

離岸堤の配置に関する研究

川 口 毅*・杉 江 正 文**

1. 緒 言

離岸堤は沿岸漂砂量が少なくても砂を堤内に保留する機能が大きく海岸侵食防止工法として優れているばかりでなく、トンボロにより砂浜が形成されることにより漁業者の砂浜の多目的利用（船揚場、網干場、干魚場等）が可能となる。また堤内しゃ閉域に静穏な海面を確保するので海水浴場、浅海増養殖の場造にも有用な構造物である。しかし離岸堤は他の侵食対策工法に比べてその建設、維持補修に要する費用は高く、このため所期の目的から考えてその配置をどう決めるかは重要な問題である。

特に連続堤か群堤か、群堤の場合どの程度の開口幅が有利であるかはしばしば問題となるところである。これについてはわが国の離岸堤の現状をもとにした豊島の研究^{1),2)}があるが未知の点も多い。そこで著者らはこの問題に対する基礎資料を得ることを目的として平面水槽で実験を行ない、特に2基の群堤の場合、離岸堤の長さを一定としたとき離岸距離、開口幅を変えることにより堤背後の地形、堤の保砂能力がどのように変わるかを定性的に調べてみた。この論文は海岸線に平行に設置した長さ L_0 の離岸堤を2基の群堤に分割した場合の実験結果である。

2. 実験施設と実験方法

実験には幅 12.0 m、長さ 28 m、深さ 1.0 m の平面水槽を使用した。この水槽に砂層厚 40 cm、海底勾配 1/20 の移動床模型海浜を 11.0 m にわたって設けた。移動床材料は中央粒径 $d_{50}=0.23$ mm の砂である。離岸堤模型は図-1 に示す。堤体は長さ 150 cm、高さ 70 cm、厚さ

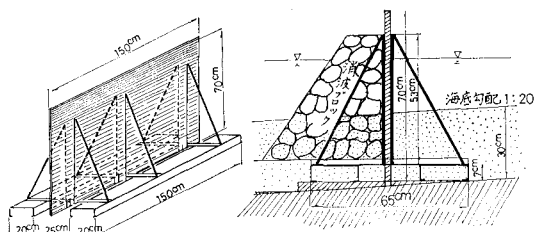


図-1 離岸堤模型図

1.5 cm の板を堤体固定装置で固定し波による堤体の動きを止め、堤体からの反射波の軽減と前面洗掘を防止するため前面を消波ブロック（三柱ブロック）で被覆した不透過堤で越波しないだけの高さを持つ。この堤体を海岸線に平行に2基設置し、離岸距離、開口幅、波高を変えた。実験は堤体を設置したときその両側にとれる漂砂源としての海岸線の長さ、砂の移動状況等を前もって考慮し、模型縮尺 1/50 程度を想定し、次のような条件で行なった。(1) 長さ $l=150$ cm の離岸堤を2基海岸線に平行に設置する。(2) 波は直角に入射し周期 1.4 sec, (3) 2基の群堤の開口幅 (B) は 0, 35.7 cm ($\div 1/8 L_0$), 50 cm ($\div 1/6 L_0$), 75 cm ($\div 1/4 L_0$), 150 cm ($\div 1/2 L_0$), 300 cm ($\div L_0$) の6種類, (4) 堤体の設置位置は碎波帯とし離岸距離 (X) は碎波点である 298 cm, および 218 cm, 138 cm の3種類, これは碎波点から約 $1/4 L_0$ ずつ離れた点である。(5) 上記のものに沖波波高 $H_0=11.4$ cm の波を12時間作用させ開口幅、離岸距離と地形変化の関係を調べる。(6) $X=218$ cm のケースでは開口幅 $B=1/8 L_0$, $1/6 L_0$ に対して沖波波高をそれぞれ 11.4 cm, 9.2 cm, 6.7 cm, 4.7 cm の4種類変えて波高変化による地形変化の相違を調べる。また離岸堤設置により発生する沿岸流速の計測を行なう。

海底地形の測定は水産土木第二研究室で開発した測定器を使用した。先端に直径約 2.0 cm の車輪のついた測定ロッドに重さがいくぶん軽いカウンターウェイトをつけたもので、水槽付属の台車を定速走行させロッド先端の車が海底上に地形にあわせて転動するときロッドの上下運動の正負を判別し基準点の高さに加算して地盤高を求め基準点からの水平距離とともにデジタルブリッジャーで打ち出すものである。この測定器で 20 cm 間隔の測線上 5.0 cm ごとに地盤高を測定した。流速の測定は堤内に観測台を設けこの上からビペットでローダミン液を点滴し一定時間後（3秒）の移動距離から方向と平均流速を求めた。

実験諸元は表-1のとおりである。

3. 実験結果と考察

(1) 離岸堤の配置とトンボロ形状

20 cm 間隔の測線上 5 cm ごとに計測した地盤高の記録を紙上に移し水深 2.5 cm ごとの等深線を描いた。この

* 正会員 工修 水産庁漁港部建設課
** 農林省農業土木試験場水産土木部第二研究室室長

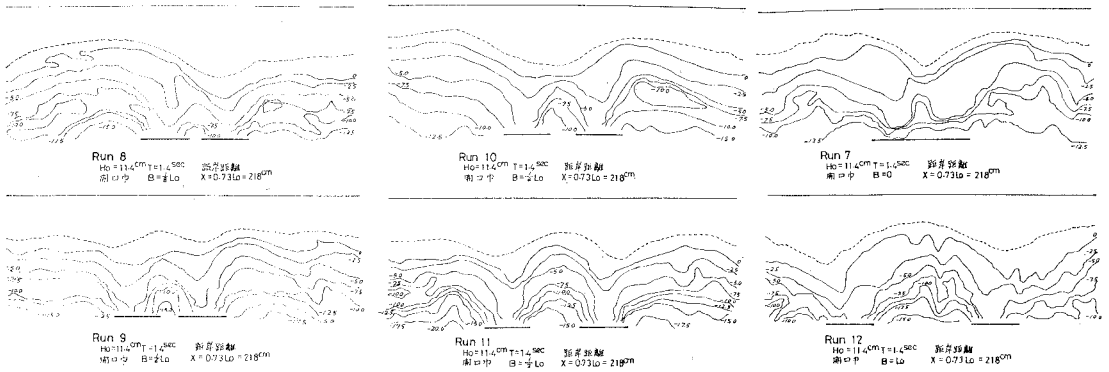


図-2 離岸堤による地形変化

表-1 実験諸元

実験 番号	波高 (cm)	周期 (sec)	群 堤1本長	群 堤開口幅	堤 堤幅	離 堤距離	設置 水深 (cm)	堤1本長	開口 幅
RUN 1	11.4	1.4	$1/2L_0$	0	$0.46L_0$	7	$1.33L$	0	
RUN 2	"	"	"	$1/8L_0$	$1.46L_0$	7	$1.33L$	$0.33L$	
RUN 3	"	"	"	$1/6L_0$	$0.46L_0$	7	$1.33L$	$0.44L$	
RUN 4	"	"	"	$1/4L_0$	$0.46L_0$	7	$1.33L$	$0.66L$	
RUN 5	"	"	"	$1/2L_0$	$0.46L_0$	7	$1.33L$	$1.33L$	
RUN 6	"	"	"	L_0	$0.46L_0$	7	$1.33L$	$2.65L$	
RUN 7	"	"	"	0	$0.73L_0$	11	$1.07L$	0	
RUN 8	"	"	"	$1/8L_0$	$0.73L_0$	11	$1.07L$	$0.27L$	
RUN 9	"	"	"	$1/6L_0$	$0.73L_0$	11	$1.07L$	$0.36L$	
RUN 10	"	"	"	$1/4L_0$	$0.73L_0$	11	$1.07L$	$0.54L$	
RUN 11	"	"	"	$1/2L_0$	$0.73L_0$	11	$1.07L$	$1.07L$	
RUN 12	"	"	"	L_0	$0.73L_0$	11	$1.07L$	$2.14L$	
RUN 13	"	"	"	0	L_0	15	$0.93L$	0	
RUN 14	"	"	"	$1/8L_0$	L_0	15	$0.93L$	$0.23L$	
RUN 15	"	"	"	$1/6L_0$	L_0	15	$0.93L$	$0.31L$	
RUN 16	"	"	"	$1/4L_0$	L_0	15	$0.93L$	$0.47L$	
RUN 17	"	"	"	$1/2L_0$	L_0	15	$0.93L$	$0.93L$	
RUN 18	"	"	"	L_0	L_0	15	$0.93L$	$1.86L$	
RUN 19	"	"	"	$1/3L_0$	$0.73L_0$	11	$0.93L$	$0.71L$	
RUN 20	"	"	"	$1/6L_0$	$0.73L_0$	11	$1.07L$	$0.36L$	
RUN 21	9.2	"	"	$1/3L_0$	$0.73L_0$	11	$1.07L$	$0.71L$	
RUN 22	"	"	"	$1/6L_0$	$0.73L_0$	11	$1.07L$	$0.36L$	
RUN 23	6.7	"	"	$1/3L_0$	$0.73L_0$	11	$1.07L$	$0.71L$	
RUN 24	"	"	"	$1/6L_0$	$0.73L_0$	11	$1.07L$	$0.36L$	
RUN 25	4.4	"	"	$1/3L_0$	$0.73L_0$	11	$1.07L$	$0.76L$	
RUN 26	"	"	"	$1/6L_0$	$0.73L_0$	11	$1.07L$	$0.36L$	

一例が図-2である。図中の太線は離岸堤の設置位置を示し、点線は発達した前浜の頂部を示す。この結果離岸堤を設置すると規模の大小はあるが堤背後にトンボロが発達し、その形状は開口幅が0あるいは狭いと単頭型で群堤が1本の単堤として働くことを示している。開口幅

が広くなるにつれ双頭型になり、ある程度以上の開口幅の下では単堤を別々に設置したのと同様の効果を生じ開口領域の海岸線の後退が著しくなることがわかる。図-3はRun-1~Run-20の汀線形状を取り出したものである。2基の離岸堤が2本の単堤として働く場合、別々の1本の単堤として働く場合、その中間の場合でトンボロ形状は単頭型、双頭型あるいは台形型に分類できるが開口領域の汀線侵食を考慮に入れると図-4のような4つのタイプに分類できる。

- a) 単頭型のトンボロ：開口部から侵入する波の影響が小さく2本の堤体が1本の堤体として働くもの(A型)
- b) 台形あるいは双頭型：双頭型の場合でも谷部の汀

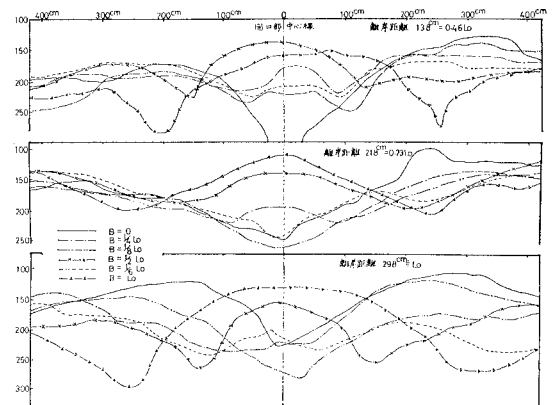


図-3 汀線形状

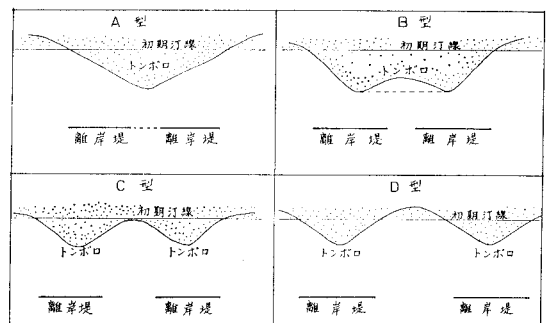


図-4 開口幅変化によるトンボロ形状

線が前進しているもの（B型）

c) 双頭型であるが開口部の海岸線がほとんど変化しないもので形としてはB型と次のD型の中間のタイプであるが海岸侵食防止の観点から限界のタイプであるので特に区分した（C型）

d) 双頭型：開口幅が広く浸入する波の影響が大きく開口領域の海浜の砂が左右の離岸堤によるトンボロへの供給源になり2本の離岸堤は別々の単堤として働き開口部の汀線侵食が著しいもの（D型）

実験結果を離岸距離別に開口幅により上記の4つの型に分類すると表-2のようになる。海岸侵食防止のための離岸堤では開口領域の海岸侵食があってはならない。したがってトンボロ形ではA, B, C型,あるいはA, B型のものになる。この実験範囲で限界の開口幅を求めて表にすると表-3のようになる。表-2, 表-3より離岸距離が短いほど開口幅は狭くなければならない。

表-2 開口幅とトンボロ形状

開口幅 (B)	離岸距離 L_0				離岸距離 $0.73L_0$				離岸距離 $0.46L_0$			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
0	○	—	—	—	○	—	—	—	○	—	—	—
$1/8L_0$	○	—	—	—	○	—	—	—	—	○	—	—
$1/6L_0$	○	—	—	—	—	○	—	—	—	○	—	—
$1/4L_0$	—	○	—	—	—	○	—	—	—	—	○	—
$1/2L_0$	—	—	○	○	—	—	○	—	—	—	—	○
L_0	—	—	—	○	—	—	—	○	—	—	—	○

表-3 海岸侵食防止効果のある開口幅の限界と離岸距離

離岸距離	開口幅 (A, B, C型)	開口幅 (A, B型)
L_0	$1/2L_0$ 以下	$1/4L_0$ 以下
$0.73L_0$	$1/4L_0$ 以下	$1/4L_0$ 以下
$0.46L_0$	$1/4L_0$ 以下	$1/8L_0$ 以下

また図-5で比較した結果A, B型のトンボロの規模は離岸距離 $0.73L_0$ のものが他のものより大きい傾向にあった。

(2) 離岸堤の配置と捕砂能力

離岸堤の捕砂機能には堤背後に比較的静穏な海面が形

成されることにより波による砂の移動を止める機能と、離岸堤設置により発生する沿岸流により隣接海岸の砂を堤内に運搬堆積する機能があるが、開口部があるためこれらを分離して考えることがむずかしいので、初期地盤高を基準にして離岸堤内に堆積された砂の量を求めた。

図-5は1本の堤体の背後領域の平均堆積高と開口幅の関係を示し、図-6は開口領域の平均堆積高と開口幅の関係、図-7は2基の群堤を1基の単堤と仮定した場合のグラフである。平均堆積高はそれぞれの領域の水域面積で堆積量を割ったものである。

1本の離岸堤背後の堆積高は図より開口部のない場合最大で開口部を設けると減少し $B=1/8L_0 \sim 1/6L_0$ が極小値を持つが、Bの増加に伴い増加する傾向がある。離岸距離 $X=L_0$ の場合 $B=1/8L_0$ で極小値を持ちBの増加につれ $B=1/2L_0$ までは増加していくが、 $B=L_0$ ではわずかに減少する。離岸距離 $X=0.73L_0$ でも同じ傾向が見られるが極小値が2つあり、 $B=1/8L_0 \sim 1/6L_0$ の間では現象がかなり複雑であることを示している。これは波が作用し始めた初期の段階では堤体設置点は碎波帯内にあるが、堤前面の洗掘に伴い碎波点が移動し堤体設置点付近で碎波がおこることと関係が深いように思われる。 $X=0.46L_0$ では $B=1/4L_0$ で最大値をとり、 $B \geq 1/2L_0$ ではほとんど変化しない。開口領域の平均堆積高はいずれの場合も $B=1/8L_0$ で極小値、 $B=1/4L_0$ で極大値をとり $B > 1/4L_0$ で減少する傾向がある。

開口部も含めて2本の離岸堤を1本の単堤と考えた場合の平均堆積高は1本の堤体背後のものと同じ傾向にあるが、 $B=L_0$ では開口領域の侵食の影響が大きく最小値をとっている。この結果堤の捕砂能力から見ると開口部を設けない場合最大であり、開口部を設けるとすれば $B=1/4L_0 \sim 1/2L_0$ とするのがよいことがわかる。これをトンボロ形状とあわせ考えると次のようなことがいえる。

離岸堤背後の砂の堆積高が極小値を持つものはトンボロ形状がA型のものに対応している。A型は単頭形であるから群堤の両側から輸送されてくる水はこの形に沿って流れるため、開口部から沖に向かう流れにより相当量の砂が堤外に流出するためと考えられる。開口幅が広いD型では開口領域の砂は漂砂源となり、両側の堤内に堆

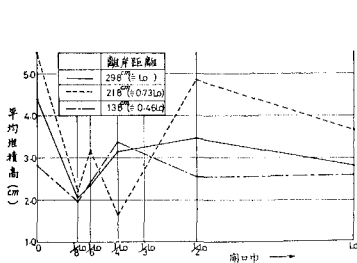


図-5 1本の堤体背後の平均堆積高 ($H_0=11.4$ cm, $T=1.4$ sec)

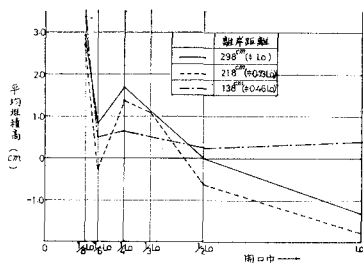


図-6 開口領域の平均堆積高 ($H_0=11.4$ cm, $T=1.4$ sec)

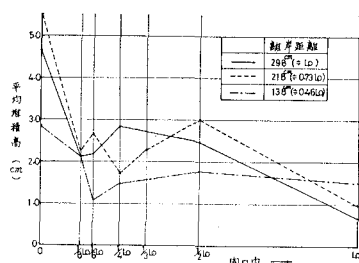
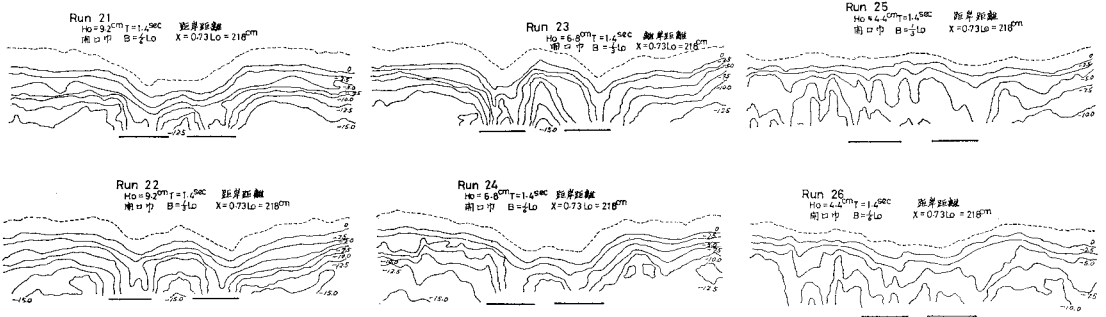


図-7 群堤背後の平均堆積高 ($H_0=11.4$ cm, $T=1.4$ sec)



図—8 波高変化による地形変化

積されるが開口領域の侵食が増し全体としての捕砂能力は下がる。したがってトンボロ形状がB, C~D型のものが有利である。トンボロの規模を考慮するとC~D型は海岸侵食も起こるため、B型のものがよいといえる。しかしA型では開口部付近に簡単な砂止め用の副堤を、C~D型では汀線侵食防止工を補足することによりそれぞれ捕砂機能、養浜機能の改善が期待できると思われる。

(3) 波高変化による離岸堤の機能変化

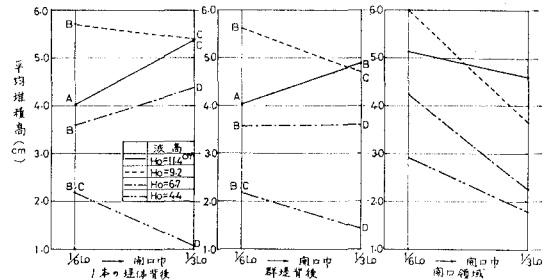
離岸堤の位置を $X \div 0.73L_0$ に固定し、開口幅 $B = 1/6L_0, 1/3L_0$ のそれぞれについて波高を 11.4 cm, 9.2 cm, 6.7 cm, 4.4 cm の4種類変化させた。実験結果の一部は 図—8 に示してある。トンボロ形状を開口幅により波高別に分類すると 表—4 のようになる。 $B = 1/6L_0$ の場合では H_0

表—4 波高と開口幅変化によるトンボロ形状

波 高	開 口 幅 $1/6L_0$				開 口 幅 $1/3L_0$			
	A	B	C	D	A	B	C	C
11.4 cm	○	—	—	—	—	—	○	—
9.2 cm	—	○	—	—	—	—	○	—
6.7 cm	—	○	—	—	—	—	—	○
4.4 cm	—	○	○	—	—	—	—	○

=11.4 cm でA型であるものが波高が小さくなるにつれB型に、 $H_0 = 4.4$ cm ではC型になっている。同様に $B = 1/3L_0$ ではC型からD型になる。開口幅が同じであると波高が小さくなるほど開口領域汀線の侵食が起こりやすくなる傾向が見られる。堤体を置かない状態での平衡海浜と比べてどの程度捕砂するかを計算したものが 図—9 である。図中のA~Dはトンボロの型を示す。各波高ごとに見てA, D型の捕砂量が少なくB, C型で多い点では波高が一定で開口幅を変えた場合と同じ結果が認められる。波高が小さいときC~D型になるのは開口部を通過した波が汀線付近で砕け、砂をかく乱すること、離岸堤により発生する流れの流速が小さく、堤の両側から堤内に輸送される砂が開口領域まで達しないことが原因と考えられる。

離岸堤設置により発生する流れがトンボロの発達、堤



図—9 離岸堤背後の砂の堆積高

内の堆砂を支配する主要な要因であるが、 図—10 はその実測値である。この流れは波の質量輸送により離岸堤設置線上離岸堤のない部分を通して輸送される運動量が堤の幾何学的影の外縁部を通してしゃ閉域内に入ってくることに生ずるとする。砕波により単位時間に輸送される運動量 M_b は沿岸流の発生区間の長さを l_s とすると次式で与えられる³⁾。

$$M_b = \frac{1}{4} \rho C_b^2 H_0 l_s \dots\dots\dots (1)$$

砕波して輸送された水が沿岸流に変わるまでの間に海底に働く摩擦抵抗力 W は沿岸流速を v_s 、海底の粗度を表わす係数を k とすると

$$W = k \rho v_s^2 X l_s \dots\dots\dots (2)$$

沿岸流の持つ運動量 M_s は

$$M_s = \frac{1}{2} \rho X h_b v_s^2 \dots\dots\dots (3)$$

式 (1), (2), (3) より v_s を求めると

$$v_s = \frac{1}{2} C_b \sqrt{(2H_0 l_s) / (X(2k l_s + h_b))} \dots\dots\dots (4)$$

実験の観察から l_s を水槽壁と離岸堤間の距離の1/2とし $k = 0.1, 0.2, 0.4$ の場合の計算値と実測値を示したものが 図—11 である。 k の値が大きく0.5程度になる。測定値はトンボロ発達前のもので l_s のとり方にも問題があるが、傾向はあっている。

図—12 は離岸堤と汀線の中央より岸側の平均沿岸流速と堤内捕砂量の関係を示すものである。流速の増加に伴い捕砂量が増えていく。 $B = 1/6L_0$ で無次元流速 $v_s / \sqrt{(s-1)gd_{50}} = 3.5$ で捕砂量が減少するのはトンボロ

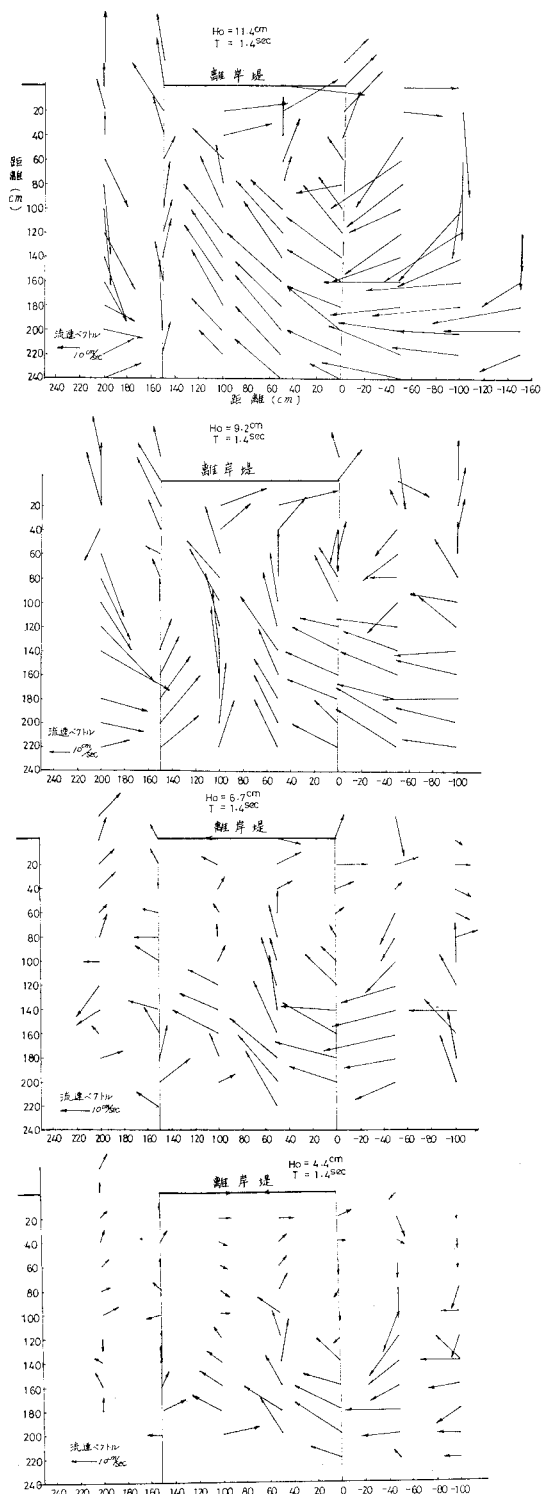


図-10 離岸堤周辺の流速分布

形状がA型であるため流出土砂量が増えるためと考えられる。

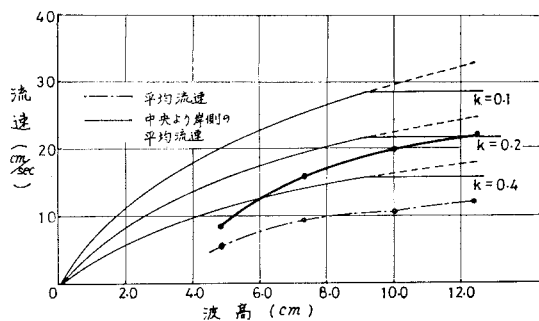


図-11 離岸堤により発生する流速と波高の関係

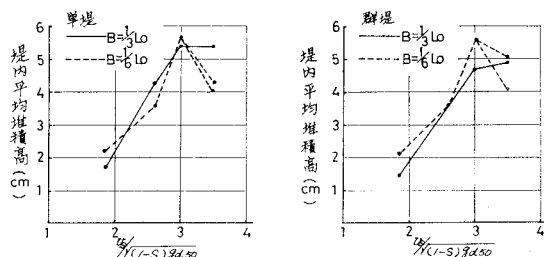


図-12 流速と砂の堆積高

4. 結 語

以上離岸の長さを一定 (L_0) とし、これを2つに分割して2基の群堤としたとき、開口幅、設置位置、波高変化により離岸堤背後のトンボロ形状、捕砂能力がどのように変わるかを平面水槽実験で確かめた。この結果開口幅、離岸距離が変わることによりトンボロ形状はA, B, C, Dの4つのタイプにわかれ、海岸侵食防止のためにはA～B型が望ましく、離岸距離が短いほど開口幅は狭くする必要があることがわかった。捕砂能力の点から見ると開口部を設けない方がよく、開口部を設けるとすれば $B = 1/4 L_0 \sim 1/2 L_0$ 程度開けるのがよい。この場合トンボロ形状はB, C～D型である。したがって望ましいものはB型であるが、A型では開口部付近にC～D型では汀線付近に簡単な副堤を設置することにより離岸堤の機能効果の改善が期待できる。

また波高の小さい波に対しても考慮する必要があること、堤内の捕砂量は離岸堤設置により発生する沿岸流速と関係深いこと等が判明した。

最後にこの実験および資料整理に多大の協力を得た石井次男、西田誠見、中沢玲子の各氏に深く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 豊島修: 離岸堤の統計的考察, 第17回海岸工学講演会論文集, pp. 323～330, 1970
- 2) 豊島修: 離岸堤工法の設計指針, 第18回海岸工学講演会論文集, pp. 317～322, 1971
- 3) 永井莊七郎: 水理学, pp. 394～397, 昭和36年