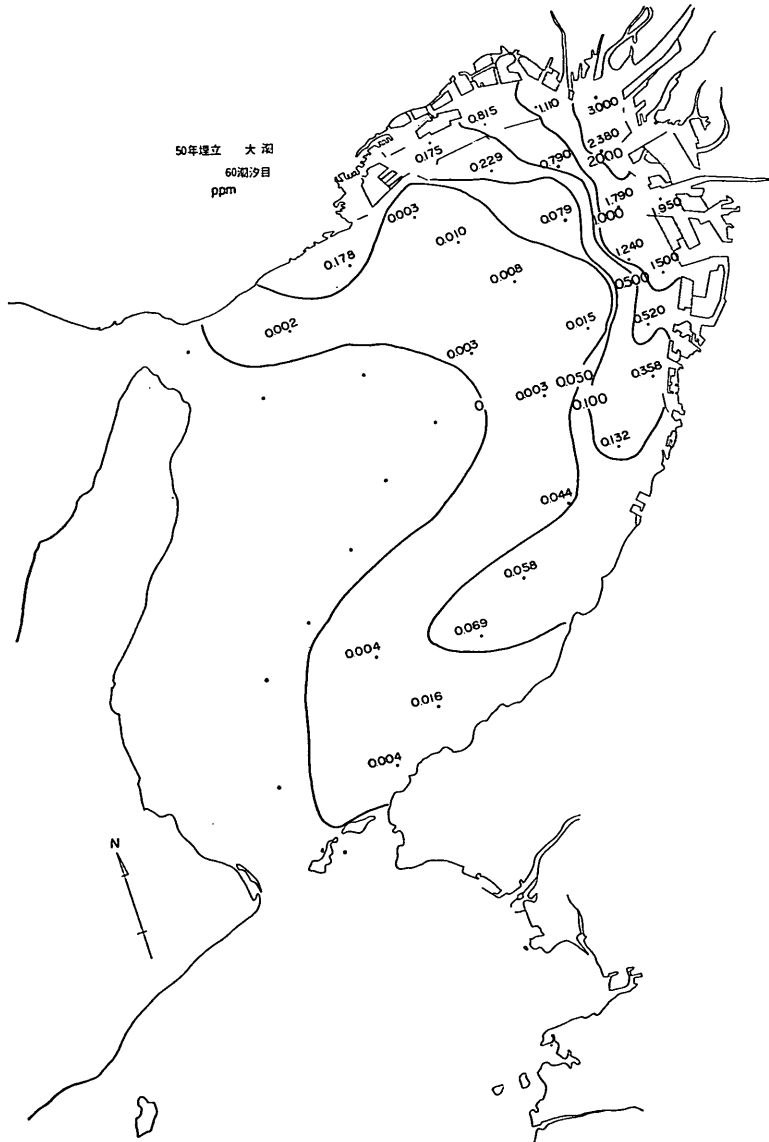


図-64 濃度分布図 (50年埋立, 大潮, 60潮汐目)

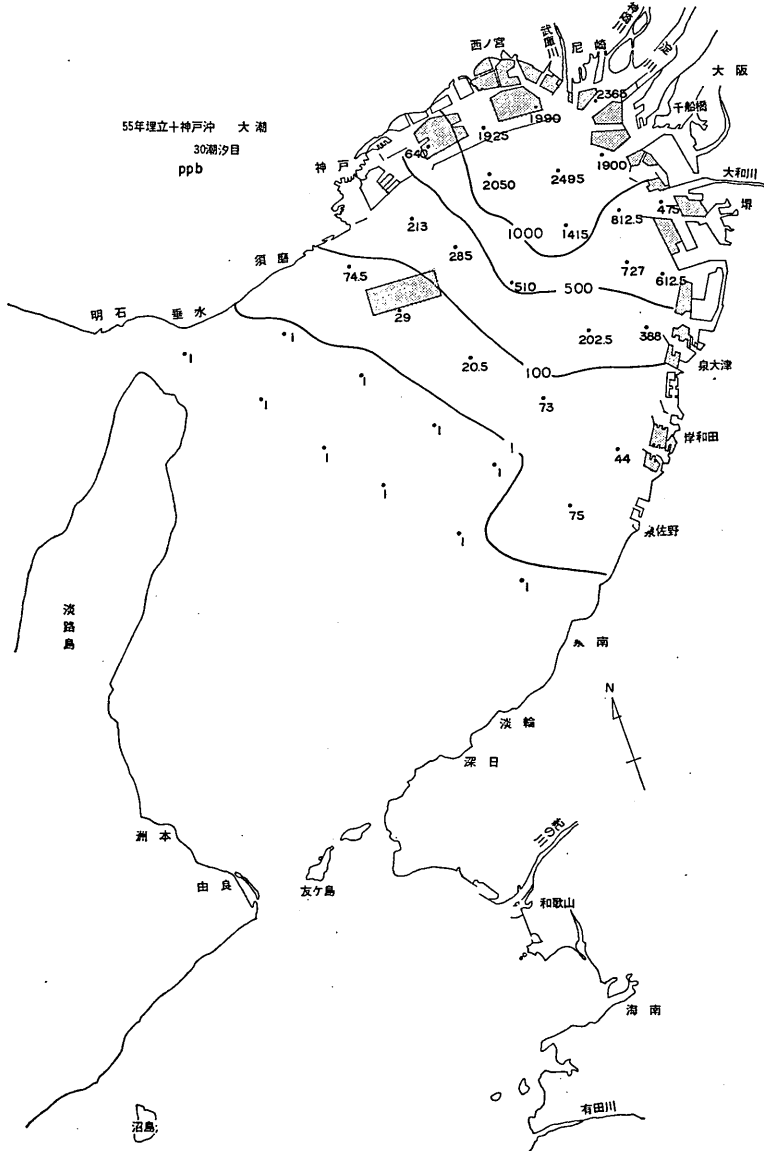


図-69 濃度分布図 (55年+神戸沖, 大潮30潮汐目)

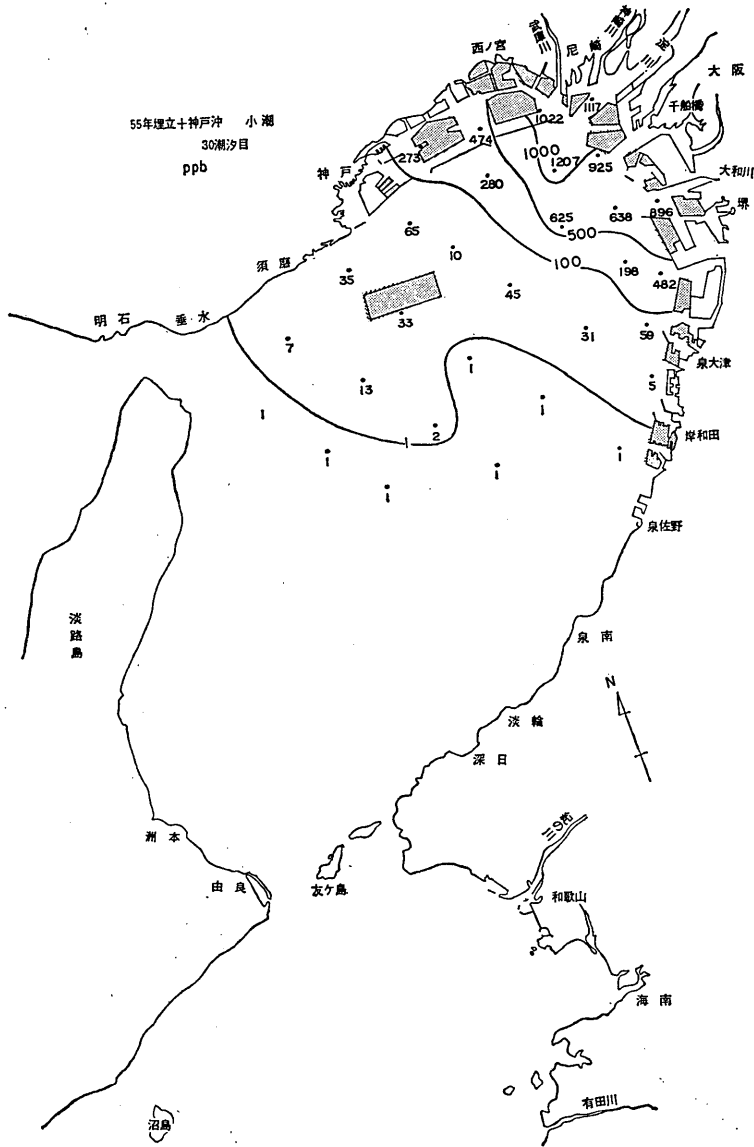


図-71 濃度分布図 (55年+神戸沖, 小潮, 30潮汐目)

大阪湾の潮流と物質拡散に関する模型実験

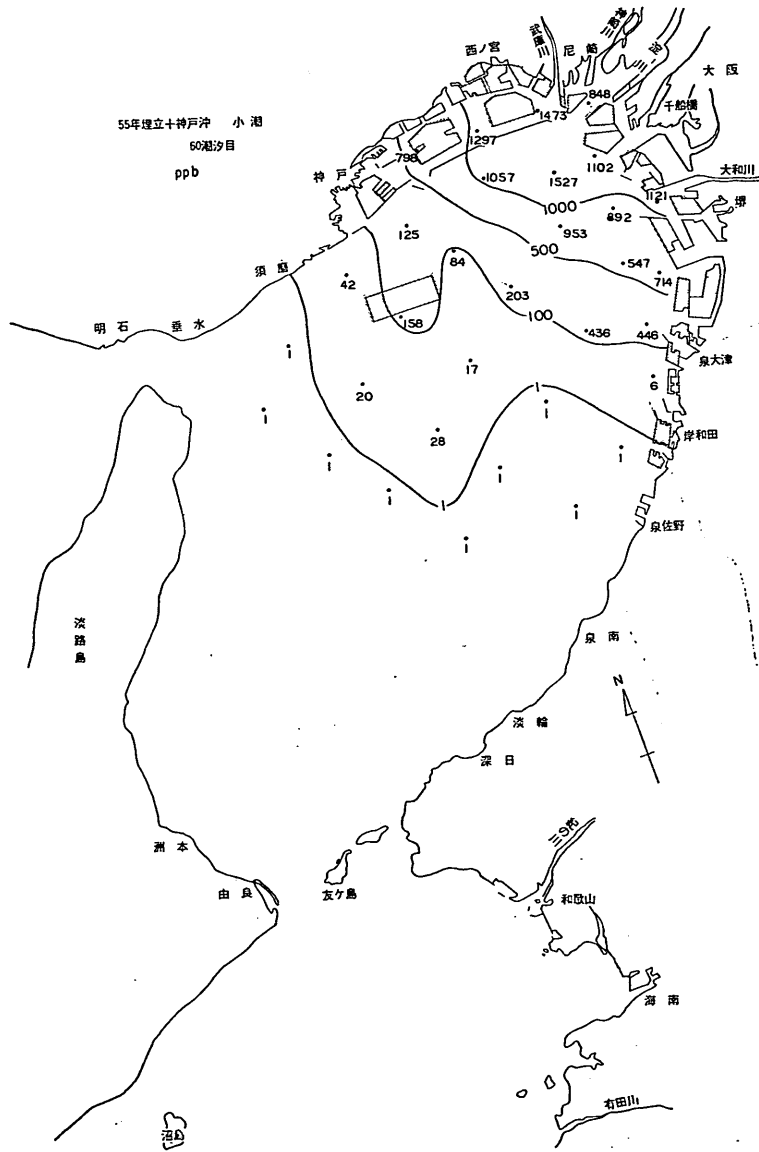


図-72 濃度分布図 (55年+神戸沖, 小潮, 60潮汐目)

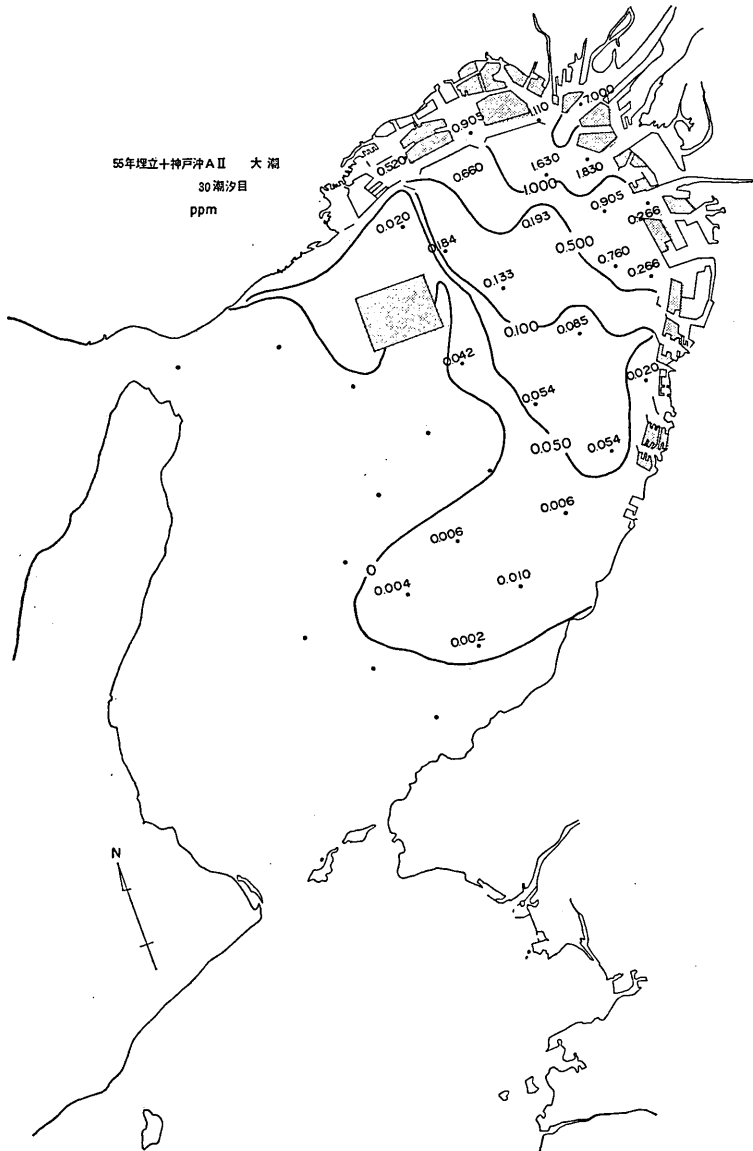


図-73 濃度分布図 (55年+神戸AⅡ, 小潮, 30潮汐目)

大阪湾の潮流と物質拡散に関する模型実験

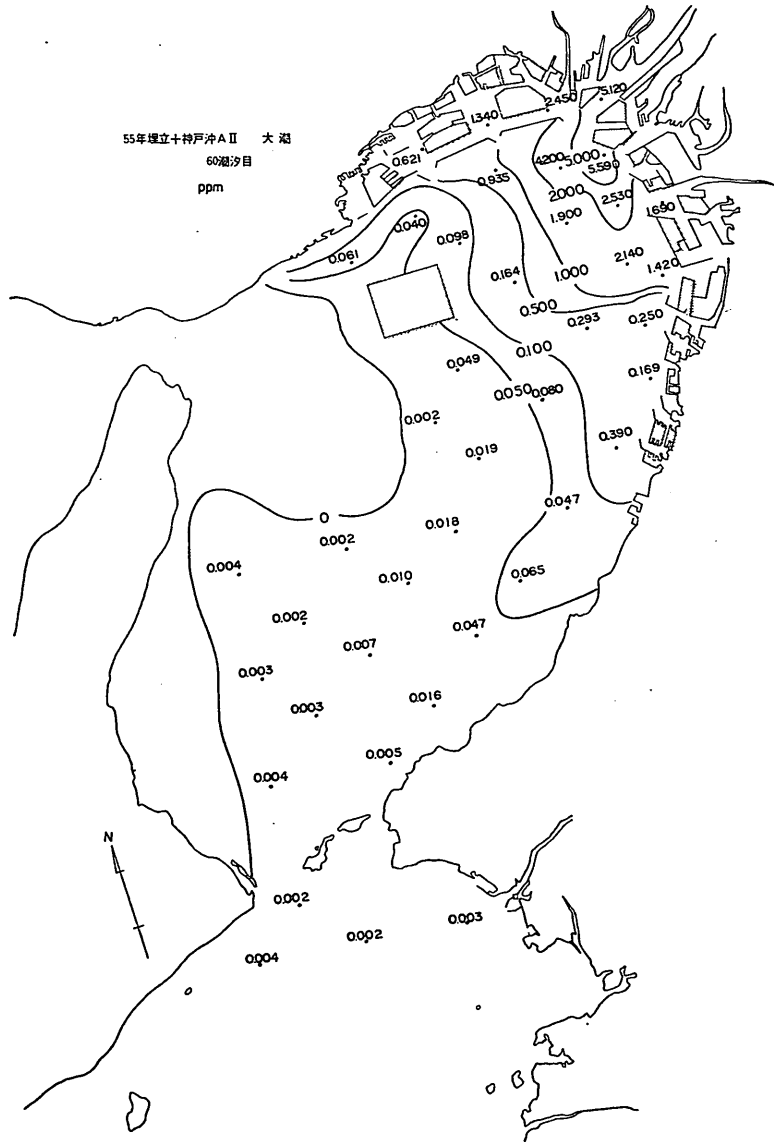


図-74 濃度分布図(55年+神戸AⅡ, 大潮, 60潮汐目)

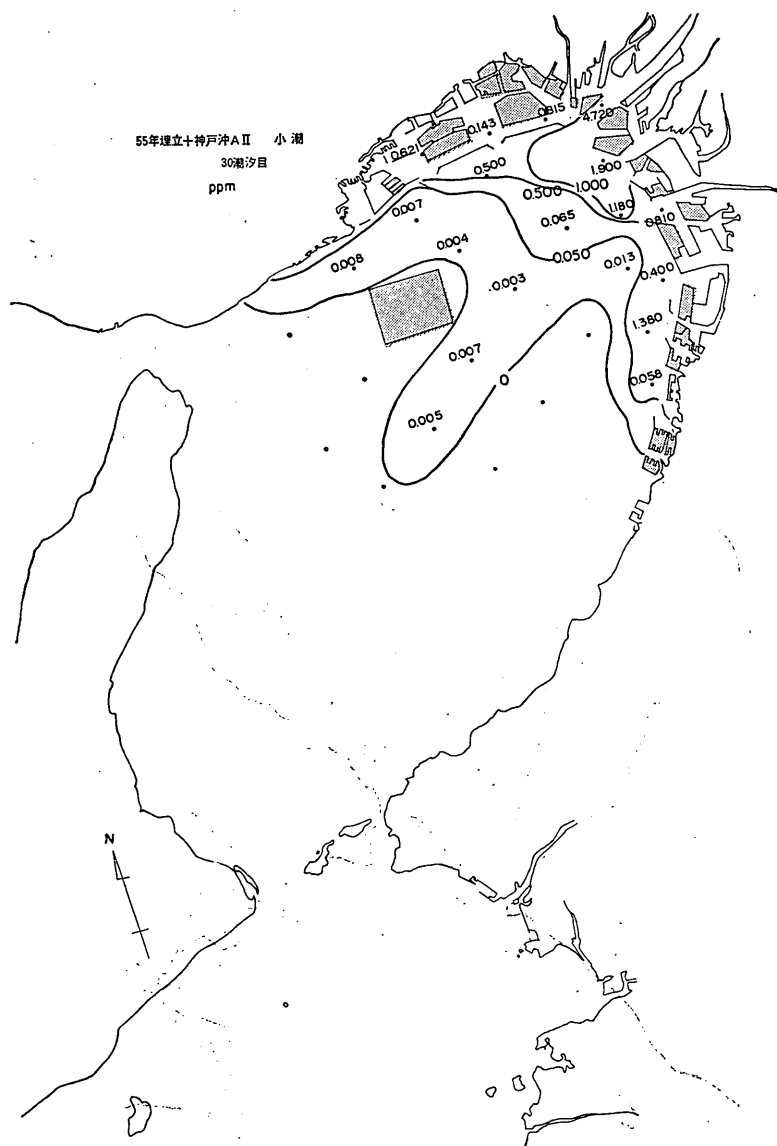


図-75 濃度分布図 (55年+神戸A II, 大潮, 30潮汐目)

大阪湾の潮流と物質拡散に関する模型実験

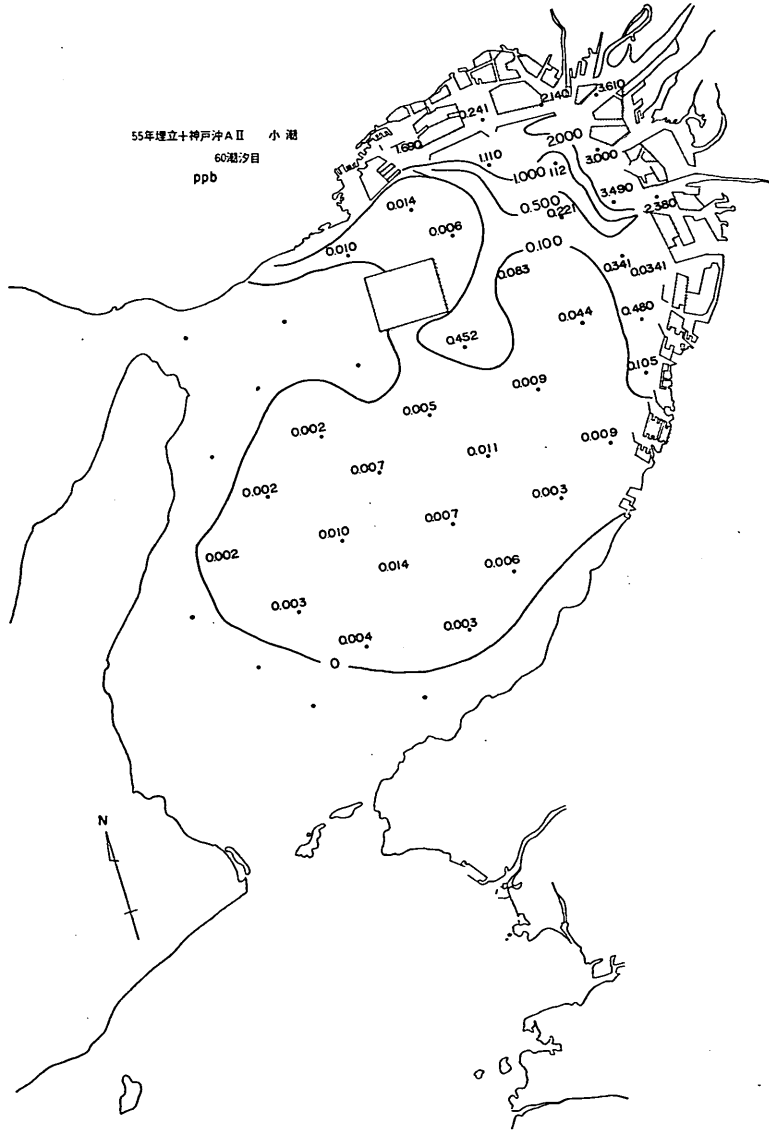


図-76 濃度分布図 (55年+神戸A II, 小潮, 60潮汐目)

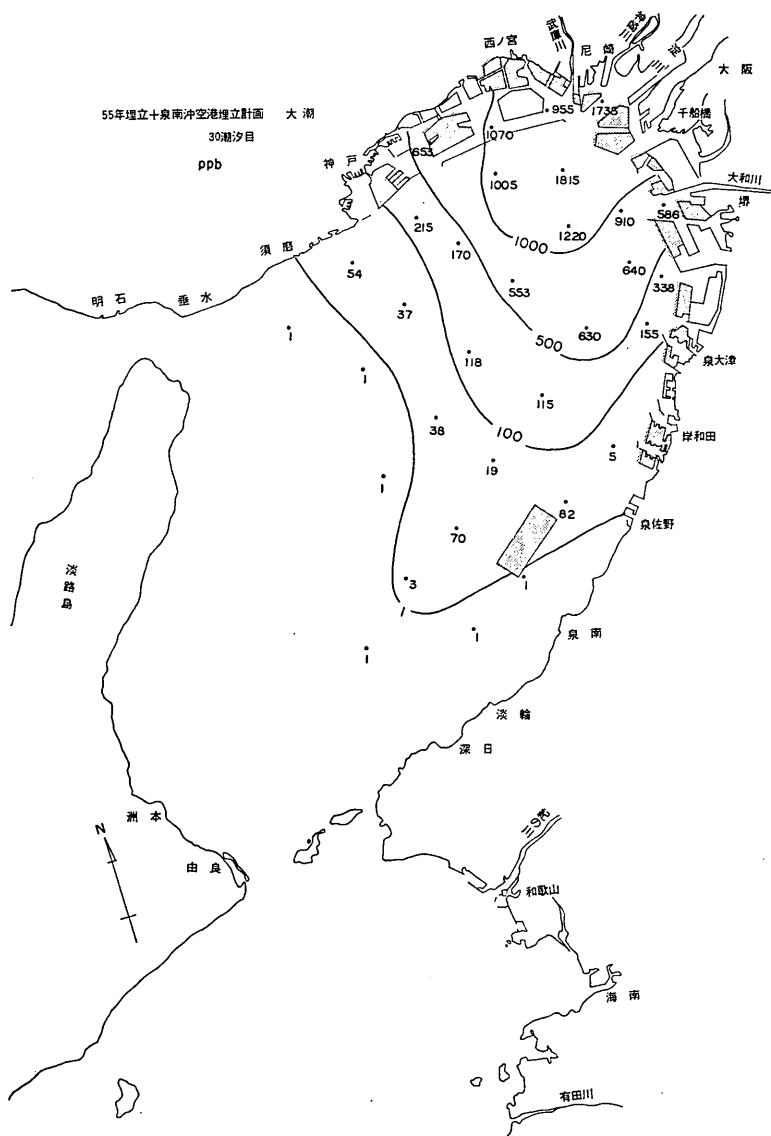


図-77 濃度分布図 (55年+泉南大潮, 30潮汐目)

大阪湾の潮流と物質拡散に関する模型実験

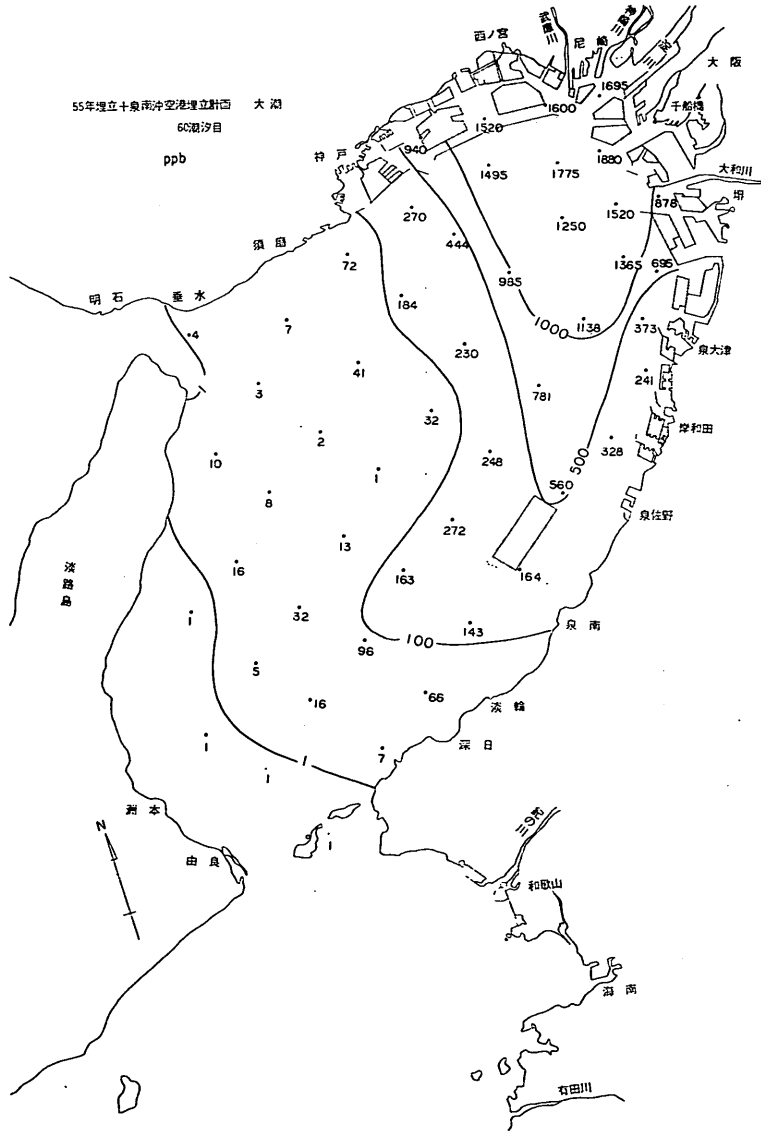


図-78 濃度分布図 (55年+泉南大潮, 60%潮汐目)

が速い。そして拡散の主方向は空港沖側を通過して南下しており、この傾向は潮流の流動と一致している。60潮汐目まで経過すると友ガ島水道からの流れによって明石海峡にまで達しており、ほとんど湾内全域に汚染水が拡散する。(図-78)

小潮時の拡散は大潮時に比べ拡散速度が遅くその拡散範囲も狭い。図-79, 80にみられるように拡散の範囲はほぼ現況と同程度である。拡散の時間経過は他の小潮時ケースと同様にはじめ神戸側に拡がり、その後徐々に河川流の効果をj受けて湾央に拡散してゆく小潮特有の傾向を示している。

(ii) 空港Ⅱ期A案(実験 No. 10)

実験結果の拡散パターンを図-81, 82の各図に示した。潮流実験ではこの空港によって湾全体の流れが湾央に押し出され、漲潮、退潮時空港湾奥側界、泉大津沖の潮流が影響を受けている様相がみられた。この影響が染料投入後の初期拡散の速度を遅らせた形となり図-81の30潮汐目の拡散範囲は小さく、濃度前線が空港沖側を通過して南下しはじめた程度である。空港沖を通過した後の拡散速度は湾内の速い潮流によって移流分散させられ、他のケース同様なパターンとなってくる。図-82に60潮汐目の分布を示したが、湾奥沿岸から空港沖を通る高濃度の染料水の経路が明瞭にみられる。

7.4 埋立に伴う拡散変化

以上各汚染によって各実験ケースにおける定性的特性を観察してきたが、ここで各ケースに対する定量的特性から、港湾埋立および空港埋立による湾内染料拡散状況のケース間の関係を検討してみる。

ただし比較するケースは前記表-5の実験ケースで述べた如く採水装置による影響を除くため新装置による実験のみを採用することにする。(表-5の◎印, 実験 No. 1, 5, 6, 9)

(1) 定点における濃度変化

図-13に示した採水点から水域代表点として、No. 52(湾奥), [No. 46(神戸), No. 43(泉大津沖), No. 36(神戸港), No. 34(泉佐野沖), No. 32(湾央), No. 29(泉南空港)の7点を選定し大小潮別に実験ケースによる濃度経歴を求めた結果を図-83-1~13に示した。それらの概要はつぎの通りである。

No. 52(湾奥)……大潮時現況は30潮汐以後濃度は定常状態に達した模様で、それ以降濃度変化はなく、他の埋立各ケースは10~20潮汐ですでに定常状態となる。当地点は神戸沖空港ケースの濃度が2.5ppmを示して他ケースより高濃度を示すが(図-83-1)他は2.0ppm程度で

一様である。図-83-2の小潮時も大潮時同様に60潮汐ですでに定常濃度に達している。この場合現況ケースの濃度が大きい。

No. 46(神戸)……図-83-3大潮時の濃度変化は一様に潮汐時間に比例して上昇し50~60潮汐ではほぼ定常状態に達しており、図-83-4の小潮は各実験ケース別の濃度変化の傾向は同じだが濃度の絶対値はやや異なっている。けれども60潮汐で定常に近づいていることは判る。このケースでは大、小潮共に神戸沖空港ケースの濃度が大きい。

No. 43(泉大津沖)……各ケースとも一様な濃度上昇を示しており50~60潮汐で定常状態となる。(大潮)ケースの順位は現~神戸~55年~泉南の順で影響度の把握が可能であるが、ここでは神戸~西宮間に設けられる防波堤の効果が強いと思われる。(図-83-5),小潮時各ケースの濃度差があり60潮汐でもまだ定常濃度に達していないのは小潮時湾央に向って拡散分布する傾向があるためと考えられる。

No. 36(神戸空港予定地点)……大潮時(図-83-7)の実験で先づ20潮汐程度までは神戸側に流れて以降湾央に拡散してゆく傾向とよく一致しており、30潮汐以降は他ケース同様な濃度経歴を示しており60潮汐では定常濃度に近づいていると思われる。図-83-8の小潮時は神戸空港ケースの拡散が速く他ケースの散乱が大きい。

No. 34(泉佐野沖)……大潮時図-83-9に示すように現況は40潮汐目でようやく汚水拡散が測得されるが、埋立各ケースは30潮汐で汚染されており拡散速度が速くなったことを示している。60潮汐目の各ケースの濃度は定常状態ではないが現況にくらべ高濃度であり、ともに0.5ppmとなる。小潮時は全般的に拡散が遅くなり且つ湾央に張出す傾向となるため、当地点では測得されない。(図-83-10)

No. 32(湾央)……図-83-11, 12に見られる大潮時60潮汐が急減している現象は不可解でありこの原因は不明であるが、この種の実験で湾奥にくらべ流速の比較的速い定点における濃度の時間変化は増減を繰返しながら上昇してゆく傾向がある。No. 32点においても流速が速くなった関係でこのような現象が発生したものとして理解される。図-83-11と12の大、小潮では現況に対する各ケースの濃度変化の傾向が全く異なって図-83-12の小潮時の拡散速度および濃度が大きいのは小潮時の分散が湾央に進む傾向があるためである。

No. 29(泉南空港)……図-83-13に大潮時の濃度経歴を示したがこの水域でも埋立によって拡散速度が速められ

大阪湾の潮流と物質拡散に関する模型実験

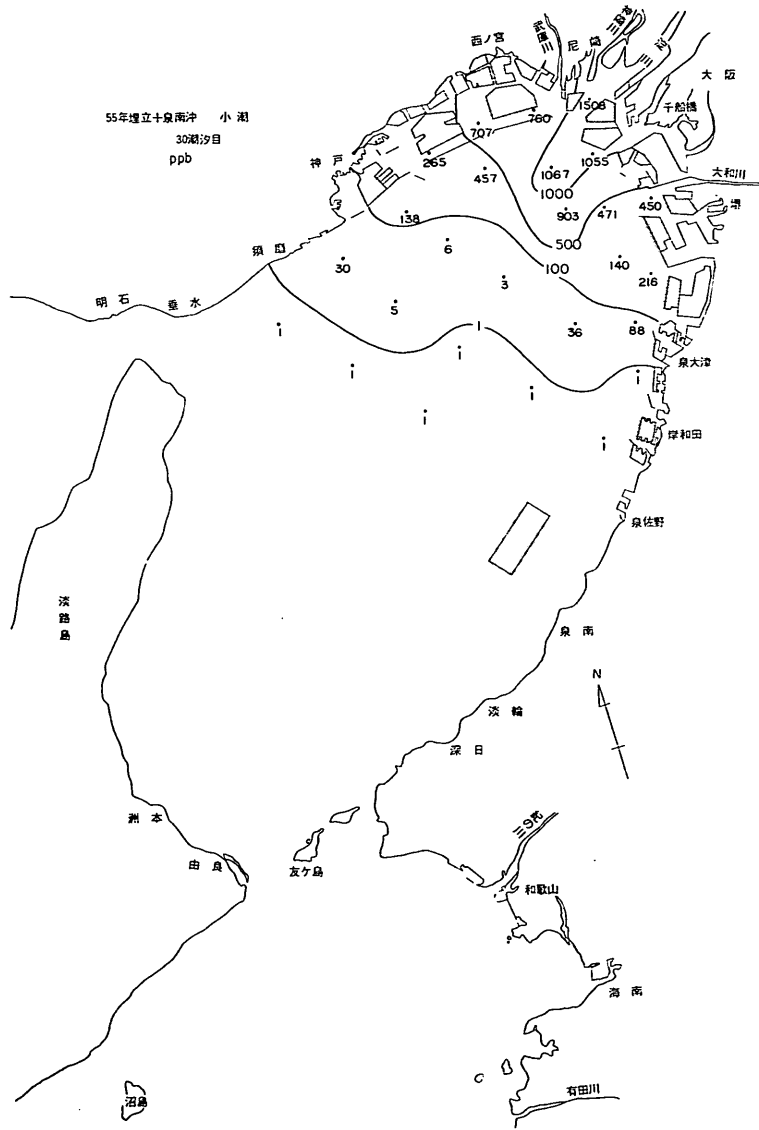


図-79 濃度分布図 (55年+泉南, 小潮, 30潮汐目)

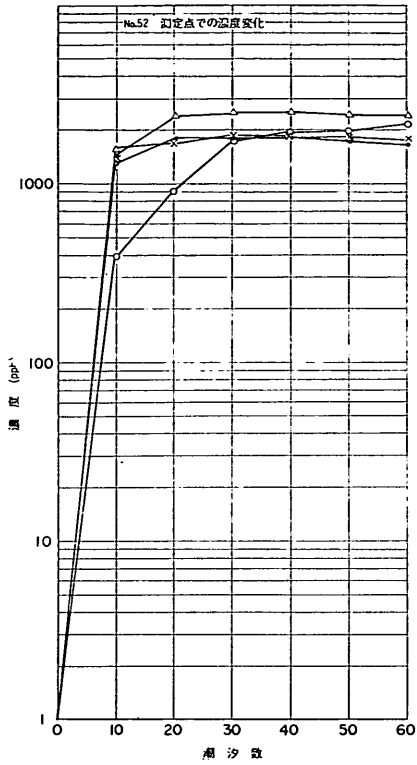


図-83-1 測速点での濃度変化 No. 52 大潮

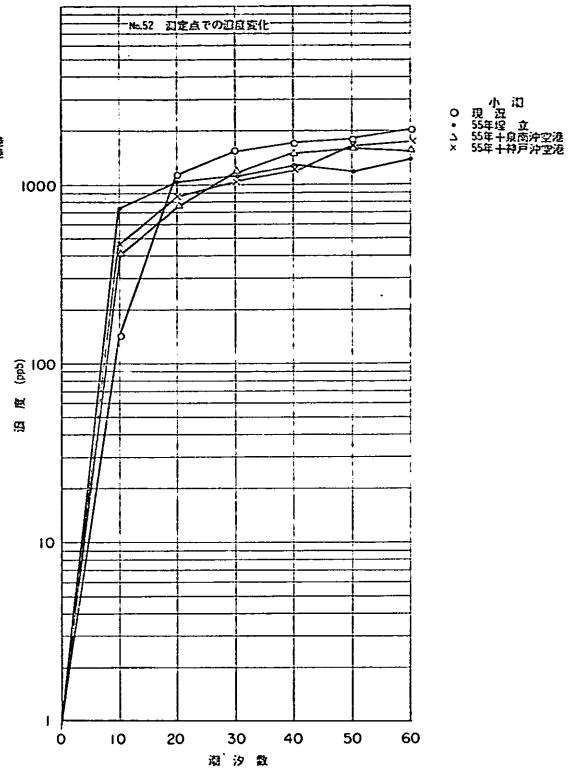


図-83-2 測速点での濃度変化 No. 52 小潮

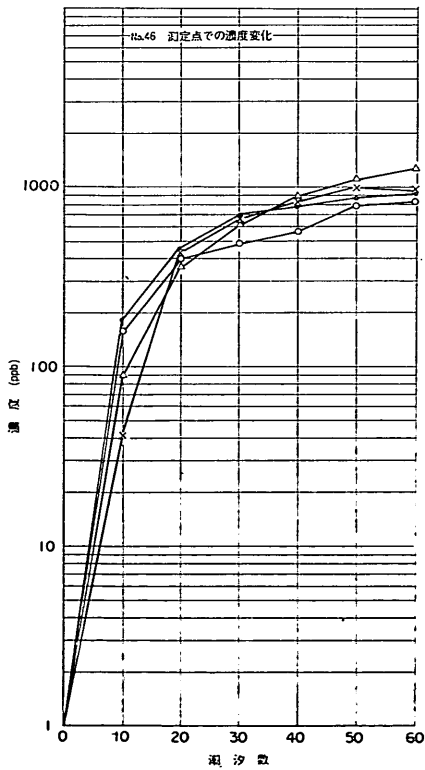


図-83-3 測速点での濃度変化 No. 46 大潮

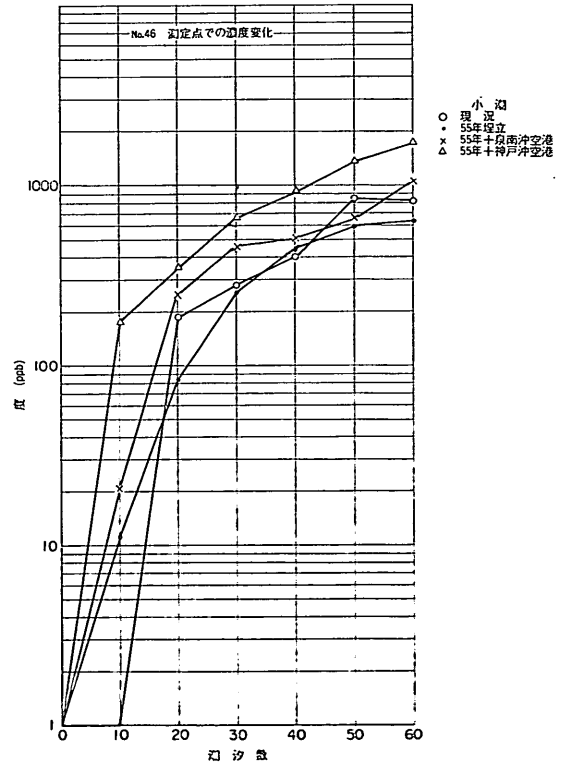
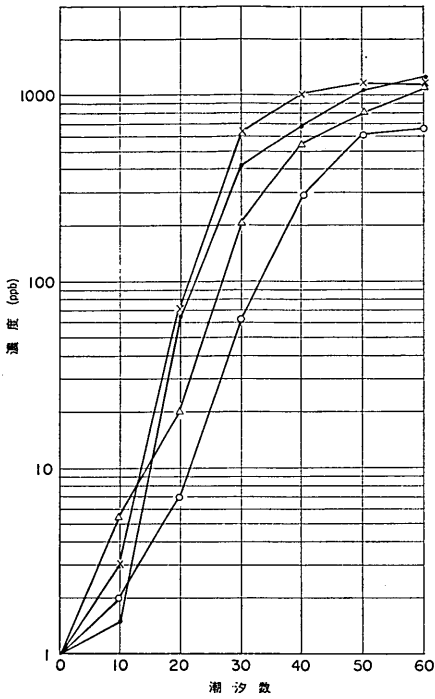
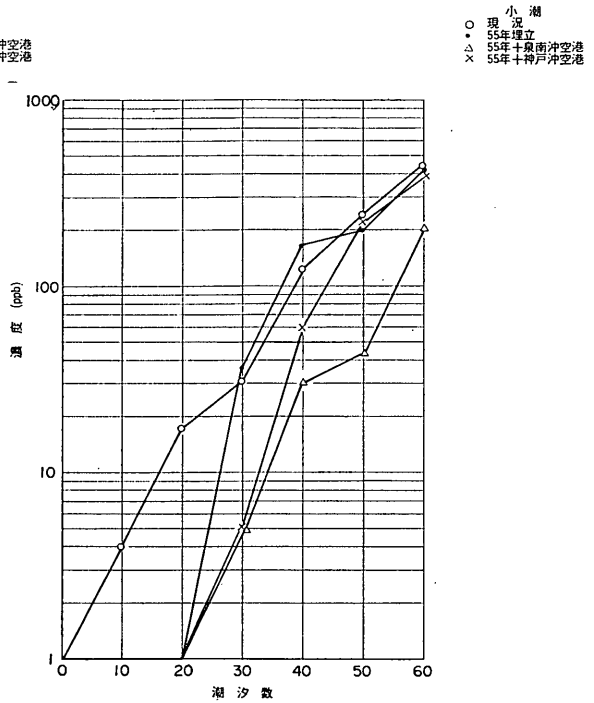


図-83-4 測速点での濃度変化 No. 46 小潮



大潮
○ 現況
● 55年埋立
△ 55年+扇南沖空港
× 55年+神戸沖空港



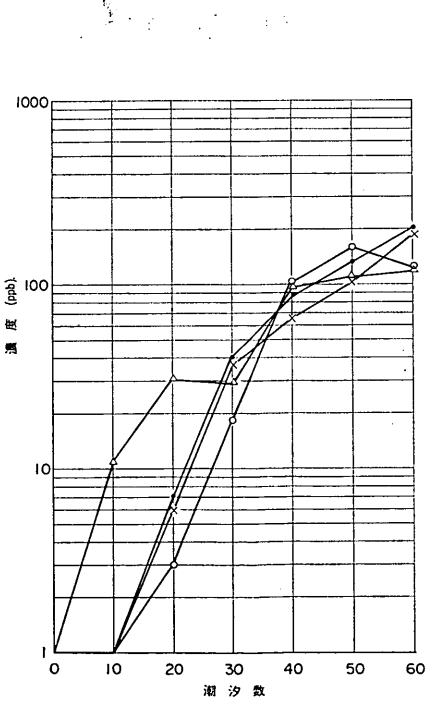
小潮
○ 現況
● 55年埋立
△ 55年+扇南沖空港
× 55年+神戸沖空港

図-83-5 測速点での濃度変化 No. 43 大潮

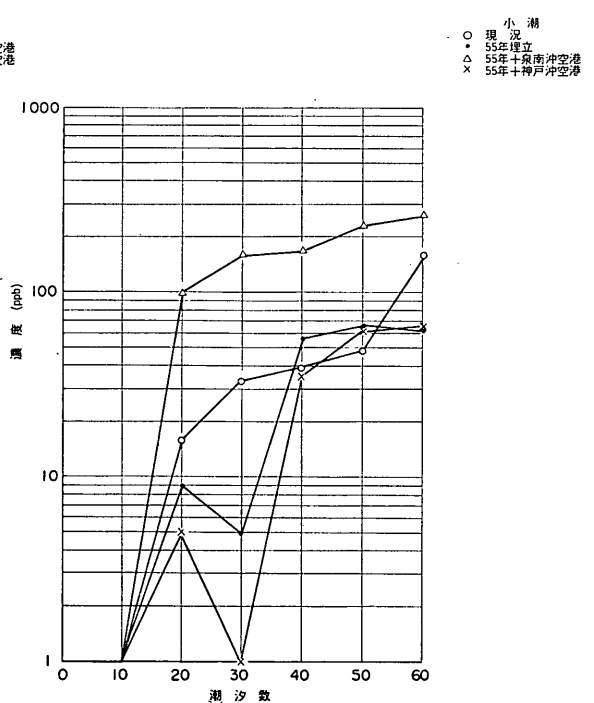
図-83-6 測速点での濃度変化 No. 43 小潮

No.36 測定点での濃度変化

No.36 測定点での濃度変化



大潮
○ 現況
● 55年埋立
△ 55年+扇南沖空港
× 55年+神戸沖空港



小潮
○ 現況
● 55年埋立
△ 55年+扇南沖空港
× 55年+神戸沖空港

図-83-7 測速点での濃度変化 No. 36 大潮

図-83-8 測速点での濃度変化 No. 36 小潮

No.34 測定点での濃度変化

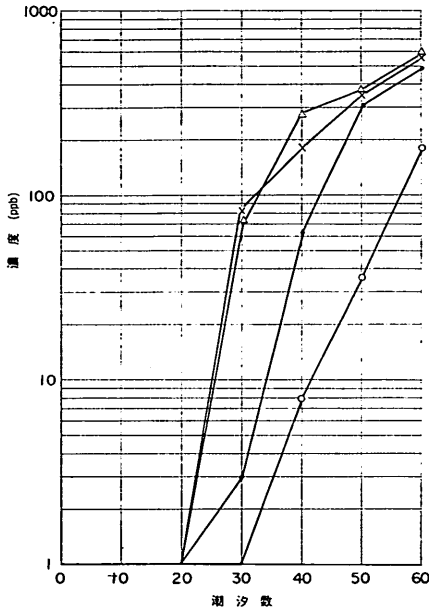


図-83-9 測速点での濃度変化 No. 34 大潮

No.32 測定点での濃度変化

No.34 測定点での濃度変化

大 潮
○ 現 況
● 55年埋立
△ 55年十景南沖空港
× 55年十神戸沖空港

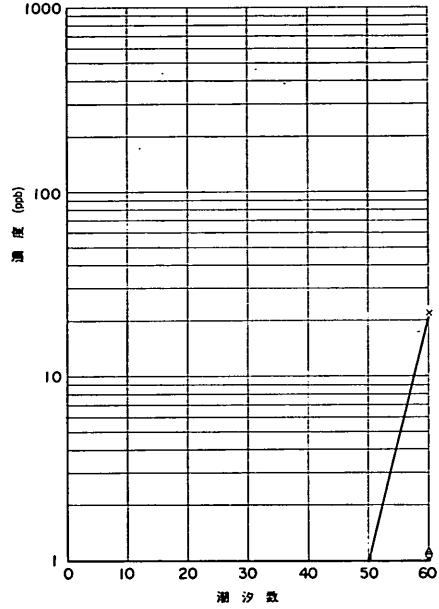


図-83-10 測速点での濃度変化 No. 34 小潮

No.32 測定点での濃度変化

小 潮
○ 現 況
● 55年埋立
△ 55年十景南沖空港
× 55年十神戸沖空港

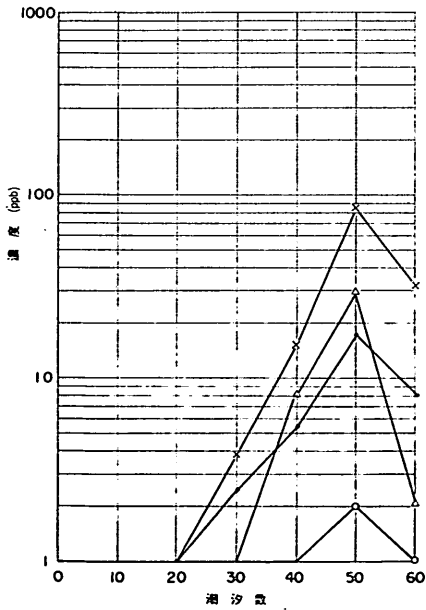


図-83-11 測速点での濃度変化 No. 32 大潮

小 潮

○ 現 況
● 55年埋立
△ 55年十景南沖空港
× 55年十神戸沖空港

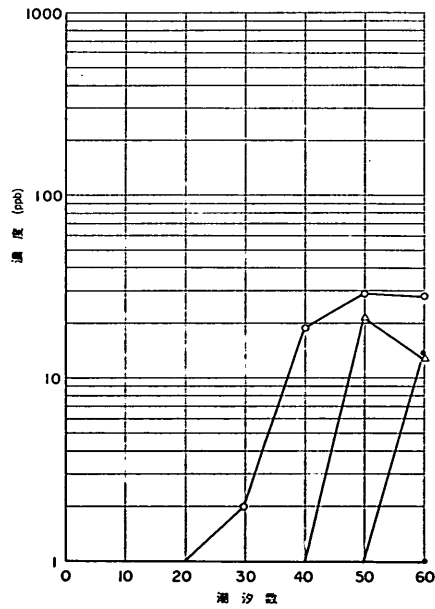


図-83-12 測速点での濃度変化 No. 32 小潮

No.29 測定点での濃度変化

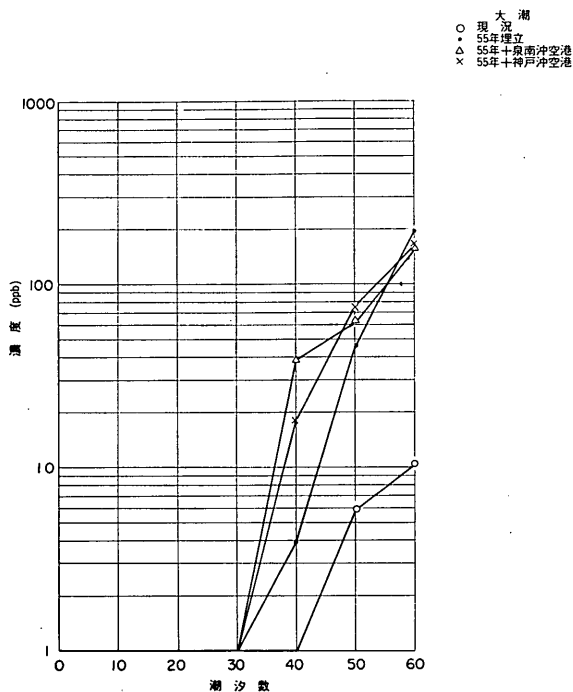


図-83-13 測定点での濃度変化 No.29 大潮

た結果、埋立各ケースは現況に較べて濃度が大きくなっている。小潮時は60潮汐目でもまだ汚染水の流出がないので測定値はない。

(2) 湾全体としてみた拡散分布

湾周辺の沿岸部埋立や、湾内の海上空港の建設によって大阪湾内の汚水拡散現象は潮流とともにその影響をうける等である。この点について前述した定点における濃度経歴によれば埋立によって拡散速度が速められる様相が判ったが、さらに拡散特性の指標として汚水拡散面積のケース別変化を検討することにし、各実験ケースの拡散面積と大阪湾水面積比の時間的変化の比較を試みた。水面積の算出は明石海峡以東、友ガ島水道以北の水域とし、拡散面積は10潮汐ごとの染料水の拡がり（濃度分布の外縁は濃度計で検出可能な最低濃度1~3 ppm）を求め時間（潮汐数）に対してプロットしたのが図-84-1~4の各図である。

大潮時計測器による結果は図-84-1に示したが、各ケースの差異は30潮汐目から発生しており60潮汐では現況55年港湾埋立、神戸沖空港I、泉南沖空港Iの順序で拡散が大きくなり染料拡散面積に対し下記のようなになる。

表-6 汚染面積比較表

(1)

ケース	A/A ₀ (%)		現況に対する比	
	大潮	小潮	大潮	小潮
現況	49.6	36.1	1.0	1.0
55年港湾埋立	63.0	37.3	1.27	0.85
神戸沖空港I	63.7	42.9	1.29	0.83
泉南沖 //	82.5	43.7	1.67	0.98

図-84-1~2 の結果

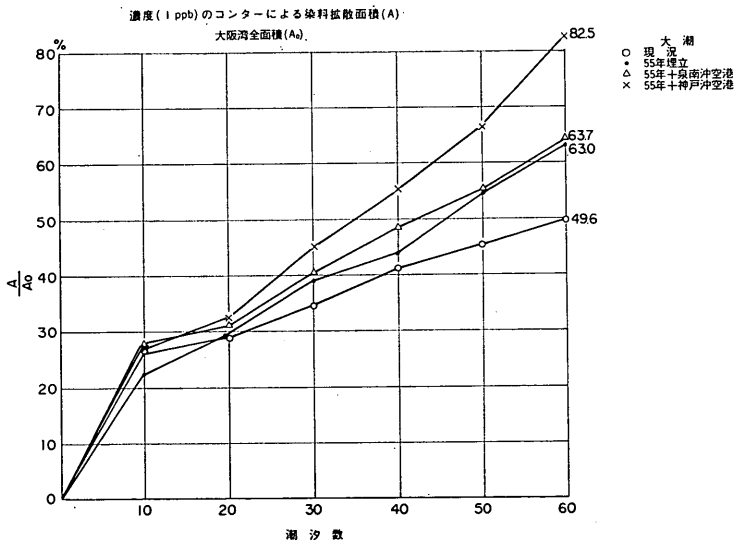


図-84-1 拡散域の時間変化 大潮

大阪湾の潮流と物質拡散に関する模型実験

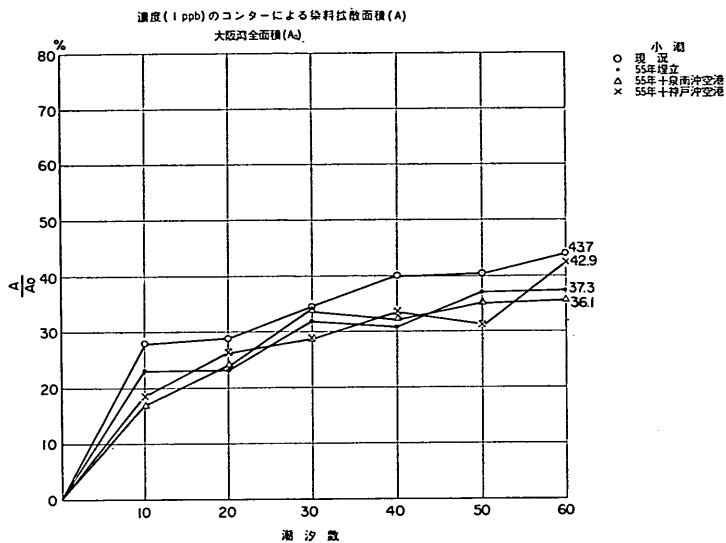


図-84-2- 拡散域の時間変化 小潮

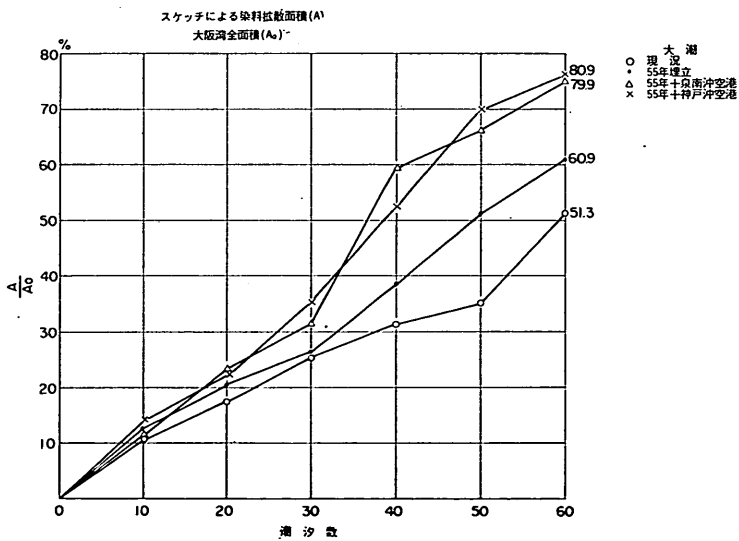


図84-3 拡散域の時間変化 大潮

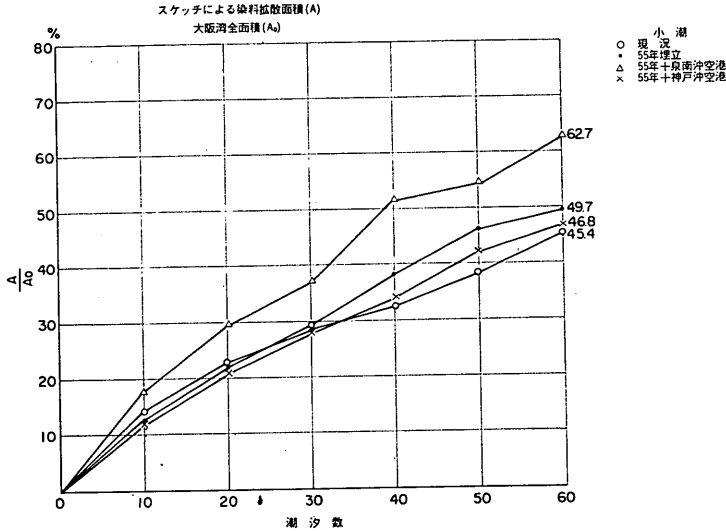


図-84-4 拡散域の時間変化 小潮

小潮時の傾向は図-84-2 に示すように大潮時と反する傾向が得られており、この傾向からすれば小潮時には埋立によって拡散が制圧されるようにも感得される。図-84-3~4は実験中汚水拡散前線を目視観測(スケッチ)によって求めた面積比を示したものであるが、大潮時の(図-84-3)傾向は計測器によって得た傾向(図-84-1)より面積比はやや大きく且つ泉南沖空港Iケースの増加率が大きく出ているが、現況に対してはいずれも拡散速度が速い様相は一致している。図-84-4の小潮時は図-84-2の小潮時に反して大潮時の(図-84-1,3)の傾向と一致して、各埋立ケースの拡散が現況より速い傾向を示している。下表にこれを示す。

(2)

ケース	A/A ₀ (%)		現況に対する比	
	大潮	小潮	大潮	小潮
現況	51.3	45.4	1.0	1.0
55年港湾埋立	60.9	49.7	1.19	1.10
神戸沖空港I	80.9	62.7	1.57	1.38
泉南沖 //	79.9	46.8	1.55	1.03

図-84-3~4 の結果

この計測器および目視観測による差異は、計測器の採水試料は水深の上、中、下層の3層からの試水の混合水のため、濃度が水深方向に単純に平均されている。この

結果濃度前線の希釈されている汚水濃度は濃度計の測定限界以下になる可能性が強い。反面目視観測は水深方向の濃度の積分値が視覚にとらえられるため、濃度前線の把握が過大に落ち入り易い欠点がある。これは A/A₀ の値が目視観測結果の方が大きくなっている傾向からも説明できる。この両手法結果の適否に関しては、個人誤差、採水器配置密度等の要素が関係するので即断できないが、汚水が存在するか否かの事実認定については、目視観測の方が妥当性が強い。そこで目視観測結果を採用すれば、小潮時も大潮時同様な傾向を持つものと推察される。

いずれにしても沿岸埋立、空港埋立によって、現況時よりは湾内の汚水拡散速度が増速されることになり、さらに直接比較はなされていないが、空港規模II案は一層拡散を促進するであろうと推察できる。

8. 考 察

8.1 流 況

(1) 現 況

大潮、小潮時の漲潮、退潮の流況は図-17~24 の各図に示した通り、湾内の主流速は淡路島側の大水深の濡筋を通過して、友ガ島水道、明石海峡から出入しており、湾奥側へは、主流から分派した流れが沿岸添いに廻流する。したがって流速も主流線は約1.0 kt以上であるが、分流した流速は湾奥に近づくに従って流速が低下し大阪港前面では0.1 kt 以下になる。この流れの形態は潮差に

大阪湾の潮流と物質拡散に関する模型実験

関係なく一つの基本パターンとなっており、原型もほぼ同様である。この点からすれば流れの相似性はほぼ満足できると考えられる。原型大阪湾の潮流速の表示は一般に明石海峡を基準点として表示されているが、模型では施設の関係で友ガ島水道を基準とせざるを得なかった。また明石海峡側はポンプ装置によって潮流速を合致させているので潮汐現象を合致させるのは困難であったが、潮流現象について友ガ島水道と明石海峡の振幅および位相差の関係を求めると、振幅 1.5 倍、位相 1~1.5 時間遅れと得られ、この関係を適用した結果では、友ガ島を基準とした図-17~24 の流況はほぼ満足できる関係にあると認められる。

湾内恒流現象は原型同様に沖の瀬付近を中心とする環流の発生があり、大潮時湾東部沿岸水域の南下流が著しい。小潮時には湾内全般的に潮流速が低下し、沖の瀬の環流現象も発生は認められるがその範囲が狭くなる傾向にあり、反面河川流の影響が著しく、湾の長軸方向に湾央へ流出する様相が卓越し、湾東部沿岸水域では北上する恒流が発生してくるのが特徴である。したがって湾奥から湾内に流入する河川流は大潮時には湾東部沿岸に圧流された形で南下し、小潮時には湾央に向かって流出した後、南下恒流に合流し、沿岸近傍では北上恒流となるのが特徴といえる。

以上の模型潮流現象は図-5~9 の原型流況図と対比して、湾総体的な傾向は一応満足し得ると考えられる。

(2) 湾内埋立に伴う流況

港湾計画に伴う沿岸埋立計画50年および55年案のいずれの計画でも、大阪湾全般の流況、すなわち前述した淡路島よりの主流線および湾奥へ分派した回流の基本的パターンを変える程の効果はない。けれども湾奥部特に大阪港より西側沿岸の西宮~神戸に至る防波堤の設置計画は50年、55年案ともに、その前面の流況を調整する様相をみせ、若干増速する傾向にある。特に55年案の退潮時には、淀川河口の埋立地によって河口端が湾内に移された形となるために、河川流は防波堤前面に添って流れる形態を示しており、現況時河川流が陸岸に添って南下した流況と著しい違いが見られる。

空港設置に伴う効果、神戸沖および泉南沖いずれの計画でも、港湾計画同様に大阪湾全般的な潮流の基本パターンに変化は生じていないが、両空港埋立地によって、漲潮流、退潮流ともに湾奥へ廻流してくる潮流が抑制される形となり、湾奥水域での潮流がやや低下する。この結果沖の瀬を中心とした環流状の恒流がその中心を南西方向に移動する様相がみられる。また空港埋立地と陸岸

との間隙は一種の水路状水域となる結果、明石海峡に近い神戸沖空港ケースの場合局部的に増速を示すが、泉南沖空港ケースでは空港南北間に流動してくる潮流が弱いために、増速する傾向はみられない。空港規模期計画についてもI期計画と同様であるが、友ガ島水道、明石海峡から出入する潮流の主流線は空港埋立地によって一層南西方向に抑制される形が明らかになる。

以上のことから大阪湾内大規模埋立地の造成は湾内潮流の流動のパターンを大幅に変化させる程の影響はなく湾奥に廻流してくる潮流をやや抑制する程度である。したがって湾内総体的な影響は少ないといえる。これは空港予定地が元来潮流速の弱い場所であり、湾内潮流の主流線が淡路島よりの大水深深筋に在ることが幸しているためである。また局部的に増速する流速もその絶対値が0.5kt以下であるから航行船舶に対する影響も少ないと判断される。

8.2 汚 染

(1) 相似性について

この種の実験において歪模型が拡散現象を正しく再現できるという理論的根拠はなく、さらに拡散機構が海域の乱れによって生ずることから考えれば、実験再現の方法も完全なものでなかった。けれども模型の拡散の度合いを示す拡散係数は図-16 に示すように、局所等方性乱流理論に基づくコロモゴルフの $\frac{1}{3}$ 乗則に近い傾向を認めることができる。原型大阪湾内の拡散係数は資料が皆無のため検討することもできないが、 r の小さい水域、換言すれば潮流速の弱い湾奥水域では $\frac{1}{3}$ 乗則からはずれ2~22乗に近い傾向である。この違いは、模型のこの水域における乱れが十分でなく、前述した人工粗度による渦動の誘起が不足しているものと推察される。

図-16から推算した原型の拡散係数のオーダーは $10^4 \sim 10^5$ と得られ、一般に言われる内湾海域のオーダーとは一致しているので、拡散については総体的に相似性が保持されたものと思う。

実験濃度について、原型特定点の濃度は湾内に流入後長時間に亘り種々の海象、気象、化学的諸作用を受けた結果であるが、模型ではこれら作用の再現が不能でありトレーサーとして用いた染料も、原型の非保存性物質が主体である汚染指標（例えば BOD, COD など）に対して、ローダミンB水溶液はその性質から保存性物質を対象としたことになる。したがって濃度の絶対値に関しては相似性を保つことは困難で、実験濃度値を直接原型濃度値に換算することはできない。けれども実験から特定時間（60潮汐目）内の濃度分布から各実験ケース間の特

性を比較することは可能である。

(2) 現況の拡散

陸上各点から大阪湾内に流入する汚水の拡散性状は図-59~62に示したように、湾内潮流の流動に対応している。湾内に流入した汚水は潮流によって混合、希釈されて分散するが、長時間後の流動方向を支配するのは湾内の恒流であることが判る。したがって潮流の速い大潮時の拡散は、時間経過に伴って湾奥沿岸水域から、湾東部沿岸に添って南下する恒流によって移動させられており小潮時には潮流速が低下するため、河川流によって湾の長軸方向湾央付近まで拡散し、この付近から友ガ島水道に向って南下する様相を示している。湾奥沿岸部の汚水濃度は連続放流のため10~20潮汐目で、早くも定常状態に達するが、以後濃度の増加は見られない。

実験による現況の拡散パターンは、図-10の各図に示した原型の拡散パターンとはほぼ似ており、各汚染源から流入した汚水が潮流によって付近水域に分散した後、湾内恒流の卓越方向に流動する傾向の相似性は一致しているものと思われる。

(3) 湾内埋立に伴う拡散

港湾計画に伴う沿岸埋立、新空港埋立地の造成によっても湾内潮流の基本的な流動パターンは著しい変化はなかったが、主流線は淡路島側に偏位すること、および湾内への廻流が抑制される結果となっている。汚染拡散現象も潮流変化と極めてよい対応を示しており、基本的な拡散パターンである、湾奥から湾東部沿岸添いに南下する様相は同じであるが、西宮~神戸間の防波堤の設置、淀川河口の埋立地による河口端の湾央側への移動によって、拡散速度は現況にくらべ増速する。図-84-3~4の汚染面積の増大がこれを示す。特に30潮汐以降に増大することは、沿岸部の汚染域が潮流の速い湾央付近に達した後の拡散状況の推移を示したものと推察される。また防波堤内の湾内汚染も図-83に示すように短時間に濃度が定常化することから、湾内と港内の海水交換率の悪化を示しているものと理解できる。

神戸沖空港計画にもなつて大潮、小潮ともに淀川からの汚染水の一部が新防波堤添いに西流し空港埋立地西側を廻って湾央に流出する傾向は、この付近の潮流が低速となったことと一致している(小潮時)。表-6の拡散面積からみた拡散速度は現況に較べ一段と速まり60潮汐目の面積比約1.4~1.6倍となっている。

泉南沖空港計画についても拡散速度が速まることは神戸沖空港の場合と同じであり、拡散パターンも空港埋立地の沖側を南下して友ガ島水道に達する傾向がある。

以上のごとく湾内の汚水の拡散は潮流によって混合希釈されて分散し、放流長時間後の拡散方向は湾内の恒流に支配される。そして湾内大規模埋立地の影響は、一部湾奥水域で濃度の増加する地点が見られるが、大勢は拡散を促進させる効果となっており表-6の傾向からも把握される。

9. 結 論

水平縮尺 $1/2000$ 、垂直縮尺 $1/200$ の模型を使用し半日周潮の潮汐を作用させた潮流および染料拡散実験から大阪湾内の沿岸埋立、および海上空港計画にもなう大規模埋立地の造成が湾内潮流、汚水拡散現象に対する影響を検討した結果つぎの諸点が明らかになった。ただし実験に用いた実験の流体は淡水であり、密度、波浪、風などの影響は全く考慮していない。

1. 港湾埋立計画による神戸~西宮間の新防波堤計画法線が、須磨、神戸の海岸線と一直線状となるため、この付近潮流の流線が調整される効果となり、潮流速が若干増加する結果となる(大潮時)。また淀川河口付近の埋立地は河口端を湾央に移動させた形となり、小潮時の退潮流が湾央に向って助長していると推察されるが、大阪湾全般の流況に対する影響は小さいと思われる。
2. 空港埋立計画(神戸沖および泉南沖)も、友ガ島水道・明石海峡から出入する潮流の淡路島よりの主流線を変えるような影響を持たないが、主流から分派し湾内に廻流する潮流を抑制する様相がみられ、沖の瀬付近の環流の中心を南西に移動させる模様である。また各空港予定地の湾奥側水域で流速低下の傾向が見られるも、停滞するような水域はない。したがって大規模埋立地の潮流に及ぼす影響も、局部的に0.2~0.3ktの潮流増速に止まり、著しい影響はないものと推察される。
3. 湾内汚水の拡散は潮流によって混合希釈させられた後、湾内恒流に支配されて、恒流方向に拡散する。大潮時は湾奥から湾東部沿岸添いに拡散し、小潮時には潮流速が弱いため河川流の影響が強く現われて、汚水の拡散も湾央に向って拡散する傾向がある。
4. 湾沿岸埋立地が汚水拡散におよぼす影響は特に西宮~神戸間の新防波堤によって港内側水域の汚染濃度上昇時間が速まり、埋立地に囲まれた水域でも同様な影響を受ける。これは防波堤設置により湾側と港内側との海水交換を悪化させることを示すものと考えられる。空港埋立地造成の影響は表-6に示したように拡散

大阪湾の潮流と物質拡散に関する模型実験

を促進させる傾向にあり、埋立による汚水の停滯水域は生じない。

10. あとがき

すでに記述したように大阪湾の潮流は紀伊水道、播磨灘両海域の影響をうけている。このため起潮方法も両水域から与える必要があるにも拘らず施設の関係で一方はポンプ装置によっている。このため潮汐現象は原型と合致させることが不可能なため、潮流のみを対象として実験を行なった。潮流現象も大阪湾全般的には再現出来たと信ずるが、友ヶ島水道を基準とせざるを得なかった。さらに汚染実験は我々にとって初めての試みであり、且つこの関係の原型資料が少なかったので相似性を検討することも出来なかった。したがって実験手法も実験を行ないながら検討し、計測方法も常に改善しながら実験を行なって来たが、汚染実験における模型歪の効果、汚染トレーサーとしての染料に関する相似性については早急に解決しなければならない問題である。実験は今後も湾内各種計画の進展にもなる問題について継続される予定であり、その際実験手法の検討、改善、さらには今回実施できなかった現象などについて調査したいと考えている。

最後にあたり、この実験は運輸省航空局の依頼により実施したものであり、実験には筆等の外に片岡真二君、大月克己君、山本正男君（以上第三港湾建設局）等が短期間それぞれ従事した。また実験に先立って原型の資料収集、調査には運輸省第三港湾建設局神戸調査設計事務所、大阪府、兵庫県、和歌山県の関係事務所の方々にも熱心な協力を頂いた。これら関係者には厚く感謝いたします。

(1973年6月30日受付)

参 考 文 献

- 1) 城久：大阪湾の汚濁について、Ocean age, Vol. 3, No. 12, 1971
- 2) 運輸省航空局飛行場部関西新空港調査計画室：関西国際空港計画に関する調査概要，昭和46年9月
- 3) 樋口明生，杉本隆成：潮流による拡散の水理模型実験について，京大防災研年報10B，昭和42年
- 4) R.L. O'connel and C.M. Walter: Hydraulic model test of estuarial waste dispersion, Proc., A.S. C.E SA-1, Jan., 1963
- 5) 城松幸：瀬戸内海の気象と海象，海洋気象学会誌，Vol. 13, No.1~2, 1967
- 6) 山田紀男：大阪湾の潮流と流程図について，水路要報第92号，昭和46年
- 7) 海上保安庁：大阪湾潮流図，海図第6201号，昭和44年5月刊行
- 8) 運輸省第三港湾建設局：昭和46年度大阪湾潮流観測観測報告書，昭和46年12月
- 9) 6) に同じ
- 10) 大阪府，兵庫県：大阪湾環境調査結果報告書，昭和44年
- 11) 運輸省第三港湾建設局：大阪湾播磨灘水質調査報告書，昭和47年
- 12) 環境庁水質保全局：瀬戸内海水質汚濁総合調査結果（中間報告），昭和47年7月，10月
- 13) H.B. Fischer & E.R. Holley: Analysis of the use of distorted hydraulic models for dispersion studies: Water Resources Research, Vol. 7, No. 1 Feb., 1971
- 14) 金子安雄，堀江毅，他：東京湾口航路潮流模型実験港湾技術研究所報告，Vol.12, No.1, Mar. 1973
- 15) 建設省河川局編：流量年表，昭和43年版，其の他
- 16) 2) に同じ
- 17) 10) に同じ
- 18) 東京都公害研究所：都内河川の汚濁機構の解明について(その1)，昭和45
- 19) 平野敏行，杉浦健三：河川流入のある小内湾の塩分分布について，東海区水産研究所報告，No. 22, 昭和33年