

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

石垣 衛*・辻 博和**・山崎宗広***・上嶋英機****

1. はじめに

東京湾, 大阪湾の湾奥部域は人工島建設や埋立造成といった各種水際開発事業, さらにそれにもなう防波堤等の築堤によって, 強い閉鎖性水域を形成し, 赤潮や貧酸素水塊の発生などの問題を抱えている。例えば大阪湾奥部域の堺泉北港から神戸港にかけての港湾区域では, 沖合防波堤の設置によって, 堤背後に閉鎖性水域が形成されることで, 堤内外の海水交換が低下し, 当該水域の水質悪化の要因となっていることが推測される。

沖合防波堤の設置目的は, 港湾内の水域浄穏化などの防災が最重要事項であるが, 海域環境の悪化した当該海域の保全・修復を考えたとき, 堤背後水域の流動を促進し, 海水交換能力を向上させる技術の検討も必要となる。そのために, 背後水域の流動を促進させる防波堤構造の検討や防波堤設置条件に関する研究が不可欠となる。

中野ら (1982) は, 既存の防波堤構造を透過型に改変することで, 港湾内水域の海水交換を促進することを試みているが, 期待された効果を必ずしも得ていない。

Jiangら (1983) は, 防波堤の配置を考えることによって港湾水域内に循環流を発生させ, 堤体水域の海水交換を促進することを試みている。

本研究では, まず沖合防波堤の存在が流動環境に与える影響を上嶋ら (1991) が用いた瀬戸内海大型水理模型により明らかにした後, 沖合防波堤の存在にともなう背後水域の流動環境の改善を目的に, 従来の不透過型防波堤に代わる透過型防波堤を提案し, その効果を平面基礎水槽に設定したモデル港湾の水槽実験によって検討した。

2. 防波堤で囲まれた湾奥部流動環境の把握

2.1 水理模型実験装置および実験方法

大阪湾奥部の防波堤で囲まれた水域の流動環境を把握するために, 瀬戸内海大型水理模型による水理実験を実施した。実験に用いた水理模型は, 世界最大の潮汐拡散

水理模型であり, 水平縮尺 1/2000, 鉛直縮尺 1/159, 模型水量は 5000 m³である。

ここでは, 実験対象モデル水域を大阪湾奥部の某港とし, 沖合防波堤の存在が背後の水域の流動環境に与える影響を検討した。実験方法は, 浮標ボール (直径 35 mm, 比重 0.92) を図-1 に示す水理模型内の某港内に均一に初期配置 (図中●印) し, M₂潮において 5 周期間追跡することで防波堤背後水域の流動を求めた。実験ケースは, 防波堤の存在の影響を把握するため『現況ケース (防波堤あり)』, 『防波堤なしケース』の 2 ケースを設定した。

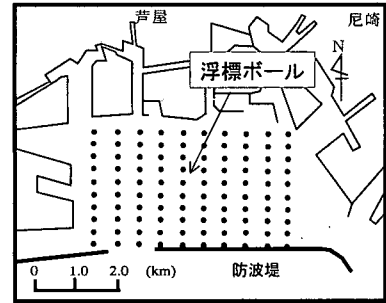


図-1 実験水域地形および浮標初期位置

2.2 実験結果と考察

図-2 は, 一潮汐周期間の浮標の流跡を, 上げ潮後の憩流時をスタートとして●印で示し, 各ケースについて, 5 周期間追跡した結果を示したものである。

防波堤が存在している現況ケースでは, 防波堤内西側の水域で時計周りの循環流が存在し, 中央部から東側水域では西から東への一方向の流れが見られるものの全体的に停滞している。防波堤なしのケースでは, 流れは水域内に阻害されることなく, 全体的に西から東へ向かう大きな循環流を形成した。

両ケースにおける浮標の滞留時間に着目すると, 現況では初期配置した浮標のほとんどが 5 周期経過後も港内に存在した。これに対して防波堤なしのケースでは, ほとんどの浮標が 3~4 周期で港外へ流出した。

これにより, 沖合防波堤の存在は, 某港内の流動場を抑制し, 水域の滞留時間を増大させる要因であることが

* 正会員 株式会社大林組 技術研究所 環境生物研究室
** 正会員 農博 株式会社大林組 技術研究所 環境生物研究室長
*** 正会員 通産省 中国工業技術研究所 海洋制御研究室
**** 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

明らかになった。

3. 防波堤構造の変更による流動環境の改善

瀬戸内海大型水理模型による実験によって、沖合防波堤の存在が背後水域の流動環境に大きな影響を及ぼすことが明らかになった。ここでは沖合防波堤の存在にともなう背後水域の流動環境改善を目的に、防波堤の構造を改善することを試みた。

防波堤構造の変更にあたっては、既設位置を保持したまま、背後水域の流況制御を実施することを考え、透過型防波堤を取り扱った。ここで、透過堤の透過構造は、『波は消すが、潮流はある程度通過する』条件のもと、捨石堤を想定した。

なお、捨石堤にすることで、透過部が石積み浄化堤の役割を果たし、その礫間接触酸化による浄化機能を発揮することで、堤周辺水域に対する海水浄化にも、おおいに貢献できると考えている。

3.1 平面水槽実験装置および実験方法

某港を単純化したモデル港として、図-3に示す水理模型を平面水槽に設置した。水槽内における港湾区域規模は、5m×6mとし、防波堤模型の規模は堤長3m、堤体幅0.2m、高さ0.3mとした。

透過型防波堤の仕様として、8mmメッシュのステンレス網の籠に直径1cmのビーズ玉を詰め込んだ模型(断面開口率：約50%)を採用した。

実験は、潮汐の周期、振幅を一定とし、潮汐の発生には平面水槽に設備されているプランジャー式起潮装置を用いて、周期180秒、振幅1cmの潮汐を設定した。

実験ケースは、図-3に示すように堤体長を4分割した上で、堤体1～堤体4とし、透過位置を表-1に示す透過堤と不透過堤の組合せによる5ケースとした。

計測では、模型内に設定した港内に図-3に示す浮標ポールを20cm間隔格子状に均一に配置し、一潮汐周期間あたりの浮標の流跡および流程を計測することで水域の流況を求めた。更に、上げ潮最強時および下げ潮最強時の流速ベクトルを求めることで港内における流速分布を求めた。また、水域の流出入の水量バランスを求めするため、図-3に示す開口部1、開口部2の9地点(10cm間隔：計18地点)に、二次元電磁流速計(アレック電子製 ACM-200 P)を設置し、各実験ケースにおける流速分布を測定し、開口部の断面平均流量を算出した。

3.2 堤体内の透過水量の確認

各実験ケースにおいて、透過堤模型内を水が通過しているかを調べるため、図-3に示すように二次元電磁流速計を透過堤中心部に設置し、通過流速の測定を行った。

流速計は、堤体長に対する法線方向にy軸を正とし、堤体長に対し平行の方向にx軸とした。

図-4は、代表的な実験ケースとして、Case 2(1/4透過)とCase 5(全透過)の主流方向であるy軸方向成分

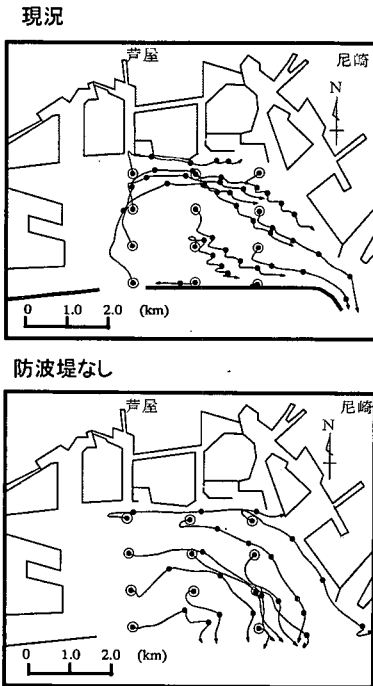


図-2 沖防波堤が背後水域に及ぼす影響

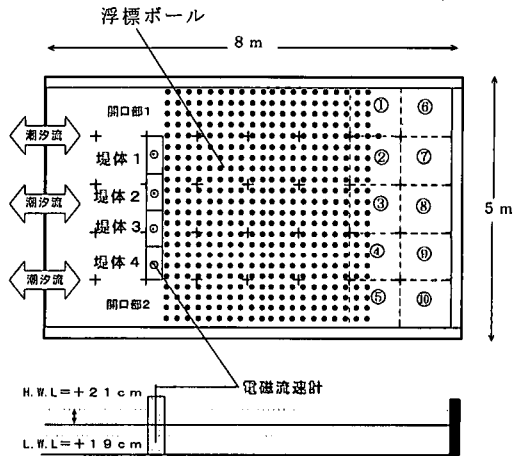


図-3 実験装置概略図

表-1 実験ケース

ケース	堤体1	堤体2	堤体3	堤体4	潮汐 (cm)	周期 (秒)
Case 1	不透過	不透過	不透過	不透過	1.0	180
Case 2	透過	不透過	不透過	不透過	1.0	180
Case 3	透過	透過	不透過	不透過	1.0	180
Case 4	透過	不透過	透過	不透過	1.0	180
Case 5	透過	透過	透過	透過	1.0	180

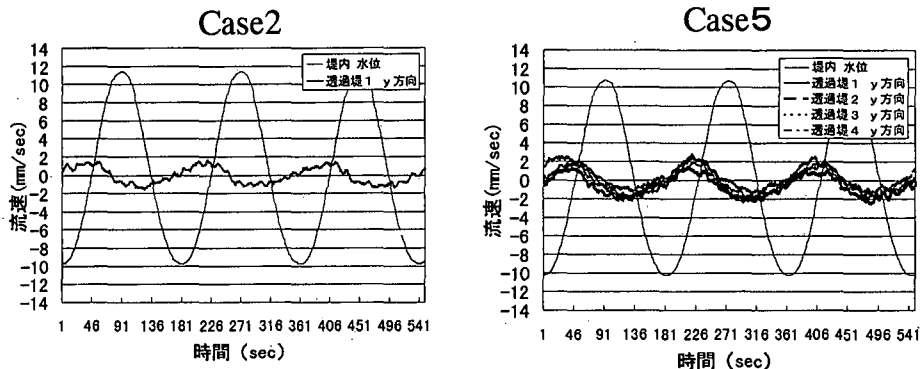


図-4 透過堤内流速測定結果

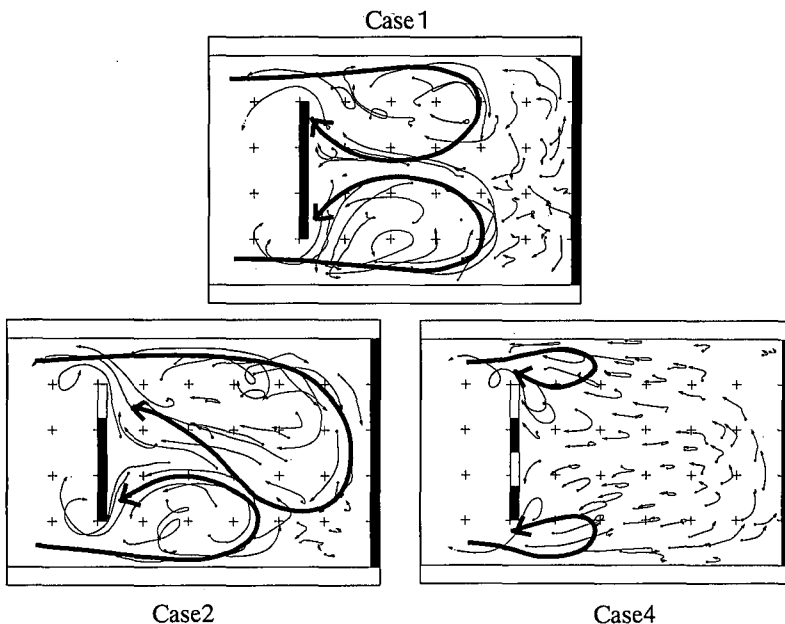


図-5 1 潮汐周期間における流跡線

の計測結果を示したものである。図より、2つの実験ケースは、潮の干満にともない、実測値が正弦波的な値を示すことが確認された。特に、Case 5では、堤体1～堤体4で顕著な差は見られず同じ挙動を示している。

これより、透過堤内に水がほぼ一様に通過していると考えられ、当該実験における透過型防波堤模型を利用することの有効性が示された。

3.3 堤体設置水域の流動環境評価

a) 流跡および流程

図-5は、一潮汐周期間の浮標の流跡を示したものである。ここでは、代表的な実験結果として、Case 1, Case 2, Case 4の結果を示した。

Case 1の不透過型防波堤では、防波堤の堤体長を二等分する中心線に対して左右対称な循環流が形成される。この循環流は、開口部の堤付近から港内の半ば付近まで

大きな流れを形成するものの、港内奥部では小さな流れとなり、停滞域が存在する。

Case 2では、堤体1を透過堤に改変したことにより、循環流は湾奥部まで到達し、Case 1で確認された停滞域は存在しなかった。この循環流の形成は、透過堤に改変したことにより、開口部1の周辺で流れのシアーが変化したためと推論する。

一方、Case 4の堤体1と堤体3を透過堤に改変した場合は、各開口部において小さな循環流しか形成されず、Case 1と比較して港内全体を停滞域とする結果を得た。

b) 流速分布

図-6は、Case 1とCase 2における上げ潮最強時、下げ潮最強時の流速ベクトルとコンターを示したものである。Case 1では、上げ潮最強時および下げ潮最強時ともに各開口部で流速が最大となり、港内にて対称な循環流

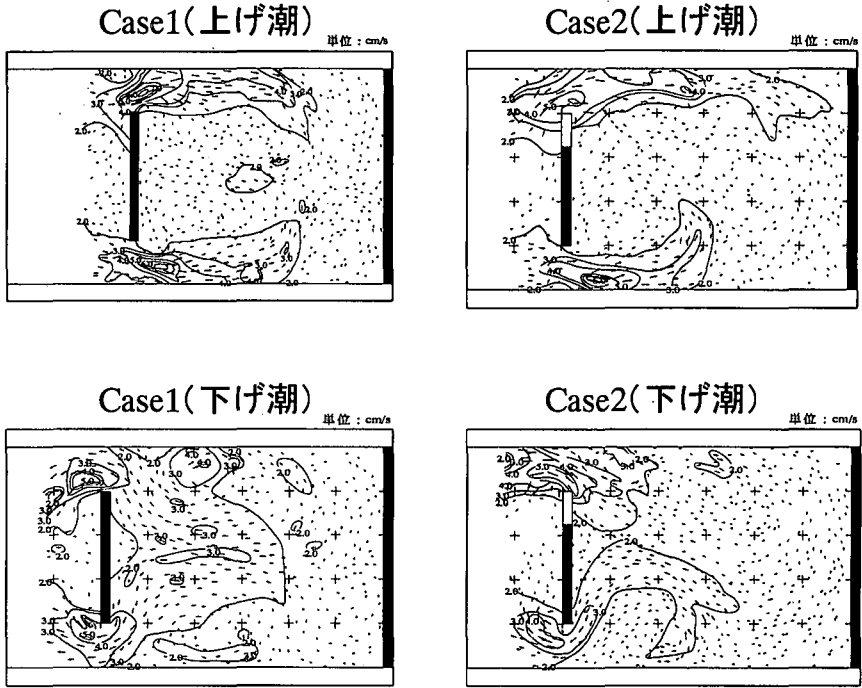


図-6 上げ潮最強時および下げ潮最強時における流速ベクトル・コンター図

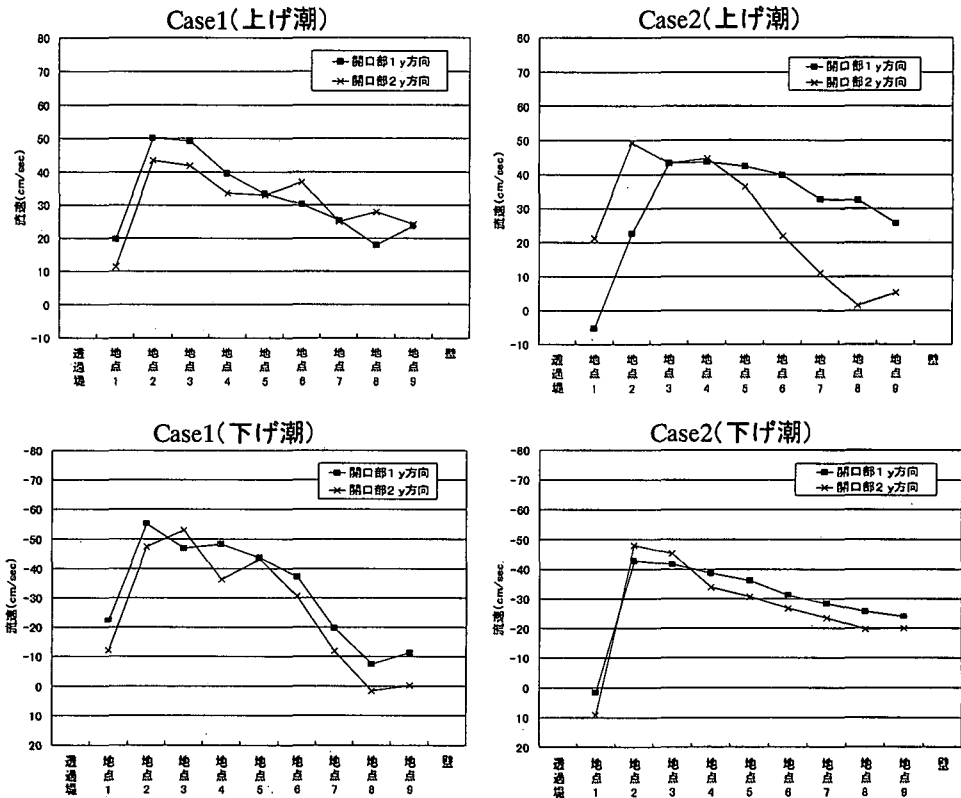


図-7 各開口部の横断方向における流速分布

表一 上げ潮最強時における各開口部の流入水量
単位: cm³

	開口部 1	開口部 2	合計流入水量
Case 1	6269.3	6368.9	12638.2
Case 2	7430.7	4690.0	12120.7

表三 湾奥部における流動改善指標

区域	Case 1	Case 2	Case 4	Case 5
	Case 1	Case 1	Case 1	Case 1
①	1.00	2.65	0.52	—
②	1.00	0.89	0.56	0.67
③	1.00	1.25	0.49	0.57
④	1.00	1.56	0.70	1.30
⑤	1.00	0.70	0.70	1.32
区画平均	1.00	1.41	0.59	0.96
⑥	1.00	1.30	0.25	—
⑦	1.00	—	1.10	1.03
⑧	1.00	2.03	1.13	0.54
⑨	1.00	0.75	1.13	0.63
⑩	1.00	—	—	—
区画平均	1.00	1.36	0.90	0.73

を形成する。形成された循環流は、上げ潮時には、側壁側に速い流速分布を有するが、港内奥部まで到達できず、結果として港内奥部に停滞域を形成する。Case 2でも、上げ潮最強時および下げ潮最強時に各開口部で流速が最大となるが、堤体1を透過堤に改変したことにより、流速値は、開口部1よりも開口部2のほうが若干小さい。

しかし、上げ潮最強時の流速コンターは開口部1の方が湾奥まで拡っており、湾奥の停滞域を解消している。

Case 1, Case 2で得られた流速分布は前述の流跡線・流程に反映することから、開口部における流入水量のバランスが港内全体の循環流形成に大きな影響を与える。

c) 堤内外水域の交流水量

図一7はCase 1とCase 2における各開口部の横断方向における上げ潮最強時および下げ潮最強時のy軸方向の流速分布を示したものである。Case 1の開口部における流速分布は、上げ潮、下げ潮時ともほぼ同じ値を示している。一方で、Case 2の各開口部における流速分布は、下げ潮時のみ同じ傾向を示し、上げ潮時には開口部1の方が開口部2より壁際で大きい値を示している。このことは、図一6の流速コンターからも明らかであり、堤1を透過型にしたときの開口部の交流水量バランスは、上げ潮時に大きく変化している。

表一2はCase 1, Case 2の上げ潮時における各開口部からの流入水量を図一7に示したグラフを積分することで求めたものである。各ケースにおける流入水量の合計はCase 2のほうが、Case 1に比べ少ない。一潮汐間における流入水量は常に一定であることから、この流入水量の差だけ、透過堤を水が通過したと考えられる。3.2節に示したCase 2における透過堤内の通過流速は、流入時において最大0.2 cm/secであり、透過堤内を水が一樣に通過すると仮定すれば、実透水断面積750 cm²(堤体長75 cm×水深20 cm×空隙率0.5)より、透過水量は150 cm³と算出される。この値は、Case 1とCase 2の合計水量の差と同じオーダーである。

以上から、前掲の図一5および図一6に示したCase 2の流動環境について考察すると、堤体1を透過型にすることで、開口部1および堤体1を通過する水量が開口部2を通過する水量を上回り、結果として港湾内の循環流の対称性を崩すこととなる。

対称性の崩れた循環流は、流入水量の多い開口部1と堤体1の流程を増大させ、港内奥部まで流入水を到達させることになり、港内奥部の流動を促進することになる。

3.4 流動促進に向けた透過型防波堤の有効的な設置

表一3は港内奥部(前掲の図一3に示した①~⑩のエリア)の各ブロックにおける流動改善指標を示したものである。なお、表は顕著な結果が得られたCase 2, Case 4, Case 5を示し、流動環境指標は、各ケースの流程距離とCase 1の流程距離の比より求めた。表より、Case 2の湾奥における流程は、Case 1に比較して、最大で2.65倍、平均でも1.4倍の値を示しており、透過型防波堤を用いることで、港内奥部流動の促進に大きく寄与している。

一方でCase 4は、堤体長に対して50%の透過堤を利用しているが、全般的にほぼ同等の値かそれ以下の値を示しており、湾奥部の流動を抑制している。また、全透過型防波堤を採用したCase 5は、Case 1とほぼ同等の流程しか得られず、流動環境促進に対する、効果は低い。

以上から、防波堤の背後水域の流動を促進する技術として、防波堤の片側端部のみを透過型に改変する方式は、有効な対策の1つであることが明らかとなった。

4. おわりに

大阪湾奥部の閉鎖性水域に対し、防波堤の存在が水域環境悪化の要因であることを瀬戸内大型模型で示した。また、基礎水槽実験から、防波堤構造造の一部透過型にすることで、水域内の流動を促進できることを明らかにした。今後は、当該技術の実海域に対する有効性、適用限界を明確にし、技術の実用化を目指す。

参 考 文 献

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.
 中野沢治・岩上淳一・溝内俊一・入尾野幸雄 (1982): 名瀬港における潮流実験—防波堤計画の比較検討—, 第29回海岸工学講演会論文集, pp. 629-632.
 Jiang, J.X. and R.A. Falconer (1983): On the tidal exchange characteristics of model rectangular harbours, Proc. Instn. Civil Engineers, Part 2, Vol. 75, pp. 475-489.