

大阪湾で構想されている大規模埋立による流動環境変化 に関する研究

上 嶋 英 機*・田 辺 弘 道**・宝 田 盛 康***・山 崎 宗 広****

1. はじめに

21 世紀を目指す我が国の新しい全国総合開発計画（五全総）が発表され、沿岸海域での開発構想がより活発化する中で、1997 年に成立した環境アセスメント法の実施に向けての具体的な環境評価と環境修復・創造のための技術開発が強く望まれている。特に大阪湾では臨海地域開発整備法の制定により、水深 15 m までの海域が開発可能空間として位置付けられ、現在では大規模な埋立開発構想が多数計画されている。これらの開発海域は海水交換が悪く水質悪化の著しい停滞性水域や河口周辺海域であることから、各々の大規模埋立開発により、大阪湾全体の広域的な流動変化と水質悪化を招くことが予想される。このため、埋立構想によるマイナス影響の回避・軽減と、浄化能力低下による環境悪化を修復するためのミチゲーション技術の開発が強く求められる。

著者らはこれまでに、ミチゲーション技術の研究の一環として、潮流を利用した工学的手法により停滞性水域の水質流動環境を広域的に改善する流況制御技術の開発を瀬戸内海大型水理模型や基礎水槽により進めてきた（上嶋ら、1991；宝田ら、1987；山崎ら、1988）。

本研究では、大阪湾に構想されている大規模埋立開発

として、神戸空港、六甲アイランド南（以下略称、六甲 I 南）、大阪南港沖の新人工島（以下略称、新人工島）、そして関西空港拡張の 2 期、3 期埋立計画（以下略称、関空拡張）の四つの計画について、瀬戸内海大型水理模型実験を実施し、個々の開発に対する湾内流動変化の形態、及び、各々の開発が複数同時期に設置した場合の「複合的な開発」による流動変化と淀川河川水の拡散形態の変化について明らかにする。

2. 実験内容

大阪湾の流況は図-1 に示すように、湾中央部は明石海峡からの循環流が支配し、湾南部には友ヶ島水道からの循環流が分布している。しかし、開発の著しい神戸から泉南沖の湾奥部にかけて強い停滞性水域となっている（上嶋ら、1987）。この停滞性水域には、淀川河川水が流入し赤潮の発生と貧酸素水塊の形成を招いている。この湾奥部沿岸域にはこれまで多くの埋立開発が行われ、ほとんどの海岸が人工化し、埋立地に囲まれた汚濁の著しい人工水域（運河）を形成している。

平成 9 年 4 月現在における大阪湾での大規模埋立構想として、図-2 に示す位置に四つの計画がある。各々の開発規模は、神戸空港が約 270 ha、六甲 I 南が約 330 ha、新人工島が約 300 ha、関空拡張（現空港 1 期 + 2、3 期）が約 1300 ha（2 期：約 530 ha）である。これらの大規模開発が実施されれば大阪湾全体に対する広域的な流動環境の変化が予想される。

そこで、これら開発構想の設置による流動環境への影

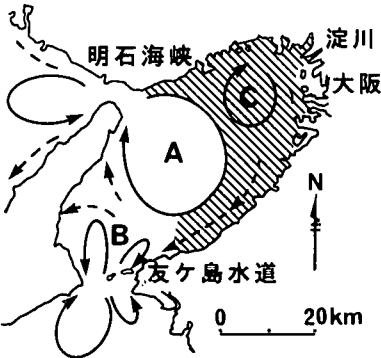


図-1 大阪湾の循環流域（A, B）と停滞性水域（陰影部）

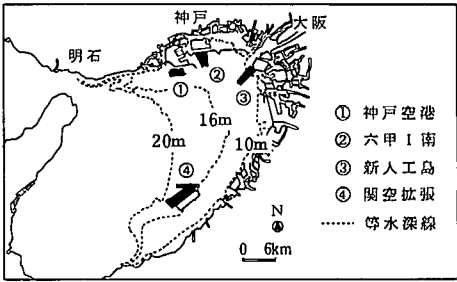


図-2 大規模開発構想の埋立地形位置図

* 正会員 工博 通産省中国工業技術研究所 海洋環境制御部長
** 理修 通産省中国工業技術研究所 海洋制御研究室主研
*** 正会員 工修 通産省中国工業技術研究所 海洋制御研究室主研
**** 正会員 通産省中国工業技術研究所 海洋制御研究室主研

表-1 実験ケース一覧表

実験対象 構想埋立地形	実験 Case
◆ 単独埋立地形による実験	
現在地形 (1997 年現在)	Case 0
神戸空港	Case 1
六甲アイランド南 (略: 六甲 I 南)	Case 2
大阪新人工島 (略: 新人工島)	Case 3
関西空港拡張 (略: 関空拡張) (現 + 2 + 3 期)	Case 4
◆ 複合埋立地形による実験	
六甲 I 南 + 新人工島	Case 5
六甲 I 南 + 関空拡張	Case 6
新人工島 + 関空拡張	Case 7
◆ 全埋立地形による実験	
神戸空港 + 六甲 I 南 + 新人工島 + 関空拡張	Case 8

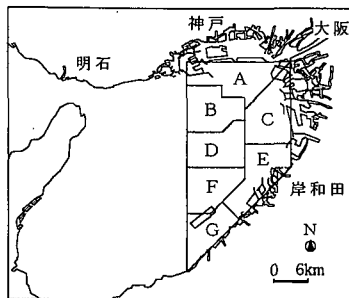


図-3 停滞性水域の7区分図 (海域容量均等区分)

響を湾全体規模の広域的な視点から把握するため、瀬戸内海大型水理模型を使用し、以下の実験項目について実験を行った。

(1) 実験項目

- ①大阪湾全体での流動形態の変化 (循環流規模の変化)
- ②淀川河川水の拡散形態の変化
- ③湾奥部停滞性水域の水循環機構と海水交換性の変化
- ④埋立地に囲まれた閉鎖的な人工水域の流動変化

(2) 実験方法

各々の実験 Case としては表-1 に示すように、Case 0 から Case 8 の合計 9 ケースの埋立地形による実験を行った。その内容は大阪湾の現地形 (1997 年現在地形) を含む、神戸空港、六甲 I 南、新人工島、関空拡張について個々の開発構想地形 (埋立地) を単独で水理模型に設置し実験を行った。

更に、四つの大規模開発構想の内、神戸空港を除いて、六甲 I 南、新人工島、関空拡張の三つの埋立地を互いに組合せた複合的な埋立地形による実験を行った。更に、全ての埋立構想が同時期に設置されたとして、四つの埋立地を同時に設置し大阪湾全体にあたる流動変化等について実験を行った。

実験に使用した瀬戸内海大型水理模型は、世界最大の潮汐拡散水理模型で、水平縮尺 1/2000、鉛直縮尺 1/159、時間縮尺 1/159、模型水量は 5000 m³ である。1973 年に完成して以来、潮汐、潮流の相似性が確立した中で多くの実験研究が行われてきた。

実験潮汐は半日周潮 (M₂ 潮) を与え安定した中で、湾内流動測定には模型水の比重に近い浮標ボールを模型水面に多数配置して写真やビデオカメラにより連続撮影し追跡した。また、湾奥部の停滞性水域内の海水交換機構や滞留時間を詳しく調べるため、図-3 に示すように水

域内を 7 区分 (A~G) し、各区分ごとに色分けした浮標ボールを一定間隔で初期配置し、上げ潮開始時に一斉放流し各周期での浮標ボールの移動・分布を写真撮影した。

一方、流況変化による河川水拡散形態の変化を把握するため、淀川より河川水としてインジゴカルミン水溶液 (青色: 濃度 25 ppm) の染料水を年平均流量 (275 m³/sec: 模型 68.75 cc/sec) で 50 周期間連続放流し、10 周期毎に拡散分布を写真撮影した。

3. 実験結果

(1) 大規模埋立開発構想による大阪湾流動変化

大阪湾での現地形 Case 0 と、開発構想として計画されている 4 ケースの埋立地形を各々単独で設置した Case 1, 2, 3, 4 での流動形態を把握する実験結果と、複合的な埋立地形による Case 5, 6, 7 の同様な実験結果から大阪湾内での流動変化について示したのが図-4 である。この図の流動分布のベクトル長は、1 潮汐周期間の流れによる実質移動距離 (実質変位ベクトル) であり、大阪湾全体の広域的な恒流形態が把握できる。

現地形 Case 0 の流況については、図-1 に示した上嶋ら (1986) が現地観測結果等から得た流動形態を証明するもので、大阪湾にとって明石海峡からの循環流が大きなエネルギーとなっている。その中に大規模な埋立地形を個々に設置した場合の Case 1 から Case 4 の流況分布には大きな変化が現れている。

神戸空港の Case 1 では現地形の流況に比べ湾奥部の停滞性が強まる傾向を示している。Case 2 の六甲 I 南の流況は明石海峡からの湾中央部の循環流中心が東に偏り、循環流によって湾奥部の水域を押し込む形態となり停滞性が強まる。淀川河口に突出した新人工島 Case 3 では、淀川河川水の南下を遮断し、埋立地南側の背後が強い停滞域となって、湾全体の流動形態に大きな変化を与えている。更に、Case 4 の関空拡張での流況分布では、湾中央循環流の規模が縮小分散し、湾奥部西宮沖の閉鎖型循環流の形成により滞留が強まる傾向となる。

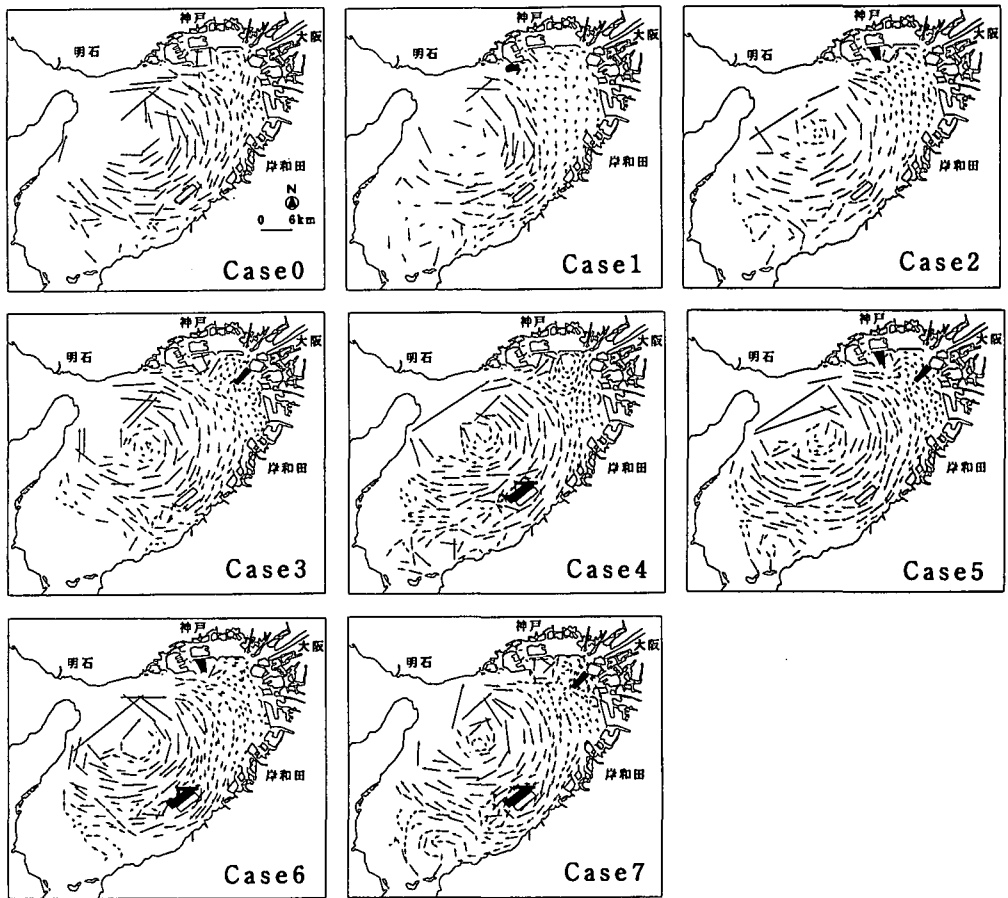


図-4 大規模開発構想による湾内流況分布 (M_2 潮1周期間の水粒子実質変位ベクトル)

次に、複合埋立地形については六甲I南と新人工島の組合せのCase 5では、Case 1, 2で生じたお互いの影響域を維持している。Case 6では関空拡張による湾奥への影響が六甲I南による流況変化を相殺し、全体の影響は緩衝している。Case 7では関空拡張と新人工島の影響がより強調あって複雑な流況となっている。

以上の実験の中で、埋立地周辺の流況について浮標ボールの追跡から流跡を示したのが図-5である。

(2) 停滞性水域における滞留時間の変化

開発構想埋立地による流動形態変化について、特に影響が顕著に現れる湾奥部の停滞性水域に限定して滞留時間や海水交換性について評価するための解析を行った。

図-3に示した7区分に各々配置した浮標ボールの時間的残留量から、区分した各水域での滞留時間を求めた結果が表-2の平均滞留時間、そして現地地形を基準とした平均滞留時間の増減を図-6に示した。なお、平均滞留時間の定義と算出法については武岡(1984)の方法によって行った。全実験ケースにおける解析結果では、前項の流況分布で示した変化傾向を定量的に示している。

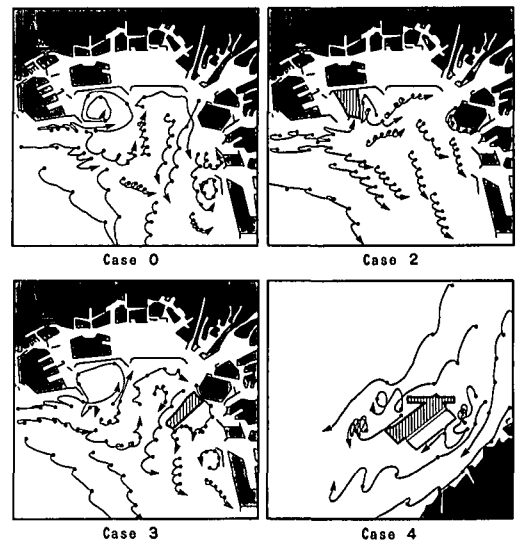
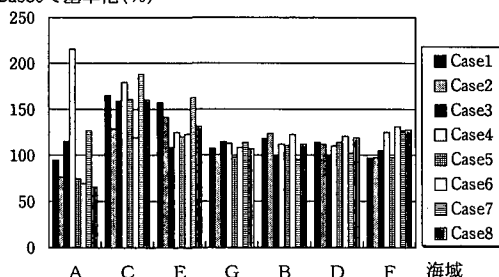


図-5 5周期間の浮標ボールの流跡図 (Case 0, 2, 3, 4)

表一2 各実験ケースにおける海域区分内の平均滞留時間

実験ケース	区分海域の平均滞留時間 (単位: 潮汐周期)						
	A	C	E	G	B	D	F
Case 0	10.0	6.9	5.4	2.1	2.1	1.6	1.8
Case 1	9.5	11.5	8.4	2.3	2.4	1.8	1.8
Case 2	7.7	8.9	7.6	2.1	2.6	1.8	1.8
Case 3	11.5	11.1	5.8	2.4	2.1	1.6	1.9
Case 4	21.6	12.5	6.7	2.4	2.3	1.7	2.3
Case 5	7.5	11.2	6.4	2.1	2.3	1.8	1.8
Case 6	6.9	8.3	6.6	2.3	2.5	1.9	2.4
Case 7	12.7	13.1	8.7	2.4	2.0	1.6	2.3
Case 8	6.6	11.1	7.0	2.3	2.3	1.9	2.2

Case0で基準化(%)



図一6 各実験ケースにおける海域区分内の平均滞留時間の変動 (現地形の平均滞留時間を基準とした比較)

図一6での現地形での平均滞留時間からは、A海域が最も停滞性が強くなっている。この現地形に対して神戸空港のCase 1では、C、E海域で停滞性を増加させ、逆にA海域で交換性が良好となる。六甲I南埋立のCase 2ではA海域で現状より交換性を増すが、C、E海域で共に悪化し滞留が強くなっている。新人工島のCase 3では、A、C海域が停滞性を強め、流出した淀川河川水を長期間トラップすることになる。関空拡張のCase 4では、A海域が現地形の2倍以上の最も高い停滞性を示し、C海域も連動して滞留時間が増し、F海域にも影響が生じた。

複合埋立の実験Case 5では新人工島によるA海域の悪化を六甲I南による効果によって改善されて良好となるが、C海域の停滞性は両方の影響で悪化している。Case 6では、Case 2とCase 4の影響を重ねたものであるが、Case 4で最も悪化したA海域の海水交換が現地形より良好となり、C、E海域も各々単独埋立の場合より停滞性が弱くなった。Case 7では新人工島と関西拡張による影響の重ね合わせであるが、A、C、E海域とも停滞性を強める極めて悪い結果となった。

最後に、四つの構想埋立地を全て配置した総合的な実

験Case 8では、A海域では現地形より交換性が高くなり、C、E海域では他の実験ケースと同様に海水交換が悪くなった。そしてF海域についても現状より停滞する傾向を示した。

以上の結果から、全ての開発構想について停滞性悪化を招く影響海域はC、E海域であり、このため淀川河川水の滞留・拡散に大きな影響を与える。

(3) 淀川河川水拡散形態の変化

上記の実験ケースにおいて、淀川河川水の大阪湾における拡散形態の変化を明らかにするため染料水による拡散実験を行った。現状では富栄養な淀川河川水が湾奥部に位置する河口から湾内に流出し、赤潮発生や有機物汚泥の堆積、貧酸素水塊の発生を招いている。これらは停滞性水域の制御・改善と合わせて大阪湾の重大な環境修復課題となっている(上嶋ら, 1987)。

実験は約1ヶ月間である50周期(M_2 潮)連続して行われた。その実験から10潮汐周期毎の染料拡散フロント(前線)を50周期まで示したのが図一7の河川水拡散分布である。前述した滞留時間や流動形態の変化を反映して河川水拡散の形態からは、各埋立地形は現地形Case 0での拡散分布を大きく変化させる結果となった。しかし、全ての実験ケースにおいて、現地形Case 0の拡散分布より広く拡散したものは無かった。特に、Case 2の六甲I南の影響は大きく、湾奥部に最も停滞する拡散分布を示した。更に、六甲I南の設置によりCase 2, 5, 6では神戸沖のポートアイランドまで河川水が拡散する。また、Case 3, 5, 7の拡散規模は類似している。全埋立地形を配置したCase 8では現地形に比べ拡散規模は小さく停滞性の強い状態となる。

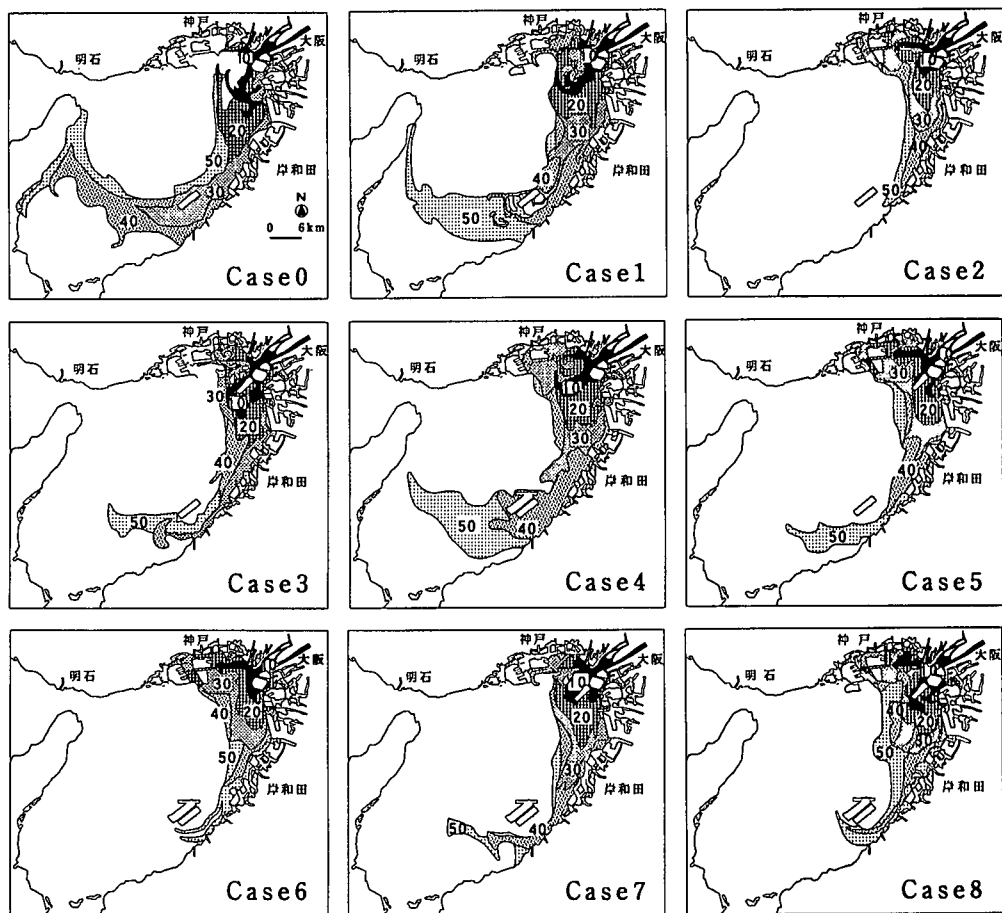
4. 結 語

大阪湾の1997年を現地形として、今後開発が計画されている大規模埋立構想について、神戸空港、六甲アイランド南(六甲I南)、大阪新人工島(新人工島)、関西空港拡張(関空拡張)の四つの埋立地を対象とし、瀬戸内海大型水理模型による実験から、流動形態の変化と、停滞性水域内の滞留時間及び海水交換時間の変化を明らかにした。更に、染料拡散実験から淀川河川水の拡散形態の変化についても確認し、以下の結果が得られた。

① 構想埋立地は、大阪湾中央部の循環流規模と形態を変化させ、湾奥部の停滞性海域の滞留時間を長くした。

② 特に関空拡張では淀川河口域(A海域)の平均滞留時間を現状の2倍以上遅くした。関空拡張と新人工島が同時設置の場合は人工島背後の堺沖(C海域)で最も停滞性が強くなり、現地形の1.8倍も滞留時間を増した。

③ 六甲I南の埋立は全実験ケースの中で淀川河川水の拡散を最も遅らせ停滞させた。



図一七 開発構想埋立地形による淀川河川水拡散分布図 (図中の数字は周期数)

④ 全ての埋立地形及び、複合埋立地形の河川水拡散分布は、現地形より小規模で停滞性を強めた。

⑤ 構想される全埋立地形を配置した実験では、停滞性水域の C, E 海域の滞留時間を長くし、河川水拡散を遅くする結果となった。

以上から、現在計画中の大規模開発構想は大阪湾奥部の停滞性を強め、現状よりも水質汚濁や赤潮発生等を促進するマイナス影響が心配される結果となった。

これらの結果は、あくまでも水理模型実験によるものであり、他の手法での精度確認が要求される。しかし今後、マイナス影響を回避・軽減するための埋立地形の適正配置とミチゲーション技術の適用を図ることが必要であり引き続き研究を進めて行きたい。

参 考 文 献

- 上嶋英機・湯浅一郎・宝田盛康・橋本英資・山崎宗広 (1987): 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.
- 上嶋英機・橋本英資・田辺弘道・宝田盛康 (1991): 流況制御構造物設置による流況制御技術の効果検証実験—瀬戸内海大型水理模型による別府湾大阪湾での実験結果—, 海岸工学論文集, 第 38 巻, pp. 851-855.
- 宝田盛康・上嶋英機・橋本英資・山崎宗広・今村 均 (1987): 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.
- 武岡英隆 (1984): 沿岸海域の海水交換, 沿岸海洋研究ノート, Vol. 20, No. 2, pp. 170-171.
- 山崎宗広・今村 均・本嶋克二・宝田盛康・上嶋英機 (1988): 海底構造物による流況制御技術の研究, 第 35 回海岸工学講演会論文集, pp. 497-501.