

レクリエーション海浜における突堤・離岸堤の 海水汚濁に関する実験的研究

佐藤 昭 二*・加藤 始**・木村 久 雄**

1. はしがき

近年レクリエーションの需要の急激な増大に伴い、そのレクリエーション場の一つとして、海浜の重要性が高まりつつある。しかし、わが国の海岸は一般に侵食の傾向が強く、その対策として突堤や離岸堤などの構造物によって海浜の安定をはかることが多い。しかしながら、このような突堤や離岸堤の設置は海水の循環や交換を阻害し、海水汚濁の発生のおそれが出てくる。

本研究は、この突堤や離岸堤の海水汚濁に対する影響を実験的に調べたものである。この場合、特に海水浴による汚濁が問題となるので、海象条件は夏期の比較的波浪の小さいときを対象とし、突堤や離岸堤の配置や構造に基づく堤内と堤外側との海水交換の特性を明らかにすることを目的とした。ここに、2, 3 の実験例を紹介するとともに、興味ある結果が得られたので述べる。

2. 実験装置および方法

(1) 模 型

モデル海岸として神戸須磨海岸¹⁾の2ヶ所をとり上げ、廻流装置を有する平面水槽 (16.5 m × 11.5 m) 内にそれらの小模型水域を作った。この2ヶ所中一つは須磨港西側付近の反流のある水域で、他はそこから西方に約1.5 km 離れた水域で反流がみられない所である。その反流のある水域のモデル平面図を 図-1 に示す。模型はひずみのない縮尺 1/100 とし、表面モルタル仕上げとした。なお、養浜部分は碎石 (φ3 mm) を用いその海側勾配を 1/10 とした。

模型上で、図-1 に示す右側の樋頭水槽より流れ出た水は、約 1 m 間隔で区切られた可動堰で流量が配分され、さらに、整流板によって流向が調整された。そして模型内を流れた水は、水槽左側の可動堰を越流して廻流装置の低水路に流入する。模型面の水深はこの可動堰によって調節することが可能である。下流端にある起潮装置は、堰板を駆動させる制御方式により、自動的に模型内の水位を変化させることができるが、本実験では主と

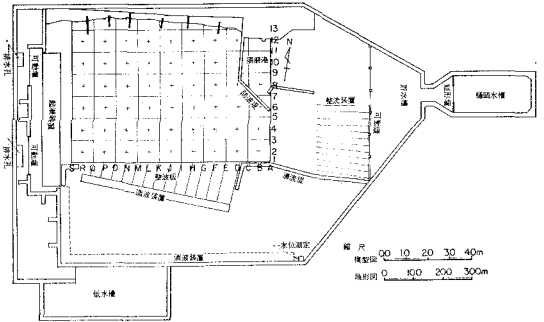


図-1 実験水槽一般図

して、水位を一定とし、一定流量すなわち定常流の状態で行った。

(2) 測定方法

流れの測定には、主としてフロート (プラスチック製の球形 φ10 mm) を用い、一定区間を数回繰り返して測定した。なお、今回の実験流速が岸側で 0.2~2.2 cm/sec ときわめて小さく、通常用いられるプロペラ流速計では測定不可能であった。

次に、海浜に発生する汚濁の拡散状況を調べるため、濃度 500 ppm のウラン溶液をトレーサーとして用いた。この染料の投入には、9本のビニール管が接続されたアクリル製の矩形容器を用いた。各ビニール管の先端にはノズル (φ1 mm) をとり付け、コックの開閉で各ノズルからの染料流出量が一定になるようにした。このノズルの末端はいずれも汀線に固定し、そこからすべての実験ケースについて実験開始より15分間のみ連続投入した。その投入染料の量も、すべてのケースにつき総量 1800cc の一定とした。染料の拡散状況は模型上 7 m の高さに設置したカメラにより、一定の時間間隔でカラー撮影して調べた。このとき模型面に濃度の異なる5種類の染料サンプルをおき、これを基準として目視で濃度分布図を作成した。

(3) 実験条件

実験に使用した外力は、潮流と波浪で須磨海岸における夏期の条件に対応するように決めた。なお、括弧内は現地の値を示す。

まず、水位は平均潮位 0.85 cm (85 cm) とし、潮流は

* 正会員 工博 運輸省港湾技術研究所海洋水理部長
** 正会員 運輸省港湾技術研究所

沖側で約 5 cm/sec (50 cm/sec) の定常流, 波高は 0.5 cm (50 cm), 周期は 0.8 sec (8 sec), 波向は SSSW とした。

3. 実験結果

(1) 反流のある水域

この水域は, 図-2 に示すように沖側の流向が西向きの順流域と須磨港防波堤によって遮蔽された東向きの反流域とに明確に分離されている。

a) 現況地形の場合

図-2 に示したように, 順流域は流速 3.9~5.9 cm/sec および反流域は流速 0.2~2.2 cm/sec となる。この順流域と反流域の境界域には時計方向の廻流が存在するが, その流速は問題にならぬほど小さく, 流向の変動も大きい。さらに, 須磨港防波堤の先端付近では図示していないけれども剝離による小さな渦流がみられた。

次に, 図-3 は潮流として前述の定常流のみを作用させたときの染料の濃度分布を示したもので, 各図の右上方には染料投入開始からの経過時間が示してある。したがって 15 分の図は染料投入終了直後の状態を示す。汀線に投入された染料は時間経過とともに潮流によって混合希釈されている。測定された各時刻における染料の拡散パターンが, 図-2 の流況パターンと合致していることがわかる。すなわち, 海岸よりは反流で西から東に向う潮流があるため, 防波堤の隅角部付近に染料が集中する。さらに, この染料は防波堤に沿って沖向きに放出され, その大部分は沖側の順流に乗って西方に輸送されるが, 一部は反流によって再び前浜周辺にもどってくる状況が明確である。海岸近くの汚濁状況は, 染料投入開始後 100 分経過しても突堤付近にはほぼ 100 ppm の染料が停滞する。これは, この付近が死水域であることが影響しているためと思われる。

図-4 は, 潮流に波浪を加えた場合の 60 分後の濃度分布を示すもので 図-3 中の 60 分に比べて前浜近くの濃度の減少が顕著である。これは, この付近における碎波による乱れと波による沿岸流や離岸流が加算されるた

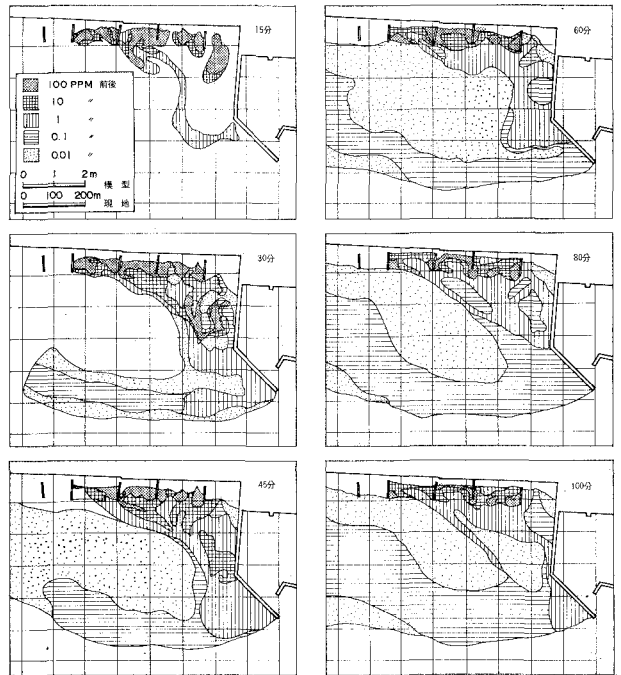


図-3 現況地形の濃度分布の時間変化 (潮流, 反流域)

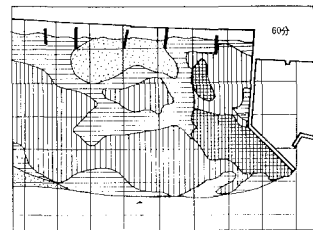


図-4 現況地形の 60 分後の濃度分布 (潮流と波浪, 反流域)

めに染料拡散が強調されたものと考えられよう。

b) 養浜をして突堤・離岸堤を設置した場合

この場合, 突堤や離岸堤はすべて不透過構造であり, 養浜は円弧状に前浜を前進させている。また, 突堤先端と離岸堤の間隔を 30 cm (現地では 30 m) にとっている。この間隔が狭すぎるとそこを通過する流れを阻害し, 広すぎると流れが拡散してよくない。この 30 cm という間隔は予備実験によって決定した。

図-5 は, 潮流のみのケースにおいて構造物の配置を変えた場合の 60 分後の濃度分布の状態を比較したものである。この図において, 離岸堤を設けない case 1 が離岸堤を設置した他の case と比べて前浜で高濃度の染料が停滞している。これは, 東に向う反流が突堤によってその先端から沖方に流向を変えるので, 突堤から防波堤に至る区間は流速が減少するためである。一方, 離岸堤を設けると, これが堤内に流入する反流に対し導流堤の役割を果たすため, 堤内における潮流の循環がよくなり,

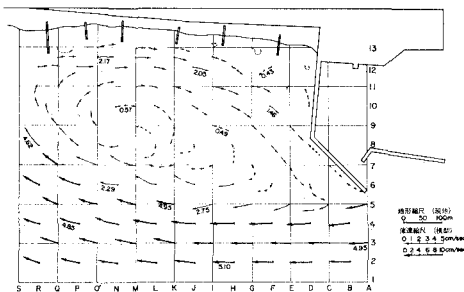


図-2 現況地形の流況分布 (潮流, 反流域)

染料の拡散をうながす。この場合、中央に離岸堤がある場合の case 2 とそれがない場合の case 3 とでは後者の方が堤内の濃度は減少している。なお、case 4 と 5 は前浜の中央に突堤を設けた場合であり、この中間突堤の長い case 4 の方が防波堤寄りでは濃度が高くなっている。さらに、case 6 の離岸堤中央の小区間の空間は、突堤と離岸堤の間における砂の過剰な堆積を防止する目的で行ったものであるが、この空間のない case 5 と比較して濃度分布に大差はない。

図-6 は、潮流に波浪を加えた場合で、図-5 と比較すると現況地形の場合と同じく染料の拡散が波によって促進されることがわかる。構造物の配置の相違による堤内濃度の相対的な差は潮流のみの図-5 と大差はないが、図-5 にみられた case 4 の中間突堤と防波堤間および case 6 の突堤前面の離岸堤背後の染料の停滞が消失しているのは興味深い。これは、波による乱れと沿岸流の効果であろう。また、潮流、波浪に加えて水位変化を与えた場合についても実験を行ったが、図-6 と大差のない測定結果が得られたことを付記する。

次に、流況分布を図-7~12 に示す。前に述べたように、染料の拡散パターンが流況分布と密接な関係をもっていることがわかる。たとえば、図-7 と図-10 および図-8 と図-11 はそれぞれ離岸堤がない場合およびある場合であり、前浜周辺の流況パターンが異なる様相が明らかである。すなわち、図-11 を例にとると、堤内の流況は離岸堤の影響を受け突堤や離岸堤の間隙や、離岸堤の両端などで速くなっている。さらに、離岸堤内には反時計方向の環流がある。これらが図-5、図-6 において case 1 よりも case 2 が前浜近くの濃度が減少した主要因と思われる。

(2) 反流のない水域

これについては、潮流と波浪を作用させた場合についてのみ示す。

a) 現況地形の場合

流況分布は図-13 に示されている。対象水域に流入する潮流は、ほぼ海岸に平行な流向を示し、流速も離岸距離に比例し沖よりが速く沖での流速は 5cm/sec 程度である。

図-14 に示すように、前浜に投入された染料は時間経過に伴ない潮流によって混合希釈され西方向へ分散している。

b) 養浜をして突堤・離岸堤を設置した場合

この実験に使用した突堤・離岸堤の形式は、不透過堤およびスリットケーソン堤である。図-15

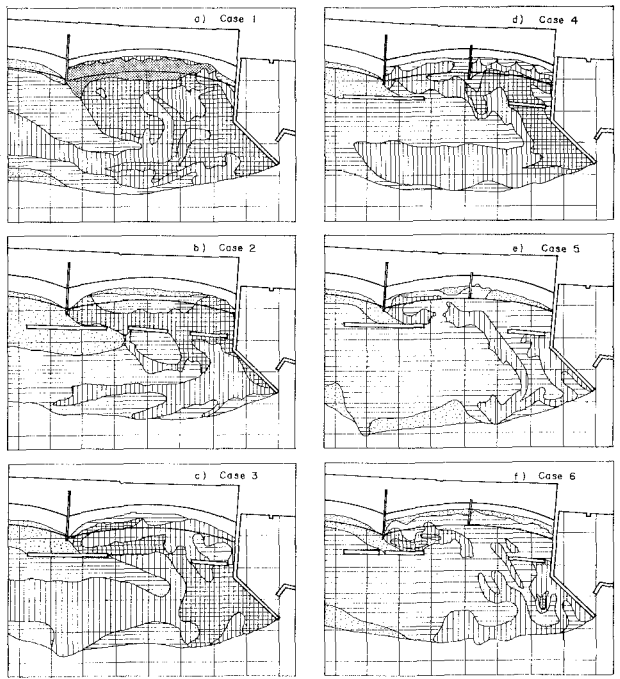


図-5 60分後の濃度分布のケース別比較
(潮流, 反流域)

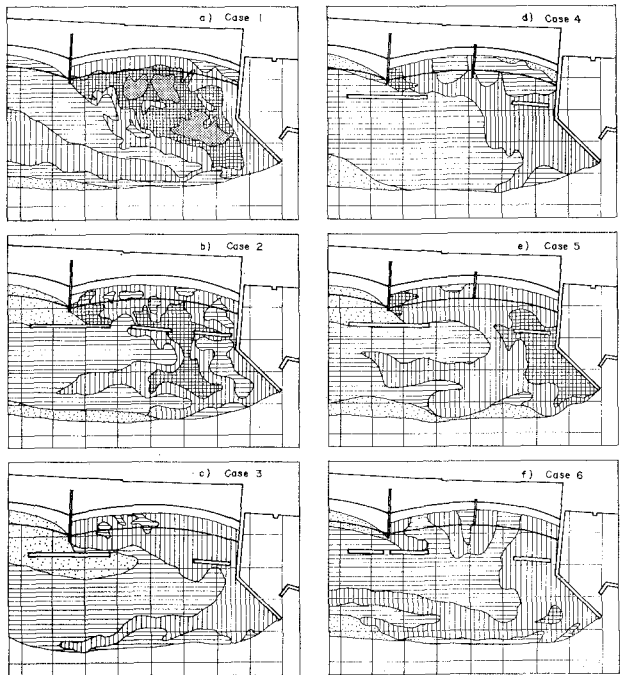


図-6 60分後の濃度分布のケース別比較
(潮流と波浪, 反流域)

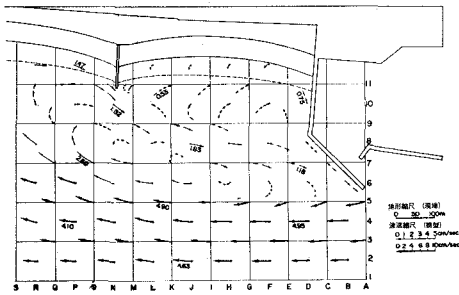


図-7 case 1 に対する流況分布 (潮流のみ)

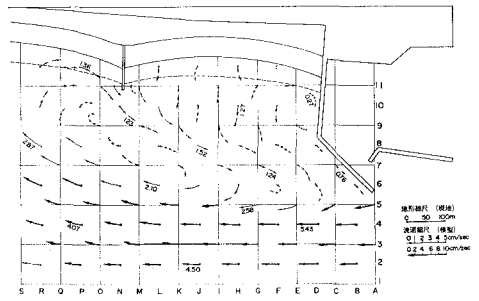


図-10 case 1 に対する流況分布 (潮流と波浪)

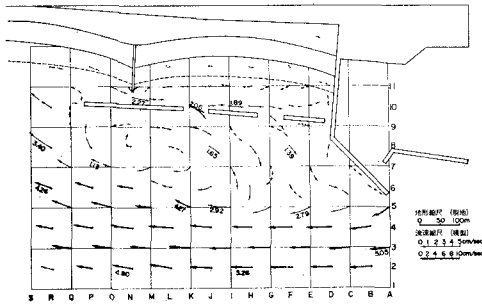


図-8 case 2 に対する流況分布 (潮流のみ)

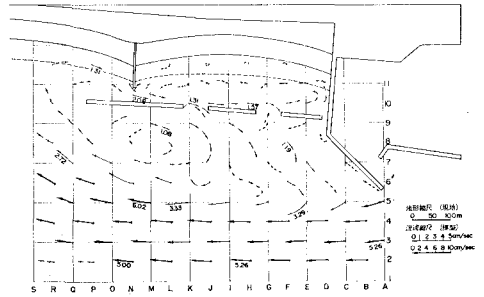


図-11 case 2 に対する流況分布 (潮流と波浪)

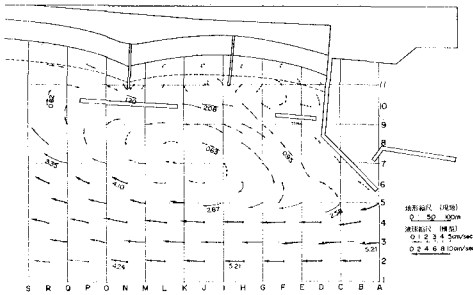


図-9 case 4 に対する流況分布 (潮流のみ)

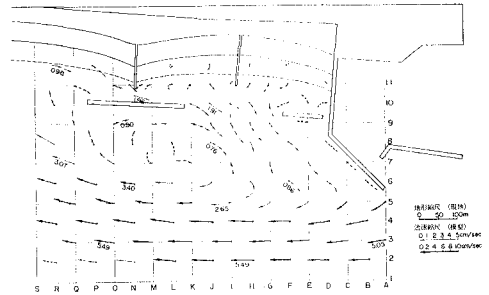


図-12 case 4 に対する流況分布 (潮流と波浪)

にスリットケソン構造図を示す。

図-16 は、構造物の配置あるいは形式の異なる各ケースにおける濃度分布の比較を示す。なお、図-16 中の case 7~9 の突堤および離岸堤は不透過堤であり、case 10 は離岸堤のみスリットケソン、case 11 は突堤・離岸堤ともスリットケソンである。図から明らかにスリットケソン堤が不透過堤より染料の拡散を促進させていることがわかる。これはスリットケソン堤の場合には、後述するようにスリット部から波が堤内に入り、そこから離岸堤の開口部に向う流れが起こり、堤内と堤外側との海水交換を良好させるためである。一方、不透過堤の場合には、このような流れが生じないよう

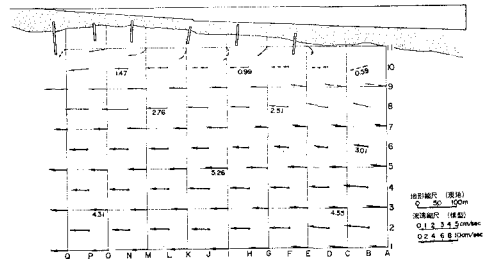
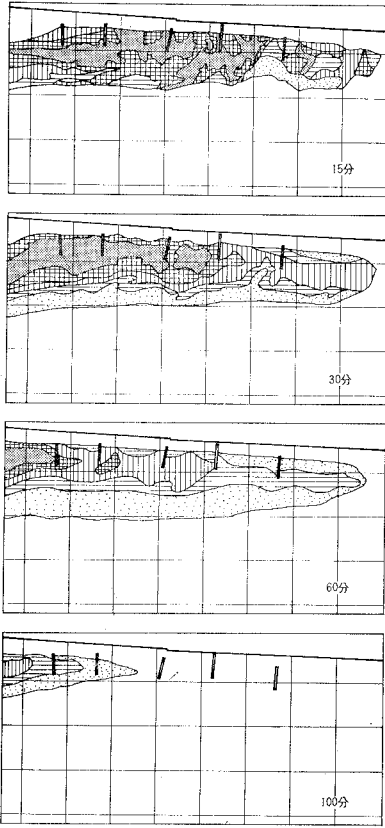
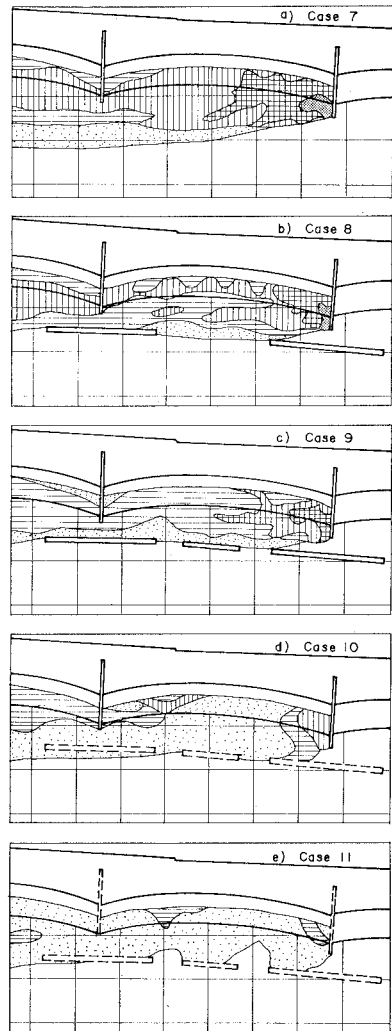


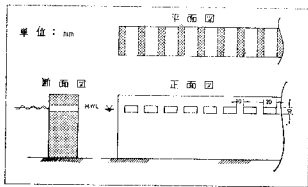
図-13 現況地形の流況分布 (潮流と波浪)



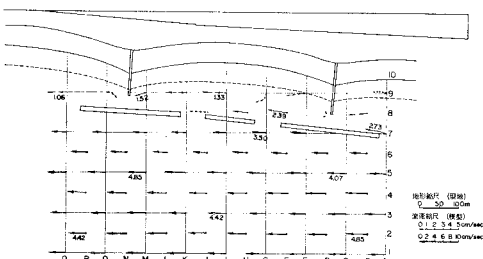
図一14 現況地形の濃度分布の時間変化 (潮流と波浪)



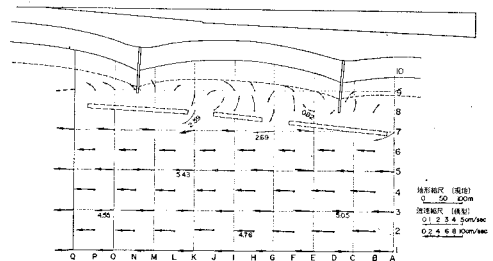
図一16 60分後の濃度分布のケース別比較 (潮流と波浪)



図一15 スリットケーソン堤模型構造図



図一17 case 9 に対する流況分布 (潮流と波浪)



図一18 case 10 に対する流況分布 (潮流と波浪)

ある。しかし、離岸堤がないときよりも、あった方が前浜付近の濃度が小さいことは、前述の反流域の場合と同様である。さらに、case 10 と case 11 を対比すると、

突堤もスリットケーソンとした方が染料の拡散がよいことがわかる。

次に、構造物の形式が異なる場合についての流況分布を 図-17, 18 に示す。これらを 図-13 と比較すると堤内における流速, 流向の変化が著しいことがわかる。特に, スリットケーソン堤の場合は堤背後から前浜に向い, さらに, 離岸堤の開口部へ向う流れが顕著にみられる。以上のほか, 離岸堤として異型ブロック堤透過についても実験を行ったが, これまでのところその効果が明確になっていないので本文からは削除した。

4. ま と め

以上の実験においては潮流は定常流とし, 潮汐の干満に伴う潮流の変動は取り入れてない。したがって, いわゆる tidal residual circulation²⁾ などの効果は実験に含まれていない。しかし, 本実験は突堤や離岸堤などの相対的な効果に主眼をおいたものであり, かつ狭い水域であるのでこのような circulation の影響は顕著でないだろうと思われるが, これについては機会をみて検討したい。さらに, 実験範囲が水槽の大きさの関係から2本の突堤で囲まれた幅の狭い範囲であり, 突堤が連続した長い砂浜における突堤相互の効果などについてはなお問題として残るであろう。また, 実験の主対象区域である堤内相当部分において, 模型では潮流に関するレイノルズ数は小さく層流であったが, 現地では自然海浜でも大部分乱流状態にある。したがって今回の実験結果には, 構造物(特にスリットケーソン堤)を設置したときや波を加えたときの海水交換の増大の割合が現地における場合より大きく現われている可能性がある。

以上のようにこの実験にはいくつかの問題点はあるが, 実験結果から突堤や離岸堤の海水汚濁に対する効果に関して次のような定性的特性が得られるであろう。

- (1) 海浜に不透過突堤を設けると, 海水の交換を阻害して突堤付近に汚水が停滞する傾向がある。
- (2) 不透過離岸堤と不透過突堤の組み合わせでは, 離

岸堤を密に配置すると堤内の海水循環は悪くなるが, ある程度の開口部を設けると, このような構造物を設けない自然海岸のときより海水の交換は良化する。ただし, 突堤先端と離岸堤の間は適当にあげなければならない。

- (3) 海水汚濁の観点からは離岸堤と突堤を接続したT型堤でなく, (2)で述べたように離岸堤と突堤の間をあけるべきである。
- (4) 離岸堤としては, 不透過堤よりも水面付近のみ透過なスリットケーソン堤の方が堤内の乱れと廻流が強くなり, 堤外側との海水交換を促進させる。
- (5) 突堤についても, 不透過堤よりスリットケーソンの方が海水交換はよい。
- (6) 潮流のみのときより, 波浪を加えたときの方が汚水の沖向きへの拡散が大きい。これは, 砕波による乱れのほかに, 波による沿岸流や離岸流によるものである。

以上, 水理模型実験の結果から現地モデルを対象としたレクリエーション海浜の海水交換や海水汚濁に対する突堤や離岸堤の特性について述べた。当初は突堤や離岸堤を設置した場合, 海浜と沖側との海水交換を阻害するものと考えていたが, その配置や構造を適度に考慮すれば海水交換を促進する結果が得られたことは興味深い。

最後に, 本研究の遂行に当って貴重な現地資料を提供して頂いた神戸市開発局および第三港湾建設局の諸賢に対して感謝の意を表わすと共に, 実験および資料整理には当研究所の高松技官の協力を得たことを付記する。

参 考 文 献

- 1) 佐藤昭二・田中則男・佐々木克博: 須磨海岸における養浜について, 第20回海岸工学講演会講演集, 1973。
- 2) 柳 哲雄・柏井 誠・安田秀一・樋口明生・北川吉男: Tidal Residual Circulation に関する基礎的研究, 京都大学防災研究所年報, 第17号B, 1974。