

離岸堤による漁港の波浪遮蔽効果について

高 橋 昭 七*

1. ま え が き

離岸堤という言葉から受ける印象としては、海岸保全事業における浸食防止あるいは消波のための施設として、護岸あるいは海岸汀線に平行に設けられた構築物を思い浮かべるが、ここでいう離岸堤とは、波浪遮蔽（しゃへい）の目的をもって漁港の港口正面に設けられた島式防波堤のことをさしている。このような目的をもった離岸堤は、次のような場合に用いられる。

① 波の方向が特定方向に卓越せず、通常用いられる2本の半島堤式防波堤の配置によっては十分その波浪遮蔽の目的を達成することが困難な場合。

② 二重式防波堤の配置をとるのには経費がかかりすぎる場合。

③ 漁船の出入港の方向と波向との関係から通常の防波堤配置では不適当な場合。

④ その他特殊な場合で、たとえば港内振動を軽減させるなど。

しかしながらこの離岸堤はその配置が適正な場合にはきわめて効果的であるが、その反面、その配置が不適正な場合には、離岸堤と防波堤開口部区間に複雑な反射波の発生、波浪流の発生などによりかえって漁船の出入などに大きな支障をきたすことが多く、このような離岸堤の配置については現在のところ明確な基準がなく、その多くは、経験的判断にたよって施工しているのが現状である。

本実験は、このような現状から考えて、まず離岸堤を配置する場合の基本条件について実験的に検討を加え、離岸堤の適正かつ合理配置の指針を得るための研究である。

2. 実験の方法

（1）実験に当たっての考え方

この実験はあくまでも離岸堤の設置位置、長さなどによって港内の静穏度がどのように変化するかを見ることが主体であるから、防波堤開口部の形状は単純化して、離岸堤の位置および延長を防波堤の開口幅との関係においていくつか変化させてその影響をみることにした。

現地調査結果を集約した表—1に基づき、離岸堤長 $l=1.0\sim5.0L$ 、港口から離岸堤までの距離 $D=1.0\sim3.5L$ 、防波堤開口幅、 $B=0.5\sim2.0L$ の範囲内において、それぞれ l 、 D 、 B の諸元を組み合わせ実験を進めた。実験に用いた波浪諸元は表—2に示す。

（2）模型条件

模型実験に使用した平面水槽は長さ $35\text{ m}\times$ 幅 $25\text{ m}\times$ 深さ 1.00 m で、この中に図—1に示す模型床を作つて、その上部に模型縮尺 $1/50$ 程度を想定し、模型上の港内水域の規模として、横方向（X軸）には港口の中心より左右に $4.5L$ 、Y軸については港口から港奥 $6L$ までと

表—1 離岸堤計画地区集計表

項 目	諸 元			備 考
	平 均	最 大	最 小	
設 計 波 高 $H_{1/3}$	3.4 m	6.0	1.9	H.W.L. 時における水深
設 計 周 期 $T_{1/3}$	8.0 sec	13	5	
離岸堤設置水深 (h)	6.4 m	9.95	3.2	
波長と堤長の関係 l/L	1.66	2.7	0.8	離岸堤までの距離は有効幅を図より読み取る 港口幅は有効幅である
波長と堤までの距離 D/L	1.27	3.18	0.59	
波長と開口幅の関係 B/L	1.51	2.57	0.38	
離岸堤の天端高	+4.3	+5.5	+2.4	

（注） 漁港整備計画の中から15港について集約したものである

表—2 実験波浪諸元

区 分		模 型 波	現 地 波	備 考
種 別				
周 期	T	1.13 sec	8 sec	実験はこの周期を主体とした 補足的に波形勾配の比較に適用
		1.41 sec	10 sec	
波 高	H	6.0 cm	3.0 m	実験の主体波高とし、波形勾配の影響については 2.0 m～7.0 m の波高も実験する
水深 h	防波堤開口部水深	13 cm	6.5 m	H.W.L. 時を想定した水深（水深+H.W.L.） 模型床の海底勾配 1/50 離岸堤設置距離 に 応じて 設置水深異なる
	離岸堤 設置 水深	13～16.5 cm	6.5～8.25 m	
波 長 L	$T=8\text{ sec}$ $h=6.5\text{ m}$	120 cm	60.0 m	防波堤開口幅 B はこの波長比 B/L で表示
	$T=8\text{ sec}$ $h=6.5\text{ m} \sim 8.25\text{ m}$	120～130 cm	60.0～65 m	

* 正会員 農林省農業土木試験
場水産土木部

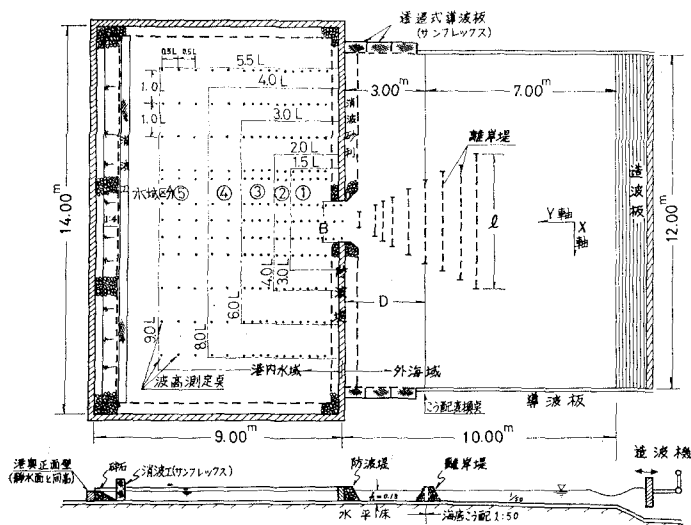


図-1 模型概略図

した。

波高測定間隔はX軸で $0.5L$ 、Y軸で $0.25L$ の格子点を測点とした。

離岸堤の堤体は直立堤前面に碎石の消波材を施して反射波の軽減をはかった。堤体構造としては、越波および内部透過波の影響が加わらないようにしたものであり、港内水域の境界部分すべてに消波材として碎石を設置した。とくに、港奥正面壁からの反射波は港内の回折波に大きく影響をおよぼすので、この部分は、1:4の勾配に碎石およびサンフレックスの消波材を設置したうえ、正面壁の天端高を静水面と同じ高さとして港奥まで進入する波はこの正面壁を容易に越流させて正面壁からの反射波を避けた。

(3) 実験装置および実験方法

実験に使用した造波機はピストンタイプを使用し、波高の測定は観測台車(自走式、スパン 25m)に波高計 12台を取り付け、これを観測室内の増幅器、オシロログ

ラフの組み合わせで波形を記録させて測定した。

波高は、1 測定点約 40 波位を測定し、初波から 10 波を除き比較的波が安定する 11 波目から、20 波を読み取ってその平均値を所要地点の波高としたものである。

(4) 実験の整理方法

実験の整理方法は防波堤開口部からの波浪の回折については、開口部に入射する平均波高を 1.00 として、港内各測定点の波高との比を回折係数 K' として求めた。

すなわち

回折係数 (K')

$$= \frac{\text{港内測定点の波高}}{\text{開口部への入射波高}} \dots\dots (1)$$

離岸堤を設置した場合の実験では、離岸堤に入射する波高および離岸堤両端付近に入射する波高(離岸堤による影響を受けない波)と、堤背後の波高および港内の波高の比を求め整理した。

すなわち

$$\text{回折係数}(K') = \frac{\text{港内測定点の波高}}{\text{離岸堤への入射波高}} \dots\dots (2)$$

3. 離岸堤による波浪の回折

実験の結果の回折図の一部が図-2である。

結果および比較について考察してみると大略次のようなことがいえそうである。

① いずれの実験においても堤長とほぼ等しい堤背後の地点、すなわち $Y=l$ 付近では波高が、入射波高の $1/2$ 程度に減衰する。

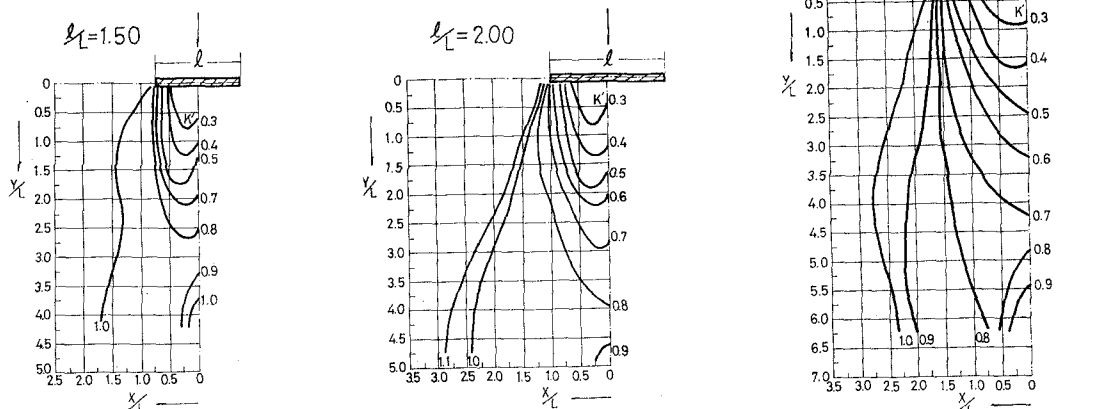


図-2 離岸堤の回折図

② 離岸堤の中心線上（Y軸線上において）で、堤長の約2倍の距離の背後になると離岸堤の回折効果はほとんど皆無となって、入射波高と同程度に戻っていくことがわかる。

なお、この実験の範囲において

$K' \approx 1.0$ に戻る距離 D は、堤長が短い場合は $D > 2l$ 、堤長が長くなるにしたがい $D < 2l$ という傾向を示す。

③ 離岸堤の両端から回折される波は図-3でもわかるように、波峰線は比較的堤体に近い位置では同心円を描き、またこれら左右の堤端から、堤背後へ回り込んだ波の波峰線は曲率半径を増しながら交差するが、離岸堤から堤長の約1.5~2.0倍の位置まで進むと、進行波領域の波と直線状につながる。この遮蔽領域の波峰線が、ほぼ直線状に移行する位置が②で述べた $K' \approx 1.0$ となる地点とほぼ一致する。

④ 離岸堤背後の中心線上において、堤の両端から回折した波は、互いに交差、干渉して、複雑な擾乱域をつくりだす。とくに堤の直背後中心線上では、三角波が生じて波高が盛り上がる。

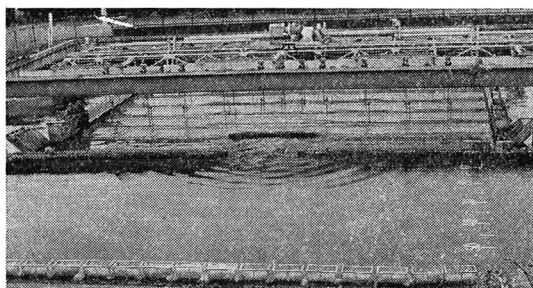
これを回折図に描くと図-2に見る放物線の先端に凹部が生ずる。この回折図の中心線上に見られる凹部の現象は、砂浜海岸に設けられた離岸堤背後に発生するトンボロ先端部の形状（二つの峰が現われる）に対応するようである。

4. 離岸堤を防波堤開口部の前面に設けた場合の回折波

(1) 実験の種類と結果のまとめ方

実際の漁港では、離岸堤と防波堤開口部の配置形態さ

らには、港内形状はそれぞれ複雑な形状を有するものであるが、ここでは離岸堤形式のモデル漁港を想定し、離岸堤距離 D/L 、離岸堤の長さ l/L 、防波堤開口幅 B/L の諸元をそれぞれ組み合わせて、離岸堤を開口部法線と平行に配置し、波向は離岸堤に対して直角に入射する場合で実験の種類としては約80ケースについて行なった。図-4は離岸堤を配置した場合の実験写真の例である。



($B/L=1.25$, $D/L=2.0$, $l/L=2.0$)

図-4 開口部の前面に離岸堤を設けた場合の波の回折

実験データのまとめ方の一手法として離岸堤を設置した後における港内静穏度の向上する度合を次式によって求め、その効果判定を行なった。

$$e = \frac{q}{Q} \dots \dots \dots (3)$$

ここに、 e : 離岸堤設置効果（離岸堤による港内静穏度の向上割合）、 q : 無堤時（離岸堤がない場合、以下無堤時という）の開口部からの回折波による港内平均静穏度、 Q : 有堤時（離岸堤を設置した場合、以下有堤時という）の港内平均静穏度。

港内平均静穏度とは、さきに述べた式(1)、(2)の K' の値を % で表示し、図-1のよう区分されたおのこの水域ごとに平均値を求めたものである。

なお、 q/Q で表示される図表は述べて③水域を代表値として比較している。

(2) 離岸堤の長さについて (l の効果)

防波堤の開口部前面に離岸堤を設置する場合に、離岸堤長さ l の効果が港内静穏度にどのような影響を与えるか、まとめたものが図-5である。

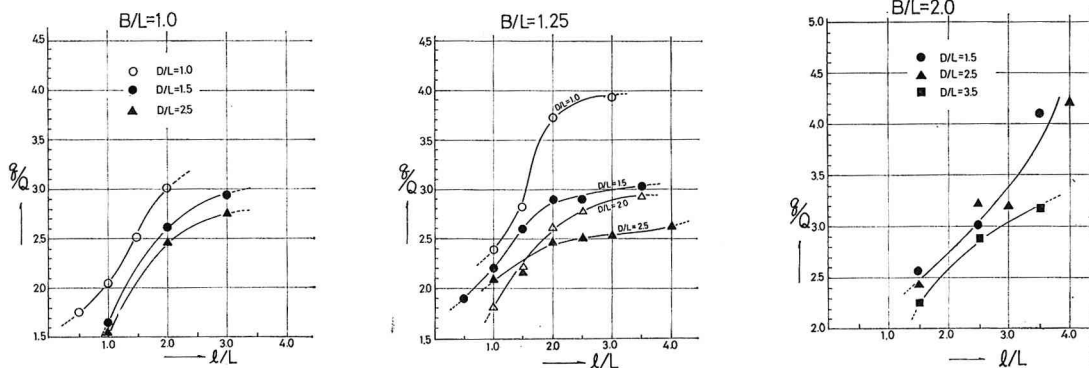


図-5 $l/L \sim q/Q$ 関係図

この図は $l/L \sim q/Q$ の関係を D/L をパラメーターとして図示したもので、点のパラツキもあるが、ほぼ次のことがいえる。

離岸堤長が長いほど離岸堤設置効果は増大するという一般的傾向を示すが、 $B=1.5L$ 以下の開口幅を持つ場合には、 $l \div 2.0L$ 以上になるとその効果は鈍化する。

とくに $B=1.25L$ では $l=2.0L$ 付近に顕著な勾配の急変点が見受けられる。

つまり、ある一定の堤距離において、 l を $2.0L$ 以上に延長しても港内の静穏度は長くした割合にはあまり期待できない。

開口幅が比較的大きい $B=2.0L$ の場合は、離岸堤の長さ l に比例し、離岸堤の設置効果は直線的に増大する。

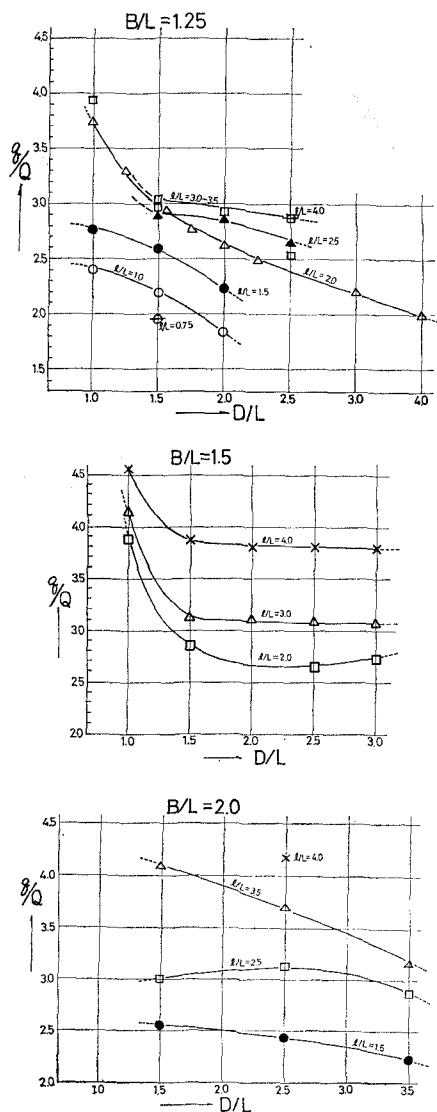


図-6 $D/L \sim q/Q$ の関係図

(3) 離岸堤の設置距離について (D の効果)

図-6 は l/L をパラメーターとし、 D/L と q/Q の関係を図示したものである。

開口幅 $B=1.0 \sim 1.5L$ の範囲の場合、離岸堤距離が $1.5L$ 以内では距離による q/Q の効果が著しく、開口部から $1.5L$ 以上に離れると q/Q 曲線の勾配はゆるやかになる。

したがって $D=1.5L$ 付近が限界点と見なして差しつかえないであろう。

とくに、 $B=1.25L$, $l=2.0L$ において、 D の間隔を細かにプロットしたもので、 $D > 1.5$ 以下になると q/Q 値は直線的に減衰することがわかる。

一般的傾向としては、 q/Q 値に対する離岸堤長、離岸堤距離の影響度としては離岸堤距離よりも離岸堤の長さによる効果の方が、港内静穏度におよぼす影響が大きいといえる。

(4) D と l の関係

図-7 は離岸堤の長さ l と、堤設置距離 D との比を横軸にとって、 q/Q の値の関係を開口幅をパラメーターとしてまとめた図である。

なおこの図は曲線で表示してあるが、多少の点のパラツキがあるものを図表の複雑さを避けるために曲線で平滑化したものである。

この図によれば $D/l \div 1.0$ ($D \div l$) 付近に勾配の急変点の存在が認められ、 $D \div l$ を境にして B に関係なく次のことがいえる。

- ① $l < D$ 離岸堤効果は緩慢となる。
- ② $l > D$ 離岸堤効果は非常に向上する。

このことは 3. (1) で述べた離岸堤だけによる回折波で、堤長にはほぼ等しい距離までは $K' \div 0.5$ 以下と、離岸堤の比較的有效な範囲は $D \leq l$ であることとよく一致している。

したがって、離岸堤の距離としては防波堤開口幅の大きさには無関係に、堤長よりも小さくすることがより効果的といえる。

(5) 離岸堤背後の回折波

前述 (2)~(4) ではおもに港内静穏度に関して論じたものであるが、港内に回折される以前の波、つまり離岸堤背後に位置する港口部の波について述べる。

図-8 は離岸堤背後の比較領域を 図-9 のように漁船の出入時における航跡を想定したものである。離岸堤だけによる回折と、背後に開口部を有する場合の相違を β としてまとめた 1 例である。

なお 図-8 の横軸 (上段) には離岸堤と防波堤の重複する長さに対応させてある。

- ① 堤長が $2.0L$ 付近が極値となり $\beta=0.6$ 程度である。これより堤が長くなっても、短くとも β の値は大きくなる傾向を示す。

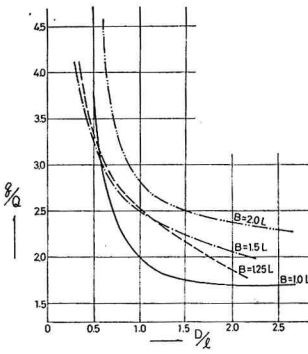


図-7 $D/L \sim q/Q$ の関係図

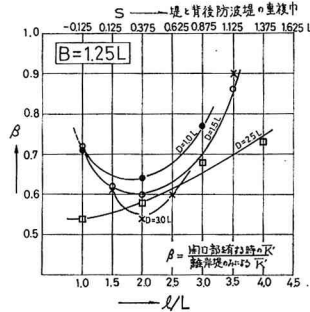


図-8 離岸堤背後における回折波 ($l/L \sim \beta$ の関係)

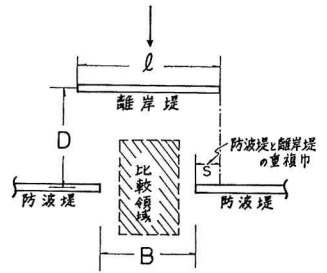


図-9 比較領域区分

このことは堤長が長くなると、堤と背後防波堤とが重複する長さの割合が強く影響する。一方堤長が短い場合には遮蔽領域が狭いために影響が少ないという二つのことに起因すると考えられる。

② β の値の傾向としては、 D との関係もあって、 D が大きいほど β は小さくなる。

③ β の値は実験の範囲内でいえば、0.6~0.8 程度°つまり、背後にある防波堤およびその開口部の影響を受けて、背後になにもない場合の回折波にくらべて2~4割程度減少して港内に回折される。

なお、比較した領域には防波堤開口部も含まれ、開口部による回折効果の影響も若干含まれた β の値である。

(6) 波向に対する離岸堤の設置角度 (θ) について

港口前面に設けられる離岸堤は波向に対して直角方向に配置することが港口の遮蔽としてもっとも効果的である。しかし、実際の漁港においては、構造物に対する波力の軽減、漁船の出入港の容易さ、および港口付近に生ずる複雑な反射波を緩和させる等の配慮から、離岸堤は波向に対してある程度の角度をもたせ斜めに設置させているのが実情である。さらには、現地における波向は常に一定方向とは限らず、いくつかの来襲方向を考慮する必要がある。これらの問題を考慮し、離岸堤を斜めに設置した場合の実験を試みた。

実験では、 B, D を一定とし、 θ を4種類、 l を3種類について比較したもので、 D は開口部中心線と離岸堤の交差点までの距離である。

① 図-10 でもわかるように、 $\theta = 75^\circ$ 程度 (波峰線に対して 15°) で

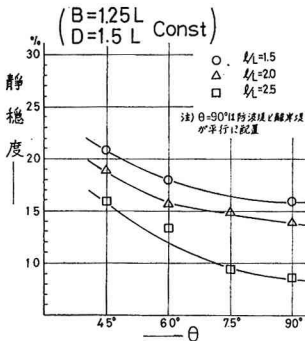


図-10 離岸堤の設置角度と港内静穏度

あれば港内静穏度に対してあまり影響は見られないが、それ以上になると θ の値に比例して静穏度は急激に低下する傾向を示す。

② 設置角度 θ の影響は離岸堤堤長が短い場合にくらべて堤長の長い方が静穏度におよぼす影響が強く現われるようである。

これは堤長が長くなり角度 θ が小さく (波峰線に対し傾斜角が大きい) となると機能的には離岸堤が防波堤としての回折機能を持ち、沖防波堤および開口部により構成される港の二重回折現象に移行して行くためと思われる。

③ 離岸堤を斜めに配置すると港内における回折波は図-11のごとく、 K' の等値線の侵入方向が中心線から若干ずれ、とくに堤が長くなるにしたがいこの傾向が著しい。

④ 実験時の観察、実験写真の判定等から離岸堤を斜

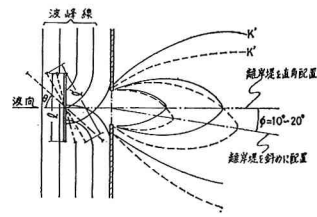
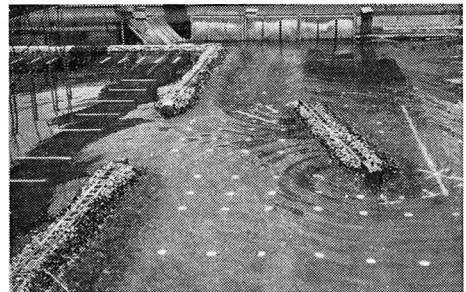
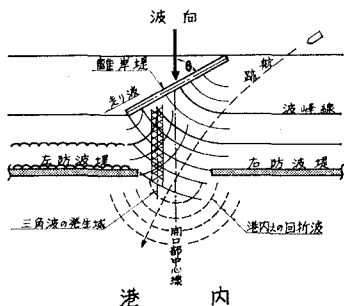


図-11 等値線の侵入方向の比較



($B/L=1.5, D/L=1.5, l/L=2.0, \theta=75^\circ$)
図-12 離岸堤を斜めに設けた場合の港口部の波



図一13 離岸堤を斜めに配置した時の回折波の模式図

めに設置することにより、直角に設けた場合に比べ、港口部（堤背後）の複雑な波はだいぶ軽減されて、漁船の出入港の容易さが期待できるようなのである。

このことは、堤を斜めに設けると次の諸点が有利となるためであろう。

(1) 離岸堤裏側への再反射波が少なくなり、港口部にあまり影響を与えないこと。

(2) 堤距離の狭い側（港口の狭い方）からの回折波の侵入量が少なくなること。

(3) 開口部中心線上に現われる波高の盛り上がる現象が軽減され、かつ中心線からずれて一方に片寄る。

なお、図一13は実験時の観察、写真に基づく回折波の模式図である。

5. む す び

以上離岸堤を港口正面に設けた場合の回折についての実験結果を述べてきたが、次のような事がらが結論としていえる。

(1) 離岸堤背後の遮蔽領域の回折係数としては、堤長とほぼ等しい地点で $K' \approx 0.5$ 以内、堤長の2倍くらい離れたところでは $K' \approx 1.0$ となる。

(2) 離岸堤の長さとしては $l = 2L$ 程度がもっとも効果的である。

(3) 離岸堤の設置距離は $D \approx 1.5L$ 以内が望まし

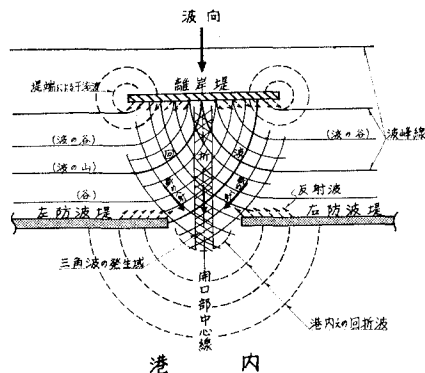
く、堤長よりも堤距離を短めに採ることが必要である。

(4) 離岸堤からの回折波は背後の防波堤、および開口部の影響を受けて、2~4割減少した波高が港内に回折される。

(5) 卓越波向に対して離岸堤を斜めに配置することの有利性妥当性が実験結果から十分うかがえる。

離岸堤を配置することによって港内静穏度は非常に改良されることは当初想定した以上であるが離岸堤による遮蔽効果の主たる特性としては次の2点が考えられる。

① 離岸堤から回折される波は、進行方向の相異なる波衝突、および反射波の相互干渉によって図一14に見られるごとく、網目状に交差し、中心線上に複雑な三角波が発生する場合、波のエネルギーの一部が失われて波高減衰が伴う。



図一14 港口部回折波の模式図
(離岸堤を直角に配置)

② 開口部正面からストレートに入射する回折現象と異なり離岸堤によって、波向は左右の斜め方向から入射する、つまり波向の方向分散の機能を果たすことによる。

今後は引続き、離岸堤背後における波のじょう乱現象、波浪流の解明、および離岸堤形式の港の現地観測と関連させながら研究を掘り下げたい。