

大阪湾沿岸域の埋立て生じる閉鎖性水域の流動環境と その修復に向けた試み

石 垣 衛* ・上 嶋 英 機**・村 上 和 男***
山 崎 宗 広****・辻 博 和*****

1. はじめに

大阪湾の沿岸域では大規模な埋立や人工島建設等によって強い閉鎖性水域が形成され、富栄養化や貧酸素水塊の発生などの問題が生じている。例えば、堺泉北から神戸にかけての湾奥部では歪な形状の埋立で囲まれた水域が数多く創出されたことで、閉鎖性水域の中に流動が低下した更なる閉鎖性水域が形成されている。従来の沿岸域開発・利用では港湾機能および、防災機能に重点を置いた設計が実施されてきたが、このような閉鎖性水域の現状を考えると水域環境と港湾機能が共生すべく、水域の停滞性を緩和し流動を促進する設計手法を開発および、実用化することが必要である。

本研究では大阪湾奥部の代表的な閉鎖性水域である尼崎港に着目し、湾奥部の段階的な埋立が閉鎖性水域を強め水域環境悪化の要因の1つとなったことを現地観測結果および、水理模型実験によって示す。また、当該水域の流動環境の修復を目的に埋立前の流動に復元できる手法の一例を示し、数値解析を用いた水域環境改善効果に関する評価を行った。これらの結果より、今後の沿岸域開発では開発計画の段階から停滞域を形成しない流動環境をデザインする事業計画・設計手法の確立が重要であることを示す。

2. 埋立前後における港内水質の変遷

尼崎港は『大阪湾廃棄物処理事業』によって、図-1に示すように昭和61年9月から埋立が開始され、平成4年には東側護岸の完成により狭い港口で奥行の長い閉鎖性水域が形成され、平成7年に現地形に至った。このような閉鎖性水域の水域環境の問題点を抽出するため、埋立前後における港内外の水質データの解析を実施した。水質データは図-2の●印にて示した11ヶ所で、『大阪湾広域臨海環境整備センター』が昭和62年度～平成12年度の13年間に実施した現地調査の結果から、図中の港内水

域、港外水域における塩分、栄養塩、Chl. a について水質の経時変化を整理した。図-3に港内外の水質の経時変化を示す。また、表-1に港内が閉鎖度を強めた平成4年度を基準にし、その前後の平均水質を示す。

図および表の結果から、塩分濃度は平成4年度以前には港内が港外より平均して低いが、平成4年度以後はほぼ同値を示している。また、栄養塩濃度は平成4年以前に港内が港外より高い傾向にあったが、平成4年度以降にはほぼ同値を示している。これは、埋立によって閉鎖度を増した港内水域が、低塩分・高栄養塩濃度の淀川河口域の港外水の流入を抑制した結果と推測する。一方、Chl. a 濃度は表-1に示す値から平成4年度以前では港内外の濃度差は小さかったものの、平成4年度以降には港内濃度が上昇し、港外濃度が下降することで濃度差が大きくなる傾向を示した。これは、埋立によって港内の海水交換が低下した影響と推定する。

尼崎港の流動改善を目的とした、港外水との海水交換を検討するには、当該水域は淀川河口域に位置することから、栄養塩濃度の高い港外水が流入負荷として港内に及ぼす影響を評価することが必要である。

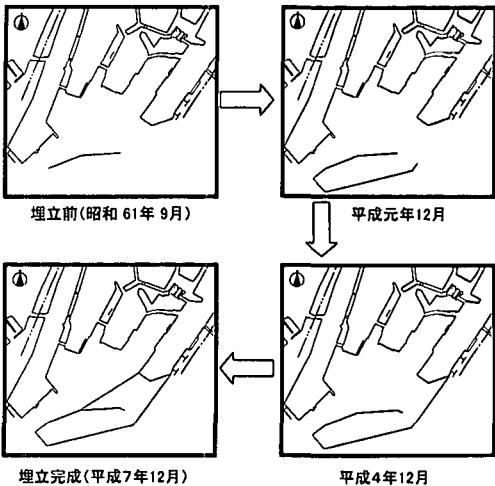


図-1 尼崎港埋立の経時変化

* 正会員 徳島大学大学院工学研究科エコシステム工学専攻
** 正会員 工博 (独)産業技術総合研究所中国センター
*** 正会員 工博 (独)産業技術総合研究所中国センター
**** 正会員 (独)産業技術総合研究所中国センター
***** 正会員 農博 (株)大林組技術研究所環境生物研究室

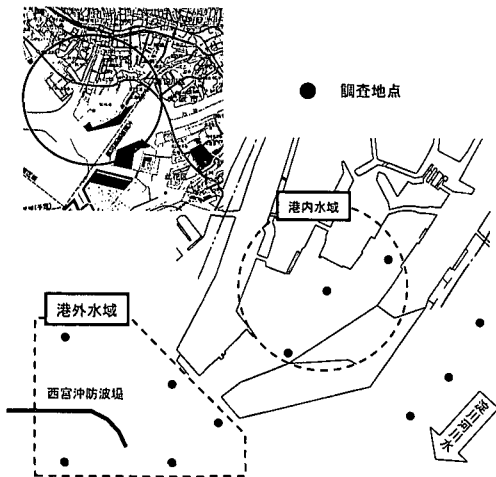


図-2 現地調査地点 (大阪湾広域臨海環境整備センター)

表-1 尼崎港内の水質変動

項目	場所	H4年度 以前平均	H4年度 以後平均
Chl. a 濃度 (μg/l)	港内	57.3	61.6
	港外	52.4	45.6
塩分 (PSU)	港内	15.2	24.4
	港外	19.9	23.5
栄養塩濃度 (mg/l)	T-N	港内 2.49	1.51
		港外 1.43	1.15
	T-P	港内 0.20	0.11
		港外 0.13	0.11

3. 埋立て生じる閉鎖性水域の流動環境

尼崎港内の流動環境評価を目的に、瀬戸内海大型水理模型を用いた水理実験を実施した。当該水理模型は水平縮尺 1/2000、鉛直縮尺 1/159 の垂模型で、水面の広さ約 7,500 m²、保有水量約 5,000 m³であり、瀬戸内海全体を再現した世界最大級の水理模型である。1973 年に完成して以来、潮汐、潮流の相似性が確認されるとともに、上嶋ら (1991) によって、数多くの実験研究が行われている。実験は、埋立によって閉鎖度の増した尼崎港内の流動環境を明らかにするとともに、その改善策の一例として埋立地の一部を開削する効果について検討を行った。

3.1 実験装置および実験方法

図-4 に実験装置および、実験ケースを示す。実験はまず、海水交換の駆動力として期待できる淀川河川水の流入状況を確認するために染料実験を実施した。実験方法は、大型水理模型の淀川から 25 ppm の初期濃度に設定した染料 (青色) を放出し、染料の港内への流入過程を各潮汐周期毎に追跡した。次に、尼崎港内の流動変化を求めるために浮標を用いた水理実験を実施した。実験方法は、図に示すように港内水域に直径約 10 mm の浮標 (比重: 0.95) を初期配置し、M₂潮において 10 潮汐周期

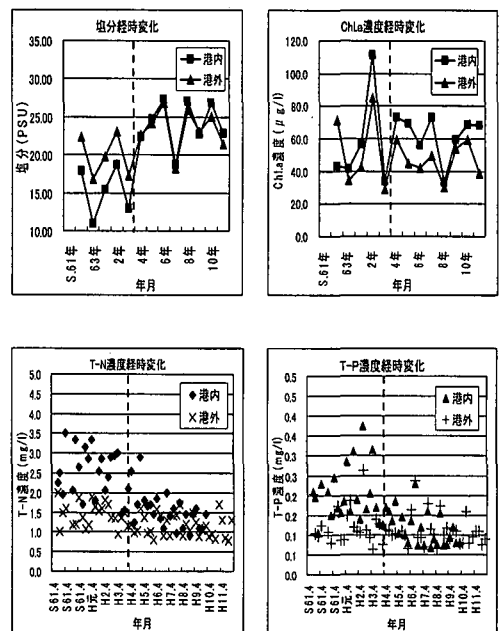


図-3 尼崎港内外水質の経時変化

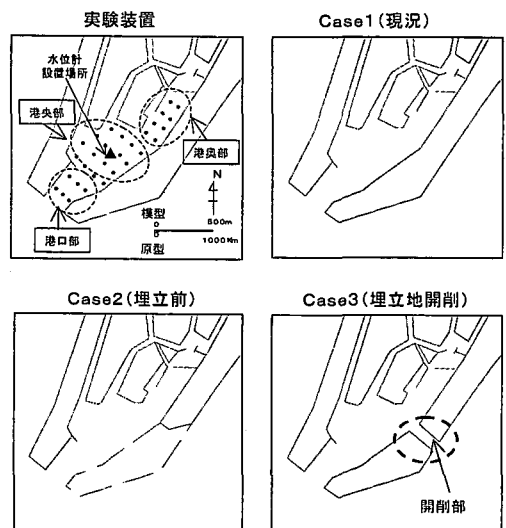


図-4 実験模型および浮標初期配置

間追跡し港内の流跡を求めた。さらに、上げ潮時、下げ潮時における浮標の動きから港内の流動変位を求めた。また、図中の▲印に示す位置にサーボ式水位計を設置し、潮汐にともなう港内水位変動の経時変化を計測した。

実験ケースは図に示すように、現況 (Case 1)、埋立前 (Case 2)、埋立地開削 (Case 3) の 3 ケースとした。ここで、Case 3 の開削は淀川河川水を海水交換の駆動力として効果的に得られることを目的にその位置を設定し、開削の幅を現地スケールで 200 m とした。

3.2 港内における潮位変動

図一5に港内の潮位変動の実験結果を示す。模型の港内水域の潮位変動(M_2)は振幅で1.9 mmの数値を得ており、模型縮尺から現地振幅に換算すると30.2 cmの M_2 潮振幅となる。『日本沿岸潮汐調和定数表』(海上保安庁刊行)によれば尼崎地区の M_2 潮の振幅は30.3 cmであり、潮汐に関する実験の再現性は妥当である。

3.3 港内への淀川河川水の流入状況

図一6に淀川河川水の港内への流入状況を示す。Case 1では染料が港内に流入しないことから、現況の埋立地形は淀川河川水の流入を抑制していることが明らかである。Case 2, Case 3では港内への河川水の流入が確認された。この結果から、埋立によって閉鎖度を強めた港内の流動が、埋立地開削による河川水の流入によって、埋立前の流動に修復できることが期待される。

3.4 流跡および流れ

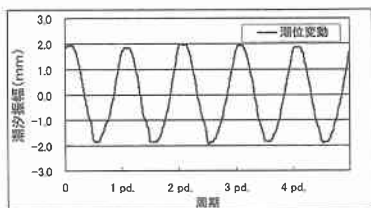
図一7に尼崎港内の流跡線を示す。また、表一2に図一4における各実験ケースの港口部、港央部、港奥部の流動改善指数(各ケース流れ/Case 1 流れの比)を示す。ここで、流跡線は1潮汐周期間の浮標の動きを追跡することで求め、その移動距離から流れを得た。図よりCase 1では、浮標は港口部で潮汐の干満に応じて往復運動をしていることが確認されたものの、港央部、港奥部では浮標

は動かず停滞域を形成している。Case 2では、Case 1と比較して港内全域で浮標の動きがあり、特に港口から港央部では潮汐の干満に応じた大きな往復流を形成している。表一2に示した流動改善指数からも、Case 2はCase 1に比較して港内平均で約4.6倍の流れを得た。Case 3は、Case 1, Case 2に比較して港口から港央部にかけての浮標の動きが大きいことが図より明かであり、流動改善指数からも、Case 1に比較して港内平均で約5.3倍の流れを得た。

3.5 流動変位

図一8に上げ潮時および、下げ潮時の流動変位を示す。図中のベクトル長は、半潮汐周期の流れによる実質移動距離(実質変位ベクトル)であり、上げ潮時、下げ潮時の港内の流動形態を示したものである。

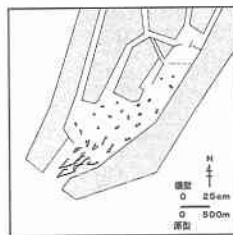
Case 1では前述にて示した流跡線の結果と同じく、1潮汐周期を通じて湾口部には流速が生じるものの、湾央部から湾奥部の流速はほとんど無く、停滞域を形成している。Case 2およびCase 3では、Case 1に比較して潮汐に応じた大きな流速が湾口部から港央部の範囲に存在している。一方で、Case 2, Case 3ともに湾奥部の流れは、湾口部から湾央部の主流域の流速より小さな値となっている。特に、Case 3では、下げ潮時に開削部を通じて港内に入ってくる流れが、開削部を抜けた直近および港奥部



図一5 尼崎港内潮位変動 (水理模型)

表一2 各ケースの流動改善指数

	流れ比 (現況=1.0)			
	港口	港央	港奥	平均
Case 1 (現況)	1.0	1.0	1.0	1.0
Case 2 (埋立前)	2.2	6.66	5.0	4.6
Case 3 (開削時)	3.4	7.7	5.0	5.3



Case1



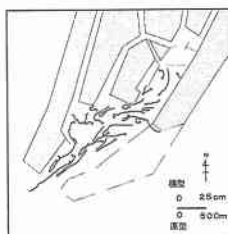
Case1



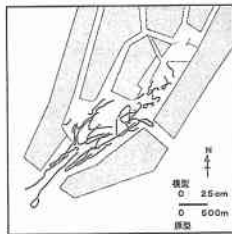
Case2



Case3



Case2



Case3

図一6 淀川河川水の流入状況

図一7 1潮汐周期間の港内流跡線

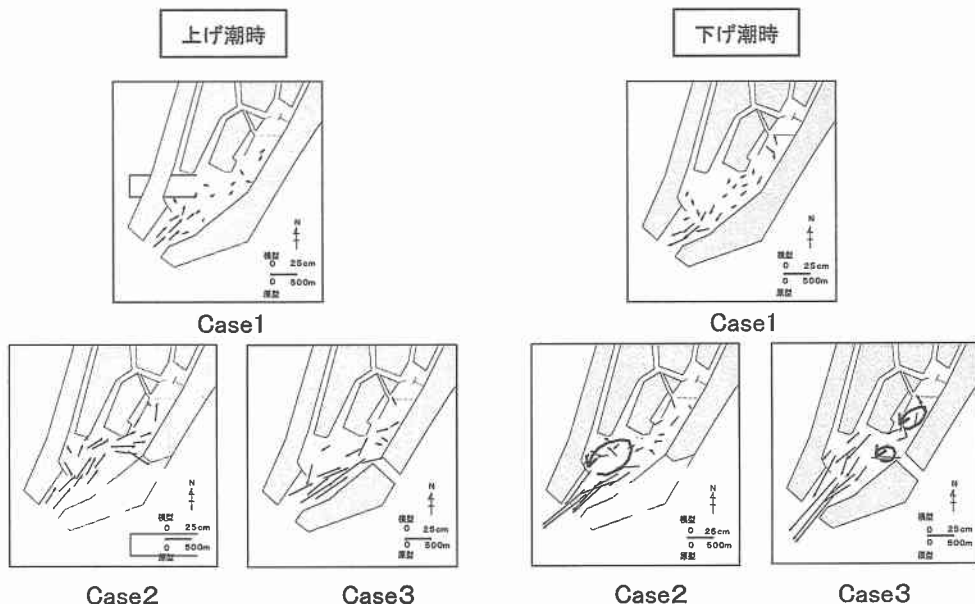


図-8 港内流動変位 (実質変位ベクトル)

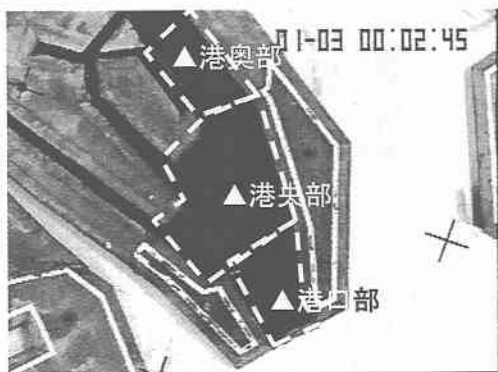


図-9 海水交換評価実験

にて環流を形成している。これによって湾奥部では上げ潮時に流入した水塊が、下げ潮時には環流の影響によって当該水域から外に出ない傾向が推定される。

4. 埋立地開削による海水交換促進効果

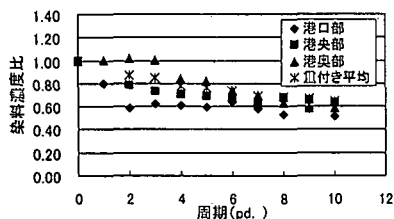
埋立地開削による海水交換促進効果を評価するために尼崎港内の海水交換性能を求める水理実験および、解析を行った。実験は図-9に示すように港内を染料にて均一濃度に設定し、大阪港の満潮時を起点とした港内の染料濃度の時間的变化から港内平均滞留時間および、海水交換時間を算出した。染料濃度の測定点は、図中の湾口部・湾中部・湾奥部を代表する△印の3点とした。実験ケースは、埋立地開削による海水交換促進の効果を評価するために、3.1節にて設定した Case 1, Case 3 の実験地

形を採用した。なお、平均滞留時間および、海水交換時間の算出には武岡 (1984) の方法を用いた。

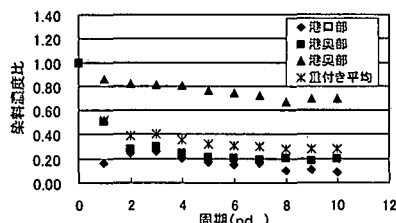
各実験の解析結果は、前述までに示した港内流動変化の傾向を定量的に示す値を得た。図-10に港内の初期染料濃度を 1.0 としたときの染料濃度経時変化を示す。また、表-3に染料濃度の経時変化から算出した両ケースの平均滞留時間および、海水交換時間を示す。

実験から、Case 1 の港内全域で平均滞留時間が 20.4 周期の値を得た。また、当該ケースの湾口部・湾中部・湾奥部の滞留時間の比較では、前述までに求めた流跡線や流速ベクトルの結果に一致して、湾奥部から湾口部の順に平均滞留時間が高い傾向を示している。この結果から、尼崎港の現況では湾口にて潮汐運動による海水交換は期待できるが、湾中部から湾奥部では潮汐運動による海水交換は期待できないことが示された。

Case 3 では、港内全域で平均滞留時間が 5.8 周期であり、Case 1 に比較して海水交換を促進する効果を得た。当該ケースにおける湾口部・湾中部・湾奥部の滞留時間の比較では、湾口部、湾中部ともに海水交換率は高く、平均滞留時間はほぼ同じ値を得た。一方、湾奥部では、染料濃度の経時変化は非常に小さい結果を得ている。これは、3.5 節にて示した実質変位ベクトルの結果から、当該水域では下げ潮時に環流が形成されており、上げ潮時に湾奥部に輸送された海水が下げ潮時には環流の影響によって湾奥部域から脱しきれないことによるものと考えられる。この結果から、埋立地を開削することで尼崎港の海水交換は促進するものの、開削の位置・規模によっては



Case 1



Case 3

図一10 港内の染料濃度変化率の経時変化

局所的な水域の海水交換は改善されない可能性が示されている。よって、今後このような対策案を施す際には、開削の位置・規模に対して最適な設計手法を十分検討することが必要と考える。

5. 埋立地形改変による水質改善効果

5.1 数値解析モデル

埋立地開削による海水交換を評価するために図一11に示すボックスモデルを構築し、平成11年度の現地データを用いた数値解析を実施した。当該水域における海水交換の促進は、港内水を希釈・拡散する機能と、流入負荷を増加させ内部生産を高める機能を持ち合わせている。ここでは数値解析により、埋立地開削時の港内 Chl. a 濃度を求めることで、埋立地開削による海水交換促進の効果を評価した。

5.2 解析結果

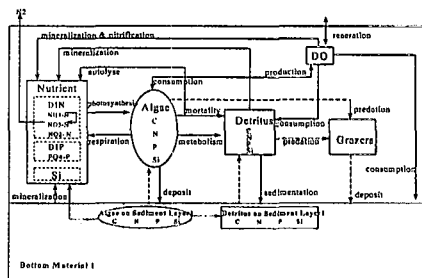
図一12に港内の夏場の Chl. a 濃度の予測結果を示す。また、平成11年度の現地観測結果から求めた夏場の Chl. a 平均濃度の値を示す。図より、Case 3は Case 1より約15%の Chl. a 濃度が減少する結果を得た。また、現地観測結果から港内 Chl. a 濃度は港外より高く、Case 1の予測結果とほぼ一致値している。この結果から、埋立地の開削による海水交換の促進が、港内の Chl. a 濃度を低下させたと考えられ、当該水域では、埋立地開削による希釈・拡散効果が、流入負荷の増加で内部生産を増加させる効果より大きいことが示された。

6. おわりに

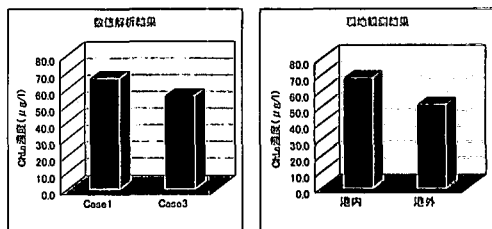
大阪湾沿岸域の埋立てで生じる閉鎖性水域に対して、埋

表一3 港内平均滞留時間および海水交換時間

ケース	領域	50%海水交換時間 (pd.)	90%海水交換時間 (pd.)	平均滞留時間 (pd.)
Case 1	港口部	8.7	28.9	12.5
	港央部	12.1	40.3	17.5
	港奥部	14.5	48.2	20.9
	全域	14.1	47.1	20.4
Case 3	港口部	2.5	8.3	3.6
	港央部	3.1	10.3	4.5
	港奥部	13.3	44.2	19.2
	全域	4.1	13.6	5.8



図一11 水質予測モデル図



図一12 水質改善効果

立によって水域の海水交換が低下し、停滞性を強めることで流動環境が悪化することを示した。また、このような悪化した流動環境の修復に向けた改善策の例を検討し、その有効性を確認したことで、今後の沿岸域開発では計画段階から停滞域を形成しない流動環境をデザインする設計・計画手法が重要であることを示した。

参考文献

- 大阪湾広域臨海環境整備センター(1988-1995): 大阪湾廃棄物処理事業環境監視調査(尼崎沖地区)報告書。
- 大阪湾広域臨海環境整備センター(1996-2000): 環境監視調査(兵庫県域)報告書。
- 上嶋英機・橋本秀資・田辺道弘・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.
- 武岡英隆(1984): 沿岸域の海水交換, 沿岸海洋研究ノート, Vol. 20, No. 2, pp. 170-171.
- 海上保安庁(1992): 日本沿岸潮汐図和定数表, 書誌第742号, p. 47.
- 石垣 衛・辻 博和・山崎宗広・上嶋英機(1999): 沿岸人工水域の環境改善に向けた海域流況制御技術の研究, 海岸工学論文集, 第46巻, pp. 1091-1095.