

新 堺 港 の 波 浪 遮 蔽 実 験

岩垣雄一・石原安雄・吉田幸三

MODEL EXPERIMENT FOR SOLVING WAVE PROBLEMS IN NEW SAKAI HARBOR

*by Dr. Eng. Yuichi IWAGAKI, Dr. Eng. Yasuo ISHIHARA
and Kozo H. YOSHIDA*

Synopsis

This is a report of the model study of Sakai Harbor being newly constructed, to determine effective arrangement of breakwaters and sheltering works for incident wind waves. In this experiment, various wave sheltering and absorbing works, such as zigzag walls, resonance jetties and rip-rap works, have been tested in a harbor model to horizontal and vertical scales of 1/100.

1. ま え が き

堺港は大和川を隔てて大阪港に接している港湾であつて、その歴史はかなり古く、とくに徳川時代には関西および関東を結ぶ主要な港湾として重要な地位を占めていた。しかしながら明治以降においては、船舶の大型化に伴なつて商権が大阪港および神戸港に移行し、本港は沿岸航行の機帆船、漁船などの船溜りにすぎない状況となつた。

ところで、近年わが国経済の急速な伸展につれて、関西地区では産業機構が中小企業を主体としているため、どうしても停滞気味の関西経済の回復をはかるよう基幹産業の拡充の必要性が強調されてきている。こうした状況にかんがみ、大阪府においては本港の工業港の発展に努力して、昭和29年より埋立地造成事業を実施し、昭和34年4月には、八幡製鉄株式会社の進出が決定するとともに、同年6月重要港湾に指定された。さらに、近年に至り各種の重要工場の進出が予定される情勢にあるので、大規模な港湾計画の樹立が必要となり、ここに新堺港の建設が実施されることとなつた。当然のことながら、船舶の出入、繫船、荷役などの港湾活動を円滑に行なうためには、港内を波浪から防護してできるだけ静穏に保たねばならない。すなわち、港内をできるだけ静穏に保つように港口および泊地の形状を決めなければならない。ところで、本港は工業港の性格が強く、周辺は臨海工業地帯を形成すべく広い面積の埋立地によつて囲まれている。すなわち、通常の港湾とは若干趣きを異にし、埋立地に建設される工場の種類によつて、必要とする埋立地の面積、形などが違つてくるし、また港を囲む海域の大部分が工場用地として埋立てられるよう計画されている。したがつて、いわゆる防波堤が少なく港口に若干の防波堤があるのみであり、また泊地の形状も埋立地に建設される工場によつて変化する。事実本港の最終的な平面形状が決定されるまでには、いろいろの案が計画され変更が加えられた。

本実験はこのような新堺港の最良の形状を決定するために行なわれたものであつて、ある程度計画の変更を追隨して実施されたが、本文ではその過程は割愛することとし、最終的な港の形状に対して行なつた実験結果のみを報告する。なお堺港の地理的位置図は Fig. 1 に示す通りである。

2. 対象沖波の推定

風浪発生の原因である本港付近の風に関する観測はかなり詳細に行なわれている¹⁾。

この風速，風向の観測結果と，風浪は吹送時間がある程度長くなければ十分に発達しないという事実を考慮して，実験で対象とすべき風浪を決めるに必要な風速を **Table 1** のように定めた。

堺港付近での潮流は微弱であつて，0.2 knots (10 cm/sec) 程度といわれており，流れによる波の屈折効果は考慮する必要がない。また海底地形の影響は一般にはかなり顕著であるが，本港付近の海域は埋立地造成のために L.W.L. 以下 12.5m 程度の水深にほぼ一様に浚渫される計画であり，また風波の周期も短い

Table 1 Wind velocities and fetches

Wind direction	Windward side	Maximum wind velocity (m/s)	Fetch (km)
NW	Fukae	15.5	18
WNW	Kobe	18.0	22
W	Nagahama	25.0	39
WSW	Shioya	25.5	50
SW	Meizinzaki	22.0	44

ので，海底地形による波浪の屈折の影響も無視することとした。

つぎに，風浪についての観測はほとんど行なわれていないので，実験で対象とする風浪をつぎのようにして推定した。すなわち，上述の風の資料から，S.M.B. 法，Molitor 法および Thijssse 法によつて波高および周期を計算すると **Table 2** がえられる。

これらのうち，S.M.B.法においては風速として海面上 10～15m の高さでの平均風速を用いなければならないが，上の計算では堺港における10分間平均の最大風速を用いたことと，S.M.B. 法が深海波に対するものであることなどを考えると，上記の計算値は多少大きな値を与えられると思われる。つぎに，Molitor 法によるものは水深が比較的浅く，しかも風域に制限がある場合に対応するから多少小

さい波高を与えるであろう。Thijssse 法はいまの場合に対してもつとも妥当な値を与えるものと考えられるが，周期に関しては明確な値がえられない。このような事情を考慮して，実験で対象とする沖波として，**Table 2** の最後の欄に示したものを採用することとした。しかしながら，ここで採用した沖波が本港付近における諸施設に対する設計波高としてそのまま用いることができるかどうかについては多少疑問を残している。

つぎに本港における潮位観測の結果を参照して，実験で対象とする潮位としてはつぎの二つの場合を取り扱うこととした。

低潮位：O.P. + 0.350m， 異常高潮位：O.P. + 2.500m

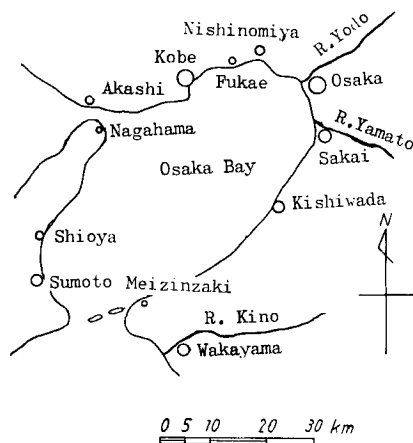


Fig. 1 Location of new Sakai Harbor

Table 2 Estimation of wind waves at Sakai Harbor
(H: wave height, T: wave period)

Wind direction	S.M.B.		Molitor	Thijssse	Estimated waves	
	H(m)	T(sec)	H(m)	H(m)	H(m)	T(sec)
NW	1.6	4.7	1.3	1.45	1.7	4.5
WNW	2.0	5.4	1.4	1.95	2.3	5.5
W	3.7	7.2	2.0	2.87	2.5	6.5
WSW	4.5	7.8	2.3	3.02	3.0	7.5
SW	3.4	6.8	1.9	2.27	2.5	6.5

なお, Osaka Peil (O.P.) を基準としたときの他の基準潮位は, 海図基準面である平均干潮面 L.W.L. ± 0 が O.P. $+0.350$ m, 東京湾中等潮面 T.P. ± 0 が O.P. $+1.045$ m に対応し, 平均満潮位は O.P. $+1.800$ m, 既往最高潮位(室戸台風時)は O.P. $+4.100$ m である。

3. 実験施設および観測機器

(1) 模型の大きさと相似律

一般に水理模型実験では, 模型と実物の間に力学的相似関係が保たなければならないことはいうまでもない。本実験の場合には, 港湾における波の遮蔽を目的としているので, 内部摩擦および表面張力の効果を無視すると Froude の相似則を満足しなければならない。すなわち, 模型をひずめないで水平縮尺と鉛直縮尺とを等しく選ぶと, 速度および時間の縮尺は長さの縮尺の $1/2$ 乗に等しくなるわけである。そこで前述の計画水深および波浪の大きさと, 観測技術および精度などを考慮して, 長さの縮尺を $1/100$ に定めた。したがって, 速度および時間の縮尺は $1/10$ となる。このように定められた模型に対して, さらに表面張力および内部摩擦の影響について検討しておかねばならない^{2),3)}。

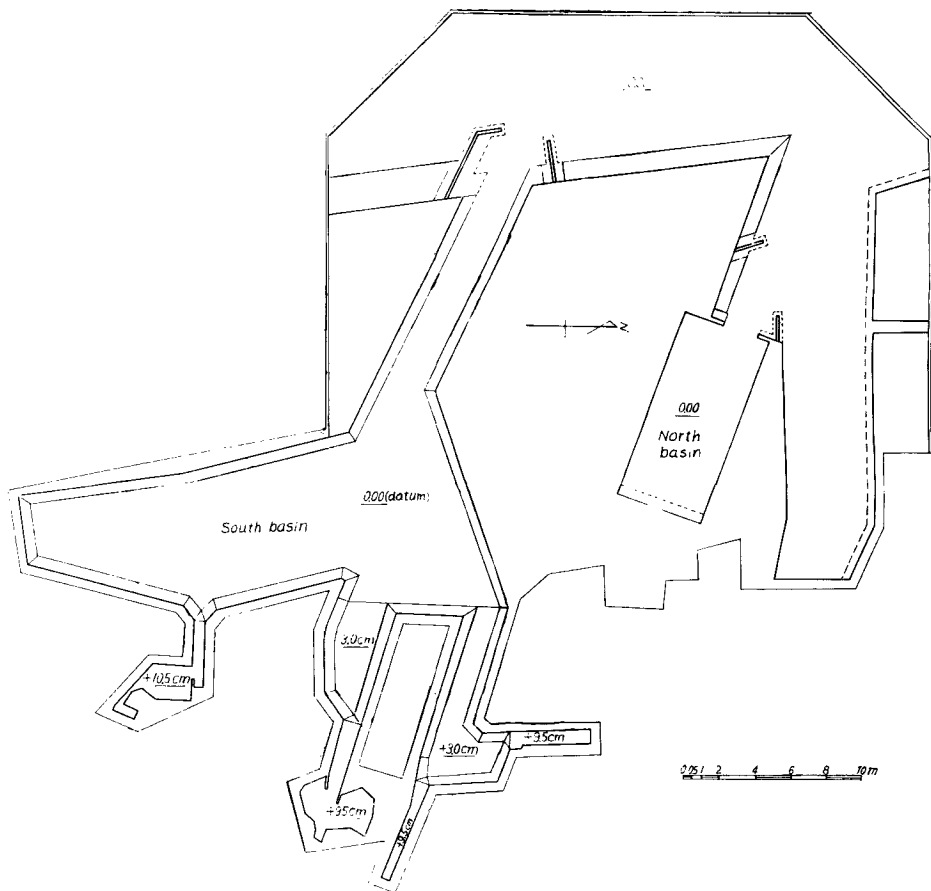


Fig. 2 Plan of harbor model

模型における水深は 12~14 cm であり、波の周期は 0.45~0.75 sec であるから波長は 25~70 cm 程度である。この程度の波長では表面張力の影響は考慮する必要がない。つぎに、粘性のための内部摩擦による波高減衰は次式によってあらわされる。

$$H'/H = \exp(-8\pi^2\nu t/L^2) \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 H および H' はそれぞれ初期波高および t 時間後の波高、 L は波長、 ν は動粘性係数である。いま $x = \sqrt{gL/2\pi} \cdot t$ の関係を用いて時間 t の代りに距離 x であらわせば、模型における波長を 30 cm として波高が 10% 減少するに要する距離は約 80 m となる。一方模型の大きさは最大 60 m 程度であるから、短周期の波の場合の実験で最大約 10% 弱の波高減衰を許すとすれば、内部摩擦の影響はとくに考慮する必要がないと思われる。

以上の考察の結果、本実験では無ひずみの 1/100 の模型を主としてモルタル仕上げをもつて製作したが、その面積は 1,300 m² で Fig. 2 に模型の全景を平面図で示した。

(2) 実験装置および観測機器

模型の水域がかなり広く、風のために波が発生して実験の精度を非常に悪くする恐れがあつたので、模型の大部分をテントで覆つて防風につとめたり、無風時を選んで観測を行ない、実験精度を落さないようにした。

波起し機はプランジャー式である。すなわち、フロートの長さが 10 m のものを 2 台用意し、そのうちの 1 台に 7.5 HP の駆動用モーターを取り付け、1 台だけで使用するときには長さ 10 m の波起し機となり、2 台を連結すれば長さ 20 m のものとなるような構造となつており、さらに移動台車を使用することによって任意の位置に移動できるようにした。なお、この波起し機によって起こされる波は、周期 0.4~2.0 sec、最大波高約 16 cm であつて、本実験の目的に対して十分な特性をもつものである。

つぎに波高および周期の測定には水抵抗式波高計と最高最低水位計を併用したが、その原理を示したものが Fig. 3 および Fig. 4 である。Fig. 3 は水抵抗式波高計のブリッジ部を示したもので、このブリッジを市販の抵抗線式動ひずみ測定器に連結し、ミラー式の電磁オシログラフに記録させた。Fig. 4 は最高最低水位計のブロック・ダイアグラムを示したものであつて、本実験で使用したものは、1 mm

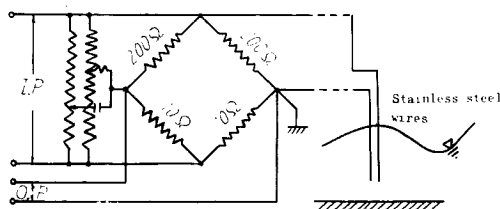


Fig. 3 Circuit diagram of sensing element of wave recorder

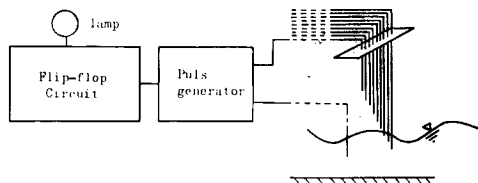


Fig. 4 Block diagram of water gage for maximum and minimum water stages

間隔の電極が 10 コずつついたものを 2 組用意し、その間隔を適当に加減することによって、いろいろの大きさの波高が測定できるようにした。すなわち、各電極はパルス発生回路およびフリップ・フロップ回路に連結されているので、電極が水面に接触したときについたランプはつぎのパルスが入つてきても消えることがない。したがつて、1 組の電極群を波の谷付近に、もう 1 組を波の峯付近に設置しておけば、点灯したランプの数と 2 組の電極群の間隔から波高を知ることができるわけである。

4. 港内の波高分布に関する予備の実験

まず新堺港の港口および泊地の形状と港内の波高分布の概要を知り、今後の消波工に関する実験のための

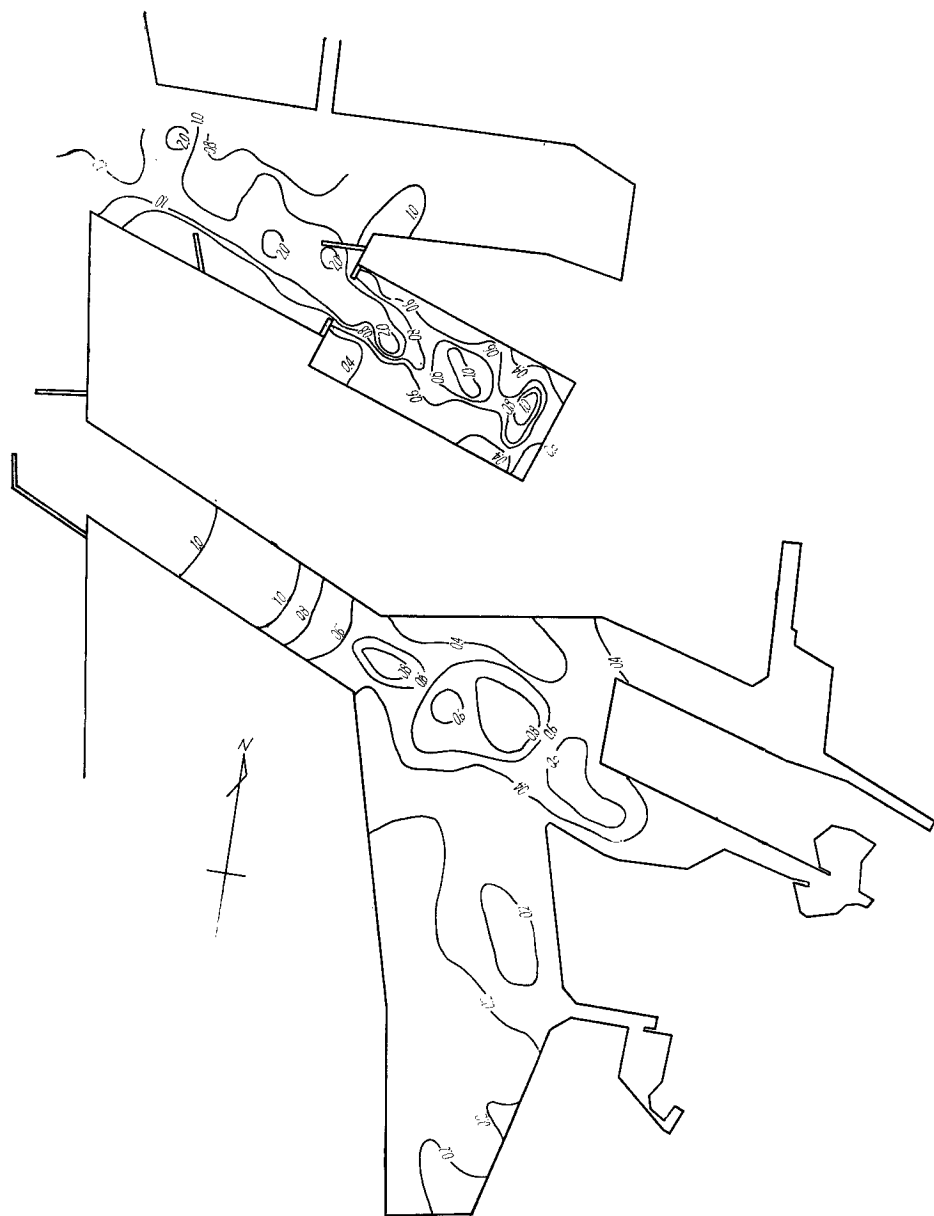


Fig. 5 Distribution of wave height ratio (preliminary experiment)

基礎的知識をうるために、最終的な港の形ではないがそれに近い形の場合の港内における波浪分布の測定を行なった。基礎的知識をうるのを主目的としたので、北泊地の最奥の岸壁（これは平均粒径 1cm の玉砂利を 1 : 2 のこう配において消波岸壁とした）と防波堤周辺とを除いては、すべての岸壁および護岸はモルタル仕上げとした。さらに対象とした波は航路の方向すなわち WNW 方向の周期 0.55 sec, 波高 2.3 cm のものであつて、水深は O.P. + 2.50 m の場合の 14.65 cm である。

Fig. 5 は波高比で表わした波高分布を示したものである。この場合は、港内および港外の波がかなり大きなビートを打つので、図示の波高比は北泊地および南泊地のそれぞれの港口付近（図の⊗印）における平均波高を基準としたときの港内に生じた波の最大波高の比でもつて表わされている。この表示法は港口から侵入してくる波の平均のエネルギーはほぼ平均波高でもつて代表させることができ、また港内では繫船が問題であるので、波自身のもつ平均のエネルギーよりも、それがどのような原因によるとしても、その地点に生じうる最大の波高が重要であるということによるものである。

さて、南泊地における波高比の分布をみると、埋立地によつて挟まれた水路状の部分では、港口で 1.0 程度であり、中間において若干増大しているが、泊地の入口付近では 0.8 程度に低減している。つぎに泊地内では泊地の入口から遠くはなれるにしたがつて減少する傾向があり、もつとも奥の方では 0.2 前後となつて問題にならない。また港口から直接波の侵入を受ける泊地の中央部では 0.5 以上で 0.9 程度にも達するところがある。したがつて、泊地の奥の部分では問題がないとしても、港口から水路部および泊地中央部の波は何らかの方策によつて低減させる必要があろう。つぎにこのような比較的大きな波高比を示す原因について考えると、まず水路部中央において 1.0 以上の値を示すのは、港口にある防波堤による波の回折と、回折波が水路部に沿つた護岸によつて斜めに反射するためと考えられる。また、泊地部中央における波高の増大は侵入波の形態が上述した回折、反射などによつてかなり複雑であるうえに、泊地内における岸壁や護岸からの反射波も加つて、重複波のような形態をとる。したがつて、こうした領域における比較的大きな波を低減させるためには、港口にある防波堤および水路部の護岸の消波工などを適切に配置すれば、ある程度目的が達成できるものと思われる。

北泊地内の波高の分布は非常に複雑であるが、詳細に観察すると興味深い性状を示している。すなわち、泊地の入口までは航路に沿つて最大波高が次第に増大し 2.0 以上にもなつていますが、航路の北側すなわち大阪港南港における埋立地の護岸線に沿つては、大和川の上流に向かうほど静穏になり 0.5 以下となつている。こうした事実は本泊地側は防波堤や護岸が複雑に配列されていて、波の反射の特性がかなり影響するが、大阪港南港側は護岸線が単純であつて波の反射などの二次的な影響がほとんどないためと思われる。つぎに、泊地内の波高分布についてみると、入口ないしは入口より若干入つた領域で 2.0 以上にも達しているが、奥に入るにしたがつて低減し、最奥部および南北の岸壁に沿つては 0.5 程度である。しかし泊地の中央部では 1.0 程度の値を示すところもあり、等波高比曲線を全体的にみると、静振の波高分布と類似の形のように思われる。

このように北泊地においてはかなり大きなビートが存在し、そのため最大波高が沖波の平均波高の 2 倍以上にもなつており、このままでは港の機能が半減してしまうと思われる。一方、このような大きい波高の波が起こる原因については、まだ確定的な結論に達していないが、常識的に考えられることは、北泊地における岸壁はいわゆる垂直岸壁であつて、波の反射効果が大きいこと、泊地面積に比して港口の開度が比較的大きく侵入した波のエネルギーの分散が十分に行なわれないこと、泊地の形状が単純なため静振を起こし易いことなどが考えられる。

以上の実験結果から南泊地および北泊地とも港の機能を十分に発揮させるためには、侵入波が直接当る部分の護岸ないしは岸壁に捨石または、テトラポッドなどのような消波工を施すとともに、防波堤の配置および形式についてもさらに詳細な検討が必要である。以下において、このような波浪減殺のために考えられる諸工法についての比較実験の結果を述べ、最善と思われる防波堤の配置および消波工の形式について考察する。

5. 南泊地の消波工に関する比較実験

まず南泊地について、波が港口から直接侵入してくる水路部および泊地中央部において、どのような経路をたどつて侵入するか、またどのような消波工がもつとも効果的であるかを調べるために **Fig. 6** に示す最

Fig. 6 Shape of south basin and measuring points of wave height

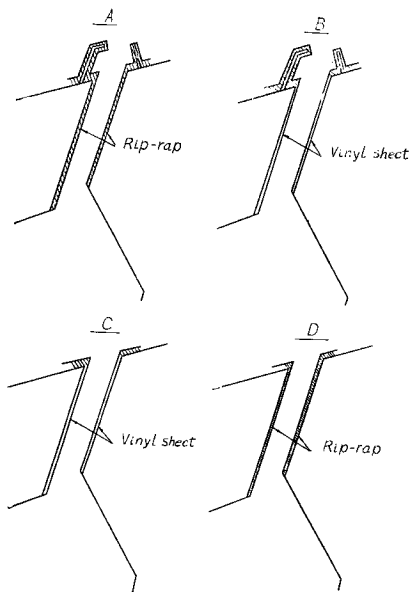
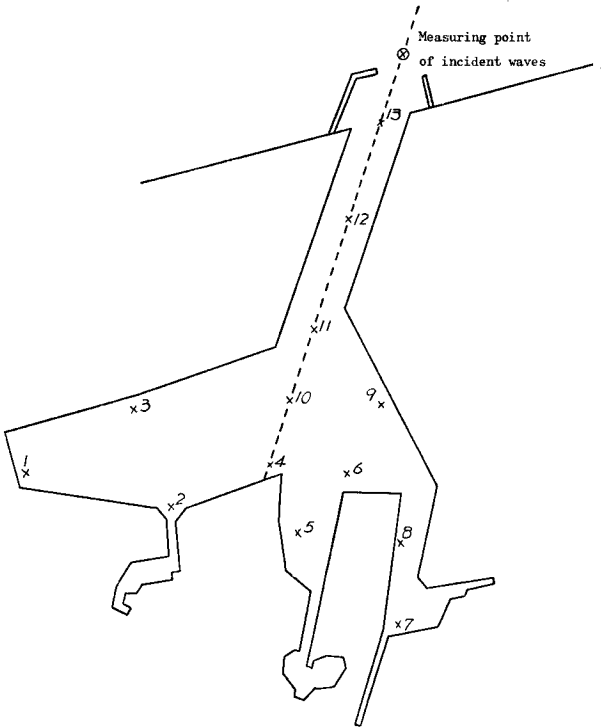


Fig. 7 Types of wave absorbing and sheltering works in south basin

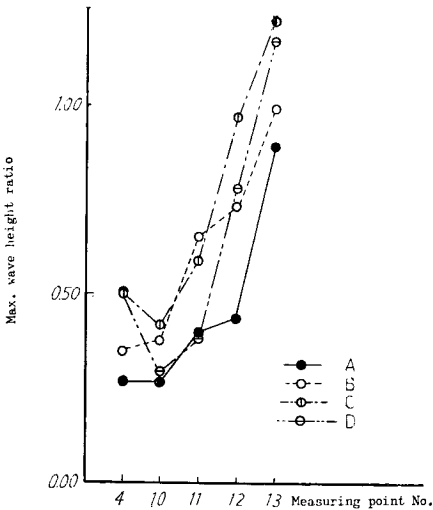


Fig. 8 Variations of maximum wave height ratio

最終的泊地形状について、図示の測点で波高を測定した。採用した消波工の形式はつぎの四つである。

A型：港口に防波堤があり、防波堤および水路部を捨石工のような消波工を施した傾斜護岸とした場合。

B型：A型と同形であるが、水路部に施した捨石による消波工の効果をみるために、この部分をビニール布で覆って消波効果を減少させた場合。

C型：B型における防波堤の効果をみるためにこれを撤去し、他はB型と同じである場合。

D型：A型における防波堤の効果をみるためにこれを撤去し、他はA型と同じである場合。

なお、ここにいう捨石工とは、平均粒径約 1 cm の玉砂利で傾斜護岸を作つたものをいい、ビニール布で覆つたときは布が移動しないように適当に石を置いて固定した。また A から D までの形式を示したものが Fig. 7 である。

ここで取り扱うものは比較実験であるので、対象とした波は港内がもつとも荒れると考えられる WNW 方向で、模型における周期 0.55 sec、沖波波高 2.3 cm であり、また水位は O.P.+2.5 cm とした。測定結果を一括表示したものが Fig. 8 であるが、表中最大値はその測点で測定された最大の波高と沖波の平均波高

Table 3 Wave height ratio in south basin for various wave absorbing and sheltering works

Measuring point No.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
A	Maximum	—	0.04	0.18	0.27	0.04	0.04	—	—	—	0.27	0.40	0.44	0.89
	Minimum	—	—	0.09	0.18	—	—	—	—	—	0.13	0.31	0.36	0.84
	Average	—	0.02	0.13	0.22	0.02	0.02	—	—	—	0.20	0.36	0.40	0.87
B	Maximum	0.09	0.02	0.13	0.35	0.02	0.04	—	—	—	0.38	0.65	0.73	0.99
	Minimum	0.02	—	0.04	0.17	—	0.02	—	—	—	0.26	0.52	0.52	0.82
	Average	0.05	0.01	0.09	0.26	0.01	0.03	—	—	—	0.32	0.58	0.63	0.91
C	Maximum	0.08	0.04	0.21	0.51	0.04	0.04	—	—	—	0.42	0.59	0.97	1.22
	Minimum	0.02	—	0.17	0.38	0.02	0.02	—	—	—	0.25	0.46	0.84	1.01
	Average	0.05	0.02	0.19	0.44	0.03	0.03	—	—	—	0.34	0.53	0.91	1.12
D	Maximum	0.04	0.04	0.17	0.52	0.03	0.04	—	—	—	0.30	0.48	0.78	1.17
	Minimum	0.02	—	0.09	0.48	—	0.02	—	—	—	0.26	0.43	0.65	1.00
	Average	0.03	0.02	0.13	0.50	0.01	0.03	—	—	—	0.28	0.46	0.72	1.09

との比、最小値は最小の波高と沖波の平均波高との比を示していることは Fig. 5 の場合と同じである。平均値は上の両者の平均値であつて近似的にその測点における平均波高の波高比を表わすものと考えてよい。

(1) 防波堤の効果

Table 3 からわかるように、泊地内で問題になる測点は、13, 12, 11, 10および4であつて、これらはいずれも航路の中心線に沿つた点である。そこでこれら五つの測点の波高比を港口から順に並べて図示し、AとD, BとCを比較すると防波堤の効果を検討することができるわけである。簡単のために横軸に測点番号、縦軸に代表として最大波高比をとつて図示すると Fig. 8 のようになる。この図から、測点13および12(水路部)においては防波堤があるために波高が著しく減少しているが、測点11および10では防波堤があるなしにかかわらずほぼ同一の値を示し、さらに測点4においては防波堤がない場合が非常に波高が増していることがわかる。こうした特性は平均波高および最小波高についても同様であつて、港内に侵入してくるエネルギーの大小だけでは説明がつかず、波の防波堤による回折、護岸による反射および泊地内での静振の発生などの効果が複雑に重なり合つた結果と考えられる。しかしこうした現象に対する明確な説明は現在のところ困難である。

防波堤の効果を結論的に説明するとつぎのようである。

1. 防波堤があることによつて港口付近で波が回折するが、防波堤の内側およびその周辺の護岸に十分な消波工を施せば、港口付近の波が穏やかになり船舶の入港が容易になる。
2. 防波堤の存在は水路部における波高を著しく低減させるが水路部から泊地への入口付近の波高は若干低減させる程度である。
3. しかし泊地内の波高、とくに港口に直面している測点4および泊地を取り囲む護岸ないしは岸壁付近の波高を著しく低減させる。

(2) 捨石工の効果

水路部の護岸を捨石工として消波効果を増大させたときの比較を行なうためには、AとB、DとCの比較を考えればよい。すなわち、Fig. 8 についてみると、捨石工を施したAおよびDとこれをビニール布で覆ったBおよびCとでは、図示の全測点を通じて後者の波高比がかなり大きく、前者に対する曲線をほぼ平行移動させたような形をなしている。これは港口で波が回折し、その結果水路部内の波頂線がカーブして両岸では斜めに入射するような形状をなすので、この部分に捨石工があると、斜めに入射した波のエネルギーを吸収してしまうためと考えられる。

したがつて、水路部の護岸を十分な消波効果をもつた構造、たとえば捨石工やテトラポッド工を施すことは水路部はいうに及ばず泊地内の波高を著しく減少させる効果がある。

以上の比較実験の結果、南泊地においては、当初計画されているような防波堤を配置し、防波堤の周辺部および水路部の護岸に捨石やテトラポッドを置いて十分な消波構造すなわちA型とすれば、泊地内の波高はかなり小さく静穏な港となることが期待される。

6. 北泊地の消波工に関する比較実験

前述したように北泊地は南泊地に比してかなり波高が大きいので、港として十分な機能を発揮させるためには、泊地内波高の低減化に関して十分検討しなければならない。そこで本実験ではつぎの四つの段階にわけて検討を行なつた。なおこの場合の実験条件は南泊地の場合と同様で、波高 2.3 cm, 周期 0.55 sec で WNW 方向、水位は O.P. + 2.50 m である。

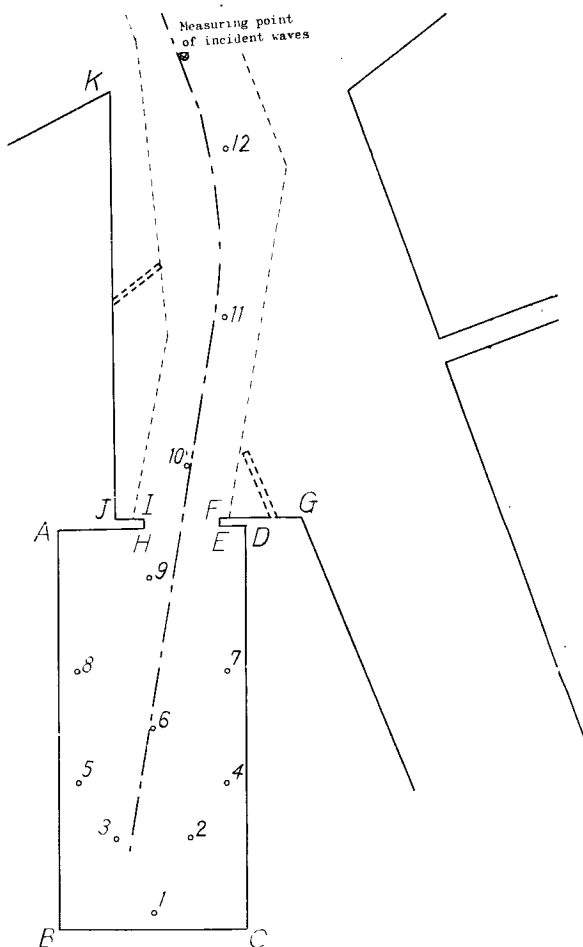


Fig. 9 Shape of north basin and measuring points of wave height (1)

(1) 比較実験(その1)

本節で述べる比較実験で対象とした北泊地の平面図形と波高観測点を **Fig. 9** に示す。まず BC 岸壁を除く泊地内岸壁が垂直岸壁の場合を a 型、a 型にさらに AH および ED に捨石工を施したものを a₁ 型として両者の比較を行なった。AH および ED に行なった捨石工は模型で平均粒径約 1 cm の玉砂利で 1 : 2 の斜面を形成したものである。前の場合と同様に、港口における平均波高に対する比を波高比として、えられた結果を一括表示すると **Table 4** のようである。

同表をみると、最大波高比は 1 および 2 を除いては a₁ の場合が a の場合よりも小さいが、最小波高比は逆に a₁ の場合の方が若干大きい値を示している。また平均波高比は両者ともあまり差がないといえる。こうした事実は、a の場合が a₁ の場合に比べてかなり強いビートを打っているが、泊地内に発生している波の全エネルギーは両者ともほぼ同じであることを示すものと考えられる。したがって、AH および ED の護岸に捨石のような消波工を行なうことによつて、BC 岸壁からの反射波の再反射をある程度防止して、泊地内外の波高を若干低減させるとともに、ビートを弱めるのにかなりの効果があるということがわかる。

(2) 比較実験(その2)

北泊地面積が狭いため、上述の捨石工以外の消波工を行なうことは、船舶の接岸および操船工ほとんど不可能と考えられる。したがって北泊地内での消波工による波高減殺はこの程度しか期待できず、これ以上の消波効果は必然的に港口付近および港外における防波堤、突堤、捨石工、テトラポッド工によらなければならないわけである。そこで、泊地内の捨石工による消波工は a₁ の場合を採用し、それに防波堤、突堤などを付加した場合の比較実験を行なった。

港口および港外における波浪遮蔽工ないしはエネルギー吸収工としては種々のものが考えられ、約 20 種類のものについて実験を行なったが、以下ではそのうちの主要な 10 種類のものについて説明する。なお、これらの形状は前述の a 型とともに **Fig. 10** に示されている。

a₁ 型：本比較実験の原型であつて上述したとおりである。

b 型：**Fig. 9** の JK の護岸にある防波堤を取り除き、その代り AH からそれぞれ 5.25 m および 2.00 m の位置に 1.55 m および 0.90 m の長さの直立防波堤をおき、FG 護岸側は a₁ 型と同じとした場合。

c 型：b 型とほぼ同型であるが、AH から 2.00 m および 1.00 m の位置にそれぞれ 0.90 m および 0.70 m の長さの突堤状の防波堤をおいた場合。

d 型：泊地外の防波堤を全部取り除いた場合。

e 型：b 型で AH から 2.00 m の位置にある防波堤を取り除いた場合。

f 型：港口にフランスの J. Valembois⁵⁾ が考案した共振体をもつ突堤を港外に突き出した場合。

g 型：共振体をもつ突堤を泊地内に向つて突き出した場合。

h 型：f 型とほぼ同型であるが共振体でなく突堤群と考えられる場合。

i 型：h 型の突堤群を疎にし、両側に 2 本ずつ突堤を配した場合。

j 型：JK 護岸側には AH 線より 7.25 m の位置に 1.30 m の長さの防波堤を JK に垂直におき、さらに FG 護岸側には航路に沿つて約 2.10 m の長さにわたつて 0.20×0.20 m の角筒を縁と縁とを突き合わせた状態で並べ、アメリカの E.F. Brater⁶⁾ が採用したジグザグ壁とした場合。

以上の 10 種類の場合について行なった比較実験の結果を一括したものが **Table 4** である。

まず防波堤形式の a₁, b, c, d および e 型についてみると、d 型は最大値も大きくビートも強いので問題にならない。他の 4 形式は平均波高比では大差がないが、このうち b 型のみが最大値が大きくかなり強いビートを打っている。ビートが小さいのは a₁ および c 型である。つぎに、測点 1 から 9 までの港内 9 点での最大波高比の平均値および平均波高比の平均値をみると、前者では c : 0.61, a₁ : 0.62, e : 0.70, 後者では e : 0.40, c : 0.43, a₁ : 0.44 である。したがって防波堤形式では a₁, c および e 型が良好であるが、これら 3

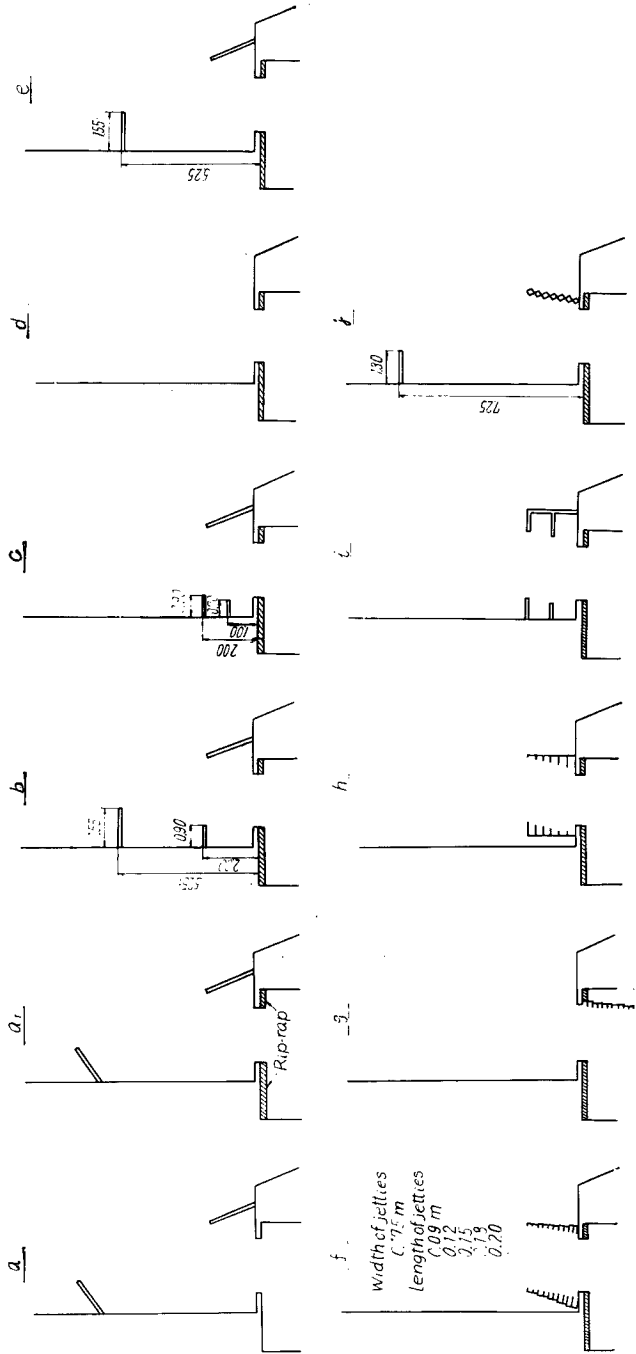


Fig. 10 Types of wave absorbing and sheltering works in north basin (unit : meter)

Table 4 Wave height ratios in north basin (1)

Type	Measuring point No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Average (No. 1 ~No.9)
a	Max.	0.66	0.64	1.05	0.89	0.93	1.09	0.78	0.54	1.51	1.71	2.29	1.47	0.90
	Min.	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.17	0.12	0.08	0.12	0.50	0.35	0.70	0.12
	Aver.	0.39	0.38	0.53	0.51	0.52	0.63	0.45	0.31	0.82	1.11	1.32	1.08	0.51
a ₁	Max.	0.66	0.80	0.66	0.14	0.52	0.84	0.42	0.31	1.26	1.68	1.64	1.26	0.62
	Min.	0.28	0.49	0.24	0.07	0.14	0.45	0.10	0.07	0.38	0.59	0.49	0.70	0.25
	Aver.	0.47	0.65	0.45	0.10	0.33	0.65	0.26	0.19	0.82	1.14	1.07	0.98	0.44
b	Max.	0.86	1.13	1.09	0.50	0.63	1.23	0.59	0.25	0.71	1.63	1.38	1.38	0.78
	Min.	0.17	0.17	0.13	0.04	0.04	0.46	0.13	0.04	0.17	0.67	0.33	0.62	0.15
	Aver.	0.51	0.65	0.61	0.27	0.33	0.85	0.36	0.15	0.44	1.15	0.86	0.99	0.46
c	Max.	0.99	0.75	0.57	0.57	0.24	1.04	0.47	0.19	0.66	1.46	1.32	1.08	0.61
	Min.	0.42	0.33	0.33	0.19	0.05	0.47	0.19	0.05	0.28	1.11	0.57	0.80	0.26
	Aver.	0.71	0.54	0.45	0.38	0.14	0.75	0.33	0.12	0.47	1.29	0.94	0.94	0.43
d	Max.	0.85	1.23	0.81	0.50	0.77	1.04	0.92	0.38	1.38	1.73	1.77	1.81	0.88
	Min.	0.12	0.04	0.08	0.04	0.08	0.08	0.12	0.04	0.08	0.23	0.50	0.54	0.08
	Aver.	0.48	0.63	0.44	0.27	0.42	0.56	0.52	0.21	0.73	0.98	1.14	1.17	0.47
e	Max.	0.67	0.78	0.94	0.47	0.74	0.90	0.78	0.67	0.86	1.73	1.84	1.53	0.70
	Min.	0.08	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.08	0.27	0.27	0.67	0.05
	Aver.	0.37	0.41	0.49	0.25	0.41	0.47	0.41	0.35	0.47	1.00	1.06	1.10	0.40
f	Max.	0.58	0.91	0.72	0.69	0.95	1.02	0.72	0.47	1.06	2.00	1.89	1.57	0.79
	Min.	0.04	0.07	0.07	0.04	0.11	0.04	0.04	0.04	0.11	0.11	0.29	0.44	0.06
	Aver.	0.31	0.49	0.40	0.36	0.53	0.53	0.38	0.25	0.58	1.06	1.09	1.00	0.43
g	Max.	0.89	0.97	1.05	0.61	0.68	1.21	0.77	0.61	1.41	1.62	1.54	1.30	0.71
	Min.	0.04	0.04	0.08	0.04	0.04	0.08	0.04	0.04	0.04	0.08	0.28	0.20	0.05
	Aver.	0.47	0.51	0.57	0.32	0.36	0.64	0.40	0.32	0.73	0.85	0.91	0.75	0.48
h	Max.	0.84	1.18	1.14	0.84	1.22	1.22	0.93	0.72	1.77	1.94	1.94	1.43	1.10
	Min.	0.04	0.04	0.08	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.08	0.34	0.55	0.63	0.05
	Aver.	0.44	0.61	0.61	0.44	0.63	0.63	0.49	0.38	0.93	1.14	1.24	1.03	0.57
i	Max.	0.77	0.94	1.07	0.64	1.03	1.20	0.90	0.56	1.33	1.97	1.93	0.99	0.94
	Min.	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.13	0.42	0.64	0.64	0.05
	Aver.	0.41	0.64	0.56	0.34	0.54	0.62	0.47	0.51	0.73	1.22	1.29	0.81	0.54
j	Max.	0.87	0.87	0.87	0.50	0.83	0.96	0.54	0.67	1.21	1.58	1.42	1.50	0.81
	Min.	0.08	0.04	0.04	0.04	0.04	0.08	0.04	0.04	0.08	0.54	0.58	0.62	0.05
	Aver.	0.48	0.46	0.46	0.27	0.44	0.52	0.29	0.35	0.65	1.06	1.00	1.06	0.44

形式の間では優劣をつけ難い。

つぎに特殊な消波工である f, g, h, i, および j 型については, h および i 型は最大波高比も大きくビートも強いので余り良好とはいえない。f, g および j でも最大波高比は大きくかなりのビートが存在しているが, 泊地内の波高分布が他の形式の場合に比して平均化しているように思われる。

したがって、このような消波工は泊地内の波高が局所的に増大するのを防ぎ、かつ泊地面積が大きくビートが余り強くない場合にはかなりの消波効果を期待することができるものと思われる。また泊地内9測点での平均波高比の平均値は、 $f:0.43$, $j:0.44$, $g:0.48$ の順に大きくなっているので、この場合、特殊形式の消波工として良好なものは f および j 型の二つの型式といてよいであろう。

(3) 比較実験(その3)

上述したことから、結局港口付近および港外に設けた防波堤などによる各種の消波工のうち良好なものは a_1 , c , e , f および j の五つの形式である。しかしながら、たとえば平均波高比の泊地内の測点の平均値は 0.4 以下となっており、未だ泊地として十分であるとはいえない。それでこれらの比較的良好な消波工形式について、さらに消波効果を増大させるためには、南泊地での実験から考えて、適当な捨石工を行なうのが有効と思われる。そこで上述の各形式について防波堤または突堤のまわりに捨石工を行なつて波の複雑な反射を防止した場合の実験を行なつた。なおこの場合、Fig. 9 の FG 護岸にも捨石を行なつたが、これは Table 4 から

わかるように FG の護岸からの反射によつて測点10および11の波高が大きいので、これを防止するためである。また f 型はその消波機構から考えてその周辺に捨石工を行なうことは無意味であるので、この比較実

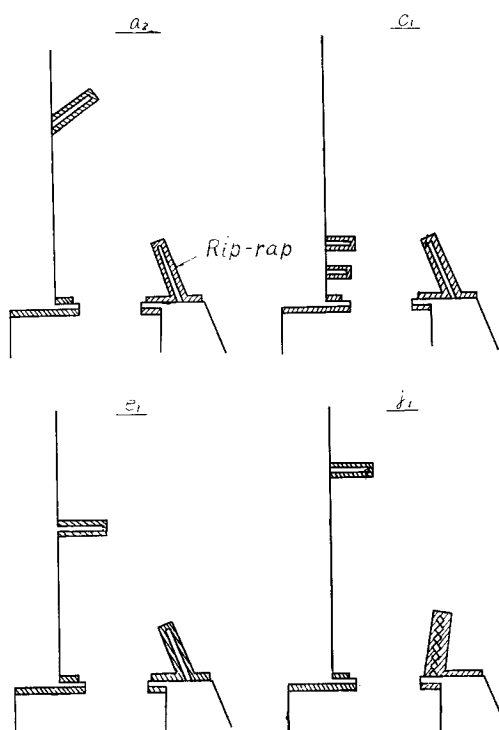


Fig. 11 Types of wave absorbing and sheltering works at mouth of north basin

Table 5 Weve height ratios in north basin (2)

Type	Measuring point No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Average (No. 1 ~ No.9)
a_2	Max.	0.34	0.41	0.51	0.04	0.11	0.68	0.23	0.07	0.68	0.83	0.94	1.02	0.34
	Min.	0.23	0.30	0.47	0.02	0.04	0.49	0.04	0.04	0.38	0.70	0.86	0.86	0.22
	Aver.	0.28	0.36	0.49	0.03	0.07	0.58	0.13	0.06	0.53	0.77	0.90	0.94	0.28
c_1	Max.	0.29	0.55	0.59	0.25	0.63	0.80	0.46	0.17	0.80	1.43	1.22	1.01	0.51
	Min.	0.08	0.34	0.34	0.04	0.25	0.55	0.25	0.08	0.38	1.26	0.97	0.76	0.26
	Aver.	0.19	0.44	0.46	0.15	0.44	0.67	0.57	0.13	0.59	1.34	1.09	0.88	0.41
e_1	Max.	0.66	0.48	0.62	0.09	0.79	0.84	0.26	0.35	0.84	1.13	1.06	1.32	0.55
	Min.	0.31	0.31	0.26	0.04	0.44	0.62	0.04	0.18	0.53	0.93	0.79	0.75	0.30
	Aver.	0.48	0.40	0.44	0.07	0.62	0.73	0.15	0.26	0.68	1.04	0.93	1.04	0.43
j_1	Max.	0.57	0.61	0.69	0.41	0.77	1.06	0.61	0.37	0.82	1.83	1.88	1.26	0.66
	Min.	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.49	0.04	0.04	0.16	0.53	0.69	0.61	0.10
	Aver.	0.31	0.33	0.37	0.22	0.41	0.77	0.33	0.20	0.49	1.18	1.28	0.94	0.38

Table 6 Changes in wave height ratios due to various wave absorbing and sheltering works

Type	$a_1 \rightarrow a_2$	$c \rightarrow c_1$	$e \rightarrow e_1$	$j \rightarrow j_1$
Max. wave height ratio	0.62 $\rightarrow$ 0.34	0.61 $\rightarrow$ 0.51	0.70 $\rightarrow$ 0.55	0.81 $\rightarrow$ 0.66
Aver. wave height ratio	0.44 $\rightarrow$ 0.28	0.43 $\rightarrow$ 0.41	0.40 $\rightarrow$ 0.43	0.44 $\rightarrow$ 0.38

験においては除外し、結局 a_1, c, e および j の 4 形式のものを対象とした。すなわち、 a_2, c_1, e_1 、および j_1 型であつて、この場合の捨石工の配置を示したものが Fig. 11 である。また、実験結果を一括表示したものが Table 5 である。

Table 4 および Table 5 を比較すると、 a_2, c_1, e_1 および j_1 型では最大波高比が著しく低減しており、かつ平均波高比も若干小さくなつてゐる。こうした傾向をさらに明確にするために、泊地内 9 測点での最大波高比の平均値および平均波高比の平均値の低減の模様を表にしたものが Table 8 である。この表よりわかるように、上述の傾向が明瞭にあらわれており、このような捨石工を行なうことによつて波の反射効果が減少し、その結果泊地内外のビートが著しく弱くなり泊地としての効用が増大したことを示している。

とくに a_2 型の場合がもつとも良好であつて、航路内（港口）での波高も小さい。ついで c_1 および e_1 型がほぼ同じであり、 j_1 型は最大波高比に対してあまり芳しくないが、平均波高比から考えると a_2 型について良好である。

(4) 比較実験（その 4）

前項までの比較実験の結果、 a_2 型の消波工がもつとも良好であることがわかつたが、さらに泊地内の波高を低減させる

のを目的として、つぎの実験を行なつた。なお本実験からは、工場敷地の関係上泊地を西北西方向に 1.80m 前進させるように変更されたので、こうした場合の泊地形状を対象とすることとした。またこの場合の泊地の形状および測点を Fig. 12 に示した。これは、Fig. 9 の場合と比較して JK の護岸の長さが短くなつ

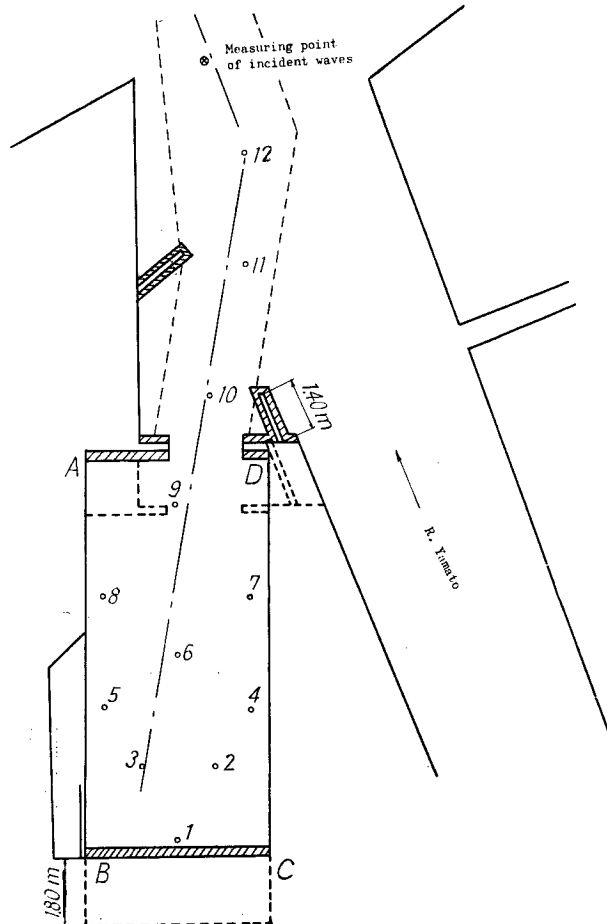


Fig. 12 Plan of north basin and measuring points of waves (2)

たことに相当している。前述の a_2 型の場合と若干異なるが、 e_1 型でもかなり良好な消波効果を示すことから考えて、この場合も良好な消波効果を発揮するものと期待される。

さて、泊地内の設置可能な消波工は前にも述べたように、捨石工ないしはテトラポッド工に限られると思われる。すでに泊地の最奥部 BC の岸壁に捨石工をすることは検討済みであるので、残された岸壁は侵入波に直接さらされる AB の岸壁である。しかし岸壁は大型船の接岸が予定されているので、接岸に支障がない部分に限られるだろう。こうした理由から、この比較実験で対象とした消波工の形式は Fig. 13 に示す四つである。すなわち、AB 岸壁をすべて垂直岸壁としたものを原形として、これを a_0 型、BからAの方向に模型でお 1.00 m, 2.00 m よび 3.00 m の長さに BC 岸壁と同様な捨石工を施し、傾斜岸壁としたものをそれぞれ a_{100} 型、 a_{200} 型、 a_{300} 型と呼ぶことにする。

さて、WNW 方向の沖波に対して泊地内の波高比分布を示したものが Table 7 であり、各測点の最大波高比を比較したものが Fig. 14 である。

まず、泊地全体が 1.80 m 西方に移動したための影響をみるために、Table 5 中の a_2 型と Table 7 の a_0 型を比較すると後者の波高比が

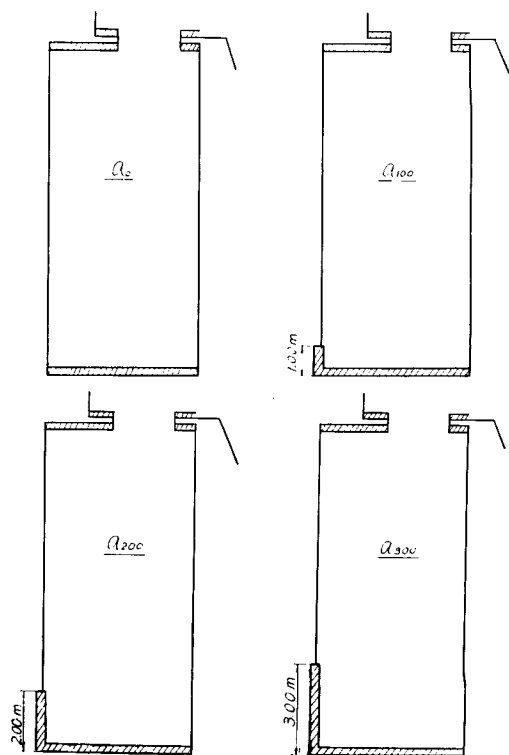


Fig. 13 Illustration diagram of wave absorbing works in north basin

Table 7

Type	Measuring point No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Average (No. 1 ~ No.9)
a_0	Max.	0.48	0.51	0.55	0.16	0.48	0.87	0.08	0.04	0.55	0.83	1.14	1.10	0.41
	Min.	0.28	0.28	0.24	0.08	0.35	0.67	0.04	—	0.39	0.71	0.78	0.83	0.26
	Aver.	0.37	0.39	0.39	0.11	0.41	0.77	0.06	0.02	0.48	0.77	0.96	0.96	0.33
a_{100}	Max.	0.31	0.35	0.24	0.19	0.55	0.71	0.19	0.04	0.63	0.98	0.94	1.06	0.36
	Min.	0.27	0.19	0.16	0.16	0.51	0.55	0.08	—	0.47	0.86	0.82	0.94	0.27
	Aver.	0.29	0.27	0.19	0.18	0.53	0.63	0.14	0.02	0.55	0.92	0.88	1.00	0.31
a_{200}	Max.	0.39	0.34	0.47	0.43	0.73	0.90	0.09	0.34	0.90	1.12	1.28	1.28	0.51
	Min.	0.17	0.21	0.21	0.04	0.56	0.69	0.04	0.04	0.69	0.82	0.94	0.90	0.29
	Aver.	0.28	0.28	0.34	0.24	0.64	0.79	0.06	0.19	0.79	0.96	1.12	1.09	0.40
a_{300}	Max.	0.65	0.43	0.56	0.38	0.56	0.95	0.22	0.13	1.17	1.26	1.60	1.17	0.56
	Min.	0.43	0.17	0.38	0.17	0.35	0.74	0.09	0.04	0.91	0.95	1.13	0.95	0.36
	Aver.	0.54	0.30	0.48	0.28	0.45	0.84	0.15	0.09	1.04	1.10	1.36	1.06	0.46

若干大きくなっている。しかし、Table 5 中の c_1 , e_1 および i_1 型よりはかなり良好である。つぎに、捨石による消波工を施した効果を比較すると、その長さが 1.00 m の場合がもつとも良好で、それより長くなるとかえつて泊地内が荒れる傾向がある。また a_0 と a_{100} とを比較した場合、港口までは大差はないが、泊地内を静穏に保つという点から a_{100} 型がすぐれている。すなわち、Fig. 12 に示した泊地形状に対しては a_{100} 型がもつとも良好であるといえることができる。

7. む す び

埋立地の造成に伴う新堺港の港内の静穏化に関する比較実験の結果を述べてきたが、結局のところ南泊地については A 型、北泊地については a_{100} の形状をとつたときがもつとも静穏な泊地が期待できることがわかった。また、第 2 節で述べた各種の海象条件に対しても、泊地内

各地点における波高をも測定したが、その結果からも泊地の機能を十分発揮することができる港であることを確認することができた。

最後に本実験から泊地内の静穏化を図るために考慮すべき事項として、

1. 防波堤を適切に配置して、波が直接港内に侵入するのを防止するとともに、防波堤による波の回折現象をうまく利用する。

2. 港口付近に適当な大きさの水域（共振体）を設けて、侵入する波のエネルギーを吸収する。

3. 防波堤の周辺および波があたる岸壁または護岸は捨石やテトラポッドなどを置いて消波につとめるとともに、泊地内外に発生する波のビート現象を防止する。

以上のようなことが判明したわけである。しかし、こうした現象は非常に複雑であつて、解析的な検討はほとんど不可能といつてよく、港の形状の決定に際しては、今後とも模型実験によらなければならないであろう。

最後に本模型実験は、はじめに述べたように新堺港の計画および施行とほとんど並行して行なわれたものであつて、本文に述べられている港の形状に達するまでの各種の案についても予備的な実験が行なわれたが、本文では最終的な結果に直接関係のないものは割愛した。

本実験は、大阪府および八幡製鉄株式会社の委託によつて行なつたものであつて、関係の方々の多大の御援助、御協力を頂いた。また実験を行なうに際しては石原藤次郎教授および矢野勝正教授よりたえず御激励を頂き、米村正己、小川武夫の両君には多大の労をわずらわした。ここに深謝の意を表するものである。

参 考 文 献

- 1) 堺港港湾管理者編：堺港港湾計画資料，昭35.1.
- 2) 土木学会海岸工学委員会訳：海岸工学 I，丸善株式会社，昭30.9，pp. 193-201.

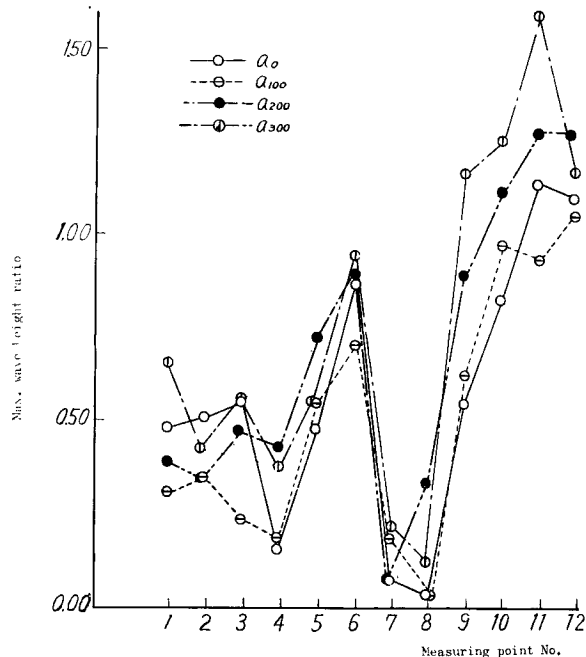


Fig. 14 Effect of wave absorbing works in north basin

- 3) 岩垣雄一：海岸および港湾の模型実験について，海岸工学の最近の進歩，土木学会関西支部，昭36.3, pp. 21-42.
- 4) 国司秀明：電気抵抗式波高計の設計について，京大防災研究所年報，第 3 号，昭34.12, pp. 65-73.
- 5) Valembois, J. : Etude de l'action d'ouvrages resonants sur la propagation de la houle, Proc. Minnesota Hydraulics Convention, 1953, pp. 193-199.
- 6) Brater, E.F. : Methods of Correcting Wave Problems in Harbors, Proc. ASCE, Vol. 85, No. WW4, Dec. 1959, pp. 39-55.