

実海域における下部透過型防波堤の海水交換特性

西守男雄*・日比野忠史**・鶴谷広一***・石原弘一****

1. はじめに

港湾整備においては、本来の目的である航路および泊地での静穏域の確保や津波・高潮などの防災対策に加えて、富栄養化や赤潮対策なども考慮した複合的な対策をとることが重要となってきた。その対策の一つとして、従来の防波堤に透過機能を付加した海水交換型防波堤が各地で実際に設置されている。その中でも波浪のエネルギーを利用して一方へ導水を促す構造について研究開発されているものが多い(例えば山本ら, 1987; 塩崎ら, 1996)。その構造様式は周辺海域の波浪および地理的条件に応じて様々である。

実用化された海水交換型防波堤のうち、現地の実証実験でその機能を検討した例がある。柳瀬ら (1991) は、防波堤に通水管を設けた構造の水理特性を室内実験および現地観測で比較している。この研究では波や周期の変化による通水管内の流れの特性を議論の対象としており、通水管内の流れの振幅は、同一波高に対して周期が大きいほど大きく、室内実験および現地観測ともにその傾向が一致したと報告している。

これに対して、比較的静穏な内海・内湾における常時の海水交換の効果について検討を行う場合、潮汐の作用による防波堤の透過(流れ)特性について検討する必要がある。本研究では、海水交換型防波堤の評価手法を提案することを目的とし、これまで海水交換型防波堤の海水透過に関する水理模型実験、数値計算、現地観測を行ってきた(西守ら (1999))。本論文では、山口県防府市三田尻中関港(以下、三田尻港と記す)において現在建設中の海水交換型防波堤を対象とした、防波堤内の流れの測定、湾内の水温・塩分の観測結果から、季節の変化による湾内の水温・塩分の変化特性および潮汐が海水交換に及ぼす影響について検討した。

2. 現地観測概要

図-1に三田尻港の地形と観測位置を示す。三田尻港

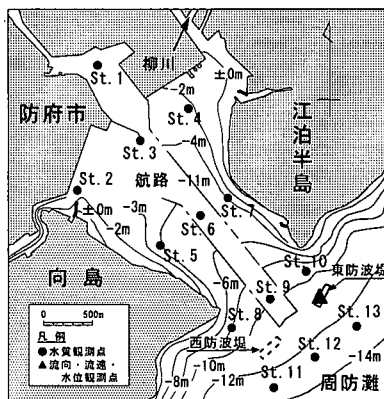


図-1 三田尻港の地形図と観測位置

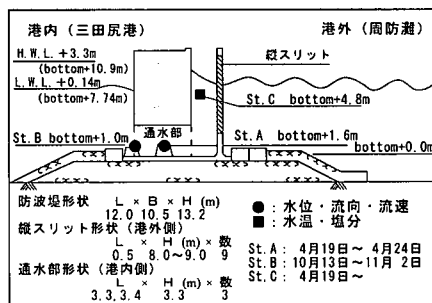


図-2 防波堤断面と計測器設置図

は山口県防府市に位置し、周防灘に面している。江泊半島および向島に囲まれた南北(湾奥)に3 km、東西(湾口)に1~2 kmの閉鎖性湾である。湾中央には航路があり水深は11 mである。湾口部の水深は10 mで湾奥に向かって浅くなっている。湾奥部には柳川(山口県2級河川、計画流量:160 m³/s)が流入している。防波堤は三田尻港湾口部先の東西2ヶ所に建設予定であり、現在東防波堤が建設中である。西防波堤の建設予定位置を四角の破線で示す(図-1)。

防波堤形状(図-2)は、港外側の縦スリットから流入する海水が港内側の下部に設けられた通水部から導水が行われる構造である。防波堤内には遊水室を設けてあり消波機能を有している(以下、下部透過型防波堤と記す)。

* 運輸省港湾技術研究所海洋環境部環境評価研究室
** 正会員 工博 運輸省港湾技術研究所海洋環境部主任研究官
*** フェロー 工博 運輸省港湾技術研究所海洋環境部部長
**** 運輸省第四港湾建設局宇部港湾工事事務所所長

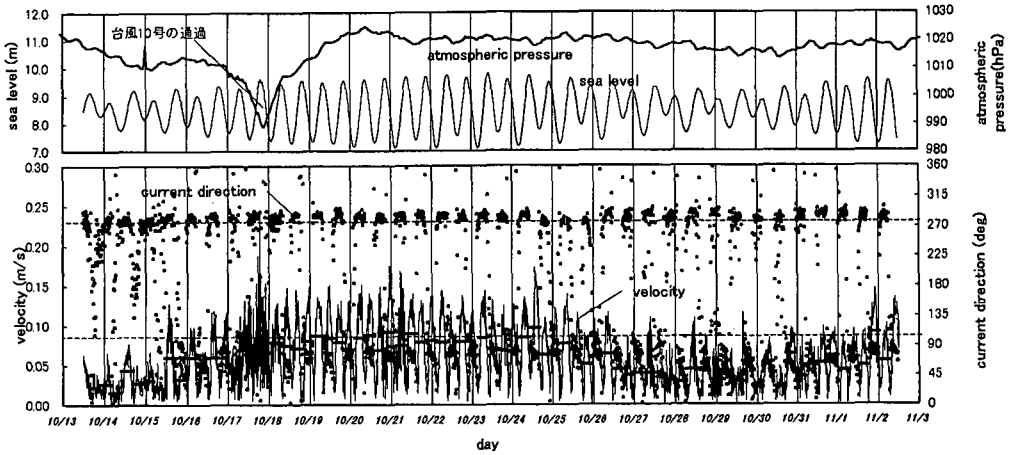


図-3 (a) 水位・流向・流速・海面気圧の観測結果 (10~11月)

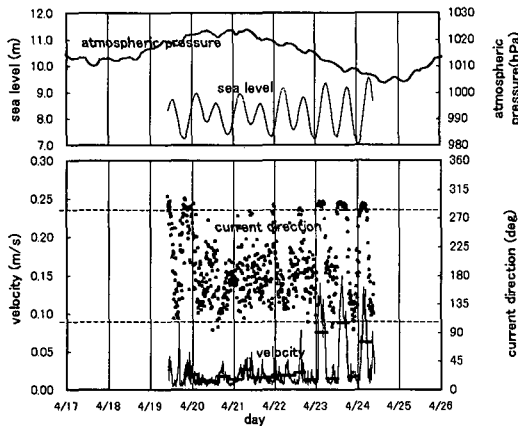


図-3 (b) 水位・流向・流速・海面気圧の観測結果 (4月)

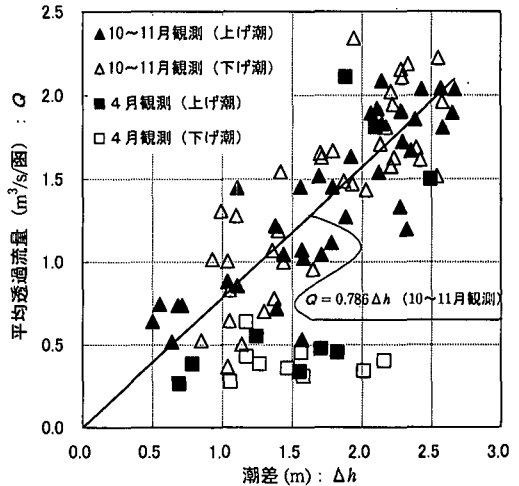


図-4 潮差と透過流量との関係

下部透過型防波堤は、有義波高 $H_{1/3}=1.0\text{ m}$ 、有義波周期 $T_{1/3}=3.8\text{ s}$ の通常波および有義波高 $H_{1/3}=3.9\text{ m}$ 、有義波周期 $T_{1/3}=9.2\text{ s}$ の30年確率波を対象に断面実験が行われ、波の反射率0.57、伝達率0.42として決定された。

2.1 下部透過型防波堤の透過流量

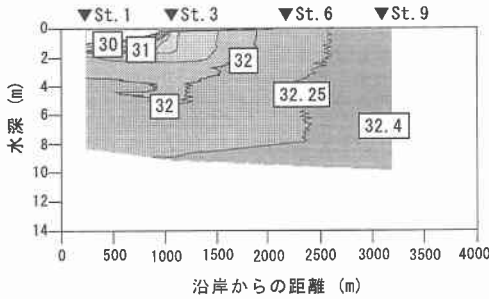
下部透過型防波堤の透過流量は通水部での水位(潮位)・流向・流速を連続観測して、これらの値から推定した。観測は1998年4月19日から4月24日の6日間(小潮4月20日、大潮4月26日)と1998年10月13日から11月2日の19日間(小潮10月12、28日、大潮10月20日)に行った。図-2に下部透過型防波堤の断面および観測位置を示す。観測基準面(bottom±0.0 m)を防波堤底面とした。4月観測では図中 St. A に、10~11月観測では図中 St. B に電磁流速計(アレック電子(株)ACM-16 M)を設置した。測定間隔は10分、サンプリング時間は1秒、

30秒間の平均値を解析に用いた。

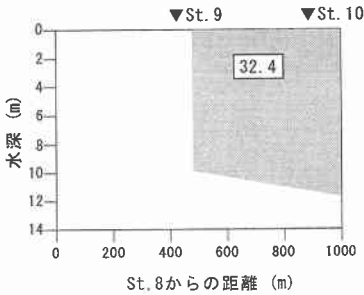
2.2 湾内の水質変化

干潮時、満潮時における湾内の水質分布(水塊の移動)を把握するため、多項目水質計(アレック電子(株)ACL1183-PDK)を用い、4月20日(満潮14:12)、4月21日(干潮10:32)および10月13日(上げ潮最強時13:00)に、図-1に示される St. 1~13で測定を行った。海面から海底まで鉛直方向0.1 m毎に塩分を測定した。

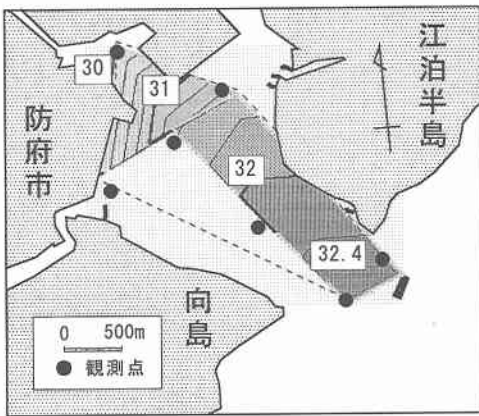
水温・塩分の経時変化を把握するため、1998年4月19日から水温・塩分計(アレック電子(株)MDS-CT)を設置して(図-2の St. C)連続観測を行っている。測定間隔は10分、サンプリング時間は1データ/sである。1ヶ月毎に計測器の交換を行っている。



(a) 湾軸方向（北西-南東）の断面分布

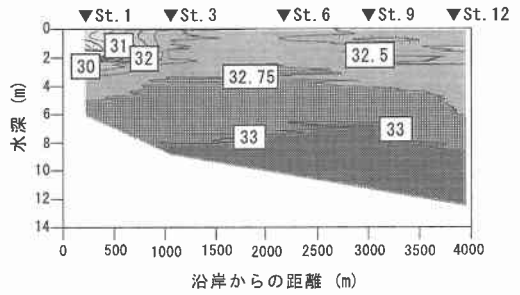


(b) 湾横方向（南西-北東）の断面分布

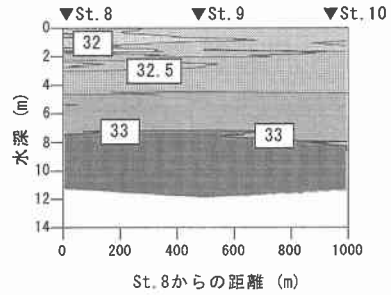


(c) 平面分布（表層から-1.0m）

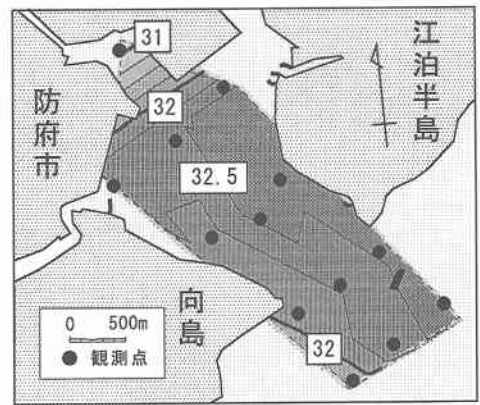
図-5 10～11月観測（10月13日）における塩分の分布



(a) 湾軸方向（北西-南東）の断面分布



(b) 湾横方向（南西-北東）の断面分布



(c) 平面分布（表層から-1.0m）

図-6 4月観測（4月20日）における塩分の分布

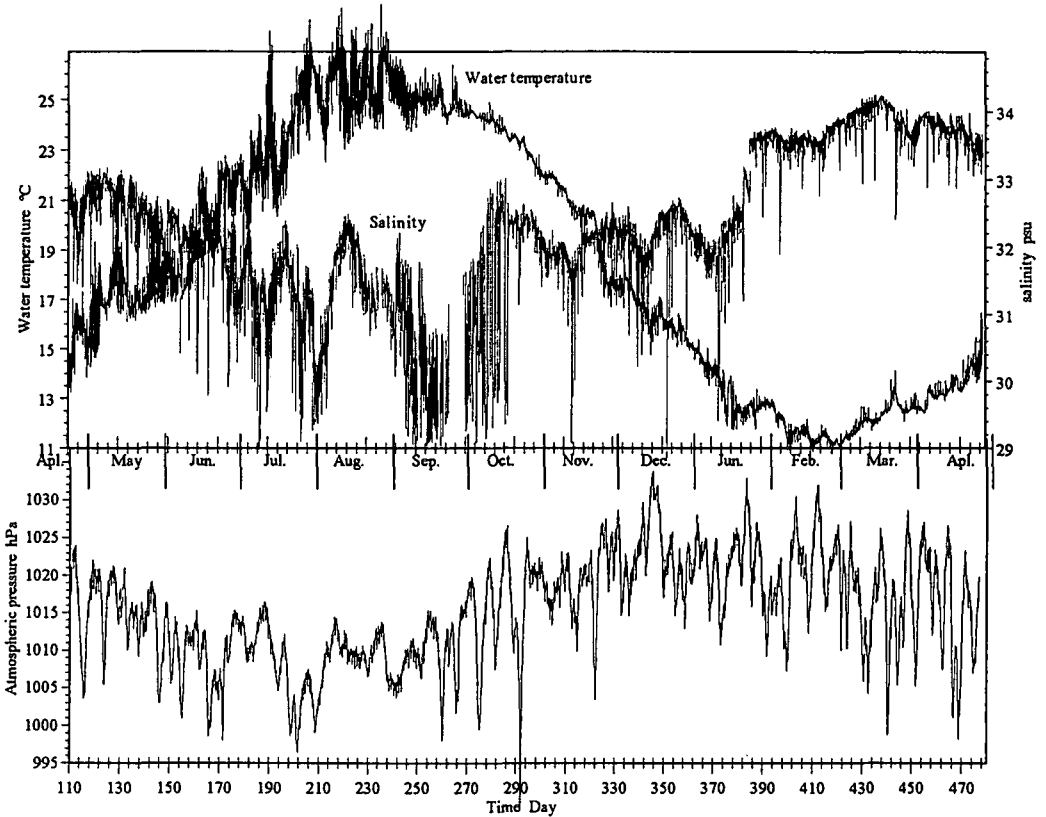
3. 観測結果と考察

3.1 観測期間における気象の状況

図-3には、(a) 10～11月、(b) 4月に観測された水位変動、流向、流速および海面気圧の経時変化が示されている。水位は図-2に示される計測器の設置水深である。流向は北向きへの流れを 0° とし、時計回りに角度をとっている。図中の点線は防波堤の港内外側の面に対して直角な流れの向き（港外から港内： 292.5° 、港内から港外： 112.5° ）、太線は、上げ潮時と下げ潮時のそれぞれの

期間に対応する平均流速を示している。

10月17日から18日にかけて台風9810号（約990 hPa）が防府市を通過し、約30 hPaの気圧変動があった。台風の通過とともに、満潮時の水位は大潮期の満潮時と同程度の値9.45mが観測された。10月18日以降は、高気圧に覆われ、気圧の変化は小さく約1020 hPaで安定していた（図-3(a)）。4月の観測期間中の海面気圧は約7日の周期で変動していた。観測開始日から4月20日までは太平洋高気圧に覆われていたため約1020 hPaであったが、それ以降は低気圧の通過で約1005 hPaまで低



図一七 季節変化に伴った水温・塩分・海面気圧の変動 (1998.4.19~1999.4.23)

下した (図一三(b)).

3.2 下部透過型防波堤の透過特性

(a) 水位 (潮位) 変動による通水部内の流れ

防波堤前後の水位の変動に伴い上げ潮時に港内側、下げ潮時に港外側へ流れが起きており、特に10~11月観測で顕著に現れている。10~11月観測では上げ潮時の流れの向きは港内方向へ安定しているが (図一三中の点線の方向)、下げ潮時の流向は大潮期で約80°、小潮期で約65°の方向を示している。これは、港内側背後に計測器が設置されていたことから、上げ潮時には通水部からの流れ、下げ潮に周辺海域の流れの影響を受けたためであると思われる。上げ潮、下げ潮間の平均流速は小潮期には約8 cm/s、大潮期には約15 cm/sの流速であるが、大潮、小潮期とも上げ潮、下げ潮では顕著な流速差はないことがわかる。4月観測では10~11月観測で得られた潮位変化に伴った流れは計測されていないが、低気圧の通過した4月23~24日の上げ潮時に約15 cm/sの流速 (流入) が計測され、下げ潮時には約2 cm/s程度の流れしかない (図一三(b))。流向は低気圧の通過時に明確になるが、他の期間は安定していない。

(b) 潮差と平均透過流量との関係

図一四には、潮差とその潮差に対する上げ潮と下げ潮

間でのケーソン1函あたりの平均透過流量との関係が示されている。10~11月観測は▲, △, 4月観測は■, □で示しており、白抜きが下げ潮を表している。平均透過流量は、平均流速 (図一三中の太線) を通水部内の断面積と、ケーソン1函の通水部の数に乗じて求めた。ケーソン1函あたりの通水部数は3つである。断面形状は正方形 (3.3 m×3.3 m) であるが、断面積の算出には通水部の四隅における流速はほとんど無いと考えて有効面積を円 (φ3.3 m) として求めている。10~11月観測においては潮差に比例して平均透過流量は増加しており (図一四)、ケーソン1函当たりにおける上げ、下げ潮期の平均透過流量 Q は潮差 Δh と $Q=0.786\Delta h$ の関係で表せる。

3.3 季節的な水質変化と流れ場

4月と10~11月観測結果の違いは、三田尻港付近の流れが、天候や季節的に変化する瀬戸内海の流れの影響を受けているためと考えられる。図一五には10~11月観測 (10月13日)、図一六には4月観測 (4月20日) の満潮時 (上げ潮時) における湾内の塩分の分布状況が (a) 湾軸方向の断面分布、(b) 湾横方向の断面分布、(c) 表層から-1.0 mの平面分布に示されている。図一七上段に水温・塩分の連続観測の結果 (1998年4月19日~1999年4月23日)、下段に海面気圧の経時変化が示されている。

図-5, 6(a), (b) から, 10月には三田尻港外では成層がなく, 4月には成層状態にあることがわかる。図-7では4~9月頃の水温が大きく変化しているのは港外の成層状態によるもので, 上げ潮時に沖側の低層付近の低水温海水が湾内に流入すると考えられる。さらに, 図-5(a), 6(c)では, 10月には湾口部から湾奥へ, 4月には江泊半島(北東側)から向島(南西側)にかけて塩分が低くなっている。このことから, 表層付近における上げ潮時の湾外水の湾内への流入は, 10~11月は南東方向から, 4月は北東方向からであると推定でき, 季節によって外海水の流入方向が異なっていることも予想される。西守ら(1999)は, 瀬戸内海全域における数値計算を行い, 三田尻港に流入する海水の流れの向きによって下部透過型防波堤を透過する流量が異なることを示している。

1998年4月~8月までの期間の潮位変化による水温・塩分の変動幅は1998年9月~1999年3月までの期間のそれと異なる(図-7)。このことから, 透過量観測を行った4月と10~11月では周辺海域の成層状態が異なることがわかる。塩分は気圧との対応が見られ, 5月~8頃まで気圧の低下とともに塩分も下がり, 9月頃から気圧の上昇とともに塩分も上昇している。日本沿岸域での水位変化に関して村上・山田(1992)は, 水位の低下量は西日本海, 東シナ海では9~11月ごろの約3ヶ月に40cm以上になることを報告している。また, 日比野・鶴谷(1999)は, 日本沿岸域では, 気圧配置の変化に伴って海面水位は変動し, 9月頃の冬型の気圧配置への移行(気圧の上昇)に伴い水位は低下すると報告している。三田尻港周辺海域においても日本沿岸域での季節的な水位変化の影響を受けて三田尻港に流入する水塊の水質や流入方向の変化が起こると考えられる。4月と10~11月の防波堤透過流量の違いは, 周辺海域から三田尻港へ流入する水塊や流入方向の違いによる影響が現れていると考えられる。

三田尻港周辺海域の流れや海水構造は瀬戸内海の流れによるものでローカルな流れ場を検討する場合にもより広範囲の流れ場を視野に入れて検討することが示唆される。今回の観測から, 海水交換型防波堤の効率を評価するためには, 防波堤の面する海域の特性を明らかにする必要があることが示された。さらに, 三田尻港への海水の流入は日本沿岸域の水位変化との関連が考えられ, 季節によって日本海・瀬戸内海・太平洋からの性質の異

なる海水が流入する影響を受けていることも考えられることから, 今後は瀬戸内海における季節的な流れ特性についても調べ, 効率的な海水交換を行うための防波堤の形状や配置について検討する予定である。

4. おわりに

実海域における下部透過型防波堤の海水交換特性を把握するための観測を行った。以下にこれらの結果をまとめる。

(1) 三田尻港の東防波堤に用いられている下部透過型防波堤の平均透過流量は潮差との相関が高い。水位変動によって流向・流速の傾向が明確であった10~11月の観測については, 防波堤1函当たり潮差1mに対し約 $1\text{ m}^3/\text{s}$ の海水交換量となっている。

(2) 4月と10~11月の観測結果の比較から, 潮差と平均透過流量との関係は防波堤の周辺海域の状況(季節的な流れ・成層状態・天候等)によって異なると予想される。

(3) 塩分の平面分布(表層より -1.0 m)より, 上げ潮時における湾内へ流入方向は4月では北東から, 10~11月では南東からであると予想される。流れ場の季節変化等の特性を知り, その特性を活かした下部透過型防波堤の断面の決定と配置を考えることによって, より効率的な海水交換が期待できる。

観測期間における海面気圧の情報は日本気象協会(MICOS Web Mr.)より取得された。

参考文献

- 塩崎慎郎・磯崎総一郎・中村 滋・堀内 博(1996): 海水交換機能を有する透過型スリットケーソンの水理特性, 海岸工学論文集, 第43巻, pp. 1226-1230.
- 西守男雄・日比野忠史・豊田政史・細川恭史・石原弘一・森下正志・鶴谷広一(1999): 海水交換型防波堤の透過量評価手法の提案, 港研報告 Vol. 38, No. 2, 印刷中.
- 日比野忠史・鶴谷広一(1999): 日本沿岸海域における気圧配置と海面水位とのコリレーション; 内湾域への環境影響, 水文・水資源学会誌 Vol. 12, No. 2, pp. 148-158.
- 村上和男・山田邦明(1992): 我国沿岸の海面水位の長期変動の特性とその要因, 海岸工学論文集, 第39巻, pp. 1026-1030.
- 柳瀬知之・谷野賢二・水野雄三・梅沢信敏・桑原伸司(1991): 有効堤の海水交換機能に関する研究, 海岸工学論文集, 第38巻, pp. 856-860.
- 山本正昭・中泉昌光・間辺本文(1987): 潜堤付防波堤による海水交流工法の開発, 第34回海岸工学講演論文集, pp. 675-679.