

大阪湾における残差流系の現況と埋立の影響に関する実証的研究

中谷祐介¹⁾，西田修三²⁾

1) 大阪大学大学院工学研究科 助教

2) 大阪大学大学院工学研究科 教授

1. はじめに

大阪湾では沖ノ瀬環流，西宮沖環流，東岸恒流帯などの残差流系が存在し，湾スケールの物質輸送や生態系に重要な役割を果たしていることが知られている．大阪湾の残差流系については 1980～2000 年代に現地観測と数値実験を両輪とした研究が進められ，例えば藤原ら¹⁾や中辻²⁾に多くの知見が整理されている．しかし，当時から数十年が経過し，今日に至るまでに神戸空港島，関空二期空港島，神戸沖・大阪沖埋立処分場などの人工島が新たに出現したことで，残差流系は大きく変貌した可能性が考えられる．しかし，残差流系の現況と埋め立てによる流動・水質構造の変化については明らかにされていない．

筆者らはこれまで，大阪湾沿岸の地形改変が港域スケール・湾灘スケールの流動，水質，物質循環に及ぼす影響について数値モデルを用いた解析を行ってきた³⁾．その結果，地形改変がエスチュアリー循環に起因する循環流（西宮沖環流）を弱化させ，貧酸素域の拡大や物質循環の変化を招くことを明らかにした．しかしながら，特定の外力条件下における数値シミュレーションの結果を得るにとどまり，実測データに基づく検証には至っていない．

本研究課題では，大阪湾における残差流系の現況を把握するために，湾奥部において一潮汐間にわたる流動と水質の現地調査を実施した．さらに，三次元数値モデルを用いた解析により，大阪湾において行われてきた埋立事業の変遷を辿り，長年にわたる埋め立てが流動・水質構造に及ぼした影響について検討を行った．

2. 方法

1) 現地調査

図 1 に示す湾奥部の 6 地点において，2016 年 10 月 1 日に流動と水質の現地調査を実施した．当日は日潮不等の小さい大潮期にあたり，満潮直前の 5:30 から次の満潮直後の 20:30 まで，2 隻体制で各地点を約 1 時間半に 1 回の頻度で巡航した．各地点では超音波ドップラー式流速計 ADCP (Workhorse 600kHz, Teledyne RD Instruments) と多項目水質計 ASTD (JFE アドバンテック) を用いて流速と水質 (水温，塩分，DO 濃度，濁度，Chl. *a* 濃度) の鉛直プロファイルを計測した．また，表層 1m と 5m の海水を採取し，オートアナライザー AACs-V (ビーエルテック) を用いて窒素，リン，ケイ素の水質分析を行った．

2) 数値シミュレーション

三次元数値モデル (ECOMSED+RCA) を用いて流

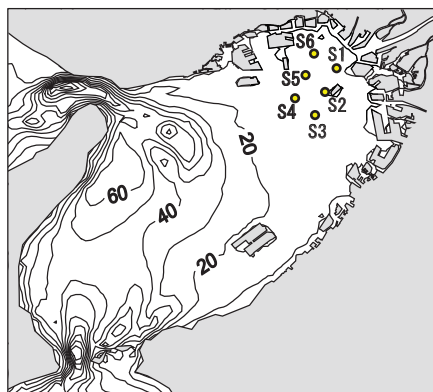


図-1 調査地点

動と水質の再現シミュレーションを行い、現地観測結果と比較することでモデルの再現性について検討を行った。気象条件は沿岸8地点における地上気象観測データを基に設定し、風場についてのみ Kriging 補間により求めた空間分布を与えた。陸域からの流入条件は河川、下水処理場、事業場、浄化槽からの流量・負荷量を45河川に集約して与えた。開境界では実測潮位変動を与えるとともに、境界付近における水質の観測データを基に設定した。水-底泥間の栄養塩溶出フラックスおよび酸素消費フラックスは、水温の他に強熱減量、硫化物濃度、大型底生生物量といった底質性状に依存したパラメトリックな速度式を基に算出し空間分布を考慮した。ECOMSEDでは鉛直渦動粘性係数の評価に Mellor-Yamada 2.5 モデルを用いているが、現地観測によって得られた塩分と流速の鉛直プロファイルの変動について、計算結果が観測結果とよく一致するように鉛直渦動粘性係数のバックグラウンド値の調整を行った。

次に、無風・平水流量条件下において、実際の埋め立ての変遷を辿って地形条件のみを変更した場合の計算を行い現況地形条件の結果と比較することで、長年にわたる埋め立ての影響を評価した。大規模な埋立事業が行われた時期を考慮して、現況地形(2016年)の他に4ケースの過去地形(1946年, 1967年, 1984年, 2000年)を対象に計算を行った。

3. 結果と考察

1) 現地調査

図-1に塩分および東方・北方流速の鉛直分布の時系列を示す。湾奥部の表層には降雨出水による低塩分水が拡がっており、強固な塩分躍層が形成されるとともに、いずれの地点においても成層界面以深では潮汐変動が卓越していた。

図-2に各水深における残差流の水平分布を示す。S1, S2, S6では表層を沖合へ流出

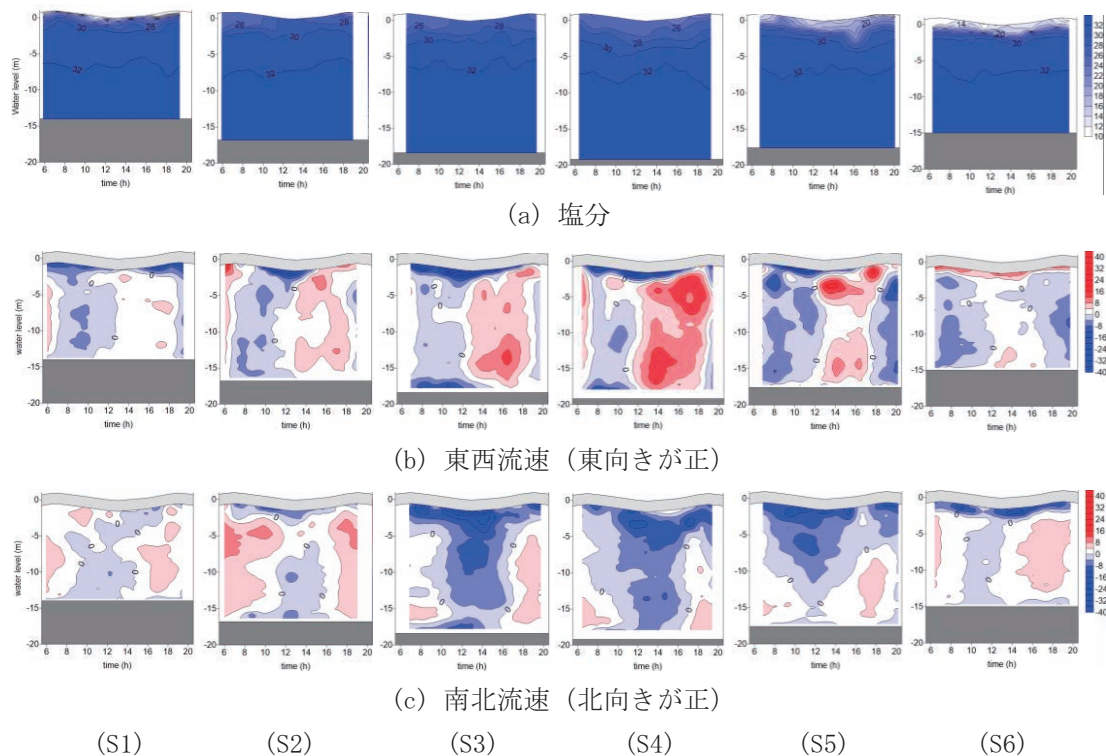


図-2 塩分・流速の鉛直プロファイルの時系列

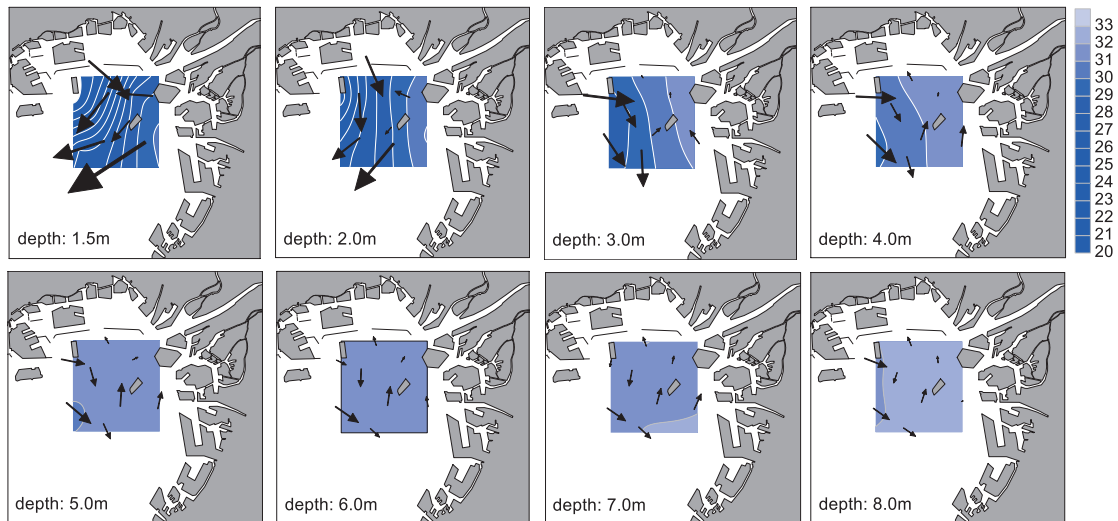


図-3 各水深における残差流と塩分の水平分布

する河川水の補償流が水深 3m 以深においてみられ、エスチュアリー循環が形成されていることが確認された。一方、沖合に位置する S3 と S4 では水深 2m 以浅において河川水の流出に伴う強い南西流が発生しているが、水深 3m 以深では南東方向の流れとなり、下層に向かうにつれて流速が小さくなっている。また、いずれの地点においても残差流の鉛直分布に時計回りの変向が生じていることから、潮汐や密度差に加えて地球自転の効果が湾奥部の流動場に強く作用しているものと考えられる。

既往研究により報告された淀川河口付近を横切るような残差流（西宮沖環流）は、今回の現地調査では確認されなかった。かつて西宮沖環流がみられた海域に現在は複数の人工島が建設されていることを踏まると、環流が移動・変形した可能性が考えられる。一方、淀川河口付近に近年造成された人工島の沖合側では、これまではみられなかった強い南東向きの残差流が観測され、湾スケールの物質輸送に大きな影響を及ぼしているものと考えられた。本研究では一潮汐間の現地調査を実施したが、今後より長期間の流動水質観測を行い、残差流の実態とその物質輸送能についてより精度の高い詳細な解析を行うことが重要である。

2) 数値シミュレーション

既往研究で報告されたとおり、降雨出水時に淀川河口から流出した河川水が北部港湾沖を西流する様子が、再現シミュレーション結果において確認された。しかしながら、近年建設された人工島によってその流れは押し留められ、湾奥部に低塩分水塊が滞留しやすくなっていることが明らかになった。

無風・平水流量条件下における残差流と塩分の水平分布について、地形条件の違いによる比較を図-4 に示す。淀川河川水は過去地形では河口から北岸に沿って流れているが、北部港湾域の整備に伴い淀川河川水の大半は防波堤の沖側を拡がるようになるなど、埋め立てによって低塩分水の挙動が大きく変化している様子が窺える。また、過去地形では湾奥部の中層に高気圧性循環と考えられる岸に沿った大きな時計回り循環流が形成されているが、埋め立てが進行するにつれて循環流は中心位置を徐々に沖合に移動させるとともに弱化している様子が確認できる。

このように、埋め立てが進行するにつれて、成層界面付近にみられる時計回り循環流の位置が沖合に移動するとともに環流の規模が縮小することが数値計算によって示された。このことは現地観測で得られた結果とも矛盾がなく、埋め立てによって湾ス

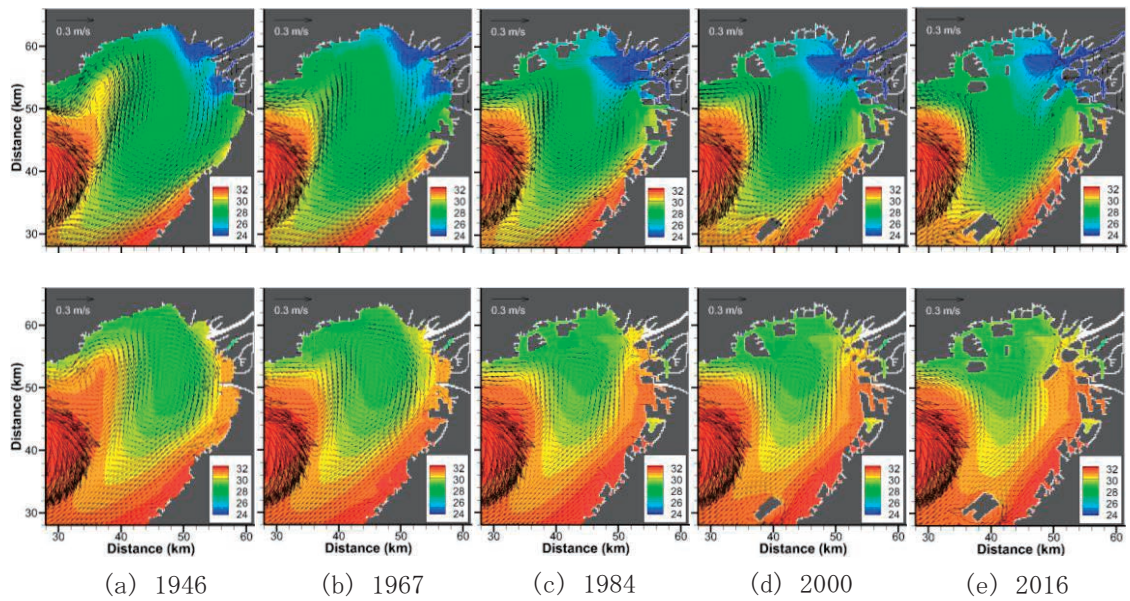


図-4 埋め立てによる残差流と塩分の変化（上段：水面下 1m，下段：水面下 3m）

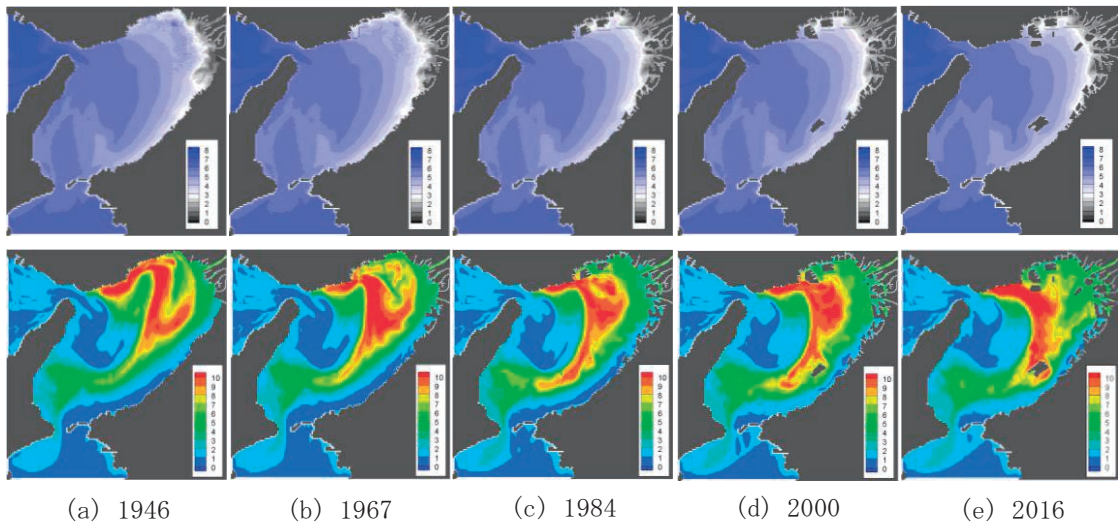


図-5 埋め立てによるChl.-a（上段、水面下 1m, $\mu\text{g/L}$ ）とD0（下段、最深層, mg/L ）の変化

ケールの重力循環が変化し残差流系が弱化した可能性は高いと考えられた。

表層 Chl.-a と底層 D0 の濃度分布について、地形条件の違いによる計算結果の比較を図-5 に示す。埋め立て地の周辺では閉鎖性が強くなり、貧酸素化が進行する傾向がみられる一方で、湾奥部では過去地形においても貧酸素水塊が形成されており、埋め立てが進行する以前から成層化により貧酸素化しやすい海域であったと考えられた。また、数十年にわたる埋め立てによって潮汐フロントの位置や形状は徐々に変化しており、その結果、湾内における一次生産の量や分布も大きく変化したことが計算結果より示唆された。

参考文献

- 1) 藤原ら：大阪湾東部上層水の交換時間と流動特性，沿岸海洋研究ノート，1994.
- 2) 中辻：大阪湾における残差流系と物質輸送，水工学に関する夏季研修会，1995.
- 3) 中谷ら：大阪湾沿岸の地形改変が水・物質循環に及ぼす影響，土木学会論文集 B2，2016.