

港湾技研資料

TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 243

Sept. 1976

須磨レクリエーション海浜における突堤・離岸堤の
海水交換にあたる影響

佐	藤	昭	二
加	藤		始
木	村	久	雄
高	松	恭	文

運輸省港湾技術研究所



目 次

要 旨	3
1. はしがき	3
2. 須摩海岸の現況と養浜計画	3
2.1 海岸の自然条件	3
2.2 人口養浜の計画	4
3. 実験方法	6
3.1 実験装置	6
3.2 測定方法	7
3.3 実験条件	8
4. 実験結果	9
4.1 反流のある水域	9
4.2 反流のない水域	21
5. まとめ	27
参考文献	27

須磨レクリエーション海浜における突堤・離岸堤 の海水交換にあたる影響

佐藤 昭 二*
加藤 始**
木村 久雄***
高松 恭文***

要 旨

レクリエーション用の海浜が侵食されつつある須磨海岸について、養浜計画に基づく海浜安定のための突堤や離岸堤を設けた場合、これらの構造物が海水汚濁に対する影響を実験的に調べた。

実験に使用した模型は水平、鉛直縮尺を1/100とし、一定水深の定常潮流および夏期の小さい波を作用させた場合について、流れの分布や染料の拡散を詳細に測定した。模型は、定常流で潮流に関するレイノルズ数も小さく層流であるので、実験結果から突堤や離岸堤の配置の影響を定量的に把握することはできなかったが、定性的な相対的比較を得ることができた。そうして、突堤や離岸堤の配置や構造を適度に考慮すれば、養浜のない現況よりも海水交換が促進される結果が得られた。また、海面付近に開口部を設けたスリットケーソンは堤内浄化に有効であることも確認した。

1. はしがき

近年は都市生活の緊張と過密状態になやまされている人々にとって、レクリエーションに費やす時間が年々増大される傾向にあり、そのレクリエーション場の一つとして簡単に利用できる海浜が、魅力的なレクリエーション場としてその重要性が高まりつつある。従来の海浜と言えば、ほとんど夏期の海水浴が主目的であったが、最近ではヨットやボートあるいは魚釣場として一年中利用されるようになってきた。

しかし、わが国の海浜または砂浜は、波浪や沿岸流の影響を受けて侵食の傾向が強く、このため貴重な天然資源であるレクリエーション用の海浜が消失されつつある。したがって、その対策として養浜および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、突堤や離岸堤の設置は海水の循環や交換を阻害し、海水が汚濁されるおそれがある。このような侵食防止対策で用いられる構造物設置に伴う水質汚染を対象とした研究は、これまでほとんどなされていないようである。

本研究は、須磨海岸の人工海浜における突堤や離岸堤の海水汚濁に関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。

2. 須磨海岸の現況と養浜計画

2.1 海岸の自然条件

2.1.1 地形

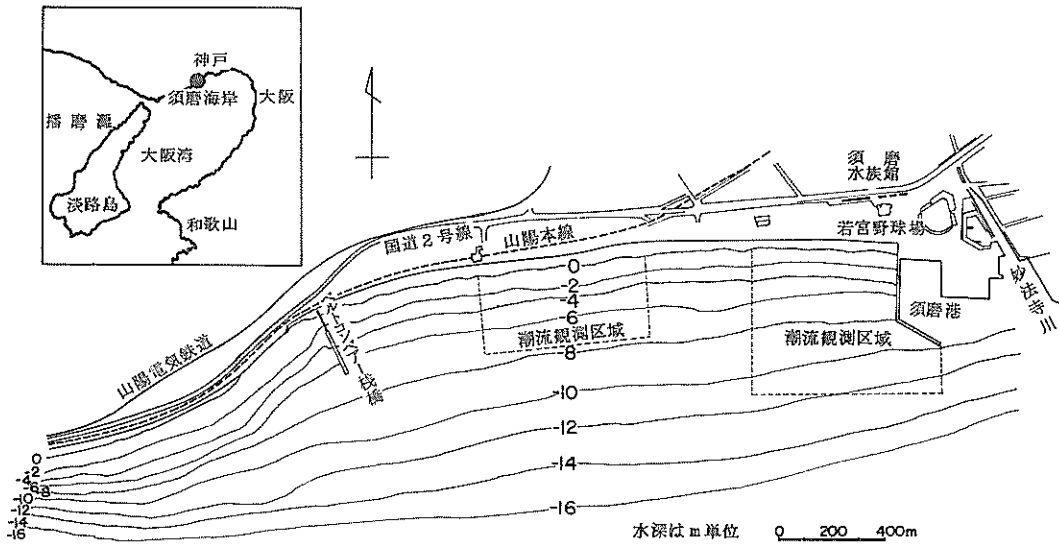
図-1に示すように、須磨海岸は大阪湾の明石海峡に近い湾奥に位置している。海底地形は海岸線が須磨浦公園から東にかけて陸側へ大きく屈曲しているのが特徴的で、西側では海底勾配が比較的急であるが、東側すなわち須磨港防波堤に近づくにつれ勾配は緩やかになっている。このため西側の海岸では波の当りも強く、テトラや張り石等の消波工が施工されているが、陸側に入り込んだ東側海岸は、単調な砂浜となっている。

総体的な海浜形状としては、後浜の高さは+3m、前浜勾配は1/10前後で、その沖側水深-6mまでは、1/20～1/30と比較的急であるが、それ以深はほぼ1/80と緩かになっている。

* 海洋水理部長

** 海洋水理部 水理研究室長

*** 海洋水理部 水理研究室



図一 須磨海岸の地形および位置

2.1.2 底質

須磨海岸の前浜から沖浜へかけての底質の平均粒径は、前浜では数mm程度であり、水深-1m~-6mでは0.3~0.5mmを示し、水深-10m以深では潮流の影響を受けて数mmとなる。これは汀線付近では砕波により、また、沖側では潮流によって底質が篩分けられ粗粒が残るためである。

2.1.3 気象

当海岸で支配的な風は年間を通じてSWとWSWであり、これが卓越する期間は4月~8月である。また、大きな波浪はSSW~SWの方向であり、これは距岸距離からも裏付されている。したがって、その卓越期間はS-Wの風とよく一致している。しかし、今回は夏期の海水浴季節を対象としているため、波浪は紀伊水道からのうねりを考慮し、波高50cm、周期8sec、波向SSWと推定した。

次に潮流については、図一に示す今回の実験対象の水域で大潮漲潮時を選び、フロートおよび流速計による潮流観測を行った。図二は反流のある水域 図三は反流のない水域の現地流況を示すものである。

図二によると、フロートと流速計による値は多少異なっているが、沖側では30~50cm/secの西流であり、海岸近くでは須磨港防波堤による時計方向の4~20cm/secの反流があることがわかる。一方、沖側の本流が東流の場合には、海岸近くも当然東流を示すことから、この須磨港防波堤のすぐ西側の海岸付近は、常に東向きの潮流が卓越していることが明らかである。なお、流速計測定

範囲には海苔棚が表面に浮んでいた。

図三は、須磨港防波堤から西方に1.5km離れた水域であるため、図二でみられたような反流は存在しない。図から明らかなように、汀線近くでは突堤の内側に流入する傾向が強い。一方、沖側ではほぼ海岸線に平行な流況を示している。なお、この水域においても沖側は海苔棚の関係で観測はできなかったが、図二と同様に汀線から十分離れた沖側では30~50cm/secの流速があったものと推定される。

2.2 人口養浜の計画

須磨海岸は、現在阪神地区に残された唯一の海水浴場であり、高潮から背後市街地を防護し、レクリエーション用の海浜巾を維持または拡張することを試みてきている。そうして、それに対する適切な方策を見出すために、昭和43年から種々の現地調査ならびに模型実験などによる研究調査が行われている。¹⁾²⁾³⁾

神戸市では、昭和48年より海岸環境整備事業として海岸の利用価値を積極的に向上させることに主眼を置き、人口的に砂を補給して浜巾を広げるとともに、海岸背後にもレジャー施設を建設することに着手した。図四は上述した一連の研究調査によって推奨されたレクリエーション海浜断面である。³⁾

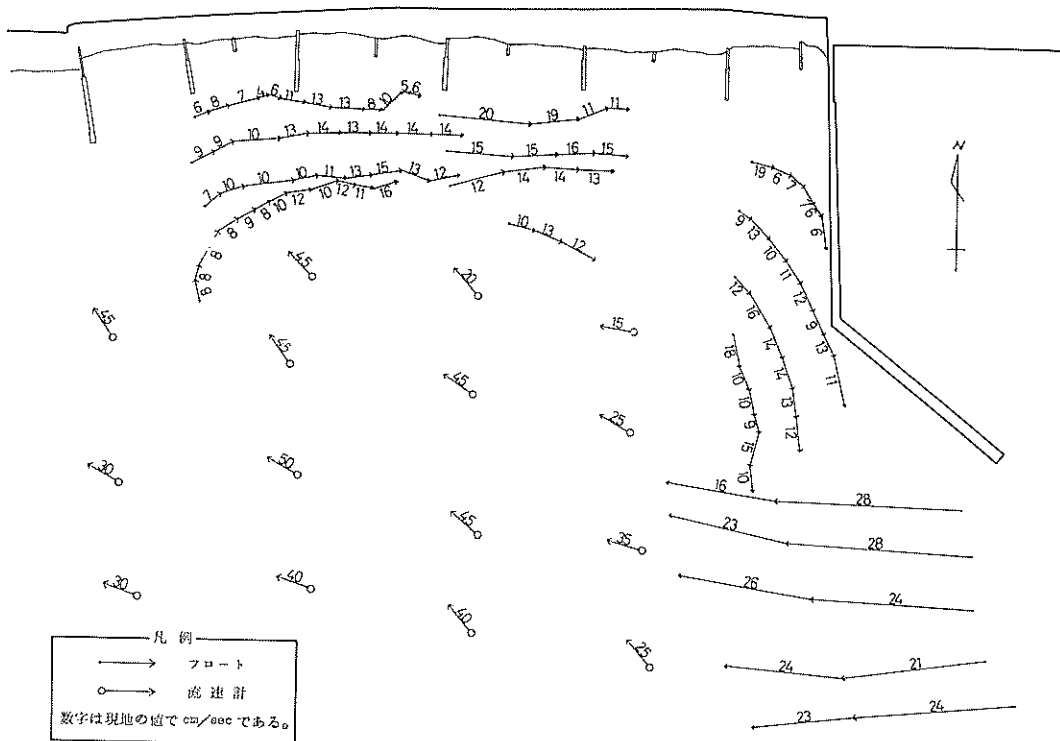


図-2 現地潮流観測(反流のある水域)

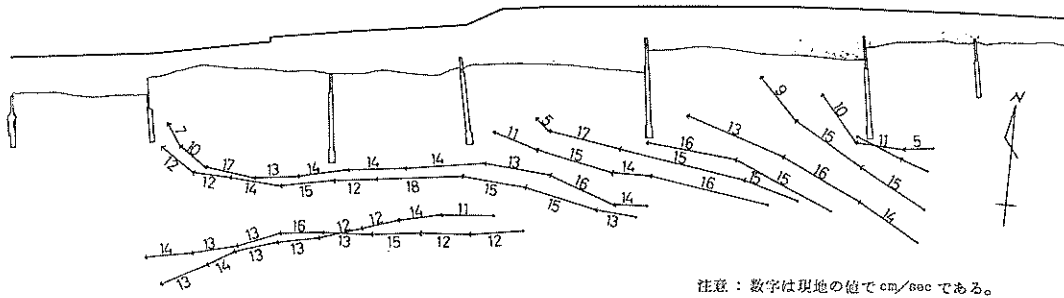


図-3 現地潮流観測(反流のない水域)

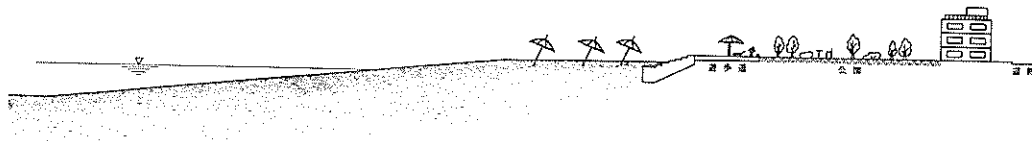
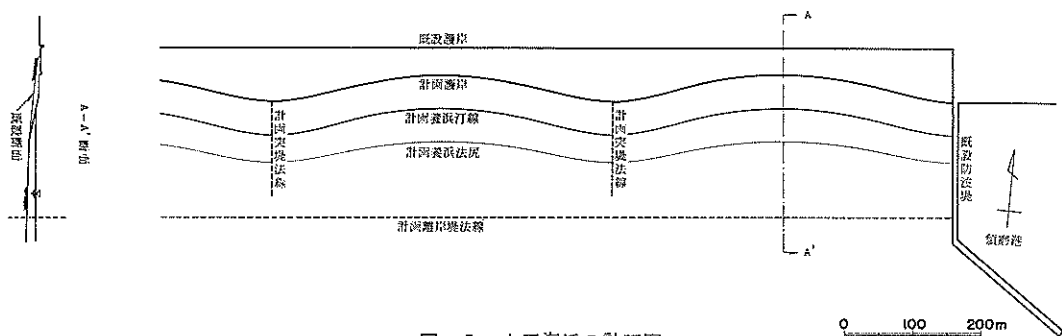


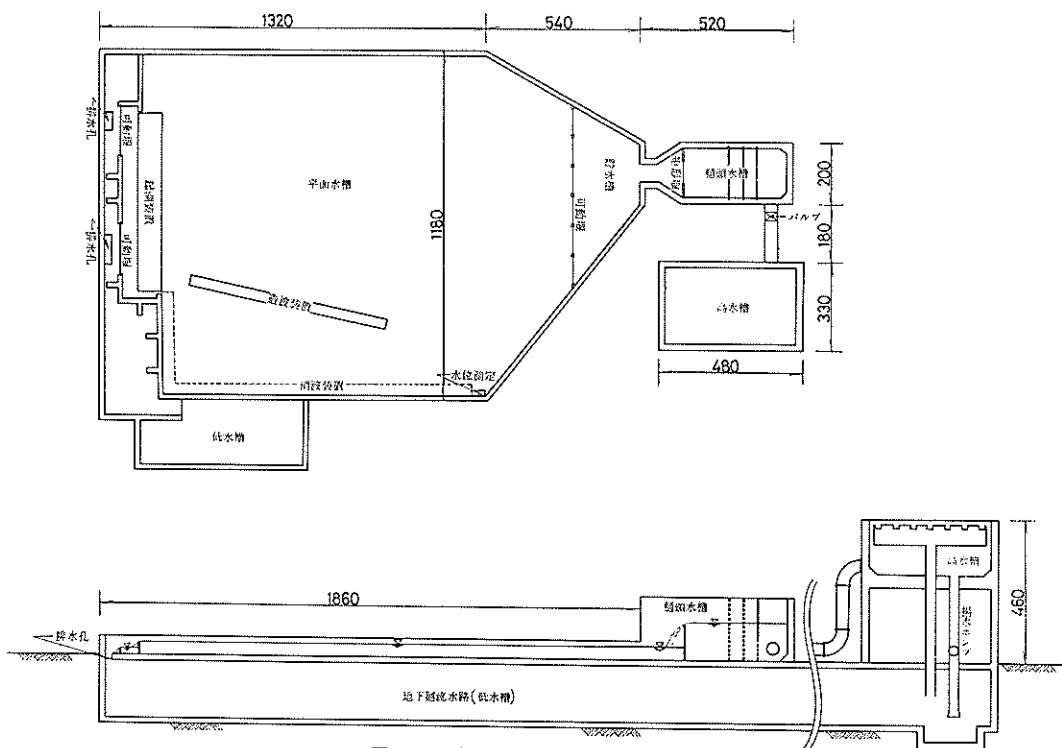
図-4 推奨するレクリエーション海浜断面図

本整備事業は、上述の海浜断面を参考として図-5に示すような人工海浜計画をもっている。すなわち、計画の海岸線は従来の海岸線から沖側に40~80mの緩やかな円弧で前進させ、それから沖に向かって平行に100m巾で

養浜する。この養浜断面は後浜+3m、前浜勾配1/10でその後浜の巾を30mとした。本実験は、この人工海浜計画に対する突堤や離岸堤の海水交換に対する影響を調べ、その適切な配置を求めることを主眼として行った。



図一五 人工海浜の計画図



図一六 実験装置略図(単位: cm)

3 実験方法

3.1 実験装置

実験は当研究所の図一六に示した廻流装置を有する平面水槽内で、模型の縮尺を水平・鉛直とも現地の1/100とした。実験水の供給は循環式であり、低水槽より高水槽へ固定翼軸流ポンプ(φ 300 mm)でポンプアップし、これより給水管を通して樋頭水槽に送られ、さらに平面水槽を流れて低水槽へ環元する。

流量の調節は、給水管に取付けてある制御弁の開閉により手動で行い、流量の検定は樋頭水槽内に設置されて

いる幅80cmの矩形量水堰を用いている。その検出方法は量水堰の上流約80cmのところに取付けた触針型水位計より、デジタメータで流量の測定を行った。実験ではさらに正確を期するため平面水槽の一隅に小さな水孔で模型と連結した水位測定用の小水域を設け、その水位をネオン管式水位計により精度1mmで測定した。また各実験は、流量制御後ほぼ2時間の余裕をおいて模型内の流れが定常状態になってから開始した。

造波機は、写真-1に示すような造波板の下端にヒンジを設けたフラップ型を用いた。その発生波の範囲は、周期 $0.4 \sim 1.6 \text{ sec}$ および最大波高 30 mm である。

起潮機は、写真-2に示すような起潮板を駆動させる制御方式である。すなわち、起潮板の下端にはヒンジがあり、その上端はアームの水平運動により前後に駆動される。このアームは周期的に回転方向が逆転するモーターと連結された駆動部により動かされる。なお、駆動可能範囲は周期 $0 \sim 120 \text{ min}$ および水位最大振幅 50 mm である。

3.2 測定方法

流れに関しては、今回の実験流速が岸側で $0.2 \sim 2.2 \text{ cm/sec}$ ときわめて小さいため、通常のプロペラ流速計では測定が不可能であった。したがって、電動台車より模型底面に印した各測点で、フロート（プラスチック製の球形 $\phi 10 \text{ mm}$ および発泡スチロール球形 $\phi 3 \text{ mm}$ ）を用い、一定区間を数回繰り返してその区間の流速をストップウォッチにより測定した。この場合、流速が極端に小さいため、水面の微小なホコリなどによる被膜がフロートの流れに影響を与える。このため実験の開始前にはかならずガーゼ等で水面上のゴミを取り除いた。

次に海水浴客や下水の流出により海浜に発生する汚濁の拡散状況を調べるために、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、アクリル水槽にビニール管が接続された矩形容器を用いている。この場合、各ビニール管の先端にはノズル ($\phi 1 \text{ mm}$) を取付け、矩形容器からの分岐点に設けた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、実験初めの15分のみ染料を投入した。そうして投入した染料流出量はすべての実験ケースにつき総量 1800 cc の一定とした。また、染料の拡散状況は模型上 7 m の高さに設置した広角レンズカメラにより、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 $100, 10, 1, 0.1, 0.01 \text{ ppm}$ の染料サンプルを置いた。写真-3はこのカラー写真の一例であり、黄色に写っている部分が染料である。このような写真から右上方に写っている染料サンプルの濃度を基準として目視で後述のような濃度分布図を作成した。なお、模型の海底面はホワイトペイントで塗装し、染料濃度の判別に便利なようにした。

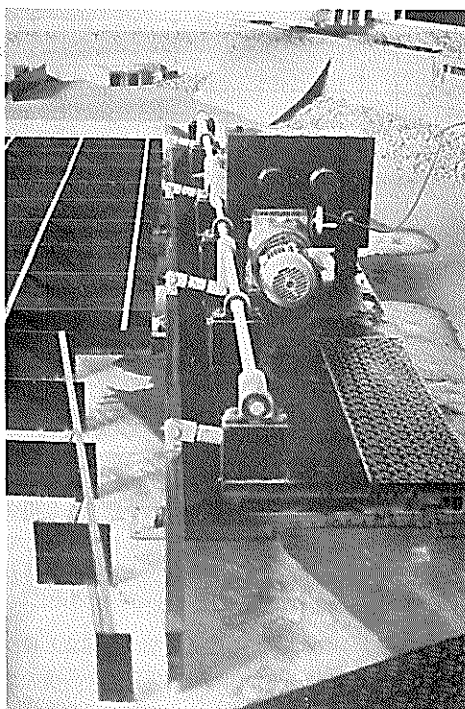


写真-1 造波装置

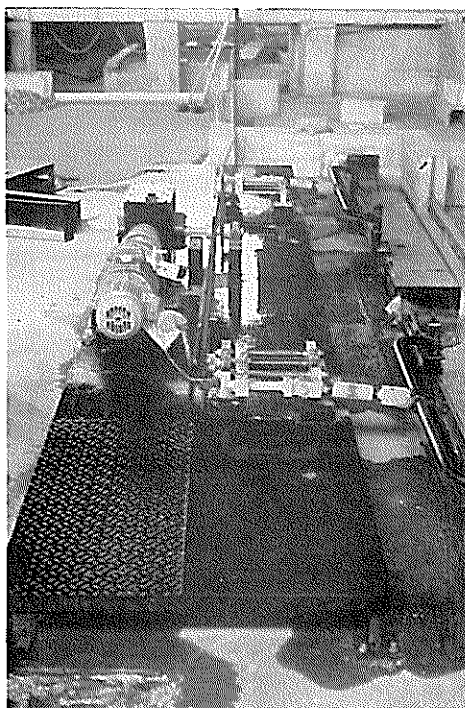
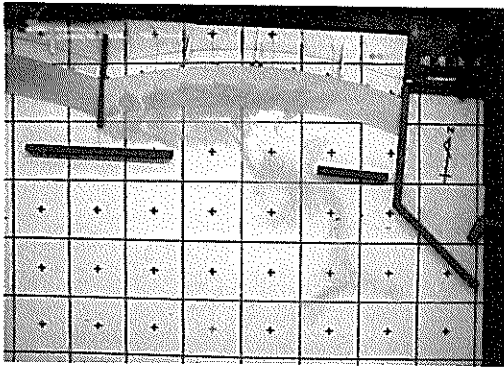


写真-2 起潮装置



写真—3 染料の拡散状況

3.3 実験条件

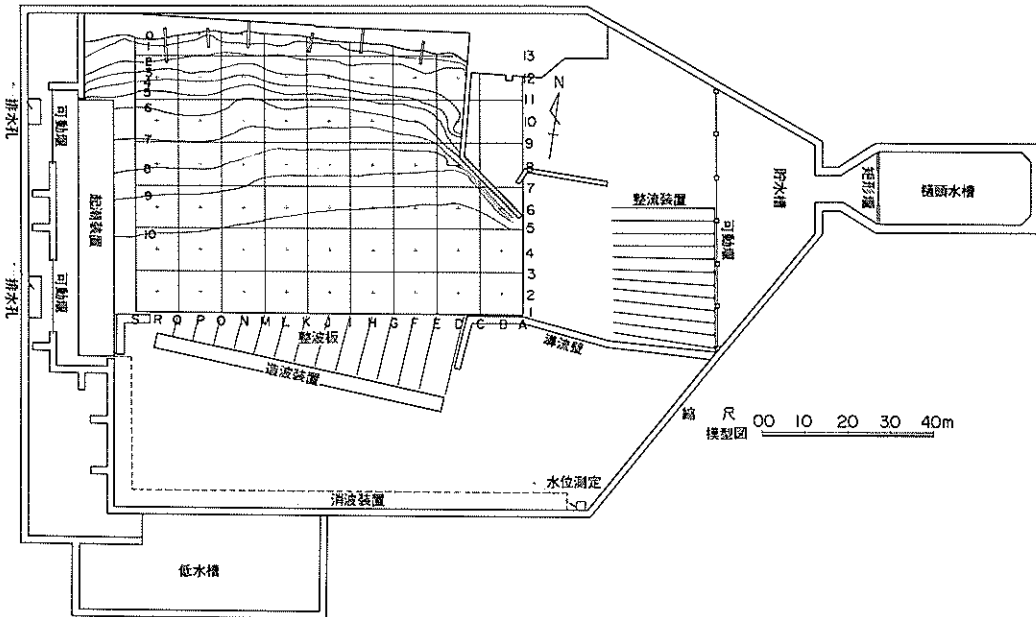
今回の実験では、潮汐による流れや波浪を作用させた時の染料の拡散を取扱うため、模型の相似性としては潮流および拡散現象の両者について考慮しなければならない。

まず潮流に関する相似の条件としては、原型と模型とで鉛直断面平均流速についての運動方程式の各項の比を等しくおくことにより、よく知られるフルードの相似則と底面摩擦抵抗についての関係が得られる¹⁾。この場合、水平縮尺と鉛直縮尺を一致させるという制約は入っていない。

拡散を対象とした模型実験においては、一般に拡散係数を原型と模型とで相似に与えることが必要であるが、その具体的方法はよくわかっていない。また、今回の実験のように構造物の周辺での流れにもとづく拡散を問題とする場合には、歪み模型での現象の再現性には疑問がある。そこで今回の実験では、水平・鉛直とも1/100の歪みなし模型とした。しかし、前に述べたように模型の流速が小さいため、現地と比較してレイノズル数が小さいので、小さいスケールの乱れにもとづく拡散については十分に再現できなかったおそれがある。なお、模型縮尺は水平・鉛直とも1/100であるので各水理量の縮尺関係は、フルードの相似にもとづき表—1のようになる。

表—1 模型の縮率

水理量	現地	模型
水平距離	1	1/100
鉛直距離	1	1/100
流速	1	1/10
波高	1 (50 cm)	1/100 (5 mm)
周期	1 (8 sec)	1/10 (0.8 sec)
波向	SSSW	SSSW
水位変化	1 (12時)	1/10 (72分)



図—7 模型の配置 (反流のある水域)

4. 実験結果

4.1 反流のある水域

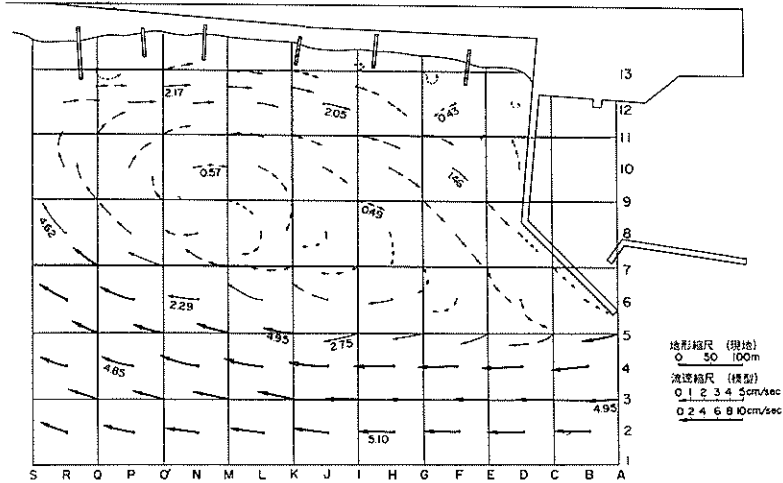
反流のある水域として神戸市須磨港の西側付近を対象に取上げその模型を図一7に示す。

潮流と波浪は前に述べたように夏期の条件に対応するように決めた。すなわち、潮流は沖側で約 5 cm/sec (50 cm/sec) の定常流とし、この場合樋頭水槽から模型内に流入する流量 Q は 10 l/sec (1000 t/sec) であった。一

方、波浪は沖波高 $H\ 1/3 = 5\text{ mm}$ (50 cm)、周期 $T\ 1/3 = 0.8\text{ sec}$ (8 sec)、波向 $S\ S\ S\ W$ とした。なお、括弧内は縮 ($1/100$) を考慮した現地の値を示す。以上に述べる定常流の実験では、模型静水面は図一7の $\pm 0\text{ cm}$ より平均潮位 $0.8\ 5\text{ mm}$ (85 cm) に相当する分だけ高くなっている。

4.1.1 現況地形の場合

現況地形における流況分布を図一8に示す。前述した図一2の現地観測値とはほぼ同じ流況を示している。すな



図一8 現況地形の流況分布 (潮流のみ)

わち、沖側における流向が西向きに順流域と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る。順流域の流速は $3.9 \sim 5.9\text{ cm/sec}$ および反流域の流速は $0.2 \sim 2.2\text{ cm/sec}$ 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小さい。しかし、微流速にもかかわらず流向の変動は大きいように見受けられた。さらに、防波堤の先端付近では図示していないけれども剥離による小さな渦流がみられた。

次に図一9は潮流として前述の定常流のみを作用させ、前述のように初めの15分間だけ染料を投入したときの染料の濃度分布の時間変化を示したもので、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、図一8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される。さらに、この染料は防波堤に沿って沖向きに放出され、その大部分が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瞭である。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ば 100 ppm の染料がみられる。これは、この付近の潮流が弱いことと浸食防止用の突堤が設置されているため、その突堤先端から前浜にかけての水域は、ほとんど死水域に近い状態になるからである。

図一10は、潮流に波浪を加えた場合の濃度分布を示したものである。図から明らかなように、潮流のみ(図一9)と比較して前浜近くの濃度の減少が顕著である。すなわち、染料投入終了直後の15分ですでに染料が沖側の順流に乗っており、したがって、時間経過に伴って濃度変化の差が大きく現われている。これは、この付近が砕波帯内であることから、砕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め、その結果染料の拡散が強調されたものと考えられよう。

4.1.2 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、養浜は図一5に示したように、円弧状でその海側勾配を $1/10$ として前浜を前進させている。また、突堤先端と離

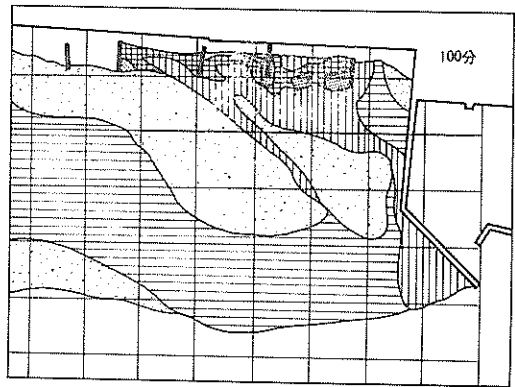
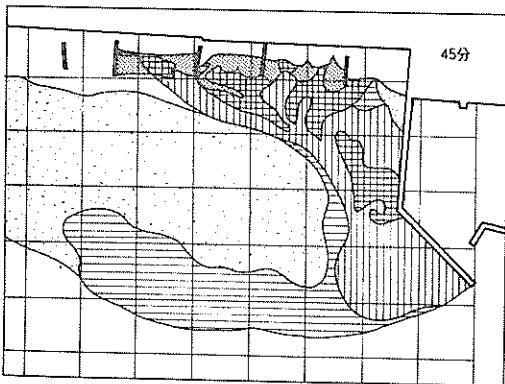
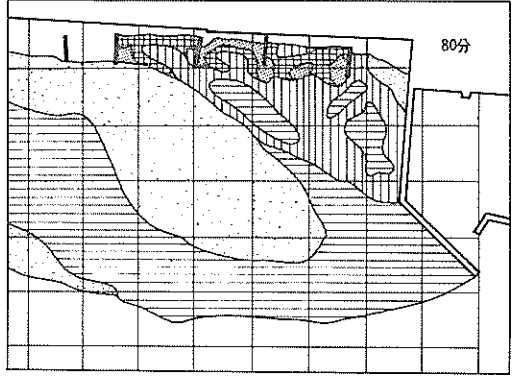
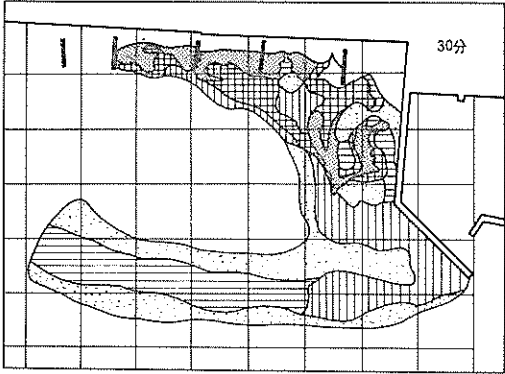
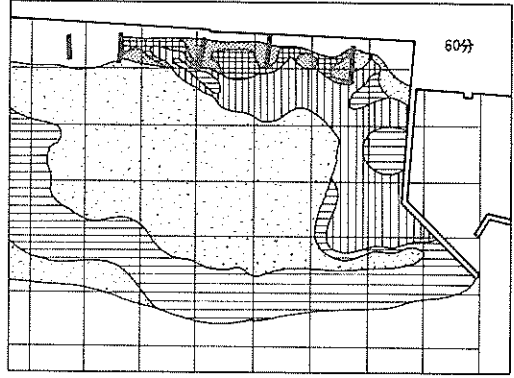
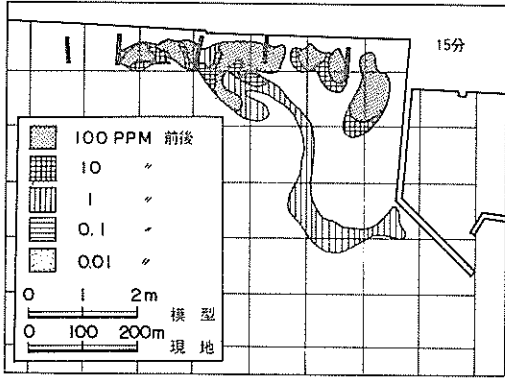
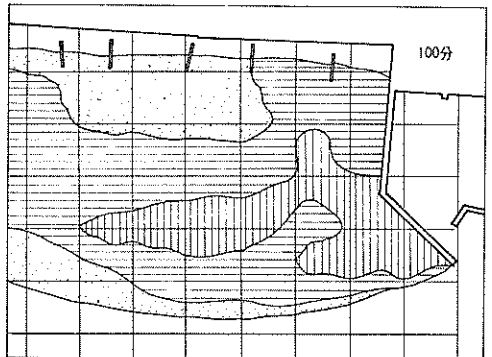
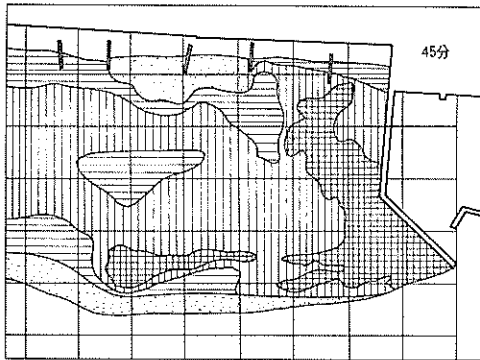
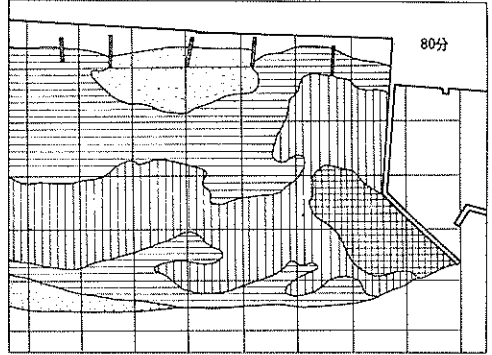
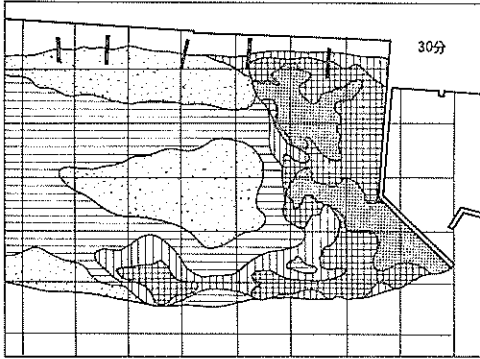
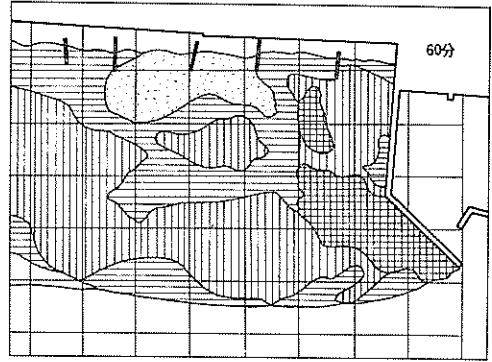
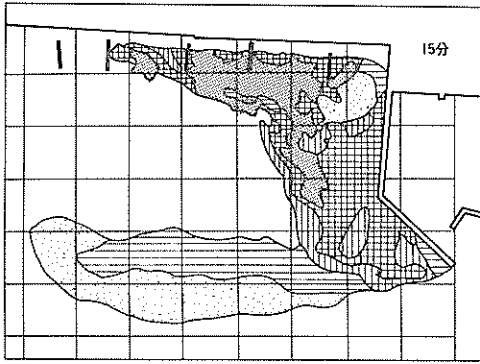
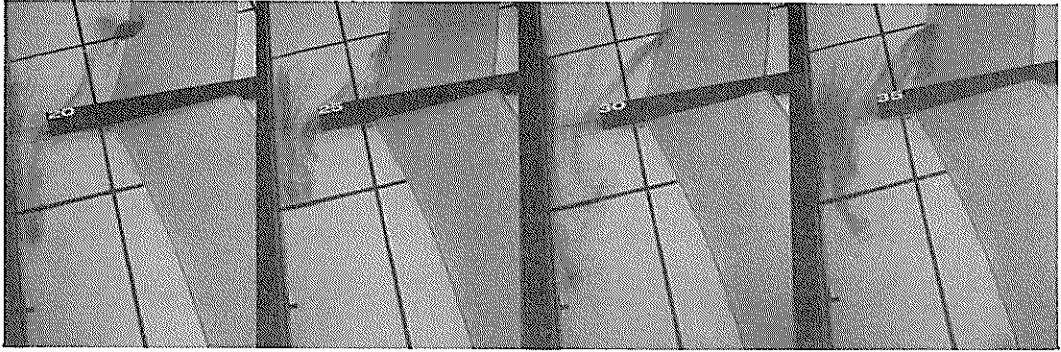


図-9 現況地形の濃度分布の時間変化（潮流のみ）

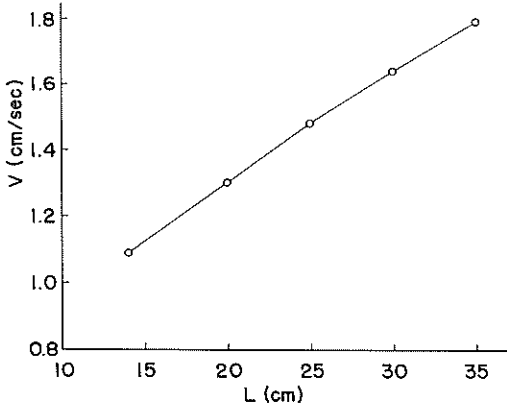


図—10 現況地形の濃度分布の時間変化（潮流と波浪）



写真一4 突堤と離岸堤の間を通過する染料パターン

岸堤の間隔を30cm (30 m) に取ってある。これは予備実験によって決定した。すなわち、写真一4は過マンガン酸カリ溶液をこの間隔に投入したときの染料分散パターンを示し、図一11は、各間隔に対するこの間を流れる流速の測定値を示したものである。これらから、この間隔が狭き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とがわかる。



図一11 突堤と離岸堤の間隔に対する流速値

図一12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、離岸堤を設けないケース1が離岸堤を設置した他のケースと比べて前浜で高濃度の染料が停滞している。これは、東に向う潮流（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潮流に対して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、染料の拡散をうながす結果となる。この場合、中央に離岸堤のある場合のケース2とそれが無い場合のケース3とでは、後者の場合が堤内の濃度は減少してい

る。そこで、離岸堤の配置はケース3のままとし、砂の移動を防ぐ目的で、前浜の中央に突堤を設けたのがケース4とケース5である。この両者を比較すると、中間突堤の長いケース4の方が防波堤寄りでの濃度が高くなっている。さらに、ケース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推積を防止する目的で行ったものであるが、この空間のないケース5と比較すると、その空間を設けた堤内寄りの離岸堤背後に若干の染料が停滞する程度で、その他はケース5の濃度分布と大差はない。

図一13は、潮流に波浪を加えた場合で、図一12と比較して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一12と大差はない。しかし、図一12でみられたケース4の中間突堤と防波堤の間およびケース6の空間を設けた堤内寄りの離岸堤背後の染料の停滞が図一13では消失している。これは、波を加えたことにより構造物の影響で乱れが大きくなり、さらに波による沿岸流が加算された効果であろう。

以上の各ケースの内ケース4を選び、時間経過に伴う染料の拡散パターン状況を図一14に潮流のみの場合、図一15に潮流に波浪を加えた場合を示す。これらを現況地形の図一9および図一10と比較すると、前浜近くの水域で染料濃度の低下が目立っている。これは前に述べたように、離岸堤が導流堤の役割を果たすことから堤内の潮流循環が良好化し、さらに突堤は堤内の流況に変化するすなわち、乱れを起すためと考えられる。したがって、構造物を設けない自然海岸より染料の拡散を促進させる結果となる。

次に流況分布を図一16～21に示す。各図からわかるように、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、図一16と図一19および図一17と図一20はそれぞれ離岸堤がない場合および離

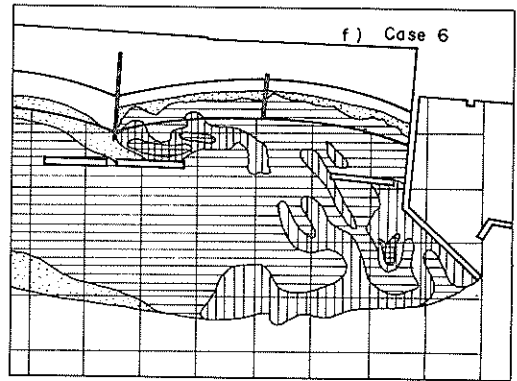
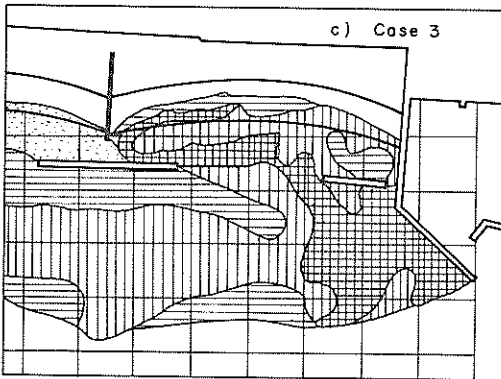
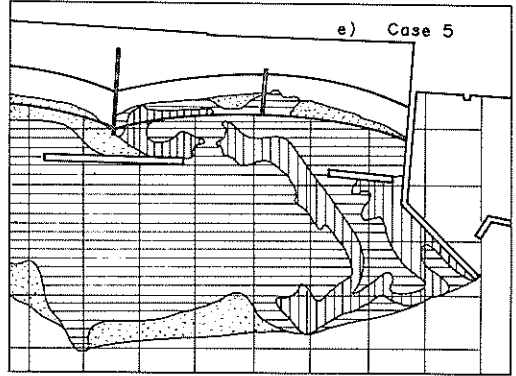
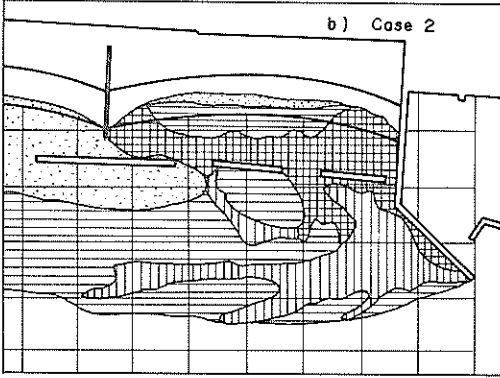
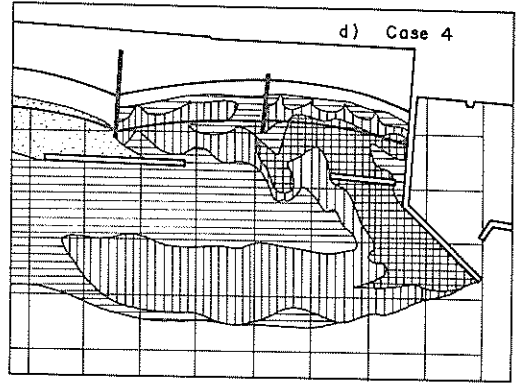
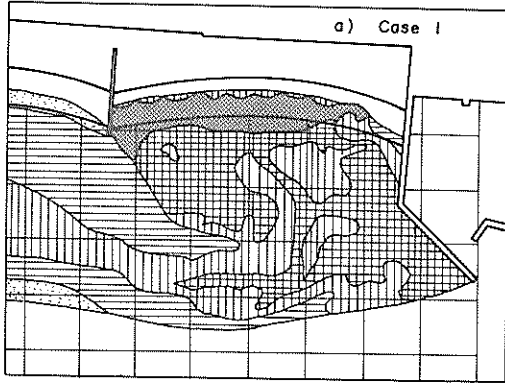


図-12 60分後の濃度分布のケース別比較（潮流のみ）

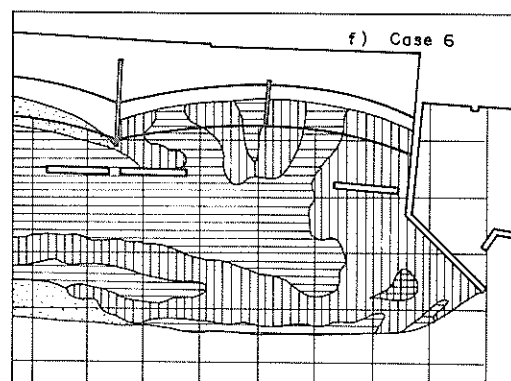
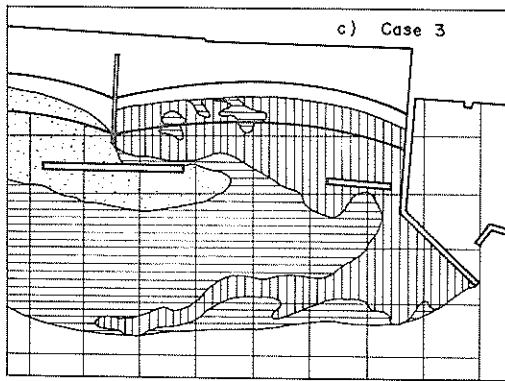
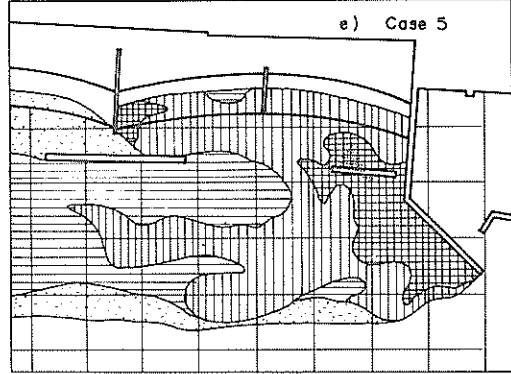
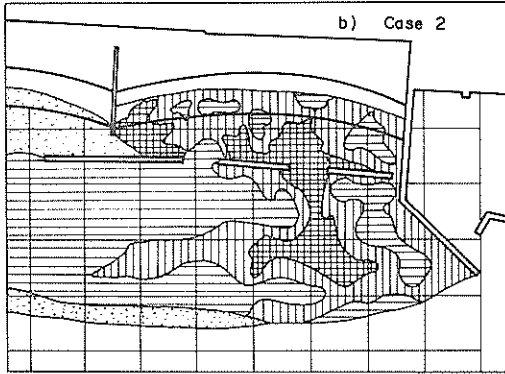
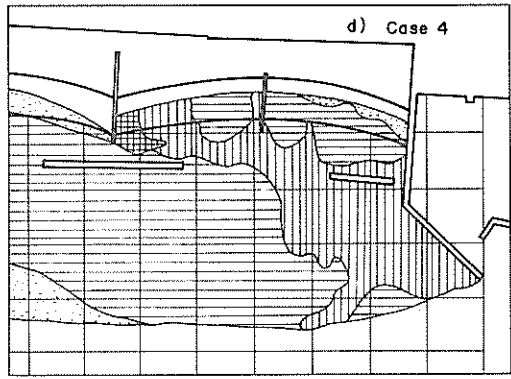
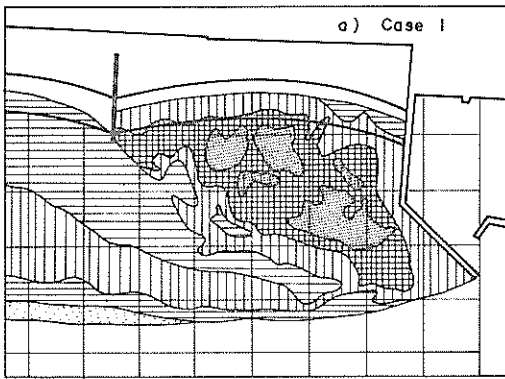


図-13 60分後の濃度分布のケース別比較（潮流と波浪）

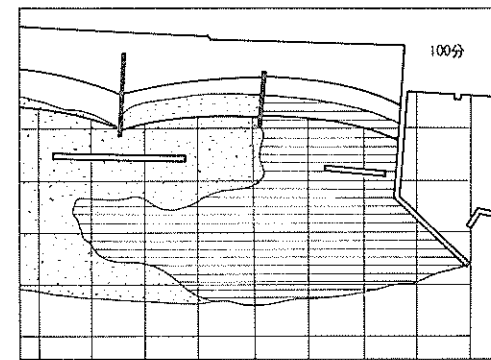
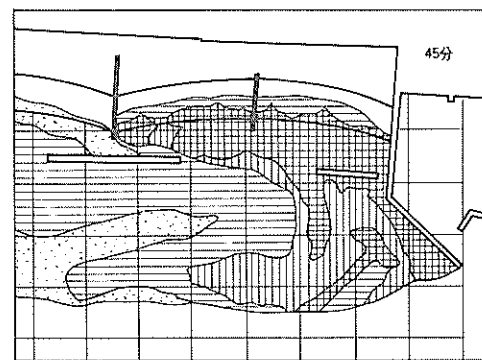
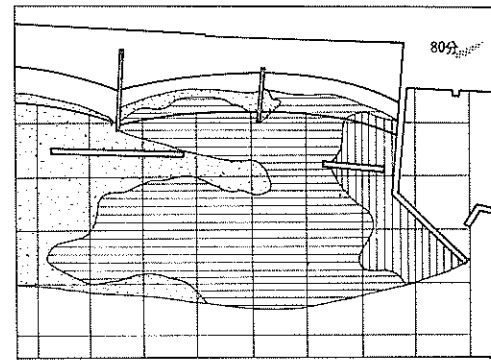
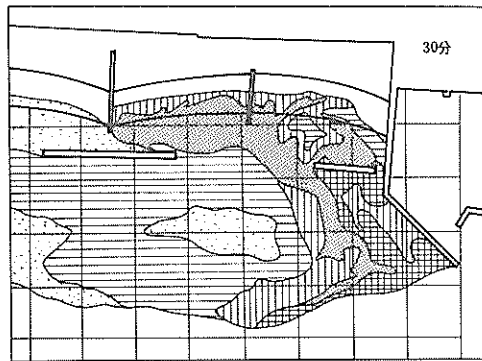
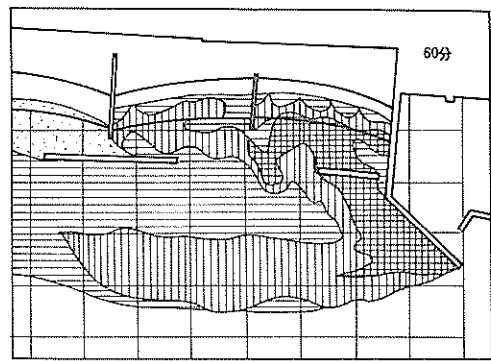
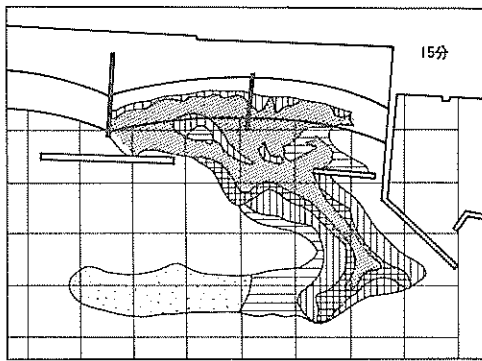


図-14 ケース4の濃度分布の時間変化(潮流のみ)

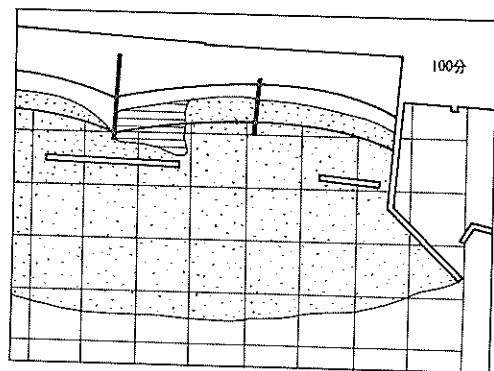
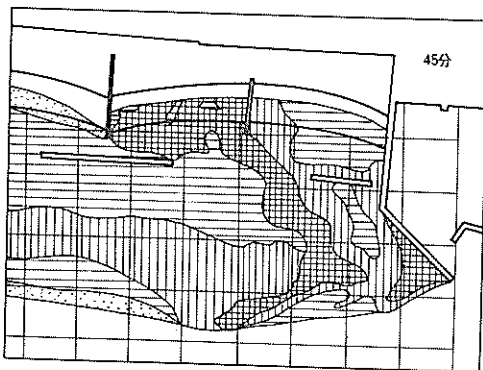
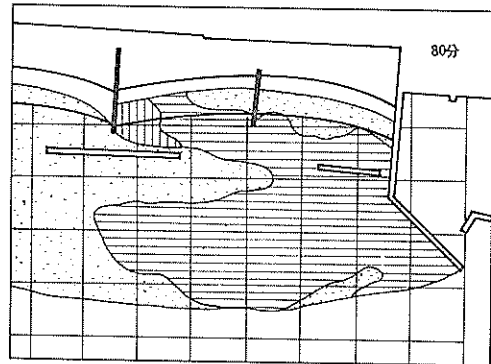
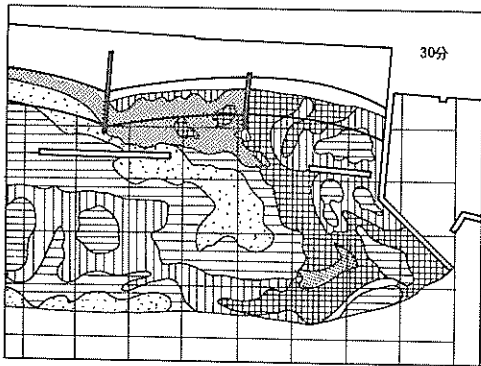
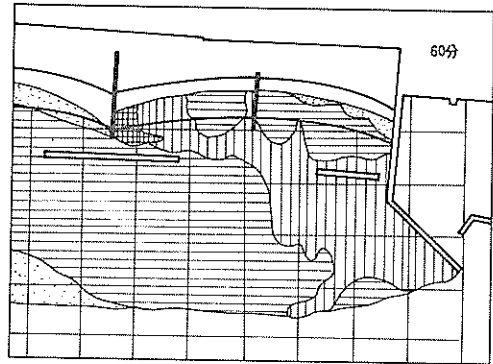
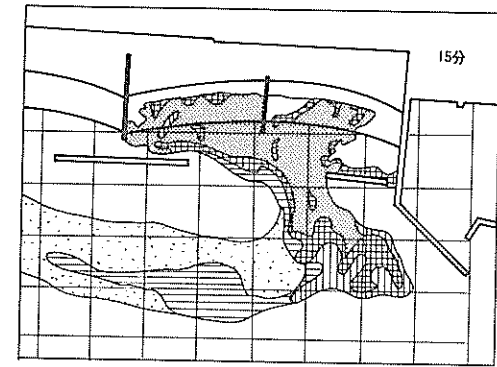


図-15 ケース4の濃度分布の時間変化(潮流と波浪)

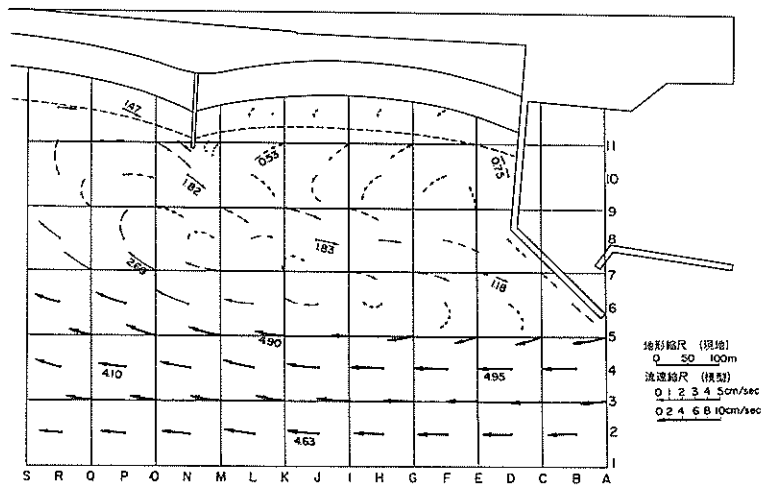


図-16 ケース1に対する流況分布（潮流のみ）

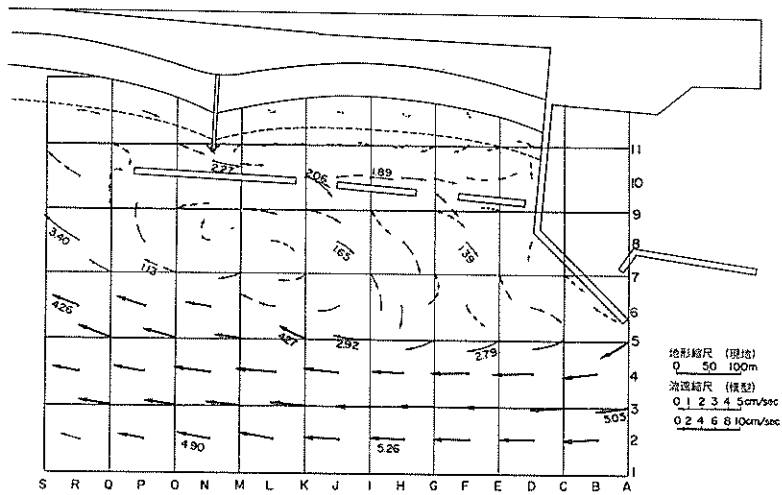


図-17 ケース2に対する流況分布（潮流のみ）

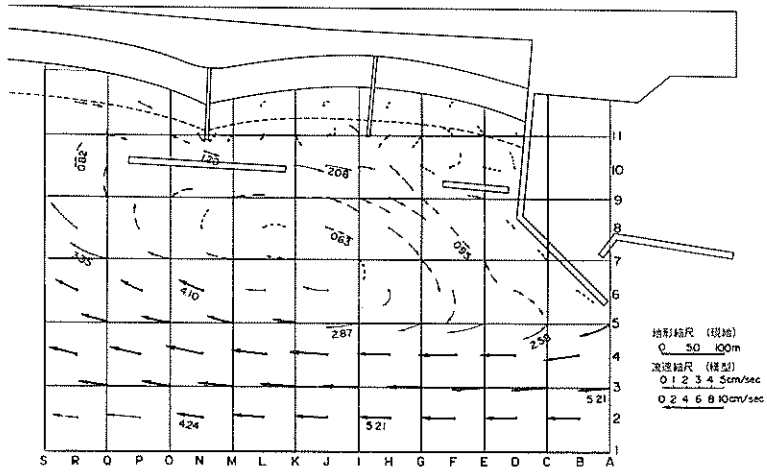


図-18 ケース4に対する流況分布 (潮流のみ)

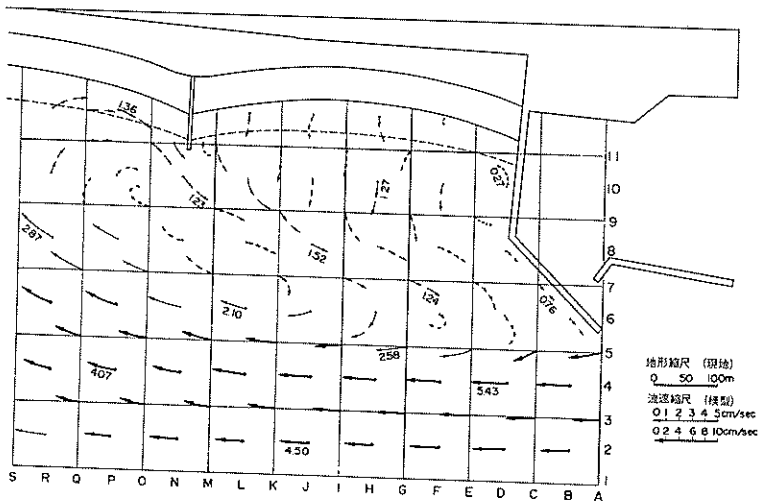
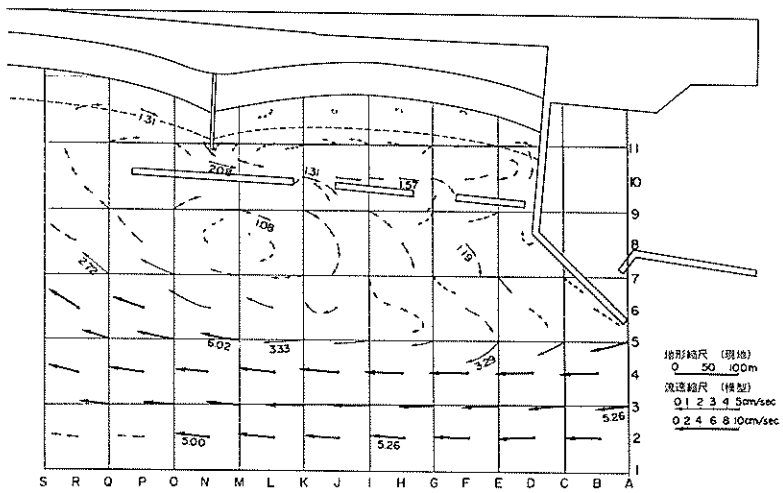


図-19 ケース1に対する流況分布 (潮流と波浪)



岸堤がある場合であり、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-20を例にとると、堤内の流況は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。これが図-12、図-13においてケース1よりもケース2が前浜近くの濃度が減少した主要因と思われる。また、図-18、図-21は前述したように中央に離岸堤がなく、かつ前浜の中央に突堤を設けた場合であり、流れが堤内から開口部に向い、さらに沖に向う傾向が強く現われている。また、中間突堤と防波堤との間には環流が生じている。これらが図-12の濃度分布で述べた離岸堤や中間突堤の配置の相違による染料拡散に大きい影響を与えているものと推定される。

4.1.3 水位変動を加えた場合

今回の実験は主として定常流で行っており、この場合に問題となる離岸堤の堤内と堤外側との潮汐変化に伴う海水交換が入らない。そこで本来の潮汐現象と異なるが、水位変化の海水交換に与える影響をチェックする目的で模型への流入量は一定のままとし、模型下端のゲートを潮汐と同じように上下に動かした。この上下動の振

幅は1.7cm(現地換算で170cm)周期は72分(12時間)で

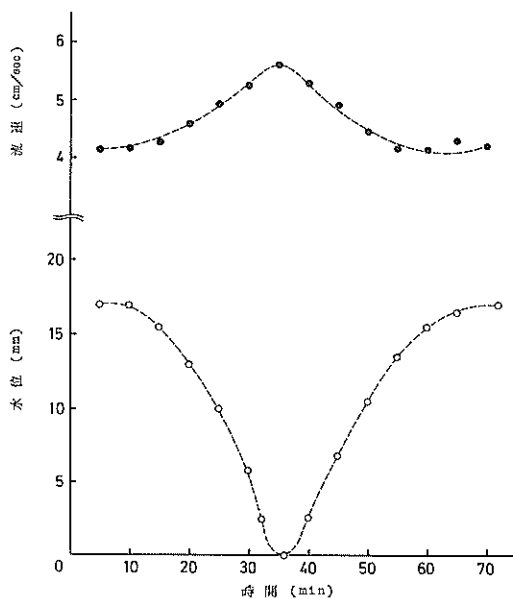


図-22 実験における水位と流速の関係

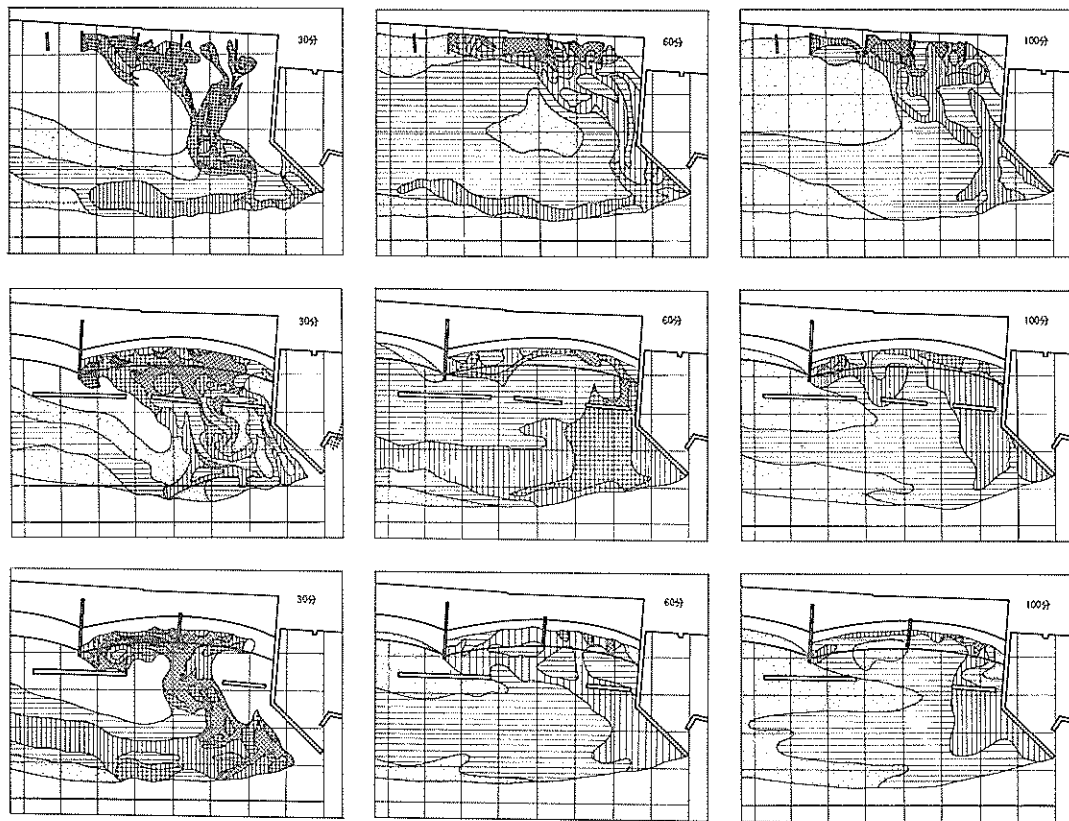


図-23 時間経過に伴う濃度分布のケース別比較(潮流と水位変化)

ある。その結果図-22に示すような沖側の流速と水位の関係が得られた。

図-23は、潮流にこのようにして水位変化を加えた実験での現況地形および構造物のあるケースについて、濃度分布の結果を比較したものである。図からわかるように、現況地形の図-9の潮流のみの場合、構造物を設置した場合の図-12と比較すると、水位変化を加えた方が多少前浜近くや離岸堤内の染料の沖側への拡散が若干速いことがわかる。しかしケース間の相対的な差はほとんど変化がない。

4.2 反流のない水域

前項で述べた須磨港付近の流況は場所的な影響が顕著であるため、そこから西方で反流が発生しない水域を選び図-24に示す範囲を取入れた。

まず、模型に使用した流量は図-3に示した観測データを参考にし、模型上の流速分布を検証しながら現地の状況に近づけた。その結果は $Q = 30 \text{ L/sec}$ ($3,000 \text{ t/sec}$) となり、この流量をもって実験を進めることにした。

4.2.1 現況地形の場合

図-25に示すように、対象水域に流入する潮流はほぼ

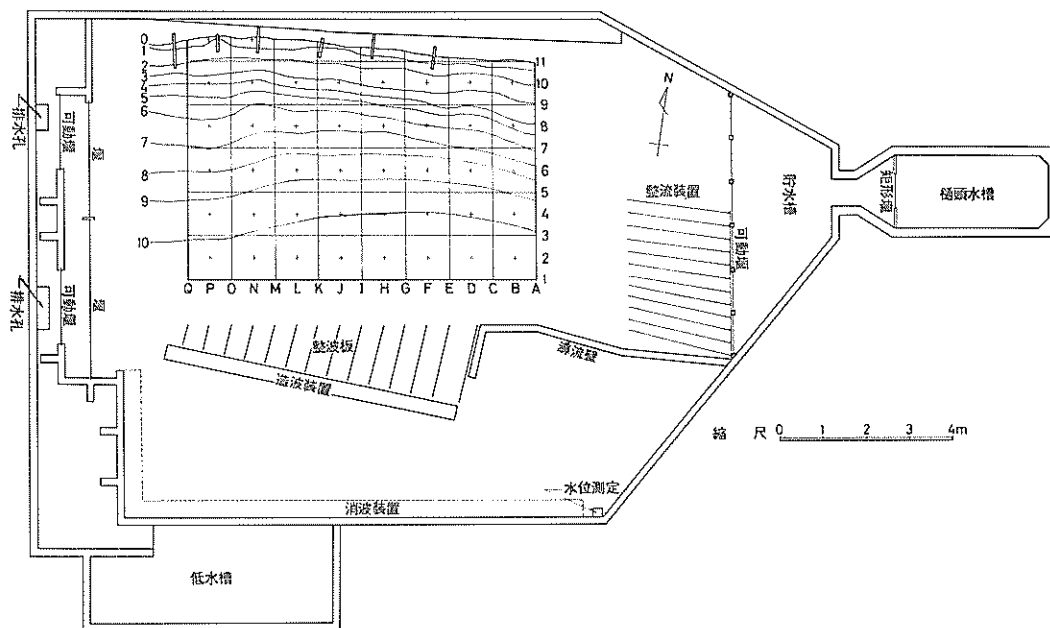


図-24 模型の配置 (反流のない水域)

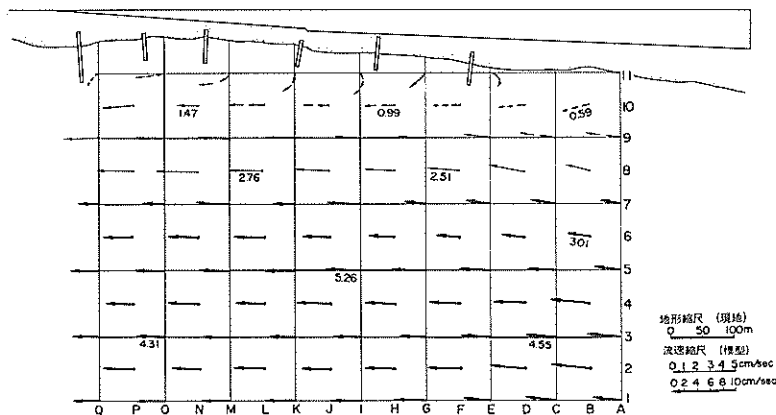
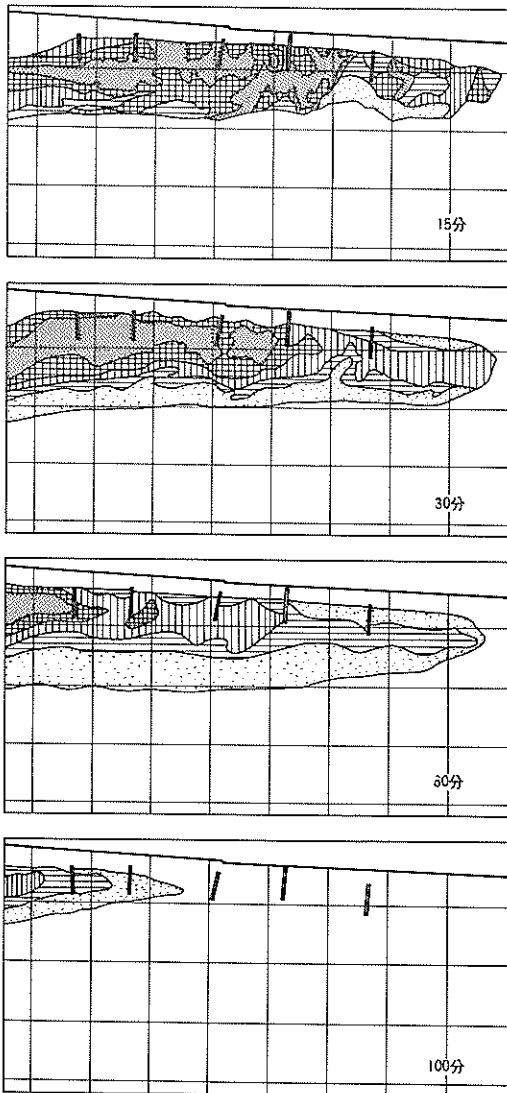


図-25 現況地形の流況分布 (潮流と波浪)

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 5 cm/sec (50 cm/sec) 程度である。特に、突堤より前浜にかけての流況は複雑な様相を示しており、突堤による流れの変化や砕波の影響を受けるため、定常的な状態として流向を知ることは困難であった。しかし、流れそのものは沖側の主流に比べ非常に小さい。

図一26は、現況における濃度分布を示したものである。前浜の汀線に投入された染料が砕波による乱れと波による沿岸流が加算される結果、その潮流によって混合希釈

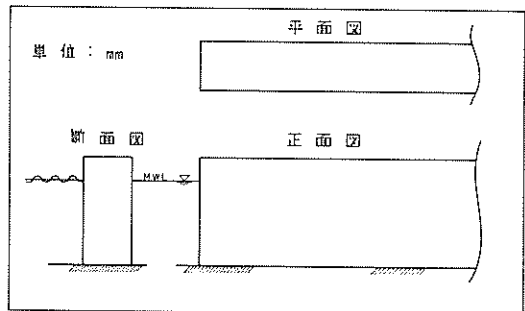


図一26 現況地形の濃度分布の時間変化 (潮流と波浪)

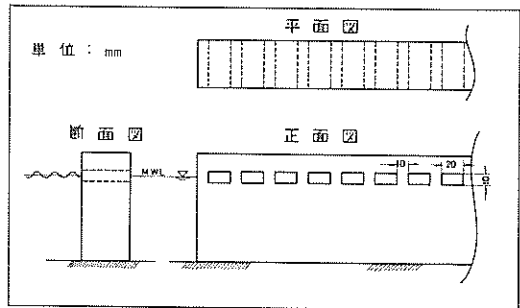
されながら時間経過に伴ない西方へ分散される。

4.2.2 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。図一27は不透過堤、図一28はスリットケーソン堤の構造図である。なお、スリットケーソン堤は、潮汐の干満を考慮して平均潮位を基準として縦 10 mm (1 m) 横 20 mm (2 m) の開口を設け、ここから波や流れの浸入による海水の交換を促進させる効果に主眼をおいた。

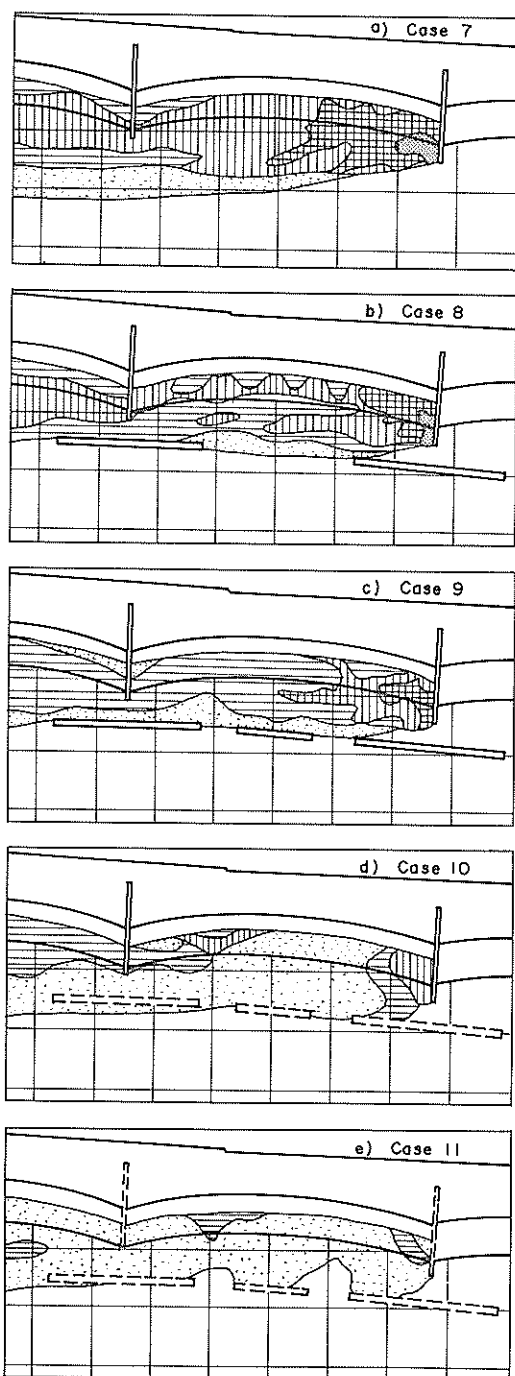


図一27 不透過堤模型構造図



図一28 スリットケーソン堤模型構造図

図一29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。図中のケース7~9の突堤および離岸堤は不透過堤であり、ケース10は離岸堤のみスリットケーソン、ケース11は突堤・離岸堤ともスリットケーソンである。図から明らかなように、スリットケー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、スリットケーソン堤の場合後述するようにスリット部から波が堤内に入り、さらに離岸堤の開口部に向う流れが起るため、堤内と堤外側との海水交換を良好させる。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である。しかし、この場合



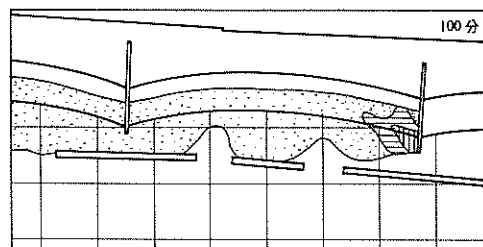
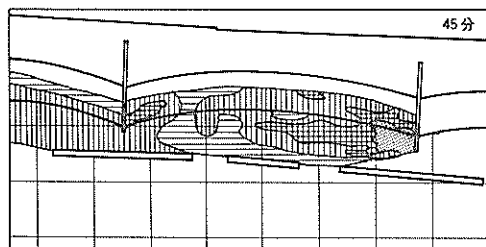
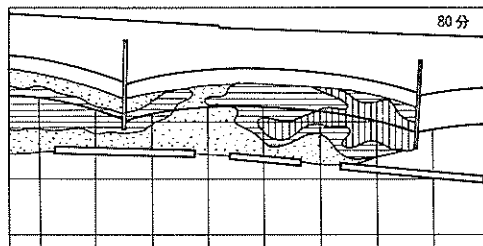
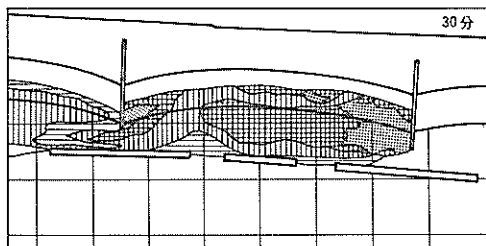
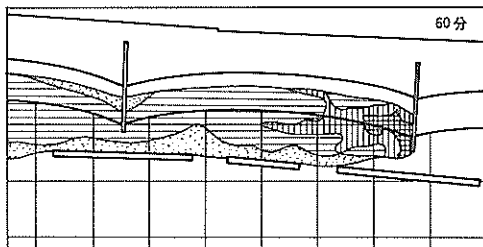
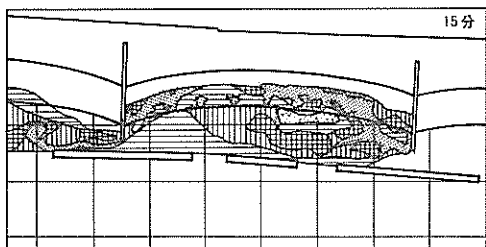
図一29 60分後の濃度分布のケース別比較
(潮流と波浪)

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、ケース10とケース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。

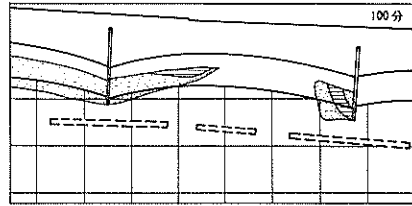
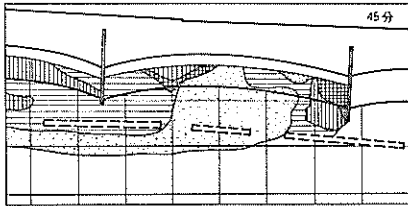
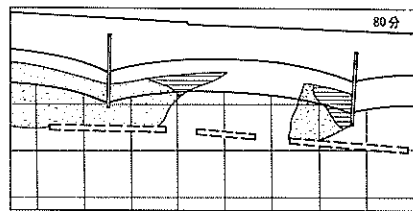
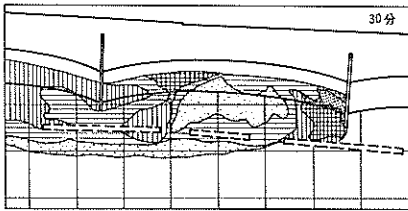
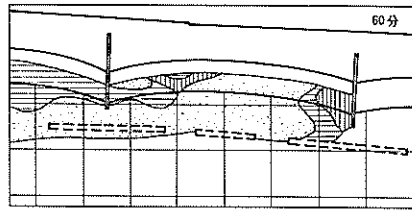
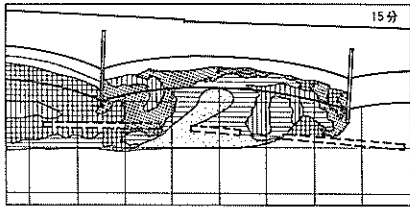
以上の実験から離岸堤の配置が同じケース9とケース10を選び、不透過とスリットケーソン堤の時間経過に伴う染料の拡散状況を図一30と図一31に示す。

まず、染料の拡散を促進させるスリットケーソン堤の場合には、離岸堤より堤外側に染料が放出されており、一方、不透過堤の場合にはこのような現象はみられない。これらが図一29においてケース8、9よりもケース10、11が堤内の濃度が減少された主要因と考えられる。

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一32と図一33に示す。これらの流況分布から構造物による濃度分布の相違がはっきりする。図一32と図一33を比較すると、前浜周辺の流況パターンが異なる様子が明瞭である。さらに、離岸堤が設置された各ケースを図一25の現況地形における堤内相当部分と比べ、その流速および流向の変化が著しいことがわかる。すなわち、図一33のスリットケーソン堤の場合を例にすると、特にスリット部から波が堤内に入り、その堤背後から前浜に向い、そこから離岸堤の開口部へ向う流れが顕著である。



図一30 ケース9の濃度分布の時間変化（潮流と波浪）



図—31 ケース10の濃度分布の時間変化（潮流と波浪）

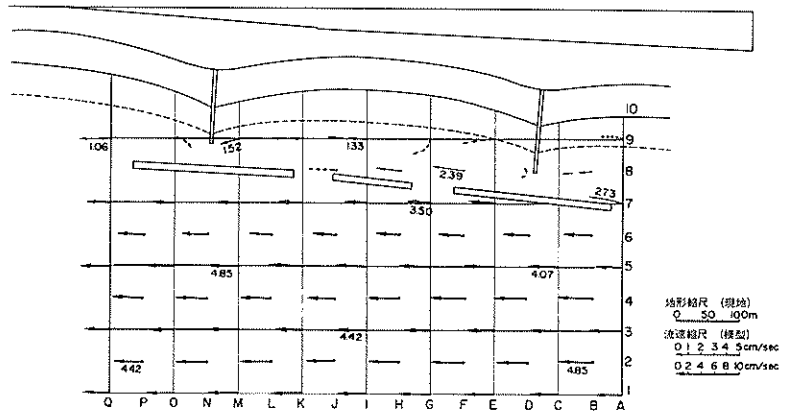


図-32 ケース9に対する流況分布 (潮流と波浪)

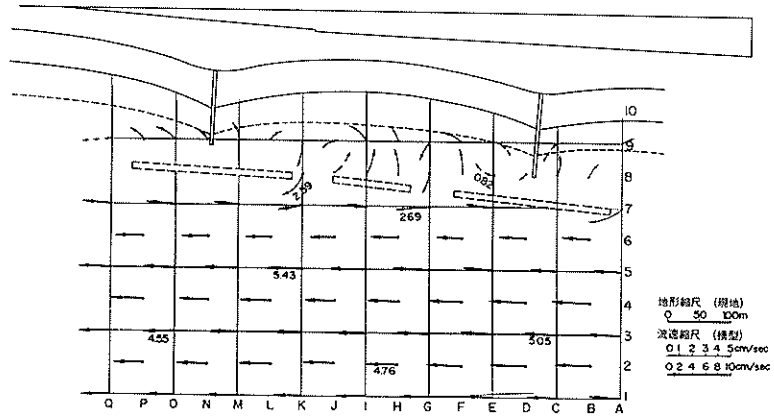


図-33 ケース10に対する流況分布 (潮流と波浪)

5. まとめ

以上の実験においては潮流は定常流とし、潮汐の干満に伴なう潮流の変動は取り入れていない。したがって、いわゆる tidal residual circulation⁴⁾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、実験結課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、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冲向きへの拡散が大きい。これは、砕波による乱れのはかに、波による沿岸流や離岸流によるものである。

以上、水理模型実験によって須磨海岸に計画され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、養浜のない現況と比較して海水交換を促進される結果が得られたことは興味深い。

終りに、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の諸賢に対して感謝の意を表わす。なお、本研究の一部は第22回海岸工学講習で発表している。⁵⁾

(1976年6月30日受付)

参考文献

- 1) 須磨海岸漂砂調査報告書, 第三港湾建設局神戸調査設計事務所, 資料番号6154, 1976年12月
- 2) 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年
- 3) 服部典節・佐藤昭二: 前面に遊歩道を持つ海浜護岸について, 港湾技術研究所報告, 第12巻第3号, 1973年9月
- 4) 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, 京都大学防災研究年報, 第17号B, 1974年
- 5) 佐藤昭二・加藤 始・木村久雄: 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, 第22回海岸工学講演会論文集, 1975年

港湾技研資料 No.243

1976・9

編 集 者 運 輸 省 港 湾 技 術 研 究 所

発 行 所 運 輸 省 港 湾 技 術 研 究 所
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印 刷 所 株 式 会 社 美 巧 社

Published by the Port and Harbour Research Institute
Nagase, Yokosuka, Japan.