

航路進入波に関する実験的考察

—— 名古屋港水理模型実験報告 ——

目 次

要 旨	1
§ 1. ま え が き	3
§ 2. 実験条件および実験方針	3
§ 3. 防波堤開口部からの回折波の計算	4
§ 4. 幾何光学的作図法による航路進入波の考察	6
§ 5. 航路進入波に関する実験	7
(1) 実験施設	7
(2) 航路模型および実験の諸元	8
(3) 航路内の波高分布	9
(4) 庄内川筋への進入波高	10
(5) 船だまり閉鎖および消波岸壁の影響	14
(6) 超小型模型による実験結果	14
§ 6. 反射率に関する実験	14
(1) 実験の諸元および反射率の測定方法	14
(2) 岸壁の反射率	16
(3) 岸壁エプロン上の波高	17
§ 7. 庄内川筋への進入波の総合的考察	17
(1) 港内発生波	17
(2) 防波堤開口部からの回折波	19
§ 8. 結 論	20
付図 1～8 航路内の波高分布	22

航路進入波に関する実験的考察

—— 名古屋港水理模型実験報告 ——

合田 良実 * ・ 藤島 睦 ** ・ 北谷 高雄 ***

要 旨

この報告は、名古屋港において埋立工事中の13号地と西2・4区間の庄内川航路へ進入する波について、航路内の波高分布、岸壁の反射率、庄内川筋への進入波高比などを検討したものである。実験にあたっては、対象区域が長さ8km以上に及び、しかも発生域の波を対象とするため、次のような方針に従った。第1に、幾何光学的作図法を用いて庄内川筋への進入波を推定し、第2に小縮尺実験によって航路内の波高分布とともに幾何光学的作図法の適用性を検討し、第3に岸壁の反射率については別個に測定を行ない、最後にこれらの結果を総合して庄内川筋への進入波の考察を行なった。また、防波堤開口部からの回折波について、電子計算機を用いて回折係数を計算した。

これらの検討の結果によって、航路に進入する波は岸壁で反射されるたびに波高が約70%に減少し、また西1区と11号地の南護岸でかなりの波が反射されて航路の外へ戻ることが分った。従って、庄内川筋まで進入する波の波高は、港内発生波については航路入口附近の波高の約0.3倍以下、防波堤開口部からの回折波については防波堤前面の波高の約0.15倍以下と推定される。

* 水工部模型試験課長

** 水工部模型試験課第二係長

*** 水工部防波堤研究室

Laboratory Estimation of Invading Waves into A Long Navigation Basin

— Report of Hydraulic Model Test on Nagoya Port —

Yoshimi Goda *, Mutsumi Fujishima**
and Takao Kitatani ***

Synopsis

An estimation of the height of waves invading into the Shonai Navigation Basin which will be formed between the new reclamation lots No. 13, and West 2nd and 4th of Nagoya Port is presented in this report. Since the navigation basin extends more than 8km and the waves developing during typhoon are of major concerns, ordinary practices of wave model test do not apply. The method of geometric optics was employed in this study in order to investigate the amount of wave height reaching the Shonai River which is located at the end of the Shonai Navigation Basin. The applicability of the geometric optics was confirmed by the results of a small scale test (1/1000). The small scale test also gave the informations on the distribution of wave heights in the navigation basin. The reflection coefficient of the quay wall under planning was studied by another test with a scale of 1/25, yielding an average value of 0.7.* Wave diffraction diagrams were also prepared with the aid of a digital computer for the waves diffracted from the entrance of the breakwaters located some 4km off the navigation basin.

Based on these analysis and experimental data, the height of the invading waves reaching the Shonai River is estimated as less than 30% of the wave height at the entrance of the navigation basin for the waves generated inside the breakwaters, and as less than 15% of the wave height at the entrance of the breakwaters for diffracted waves.

* Chief of Model Test Section, Hydraulics Division.

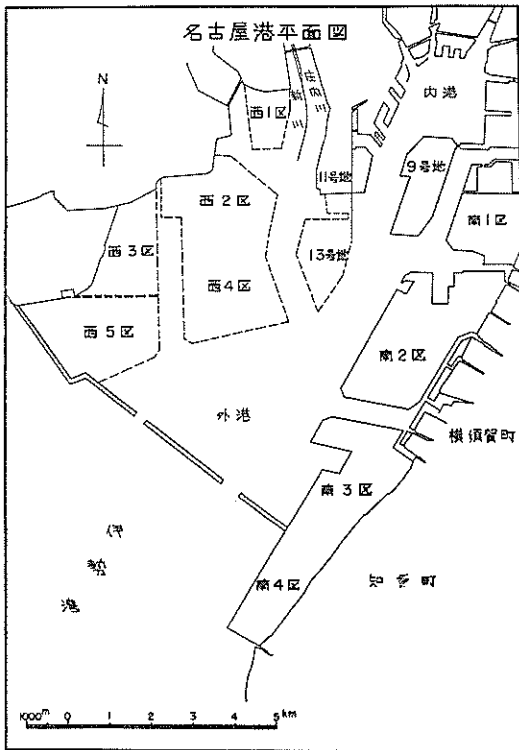
** Member of Model Test Section, Hydraulics Division.

*** Member of Breakwater Laboratory, Hydraulics Division.

§ 1. ま え が き

現在名古屋港においては延長 8,250m の大防波堤が完成を見、これとともに港内の埋立工事が大規模に行なわれている。図一は名古屋港の現在および将来計画の一案を示すもので、港内の埋立地は飛躍的に増大する。こうした埋立地によって形成される航路の内、13号地および西 2・4 区にはさまれる航路（以下これを庄内川航路と呼んでおく）は、防波堤開口部からの回折波や、港内発生波の影響を受け易い位置にある。このため、庄内川航路への進入波について、航路内の波高分布ならびに進入波の特性を実験的に検討するよう、第五港湾建設局から依頼があり、模型実験を行なうこととなった。

名古屋港の波浪実験で一番の問題は、その大きさである。防波堤開口部から西 4 区の先端まで 4.2km、庄内川背割堤の先端までは 8.1km と非常に広い範囲が対象となる。これを通常の遮蔽実験のように縮尺 1/100 程度の大きさで実験しようとすれば、長さ 80m 以上の造波水槽を必要とする。しかし現在、当所にはこのような大型造波水槽がない。また第 2 の問題としては、対象とする波が、防波堤開口部附近の沖波でも周期 5~7 秒、波高 3~4 m であり、港内発生波はこれよりもさらに小さい。



図一 名古屋港平面図

しかも港内発生波は、航路内を進行する途中でもなお発達を続けるものと考えられる。このような場合、普通の遮蔽実験のように、外海から一定波高の規則波を送って港内の波高分布を測定する方式をそのまま適用することは、波の相似性の上で問題が残る。

しかしながら、別の面から考えてみると、計画完成後の泊地、航路は -10~-12m に浚渫され、港内水深はほぼ一様となる。また庄内川航路沿いには直立岸壁が計画されており、波は岸壁の間で反射を繰り返しながら、庄内川筋へ進んで行く。従って、一般の遮蔽実験のような水深変化による波高の増減や、突堤や防波堤などによる遮蔽効果は、あまり重要ではない。むしろ、屈曲した航路内での反射と、反射波の回折現象との繰り返しが主要な問題点である。この意味で相似性が要求されるのは、航路の地形、航路幅と波長との比、および反射率の 3 量であるといえる。

こうした直立岸壁にはさまれた航路内の反射波の問題は、最近のように港湾の規模が大型化するにつれて、各地に見られる現象である。特に、港内あるいは港外へ埋立地を造成し、その全周を繫船岸壁として利用する場合に、これが問題となる。しかし模型実験を行なう立場から考えると、大型港湾であることはすなわち規模も大型化することであり、多数の人員と長期の実験期間を必要とすることになって、望ましくない。

このような点を考え、今回の模型実験においては、一つの試みとして、小縮尺の模型を使って問題の基本的性質を検討し、図式解法その他の方法を併用して、航路進入波の考察を行なった。

§ 2. 実験の条件および実験方針

第五港湾建設局から依頼された実験の条件は、次のとおりである。

- (a) 波の大きさ
 - 波高 2~3 m, 周期 4~7 秒
- (b) 波 向
 - イ. 防波堤前面からの回折波
 - ロ. 庄内川航路と同軸の波
 - ハ. 防波堤と南 3 区の隅角部および航路入口とを結ぶ方向
- (c) 模型に含むべき範囲
 - 港内庄内川航路については庄内川に沿って長さ 8 km, 幅 3 km の範囲

これらの条件の下に検討を依頼された事項は、次のとおりである。

(1) 防波堤開口部からの回折波について港内側の波高分布

(2) 庄内川航路への進入波についてその波高分布

(3) 岸壁の消波構造についてその反射率等

このような事項について検討するには、各々について模型実験を行なうのが原則である。しかし、§ 1. まえがきに述べたように、実験対象区域が広いこと、および波も発生途上のものを含むことの特異性もあって、単純に模型実験を行なうのは適当でない。そのため、第1の回折波については、電子計算機を用いて回折係数を算出し、実験に代えることにした。これは、波峯の長い一般的な規則波に関する限り、防波堤からの回折現象は理論的に良く解明されているものの一つであり、模型実験と同等、あるいはそれ以上の精度の結果が期待できるからである。

第2の庄内川航路への進入波については、小縮尺実験のモデルケースとして、縮尺1/1000の小型模型を製作し、これによって航路内全体の波の状況を検討することにした。小縮尺模型の第1番の問題は、水深をどう縮めるかである。しかし、今回の名古屋港の場合には、計画完成後に港内がほぼ一様水深となり、波長の場所的变化は小さいものと予想される。従って模型においても、模型波の波長が一定であれば、特に水深を相似にする必要はない。この意味から、実験では底面摩擦の影響を受けないように深海波を使うことにし、水深を十分大きく選ぶことにした。この場合模型波としては、波長の縮尺に合わせて周期0.2秒程度のものを予定したが、このような短周期の波は内部粘性および水面の汚れなどによって波高が非常に減衰し易く、実験波として使うことができなかった。それで、周期0.5および0.4秒の波を使って実験を行ない、また参考実験として周期0.33秒の波についても調べ、これらの結果から外挿によって、さらに短周期の波に対する応答を推定することにした。ただこの方法では推定結果が不確実になりかねないので、波長が非常に短くなった極限の場合を考え、これを幾何光学的作図法によって検討して、航路進入波の極限值を算定しておいた。

第3の消波構造については、もともと碎波状況や、碎波によって失われる波のエネルギーが問題になるのであるから、できるだけ大きな模型を使って実験することが望ましい。それで、岸壁の反射率その他については、縮尺1/25の模型で実験を行なった。

最後に、これらの計算、実験結果、および図式解法の結果を総合して、庄内川筋への進入波について、その平均波高比の推定を行なった。

§ 3. 防波堤開口部からの回折波の計算

名古屋港大防波堤開口部からの回折波については、後で述べるように波の不規則性にもとづくいろいろな問題がある。しかし、不規則波の回折現象については、まだほとんど分っていないので、ここでは規則波の理論解を使って、回折波を計算することにした。計画の条件としては、次のようなものを考えた。

(a) 波 向：

庄内川航路入口中央から開口部中央を望む方向

(b) 波の周期：

$T = 5.0$ および 7.0 秒

(c) 開口幅：

$B = 350$ および 500 m

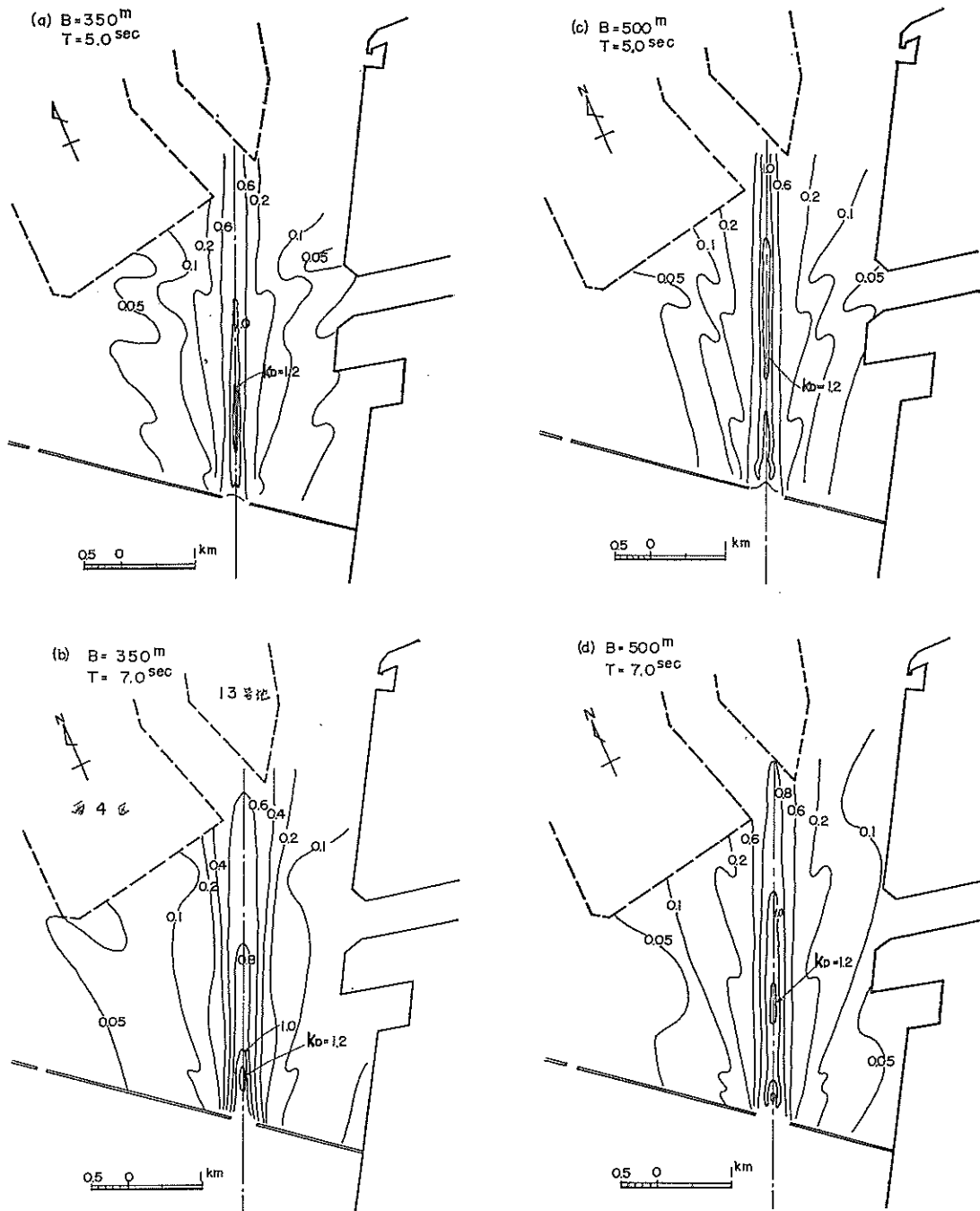
従って計算は、周期と開口幅の組合せによる4ケースについて行なった。水深としては、平均水深を D. L. - 10.0 m、高潮時潮位を D. L. + 5.3 m として、 $h = 15.3$ m を想定したので、このときの波の波長は、 $L = 38.5$ および 68.1 m となる。

回折波の計算は、一般に半無限堤に対する回折現象の解の重ね合せとして行なわれる。今回の場合、波長に比べて対象区域が広いので、今までに求められた回折図表は使用できない。それで、当所設計基準部計算室の電子計算機 TOSBAC 3123 を用いて、港内各地点の回折係数を計算した。この際、防波堤は波の入射方向に対して直角でないので、波の方向から見た見掛けの開口幅 (338 および 483 m) について計算を行なった。なお、電子計算機による回折係数の計算については、下記文献¹⁾を参照されたい。

この計算結果によると、港内における回折波の波高分布は図-2 (a)~(d) のように表わされる。図中の線は、回折係数の等しい点を結んだものである。図から明らかのように、規則波の場合には波の直進性が著しく、防波堤の影の部分へ回り込む波は、沖波々高の20%以下の波高しかない。

庄内川航路にとって問題となるのは、航路入口附近へ到達する回折波の大きさである。そこで、航路入口における回折係数を調べたのが表-1である。これによると、周期5.0秒の波では、航路入口の中央と端とで回折係数の値が大きく変化している。これは、周期が短かいために波の直進性が強く出る結果である。周期7.0秒の波の場合には、航路入口における回折係数の変化が、か

1) 森平倫生、奥山育英：“海の波の回折計算法と回折図” 港研資料No. 21, 昭和40年11月予定。



図一 2 防波堤開口部からの回折波の波高分布

なり減っている。このように波の周期によって回折係数の変動の幅が異なるが、これを最大値と最小値の平均で見ると、周期による差がほとんどなくなる。すなわち、開口幅が350mの場合には、航路入口における平均回折

係数が0.58、開口幅が500mの場合には0.75と周期には関係せずに、開口幅によってほぼ一義的に定まる。庄内川筋への進入波を問題にするときは、航路全体の波の状況を考慮することが重要なので、回折係数としては最大

表 - 1 航路入口における回折係数

開口幅	T = 5.0 秒	T = 7.0 秒
350 m	0.35~0.84	0.52~0.62
500 m	0.4 ~1.1	0.61~0.87

値よりも平均値を考える必要がある。従って、航路入口における回折波の大きさは、次のように算定される。

$$\left. \begin{array}{l} \text{開口幅 } B = 350 \text{ m} \\ \text{平均回折係数 } \bar{K}_D = 0.58 \\ \text{開口幅 } B = 500 \text{ m} \\ \text{平均回折係数 } \bar{K}_D = 0.75 \end{array} \right\} \dots\dots\dots(1)$$

以上の計算は、波高、周期および波向が一定で、波峯が無限に長い規則波に対するものである。しかし実際の台風時に来襲する波はこのような規則波ではない。第1に波高および周期が各波ごとに異なる。第2に、いろいろな方向の波が重なり合っている。第3に波峰の長さは有限であり、いわゆる「切れ波」である。このような高度の不規則性を持つ発生域の波が、名古屋港のような大防波堤の内側へどのように回折されて行くかについては、まだほとんど研究が行なわれていない。また、防波堤の開口部から内側へ進入した波がさらに風を受けて発達する場合、波の発達と回折の現象とがどのように組み合わされるかも全く不明である。僅かに一、二の工学的な考察が試みられているに過ぎない。

しかしながら、こうした波の不規則性によって回折係数の値がどの程度変るかを推定しておく必要はある。まず波高の不規則性については、回折波の大きさが波高に比例するだけで、回折係数の値は影響されない。また周期の不規則性については、表-1以下の考察で明らかのように、周期が数秒程度の波であれば周期の影響は小さい。しかし波向の分散性は、港内側の回折波の分布に大きな影響を及ぼすと考えられる。規則波であれば、図-2のように波向の方向に強い直進性を示すのであるから、いろいろな方向の波が重なり合っている場合には、回折波はそれぞれの方向へ進んで行くものと考えられる。従ってこうした各方向の回折波を重ね合わせると、図-2のような直進性が減少し、波の主方向から見て防波堤の影になる部分へも、かなりの回折波が達することになる。また「切れ波」の影響も、一般的には回折波の直進性を弱める方向に働く。この意味で、式(1)の回折係数は一つの上限値を示すものと考えられる。ただ、こうした波の不規則性の影響で航路入口の回折係数の値がど

のくらい減少するかを量的に示すことは難かしい。従って、波の不規則性の影響は一つの安全率と考え、まずは式(1)の規則波に対する値を用いるのが妥当であろう。

§ 4. 幾何光学的作図法による航路進入波の考察

庄内川航路に到達する波の内、防波堤開口部からの回折波については、その入射方向が開口部と航路入口を結ぶ方向として与えられる。しかし港内発生波の場合には入射方向がさまざまであり、航路の主軸から±90°の範囲の任意の方向から波が来るものと考えなければならない。このように連続的に変る波向のすべてについて実験することは實際上不可能なので、あらかじめ「幾何光学的作図法」によって航路内の波浪状況、特に庄内川筋に到達する波の波高を考察しておくことにした。

すでに前節の回折波の計算結果で分るように、防波堤開口部からの回折波、特に周期5.0秒の波は、強い直進性を示している。開口部の幅は350~500mであり、これに対して航路幅は700mであるから、航路入口から航路内へ進入する波はさらに強い直進性を示すものと考えられる。

今仮に、航路内へ進入する波の波長が無限に短くなった極限の場合を考えてみよう。そうすると波の直進性はますます強くなり、遂には光と同じように直進し、壁にぶつかれば反射の法則に従い、入射角と同じ反射角で反射されて進んで行く。

この幾何光学の原理に従って、航路入口から庄内川筋へ向って進行する波の波向線図を作図すると、図-3のような結果が得られる。この図は、波向210°(真北から時計回りに測った角)の場合で、防波堤開口部の西側からの波に対応する。図に示されるように、航路入口に到達した波の内、やや西寄りの中間部分(薄墨部)は、13号地南一西4区-13号地北と反射されて、庄内川筋へ向う。しかし東西両端の波は、13号地と西2区との間で反射を繰り返して、結局11号地南護岸で反射されて、入射時とほぼ同じ経路で外へ反射されることになる。従って、11号地北側と西1区とははさまれた幅Bの庄内川筋へは、図の薄く塗られた幅bの部分の沖波のエネルギーが伝播されることになる。

一般に波のエネルギーは波高の二乗に比例する。従って、庄内川筋の平均波高の一つの目安としては、この幅

2) 日本港湾コンサルタント：東京湾横断堤内波浪解析調査報告書(第二港湾局依頼)、昭和40年3月。

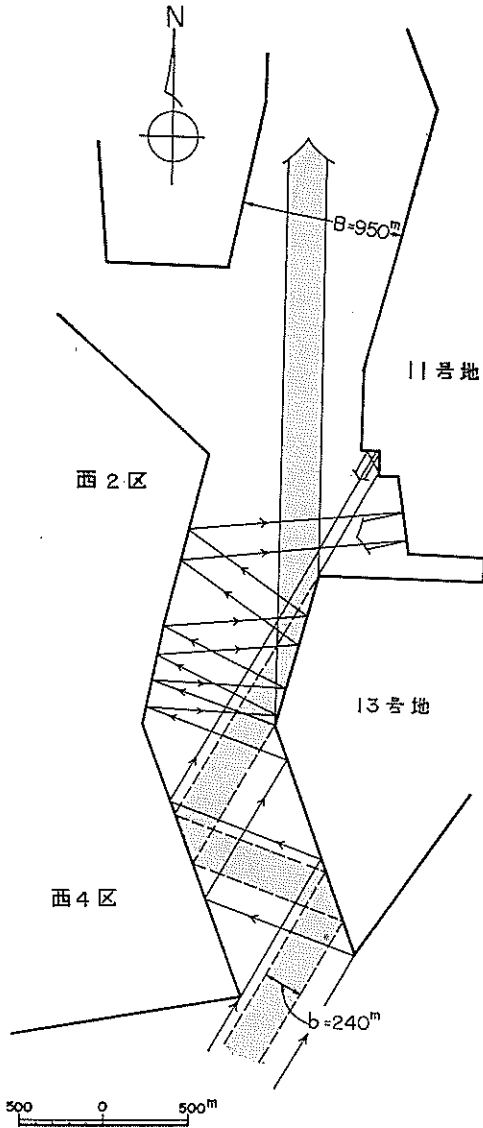


図-3 幾何光学的作図法の例 (波向210°)

b の沖波のエネルギーを幅 B の庄内川筋に分配した平均エネルギーを考慮することができよう。すなわち、庄内川筋の平均波高は、この平均エネルギーの平方根として算定される。従って、庄内川筋の平均波高 \bar{H}_1 と航路入口における沖波々高 H_0 との比 H_1 (これを進入波高係数と呼ぶことにする) は、

$$K_1 = \frac{\bar{H}_1}{H_0} = \sqrt{\frac{b}{B}} \dots \dots \dots (2)$$

となる。図-3の例では、 $K_1=0.50$ である。

この方法によって、いろいろの方向の波に対する波向

線図を作成し、式(2)によって進入波高係数を算定した結果は、図-4のようになる。この図を見ると、波向の僅かな違いによって進入波高係数が大きく変動する様子が分る。例えば、波向 155° では $K_1=0.36$ なのが、波向 166° になると $K_1=0.80$ に増大している。進入波高係数が大きくなるのは、波向が 135° , 165° , 200° などのときで、 $K_1=0.76 \sim 0.82$ の値を示す。これに反して、波向が 155° , 180° などのときは、進入波の大部分が11号地や西1区の南護岸で反射されて航路入口の方へ戻されてしまい、庄内川筋へ入り込む波は $K_1=0.30 \sim 0.36$ 程度の大きさになってしまう。この時点で、11・13号地間、および西1・2区間の船だまりの計画法線は、庄内川筋への波の進入を防止する若干の効果があるといえよう。ただしその反面、航路入口へと戻って来る反射波は、13号地-西2・4区間の航路のじょう乱を増大することも忘れてはならない。

以上の考察は、波長が無小の一つの極限の場合の議論である。実際の波では、入射波、反射波ともに幾何学的な影の部分へも回折現象のためににじみ出して行く。従って、庄内川筋への進入波の平均波高は図-4の結果と必ずしも一致しないと予想される。特に、図-4のような進入波の方向性は、かなり減少するものと思われる。従って、現地で問題となっている周期4~7秒の波の場合に、このような幾何光学的作図法による解析がどの程度適用できるかを調べるのが、模型実験の一つのポイントである。また、水の波の場合に反射の法則が成立するかどうか、実験的に検討しておく必要がある。次節に示す模型実験においては、このような点も含めて考察が行なわれた。

§ 5. 航路進入波に関する実験

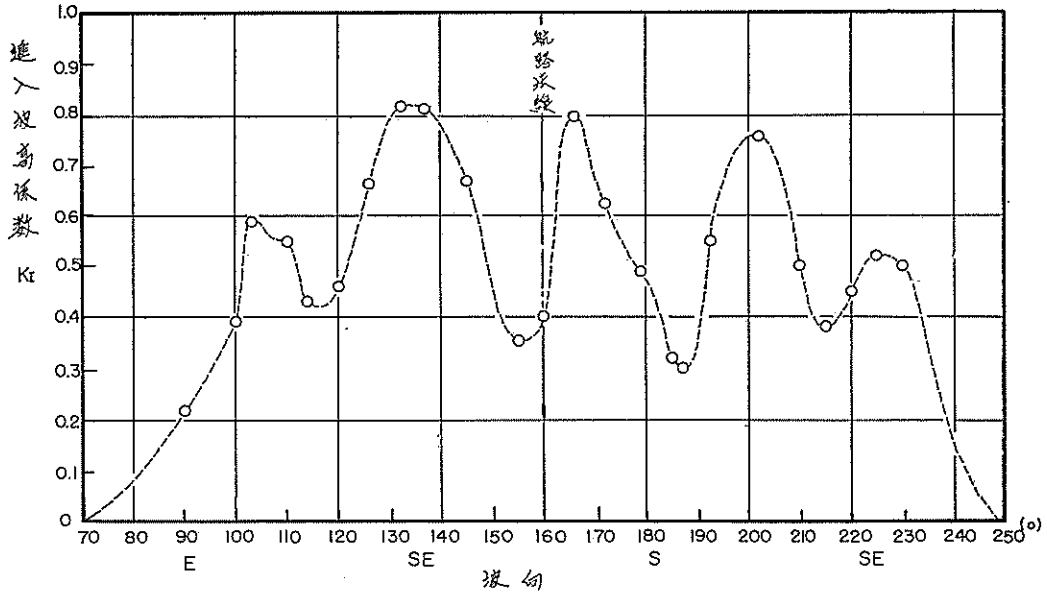
(1) 実験施設

第2節に述べた実験方針により、実験は縮尺1/1000の小型模型を使って、「さざなみ水槽」で行なわれた。この水槽の諸元は次のとおりである。

- 水槽：コンクリートブロック造、モルタル上塗、長さ12.0m、幅2.5m、深さ0.4m
- 造波型式：プランジャー型 (三角状)
- モーター：1/2P.S. 三相誘導電動機
- 変速機：バイエル無段変速機

附属装置としては、移動自由の波高計台車および写真撮影用の架台が備えられている。消波装置には、こん包用のプラスチック裁断片を用いた。

波高計には平行抵抗線を用い、検定の精度を上げる



図一4 波向による進入波高係数の変化

ため1/20mm目盛のダイヤルゲージで昇降距離を読み取るようにした。波高計は抵抗ブリッジに接続し、歪増幅器を経てペン書オシログラフで波形を記録させた。実験に使用した±10mmの範囲では、検定曲線の直線性は1%以内であり、検定値の時間的な変化も多きときで1時間に3%程度であった。実験中は、1～2時間おきに検定を繰り返して、こうした変化を補正した。

周期測定には、4桁表示のタイムカウンターと、光電管利用のピックアップを用いた。これは、造波板の偏心円板に小さなアルミはくを貼りつけ、1回転ごとに一度豆電球からの光を反射するようにしておき、この反射光が一度光電管に入ってから次にまた入るまでの時間々隔を0.0001秒の精度で測定する。従って周期は平均値ではなく、1周期おきの各周期を測定し、これによって所定の周期に正確に調整することができた。しかしながら、モーターが三相誘導電動機であるため商用周波数の変動の影響を直接に受け、発生波の周期も1分前後の間隔で±0.1～0.2%の変動を繰り返す。この変動があまり著しいときは変速機で調整したが、±0.1%程度の変動はどうしても残った。このためもあってか、波高記録には1分前後のビートが見られ、大きいときは10%以上の振幅差を生じた。このような場合の波高としては、ビートの最大値と最小値の平均値を用いて実験値を整理した。

(2) 航路模型および実験の諸元

実験の対象とする波向は、第2節に示した3方向であるが、第4節の考察にもとづいて若干変更し、166°、

185°、および210°の3方向について調べることにした。しかし、実験水槽の造波板の位置が固定されているので、3方向からの波向についてそれぞれの模型を用意した。模型は、カンナ仕上げの杉板で製作した。模型の高さは25cmで、実験水深21cmに対して4cmの余裕がある。岸壁の形状としては、このような小縮尺の模型で反射率を相似にすることが難かしいので、完全反射を起すよう直立壁のままとした。

なお、水槽の幅が2.5mに制限されているため、波向によっては西1・2区間の船だまりの全体を模型に取り入れることができなかった。このようなときは、水槽の壁をそのまま岸壁法線として用いた。また11号地と西1区の間庄内川筋については、川幅が一定となるよう埋立地の法線を若干変更した場合もある。また庄内川と新川との背割堤は、高潮時には完全に水没するので模型には取り入れなかった。実験に用いた模型の形状については、付図1～8を参照されたい。

実験に使用した波の周期は、 $T_m=0.4$ および0.5秒の2種である。このほか $T_m=0.33$ 秒の波についても実験を行なって参考とした。この周期0.33秒の波の場合には、水面のほこりなどによる波高減衰が著しく、模型設置前に求めた実験曲線を用いて、測定値を0.55～1.00の補正係数で割って実験結果を整理した。しかし、この補正係数の値にはやや問題があり、また反射波の状況なども十分に再現されなかったため、参考値にとどめたものである。こうした波高減衰は、 $T_m=0.4$ 秒の場合にも認

められ、0.85~1.00の補正係数を用いて測定値を補正した。

実験はすべて深海波となるように水深21.0cmで行なった。この水深に対する実験波の波長は、 $L_m=25.0$ および38.9cmであるから、これを現地波に換算すると、 $L_p=250$ および389mとなる。高潮時における航路内の平均水深を15.3mとすると、これらの波長は周期21秒および31秒の波に対応する。すなわち現地波に換算して $T_p=21$ および31秒の波について実験したことになる。なお波高は沖波で $H_m=3\sim 5m$ のものを用いた。現地波に換算して $H_p=3\sim 5m$ である。

(3) 航路内の波高分布

実験を行なったケースは、前項で述べた3種類の波向、2種類の周期の組み合わせによる6ケース、および波向185°で周期 $T_m=0.4$ 秒の場合について船だまり閉鎖および消波岸壁の効果を検討した2ケースの合計8ケースである。各ケースとも、13号地および西2・4区の岸壁沿いの波高分布、および50cmおきの航路横断線の波高分布を10cm間隔で測定した。波向185°については、11号地沿いの波高分布を測定した。

実験結果は、沖波々高として航路入口附近の測点10箇の平均値を取り、この沖波々高に対する比率で整理した。この結果は付図1~8に示すとおりであるが、これを見ると波高が測定位置によって非常に大きく変化している。10cm離れた所で一方が沖波々高の0.1倍であり、他方は1.5倍以上という例もしばしば見られる。これは、岸壁の各面から反射された波が互いに干渉し合うためである。波が岸壁に直角にあたる時は、 $T_m=0.4$ 秒で6.3cm、 $T_m=0.5$ 秒で10cmおきに重複波の腹と節ができるのであるから、10cmの距離で波高が大きく変るのは不思議でない。一般に、直立岸壁にはさまれた航路内の波高分布を正確に表わそうとすれば、少なくとも測定間隔を $L_m/4$ 以下にする必要がある。そうでないと重複波の腹や節の所が測点の中間に落ちてしまい、誤まった等波高比線図を書く危険がある。今回の実験では、限られた測線についての波高分布を求めたので、この表示法としては図-5のような波高分布図を用いた。この例は、波向185°、周期 $T_m=0.4$ 秒の場合で、各点の波高比は測線からの高さで表わしており、基準として波高比1.0の高さを細線で示したものである。この例以外の実験ケースについてもこのような波高分布図が作成され、波高分布の状況が検討された。以下、各波向別に述べる。

波向166°: 幾何光学的作図法の考察によれば、この方向からの波はその大部分が西2区~11号地と反射されて庄内川筋へ向い、従って航路内から外へ向っての反射

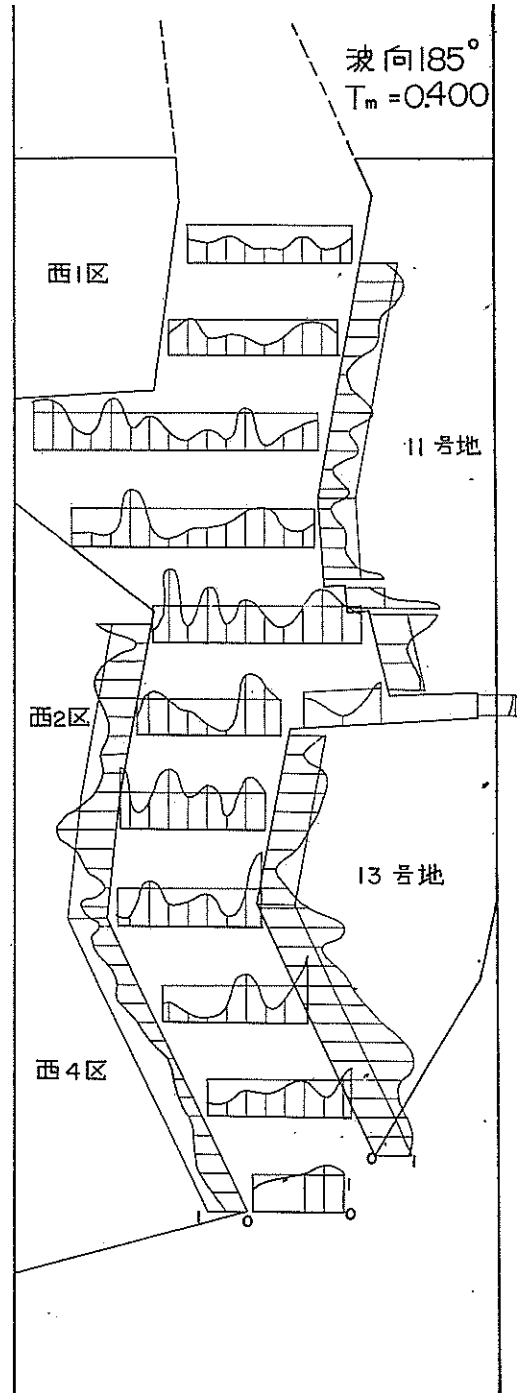


図-5 航路内の波高分布状況の一例

波は小さいものと予想された。しかし実験の結果では、航路入口附近および13号地と西4区の岸壁沿いの波が場所によってかなり変化しており、反射波が必ずしも小さいことを示している。これは、実験に用いた波の波

長が十分に短くなくなったため、岸壁からの反射波も回折を起して直進線の外へ拡がって行くためと考えられる。これは $T_m=0.5$ 秒の波の方が、 $T_m=0.4$ 秒の波よりも波高変化が大きいことから推測される。

次に岸壁沿いの波高分布を調べてみよう。13号地の南西岸壁は入射波に対して露出しているため、波高比は最小が0.9、最大値が2.1と大きな値となり、平均値では1.56 ($T_m=0.4$ 秒) および1.45 ($T_m=0.5$ 秒) である。これに対して西4区は、入射波に対して遮蔽されているため、波高も幾分小さく、波高比で0.3~1.6程度である。この北側の西2区は、航路入口からの直進波と13号地からの反射波がぶつかるため、波高比は0.7~2.4と大きくなっている。13号地北西岸壁は、西4区と同程度の波当りである。波当りの強いのは11号地の西角であり、波高比で2.44 ($T_m=0.4$ 秒) と2.62 ($T_m=0.5$ 秒) の最大値が測定されている。庄内川筋の波高比は0.1~1.4の範囲で変化しており、かなり大きな値である。

波向 185°: この方向からの波は、図-4の結果では進入波高係数が0.36で、大部分の波が東西の両船だまり岸壁で反射されて航路の外へ戻ることになっている。しかし実験の結果ではかなりの波が庄内川筋へ進んでおり、航路外への反射波が特に著しいとは言えない。

各岸壁沿いの波高分布は波向166°のケースと類似しており、13号地南西岸壁の波当りが強く、西4区は航路入口西突端で良く遮蔽されるようになっている。13号地南西岸壁沿いの最大波高比は、2.18 ($T_m=0.4$ 秒) および2.32 ($T_m=0.5$ 秒) である。これに対して西2区岸壁への波当りはそれほど強くなく、13号地北西岸壁と同じ程度である。また庄内川筋への進入波は、波高比にして0.1~1.5であり、場所による違いが大きい。

なお11号地の南西隅角部は、波が集中し易く、 $T_m=0.4$ 秒の波では波高比2.41の値が測定されている。この部分は、13号地-西2区と反射されてきた波が丁度ぶつかる所であり、またその形も2段の階段状になっていて波の集中を招き易いためである。これは波向185°の場合ばかりでなく、他の波向のときにも認められた。

波向 210°: これは航路入口と防波堤開口部とを結ぶ方向であり、開口部からの回折波をほぼ代表するケースである。波が幾何光学的に進行するときの状況は図-3に示したとおりで、13号地と西2・4区の岸壁の間で反射を繰り返すのが、この波向の波の特徴である。この特徴は実験の結果にも現われており、波高の場所による変化が一番激しい。また13号地北西岸壁と西2区の岸壁との間で強い定常波が形成され、 $T_m=0.5$ 秒の場合には最大波高比3.06が測定された。

写真-1は、13号地南西岸壁と西4区岸壁との間の波の状況で、航路入口から入った波が岸壁で斜め反射されて斜め重複波を形成している様子が十分にうかがえる。このような写真および実験中の観察から、実験に用いた波は光と同じように反射の法則に従うことが確認された。なお、この写真に示したのは、 $T_m=0.33$ 秒の波である。

庄内川筋への進入波は、波高比が0.1~1.0で、他の波向の場合よりやや小さ目である。

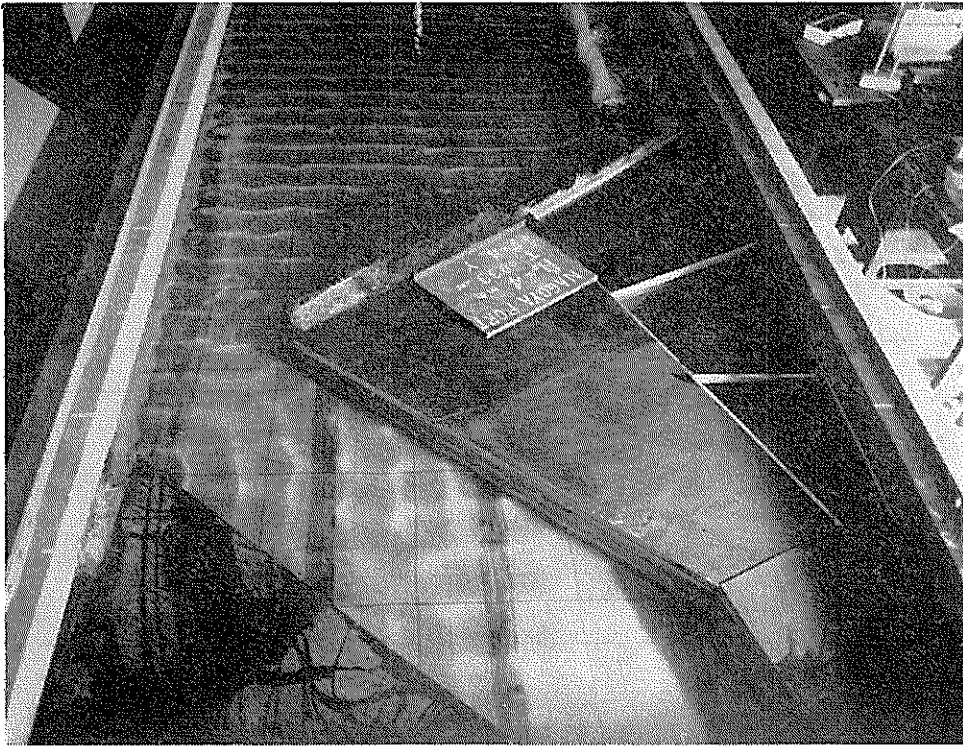
(4) 庄内川筋への進入波高

前項で述べたように、航路内の波高は場所によって非常に異なる。それで、実験結果を整理し比較するには、何か波高の代表値を算出する必要がある。今の場合に一番関心のあるのは、航路を進行して行く波の大きさである。従って、波高の代表値として航路横断線についての平均波高比を求め、これを航路の延長方向にプロットしてみた。図-6~9はその結果である。ここで航路横断の平均波高としては図-5のような波高分布図について各分布曲線の囲む面積をプランメーターで求め、これを航路幅(測線長)で割って算出した。従って、この平均値は必ずしも航路内を進行する波の平均波高を表わすものではないが、各横断位置におけるじょう乱度を表わすものとして採用した。

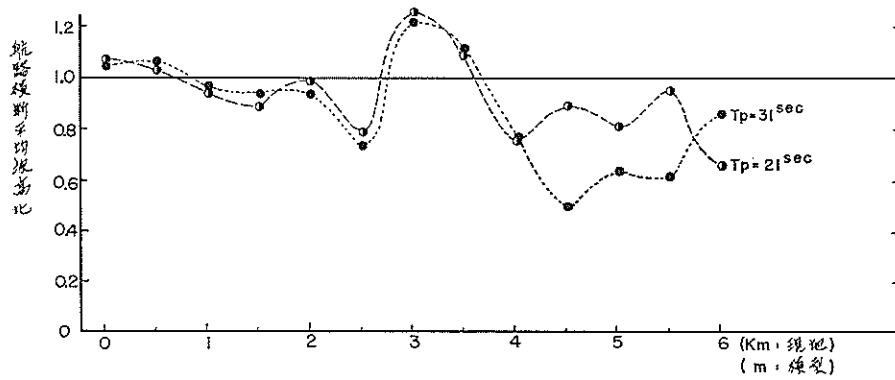
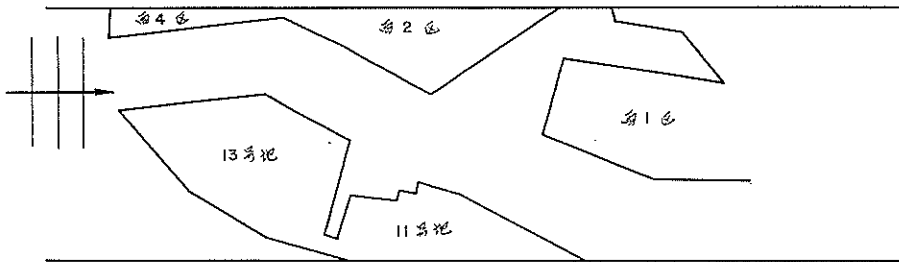
図-6~8は、波向が166°、185°、および210°のケースであり、図-9は消波岸壁の効果などを調べたもので、波向は185°の場合である。

まず図-6で波向166°のケースを見ると、航路入口から2.5~3.0km相当の地点で平均波高比が0.8~1.2と波打っている。この変動は、西1区南護岸からの反射波や、航路幅員の変化などの影響と考えられる。この波向の場合には、周期の違いによる変化がほとんど見られないが、航路入口から4.5km相当の庄内川筋へ入ると $T_p=21$ 秒の波の方が $T_p=31$ 秒の波よりも大きな平均波高比を示している。この庄内川筋へ進入する波高の代表値として、庄内川筋の4横断線(4.5~6.0km)の平均波高比の算術平均をとってみると $T_p=21$ 秒では0.83、 $T_p=21$ 秒では0.66となる。この算術平均、あるいは総合平均波高比は、図-4に示した進入波高係数に比較されるべきものであるから、以下これを進入波高比と呼んでおく。

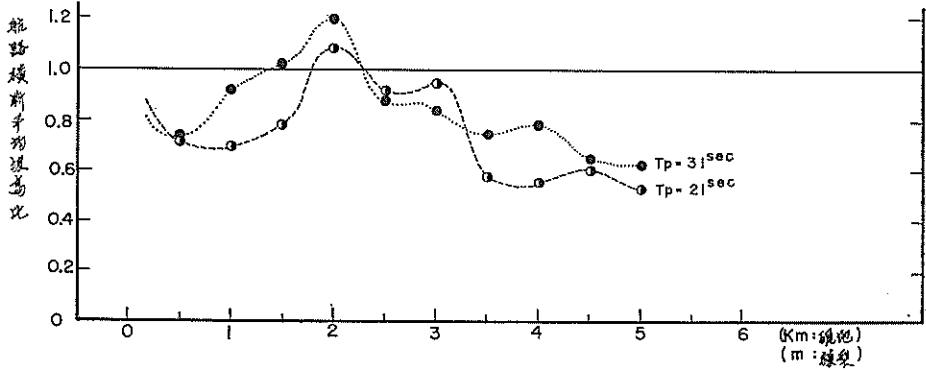
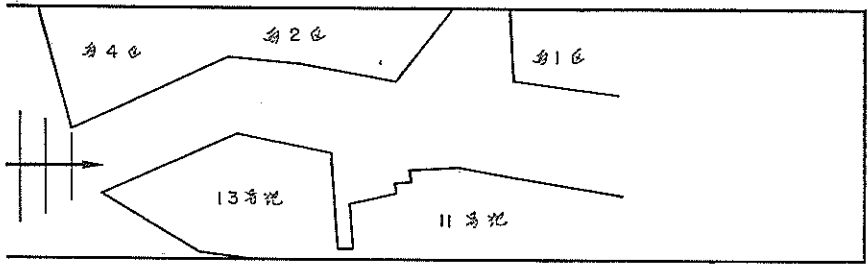
次に波向185°の場合には、航路入口から2km相当の13号地北西岸壁の中央で平均波高比が1.1~1.2と大きい。これは、この付近で横方向の定常波が発達しているためと考えられる。また航路入口から0.5km相当の地点では平均波高比が0.7前後に下がっているが、これは航路の外へ向う反射波の干渉によるものであろう。周期の影響は



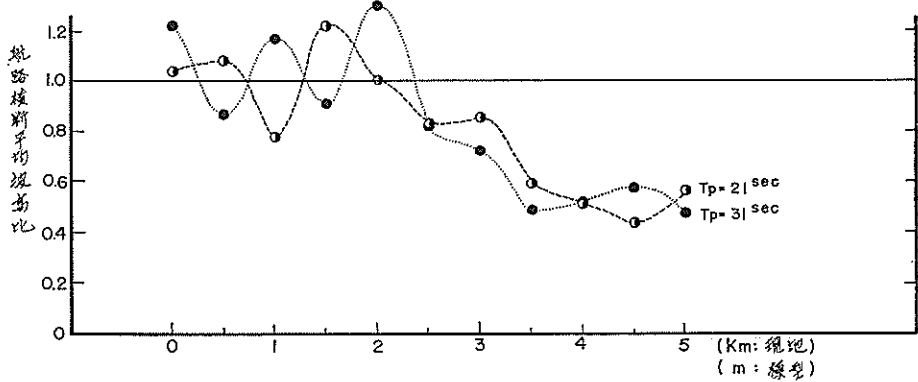
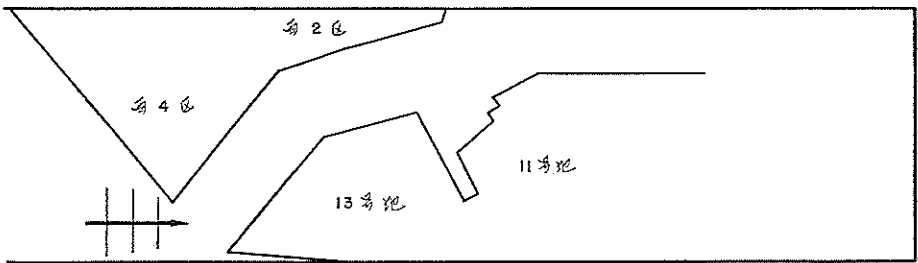
写真—1 波向210°の波による斜め重複波



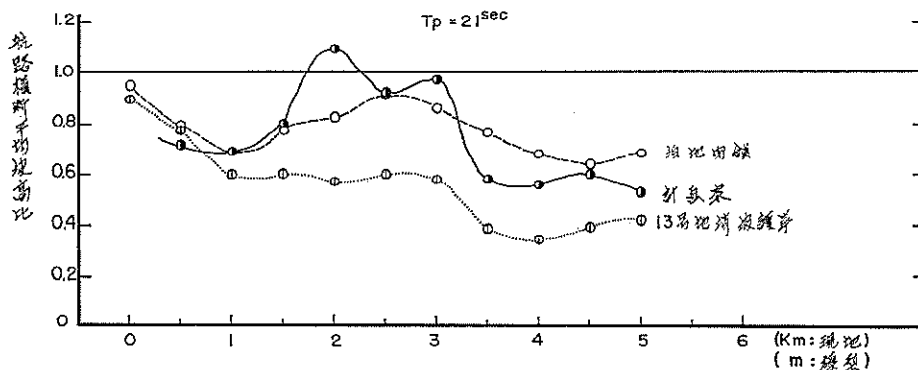
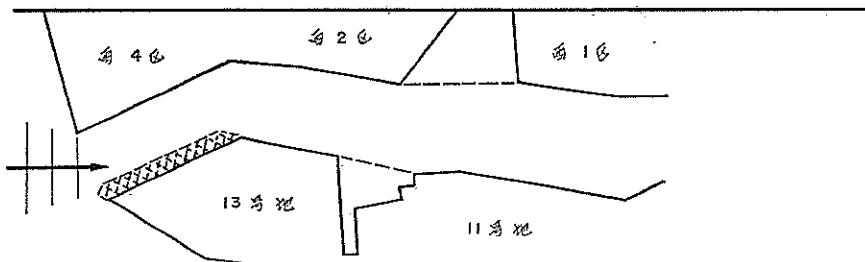
図—6 航路横断平均波高比の変化 (波向166°)



図一七 航路横断平均波高比の変化 (波向185°)



図一八 航路横断平均波高比の変化 (波向210°)



図一〇 船だまり閉鎖および岸壁消波構造の影響

小さく、 $T_p=21$ および31秒の波とも同一の傾向を示している。庄内川筋への進入波高比は0.56 ($T_p=21$ 秒) および0.64 ($T_p=31$ 秒) である。

波向 210° のケースでは、図一八に見るように平均波高比の波打ちの現象が著しい。これは、岸壁法線に対する入射角が大きいため航路内に顕著な斜め重複波が発達し(写真一), 航路の横断位置が重複波の腹の部分が多く含むか、節の部分が多く含むかによって平均波高比の値が変わるためと解釈される。この斜め重複波の腹および節の位置は、波長に関係するため、 $T_p=21$ 秒と $T_p=31$ 秒の波とでは平均波高比の変動が丁度逆になっている。なお、庄内川筋の進入波高比は0.52 ($T_p=21$ 秒) および0.51 ($T_p=31$ 秒) である。

以上の結果を § 3 で算出した幾何光学的作図法による進入波高係数と比べてみたのが表一である。この表の $T_p=14.7$ 秒のケースは、(2) 航路模型および実験の諸元の項で述べた $T_m=0.33$ 秒の波である。

この表を見ると、周期が $T_p=31$ 秒の波は波向による進入波高比の変化があり著しくないが、周期が短くなるにつれて波向による進入波高比の差が大きくなり、幾何光学的作図法による値に近づく傾向が認められる。従って現地の設計波 ($T_p=5\sim7$ 秒) に対しては、幾何光

表一 庄内川筋への進入波高比

波 向	幾何光学的作図法	実 験 値		
		$T_p=14.7$ 秒*	$T_p=21$ 秒	$T_p=31$ 秒
166°	0.80	0.65	0.83	0.66
185°	0.32	0.27	0.56	0.64
210°	0.50	0.51	0.52	0.51

* 参考値

学的作図法を用いて庄内川筋の波高を推定して良いと思われる。

なお、11号地以南の航路内は、平均波高比が1.0前後である。これは、航路内の平均波高が航路入口の沖波とほとんど同じことを示しており、しかも航路内は定常波が発達して波高の場所による変動が大きいから、局部的には沖波以上の波高の所が随所にあることを意味する。また波高の小さな所であっても、定常波の節となって水粒子の動きが激しい可能性もあり、台風時には船舶にとって航路の外よりも好ましくない状態になるものと推測される。

(5) 船だまり閉鎖および消波岸壁の影響

今までの考察および実験結果に見るように、西1区南護岸および11号地南護岸からの反射は、庄内川筋への進入波および航路内のじょう乱波の強弱を決める上で重要な要素となっている。そこで西1区と2区の間、および11号地と13号地との間の船だまりを閉鎖して、航路幅をほぼ一様にした状態について実験を行なってみた。波向は 185° 、周期は $T_p=21$ 秒である。この場合の波高分布は付図一5、航路横断平均波高比の変化は図一9に示すとおりである。計画案と比べて波高の場所による変化が減少し、逆に庄内川筋への進入波高比が増大(0.56から0.66)して、航路の外への反射波が小さくなっていることを示唆している。ただし、この反射波の減少による庄内川筋進入波の増大率は、予想ほど大きくない。これは、航路屈曲部などからの反射波などが、回折現象によって航路の外へ逃げるためと思われる。

次に13号地南西岸壁を消波構造とした場合の実験結果は、付図一6および図一9に示すとおりである。消波構造としては、プラスチックの裁断片を台形断面の金網の枠の中に詰めたものを用いた(実験波に対する反射率は21%)。庄内川航路に対して波向 185° の波が入射すると、波の大半は13号地南西岸壁にぶつかる。従ってこれを消波構造とした場合には、航路内の波高が全般的にかなり減少する。航路内の最大波高比は1.34であり、計画案の2.41、船だまり閉鎖の場合の1.88を大きく下回っている。また航路横断の平均波高比も、13号地突角部までは消波構造によるエネルギー損失のために次第に減少し、ここから11号地南西岸壁までは約0.6の一様な値であり、これから先は11号地および西1区からの反射によって波の進入がくい止められるため、平均波高比も約0.4と一段小さな値に落ち着いている。

このように、航路入口から進入する波に直面する岸壁を消波構造とすると、航路内の波高を大幅に減らすことができる。しかし、消波構造とすべき位置は波向によって異なる。現在の場合、13号地南西側、西4区、および西2区のいずれも、波向によっては進入波に直面する可能性がある。もっとも、各方向の波の大きさおよび発生ひん度などはそれぞれ異なる。従って岸壁の一部を消波構造とする場合には、こうした点などからどの部分を消波構造とするのが最も効果的であるかを決定できよう。

(6) 超小型模型による実験結果

前項までの実験結果では、表一2のように周期が長くなるにつれて進入波の方向性が減少する傾向が認められた。そこで、さらに周期の長い波を使ってこうした傾向が強まるかどうかを検討してみることにした。しかし

実験施設の関係で周期を長くすることが難しかったので、その代りに模型を小さくすることにして縮尺1/5000の航路模型を製作した(航路幅14cm、延長150cm)。波としては、今までと同じように $T_m=0.4$ 秒と0.5秒の波を用いた。これは現地に換算して $T_p=103$ 秒および160秒となる(高潮時水深15.3m)。

この超小型実験では、模型の航路幅が狭いので航路中心線に沿って10cm間隔で波高を測定し、沖波としては、航路入口中央から波向の方向に10cm間隔で6点の波高を測定してその平均値を採用した。図一10、11は、各点の測定波高を沖波々高で割った波高比の変化を示したもので、図一10は周期 $T_p=103$ 秒、図一11は周期 $T_p=160$ 秒のケースについて、3方向の波の実験結果をそれぞれ1枚の図にプロットしたものである。

図一10、11の結果で最も顕著な点は、航路内の波高変化が波の周期によって大きく異なるけれども、波向にはあまり影響されないことである。すなわち、方向性が非常に小さいことである。これは $T_p=160$ 秒の場合に著しく、航路内の波高比の極大と極小の位置は波向に無関係で同じ場所に生じている。このように波の周期が長くなるにつれて進入波の方向性が減少する結果は、予想のとおりであった。ただ、 $T_p=103$ 秒と160秒の波とでは、庄内川筋への進入波の大きさが非常に異なっている。これは西1・2区間および11・13号地間の船だまりが、 $T_p=103$ 秒の波に対して共振箱のような働きをして入射波の大半を航路の外へ反射させたのではないかと推測される。この推測は、このケースの沖波測定部分の波高比が大きく波打っていることからある程度裏付けられる。いずれにせよ航路の外の沖波測定部分の波高変動が大きいケースは、庄内川筋への進入波高比が小さくなっており、航路内からの反射波の存在が庄内川筋への進入波の減少に役立っていることを示すものと言えよう。

§ 6. 反射率に関する実験

(1) 実験の諸元および反射率の測定方法

今回の航路進入波の問題は、すべて伊勢湾台風と同程度の高潮が起きた状態について検討を行なうことにしている。このような高潮時には、岸壁天端は水面下に没し、波はエプロン上で部分砕波をするものと考えられる。波が部分的にもせよ砕波すると、波のエネルギーの一部が失われ、反射波は入射波よりも小さくなり、従って庄内川航路への進入波も減少する。進入波高の減少率は岸壁の反射率から推定することができるので、以下に述べるような反射率の測定を行なった。実験は中型造波水路

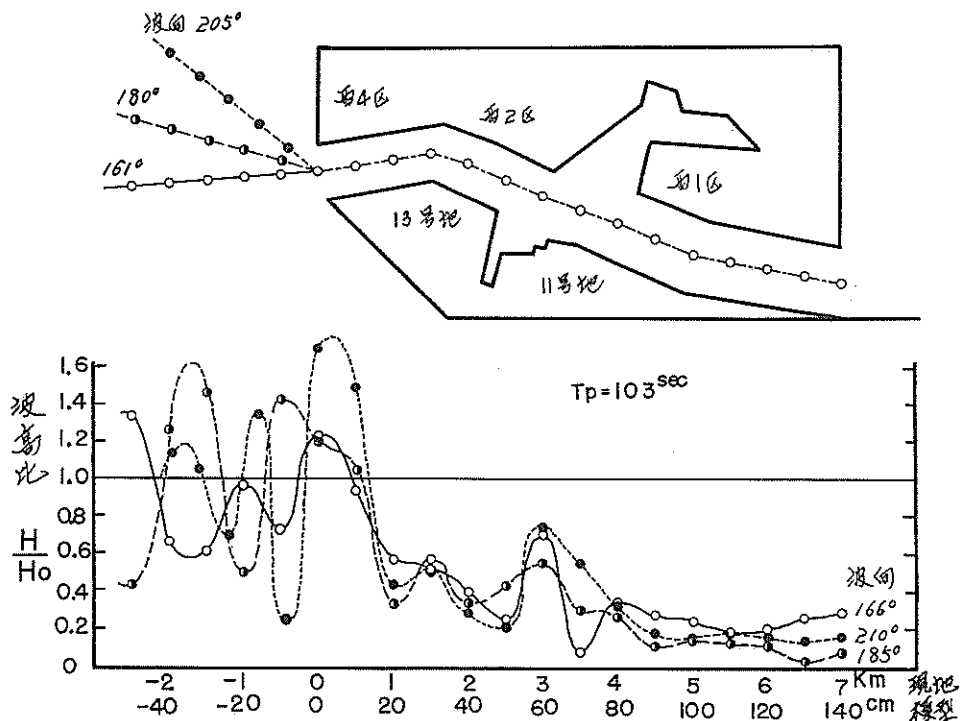


図-10 超小型模型における波高比の変化 ($T_p=103$ 秒)

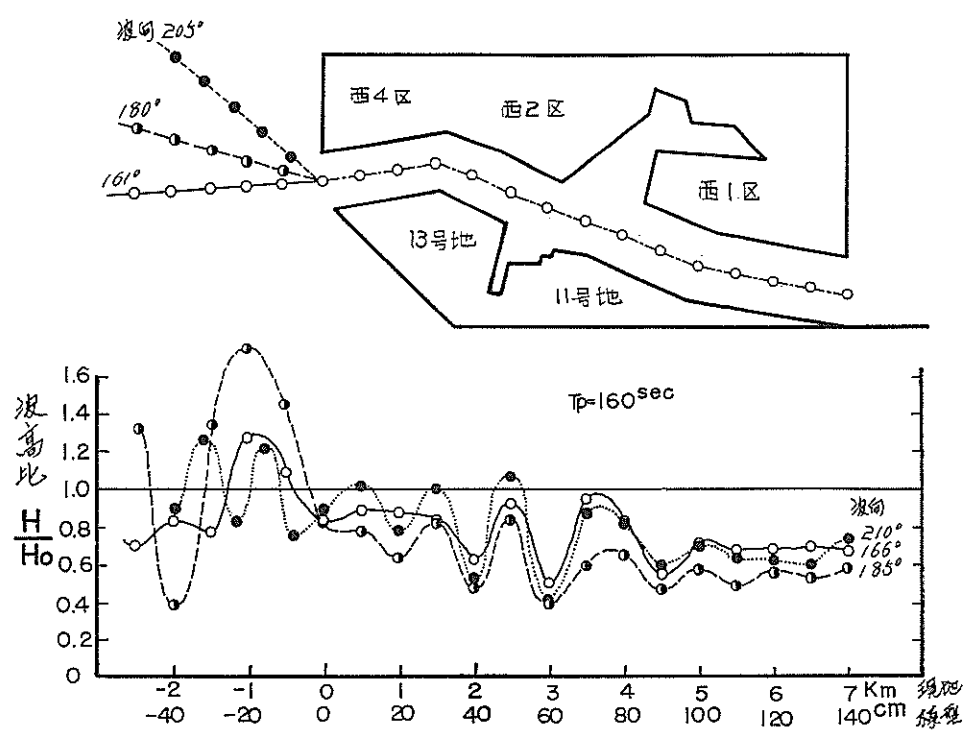


図-11 超小型模型における波高比の変化 ($T_p=160$ 秒)

(パイロット・チャンネル)で縮尺1/25で行なった。現地および模型の諸元は次のとおりである。

	現 地	模 型
潮 位	+ 5.3m	+21.3cm
前 面 水 深	-10.0m	-40.0cm
岸 壁 前 面 天 端	+ 4.8m	+19.2cm
エプロン後端天端	+ 5.3m	+21.3cm
エ プ ロ ン 長 さ	20.0m	80.0cm
波 高	1.0, 2.0, 3.0m	4, 8, 12cm
波 の 周 期	4.0, 5.5, 7.0秒	0.8, 1.1, 1.4秒

なお、波は実際には岸壁に斜めにあたるのであるが、実験では施設および期間の関係で、岸壁に直角に入射するケースだけをとりあげた。波が斜めにあたる場合には、エプロン上を波が走る距離が延びることになるので、砕波し易くなり、またエプロン背後の倉庫の壁などにぶつかって一部は沿い波となるので、結局反射率が小さくなると考えられる。従って、波が直角に入射するケースの実験結果を用いておけば、反射波は実際よりも大き目に推定することはあっても過小に見積もる心配はない。

ところで波の反射率を測定するには、進行波と反射波が重なり合って形成される部分重複波の腹と節の位置を抑え、それぞれの位置での波高を H_{max} , H_{min} として、次式を使って反射率などを計算するのが普通である。

$$\left. \begin{aligned} \text{入射波高: } H_I &= \frac{1}{2} (H_{max} + H_{min}) \\ \text{反射波高: } H_R &= \frac{1}{2} (H_{max} - H_{min}) \\ \text{反 射 率: } K_R &= \frac{H_R}{H_I} = \frac{H_{max} - H_{min}}{H_{max} + H_{min}} \end{aligned} \right\} \dots\dots(3)$$

しかしこの式は、微小振幅波としての正弦波形の波を仮定して導いたものなので、波高が大きくなると有限振幅の影響のために、反射波が見掛け上小さく見積もられることになる³⁾。こうした有限振幅の影響を除く一つの方法としては、あらかじめ条件の同じ波が直立壁にあたる時の見掛けの反射率 K_0 を式(3)で求めておき、次に模型構造物の見掛けの反射率 K_R' を測定し、この2つの見掛けの反射率から実際の反射率を次式で算定する方法が考えられる。

$$K_R = \frac{K_R'}{K_0} \dots\dots(4)$$

この方法は理論的に根拠のあるものではないが、式(3)の見掛けの値よりはかなり実際に近い結果を与えるものと思われる。

(2) 岸壁の反射率

上に述べた方法に従い、まず直立壁の見掛けの反射率

を求めたところ、表-3のような結果が得られた。この結果を入射波の波形勾配 H_I/L に対してプロットしたのが図-12で、波形勾配の増大とともに見掛けの反射率が減少する傾向が認められる。これは有限振幅重複波の理論から予期されるところである。なお表-3で、 H は模型設置前の通過波高の概略値である。 H_I が H と一致していないのは、(3)式の近似計算の影響によるものと思われる。

表-3 直立壁の見掛けの反射率

T_m	H	H_I	H_I/L	K_0
0.8秒	4.0cm	3.8cm	0.038	94.4%
1.1	4.5	5.6	0.031	82.1
	7.5	8.5	0.047	80.2
	9.5	10.5	0.058	81.9
1.4	4.0	5.0	0.018	86.0
	8.0	9.8	0.036	84.8
	12.0	14.0	0.052	83.6

表-4 岸壁の見掛けの反射率

T_m	H	H_I	H_I/L	K_0
0.8秒	4.0cm	4.1cm	0.041	58.6%
1.1	4.5	5.3	0.029	60.3
	7.5	9.2	0.051	43.5
	9.5	12.1	0.066	52.7
1.4	4.0	6.6	0.024	57.5
	8.0	11.3	0.042	51.3
	12.0	15.3	0.056	47.7

次に図-13のスケッチに示した岸壁について見掛けの反射率を測定した結果は表-4のとおりで、これは図-12に直立壁の反射率とあわせてプロットしてある。この場合も波形勾配の増加とともに反射率が減少している。

3) 合田良実: "Tadjbakhsh と Keller による有限振幅重複波の理論とその応用について", 港研水工部防波堤研究室資料 No. 27, 1964.

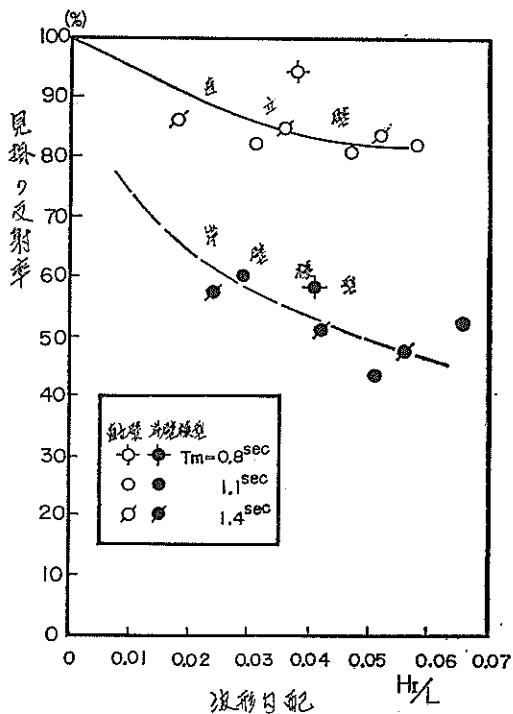


図-12 直立壁および岸壁の見掛けの反射率

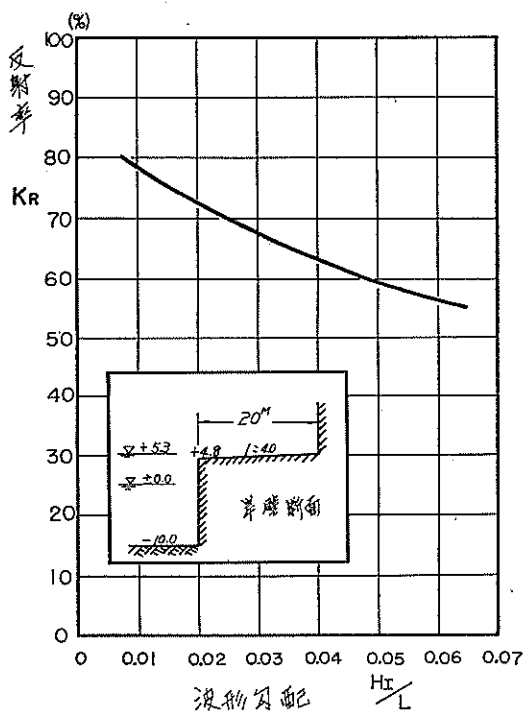


図-13 岸壁の反射率

以上2つの測定結果から、見掛けの反射率と波形勾配との関係を図-12の破線のような実験曲線で表わすと、岸壁の反射率が式(4)によって図-13のように計算される。この場合、周期の影響はあまり著しくないので、考慮していない。図-13の結果を見ると、入射波の波形勾配が0.01のときには反射率が0.79で、波形勾配が0.06になると反射率が0.57に低下している。この反射率の減少は見掛けのものでなく、波形勾配の増加とともに波がエプロン上で砕け易くなるためと考えられる。

(3) 岸壁エプロン上の波高

実験中の波を観察すると、波は岸壁にぶつかって大きく盛り上がり、小さくやや巻き込みながらエプロンに乗り上げて走り、背後の壁にぶつかってはね上る(写真-2(a)~(c)参照)。この背後壁面でははね上りは波高の大きな波のときに著しく、 $H_p=2.5\sim 3.0m$ のときには飛まつが7~10m相当の高さまで昇った。

図-14はエプロン上の波高を示したもので、エプロン中央部では波のエネルギーが流れに変わっているため、波高としては小さくなっているのが認められる。概略としてエプロン上の波高は、入射波高の50%程度と見られる。ただし写真でも分かるように、エプロン上には常に水が残っているので、水位としては図-14の波高そのものよりもかなり高くなる。

§ 7. 庄内川筋への進入波の総合的考察

(1) 港内発生波

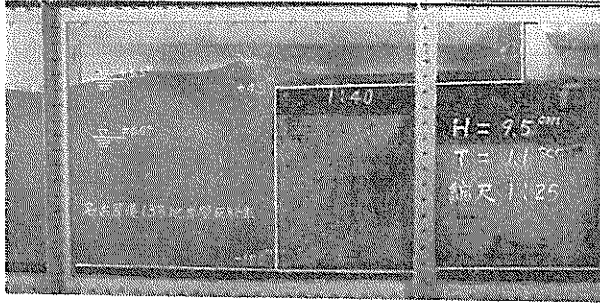
以上に述べてきた考察および実験の結果にもとづいて、庄内川筋への進入波の大きさを考えてみよう。まず港内発生波について考えると、その進入状況は図-4のように波向によってかなり変化する。この図では反射の際の波高減少を考慮していない。そこで図-13の反射率の実験曲線から平均反射率を $\bar{K}_R = 0.7$ とし、進入波高係数を次式で修正すると、図-15の実線のような結果が得られる。

$$K_I' = K_I \cdot \bar{K}_R^n \dots \dots \dots (5)$$

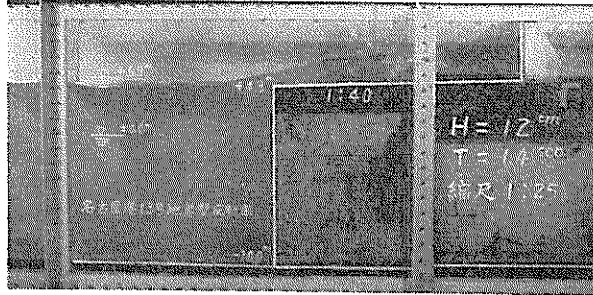
ここにnは反射回数。

修正進入波高比の最大値は、波向 132.5° のときの $K_I' = 0.58$ である。また波向 179° のケースでは、航路入口からの入射波が直接庄内川筋に達するので、岸壁反射率に無関係に0.49の値をとる。

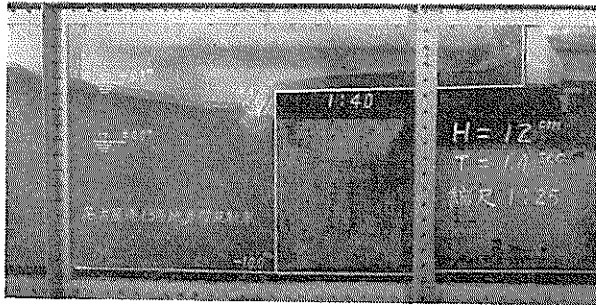
以上の結果は、入射波の波向が完全に揃っている規則波に対するものである。しかし実際の海面に見られる波は、主方向の回りに広く分散した波向の成分波から成り立っている。こうした波向の分散の影響を調べるには、



(a)



(b)



(c)

写真-2 岸壁エプロン上の波浪状況

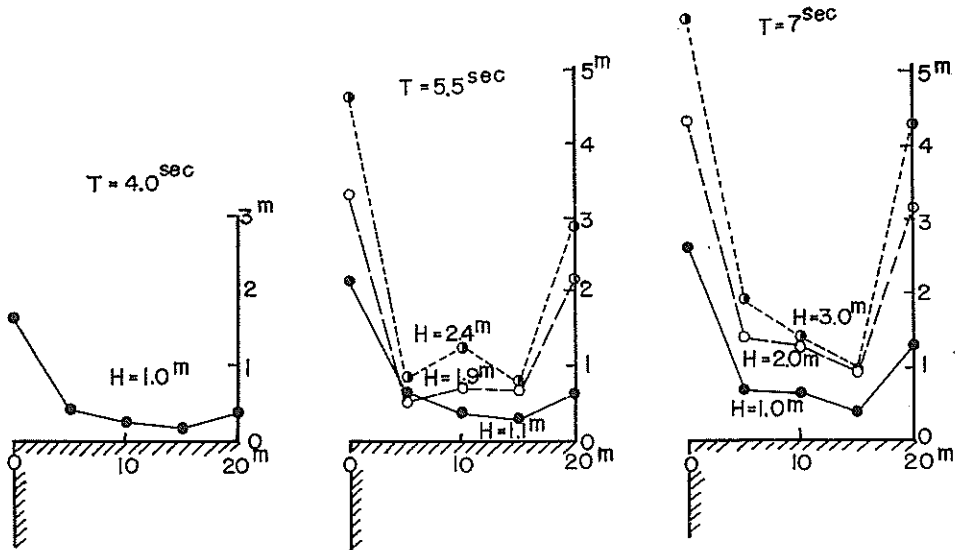
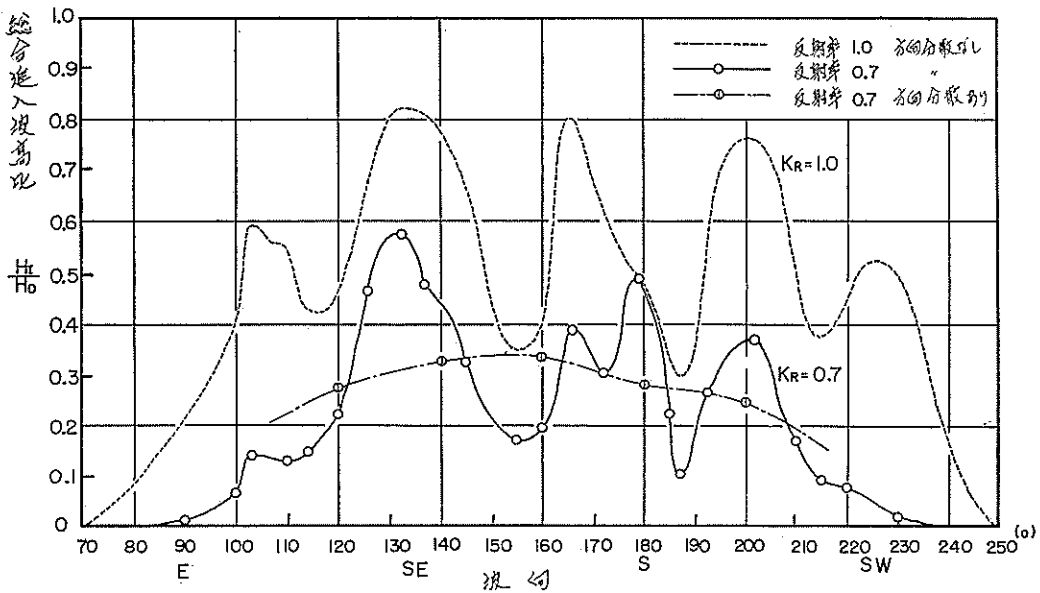


図-14 岸壁エプロン上の波高



図一15 庄内川筋への総合進入波高比

波のエネルギーを各方向別に分けて考えるのが一つの方法である。Pierson (1955) は、波のエネルギー密度の方向分散を、主方向から±90°の範囲で、 $\cos^2\theta$ の形で表わすことを提案している⁴⁾。この Pierson の方向スペクトルは、海洋における発生波についてはほぼ妥当なものとされている。しかし、ここで問題としている名古屋港防波堤の中の港内発生波の場合には、もともとフェッチが制限されている上に、そのフェッチも波向によって異なる。従って発生波のエネルギーを±90°の広い範囲に分散させて考えることには問題がある。そこで、波向の分布範囲を±40°とし、次式によって庄内川筋の進入波高比を算出した。

$$[K_I]_{\bar{H}} = \sqrt{\frac{\int_{\theta=+40^\circ}^{\theta=-40^\circ} K_I'^2 \cos^2\theta \, d\theta}{\int_{\theta=+40^\circ}^{\theta=-40^\circ} \cos^2\theta \, d\theta}} \quad \dots (6)$$

ここに \bar{H} は波の主方向。

実際の計算には、10°ごとの数値積分を用いた。この方法は、進入波高係数 K_I の算定そのものが式(2)のようにエネルギー的考察にもとづいているので、あまり無理のないやり方と思われる。

式(6)による計算結果は、図一15の一点鎖線で示すように波向120°から200°の範囲で0.3前後の値となり、最大は波向150°~160°の0.34である。なおエネルギーの分散

範囲を±60°にした場合についても計算を行なったが、その結果は±40°の場合とほとんど変らなかった。

実際の海でもう一つ考慮すべきことは、いろいろな方向から来る波がぶつかり合って起る砕波である。発生域の波はもともと波形勾配が大きく、部分的に白波となって砕けながら発達するものである。従ってこうした波が岸壁で反射される場合や、また数方向からの波がぶつかり合うときには、波頭が砕けることが多いものと予想される。波が砕ければ、波のエネルギーの一部が失われ、庄内川筋への進入波はその分だけ小さくなる。しかし、こうした部分砕波の大きさ、またそれによって失われる波のエネルギーなどについては全く不明であるから、これによる波高減少分は安全率と見るべきものであろう。

以上の考察により、庄内川筋の進入波の平均波高は、航路入口附近の波高の約0.3倍以下と推定される。ただし、港内発生波は航路に入ってから最初に岸壁で反射されるまで若干の距離を進行するので、港内発生波に対するフェッチとしては航路入口ではなくて第1反射地点附近までを取るのが良いと思われる。

(2) 防波堤開口部からの回折波

防波堤開口部からの回折波については、前項で考察した港内発生波の場合と違ってその波向が一定である。す

4) 土木学会：水理公式集，昭38，p. 490.

なわち、航路入口から防波堤開口部を望む方向であって200°～215°の範囲にある。この範囲の波向の波に対する修正進入波高係数を図-15から読みとると、 $K_{I'}=0.09\sim 0.37$ であり、その平均値は0.23となる。

この進入波高係数は航路入口の波高を基準としたものである。防波堤前面の沖波を基準にする場合には、この値に§3で算出しておいた回折係数を乗すれば良い。従って防波堤開口部からの回折波については、庄内川筋への平均進入波高比が次のように推定される。

開口幅 350m : $[K_I] = 0.23 \times 0.58 = 0.13$

開口幅 500m : $[K_I] = 0.23 \times 0.75 = 0.17$

ただし実際には§3で述べたように、波の方向分散性や切れ波の影響のために航路入口における回折係数はこれよりも小さい筈であり、庄内川筋への進入波もそれだけ小さくなると考えられる。ただその減少率については、今後の研究課題にとどめたい。

§ 8. 結 論

以上の実験結果および考察をとりまとめると、次のような結論が言えるものと思われる。

- 1) 庄内川航路の計画案においては、11号地および西1区南護岸における波の反射が、庄内川筋へ波が進むのをかなり防いでいる。
- 2) 航路の両側を直立岸壁とするときは、航路内の波が沖波と同程度、あるいはそれ以上の大きさになる。ま

た航路内の波高は場所によって大きく変動する。

- 3) 直立岸壁の反射率は、エプロン天端が0.5m水面下に没した状態で70%前後である。
- 4) 庄内川筋へ進入する波については、幾何光学的作図法を用いて進入波高比を推定できるものと考えられる。
- 5) 庄内川筋へ進入する港内発生波は、第1反射地点附近の波高の約0.3倍以下と推定される。
- 6) 庄内川筋へ進入する防波堤開口部からの回折波は、防波堤前面における波高の約0.15倍以下と推定される。

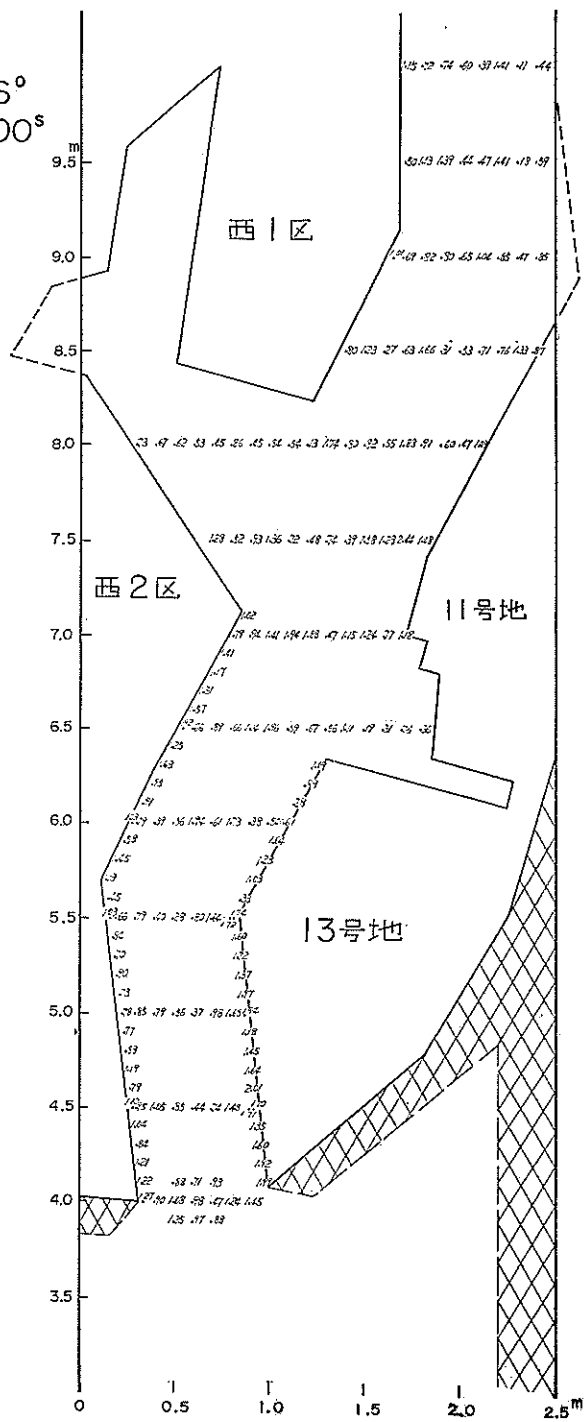
これらの結論からもうかがえるように、庄内川航路への進入波を定量的に推定することは極めて難しい。ここで得られたものは一つの上限值であって、実際の値がこれからどのくらい小さくなるかについては明確な結論を出すことができなかった。しかし、これは問題の性質上止むを得ないものであり、ある程度は工学的判断によらなければならないものと言えよう。

なおこの依頼研究の実施にあたっては、当所水工部防波堤研究室の森平倫生技官にいろいろ協力して頂いた。また、回折係数の計算については設計基準部計算室の奥山育英技官、図面のトールズについては防波堤研究室の北畑正記技官をわずらわした。さらに実験中は本前原洋君に絶えず手伝って貰った。ここに記して感謝する次第である。

(昭和40年10月5日受付)

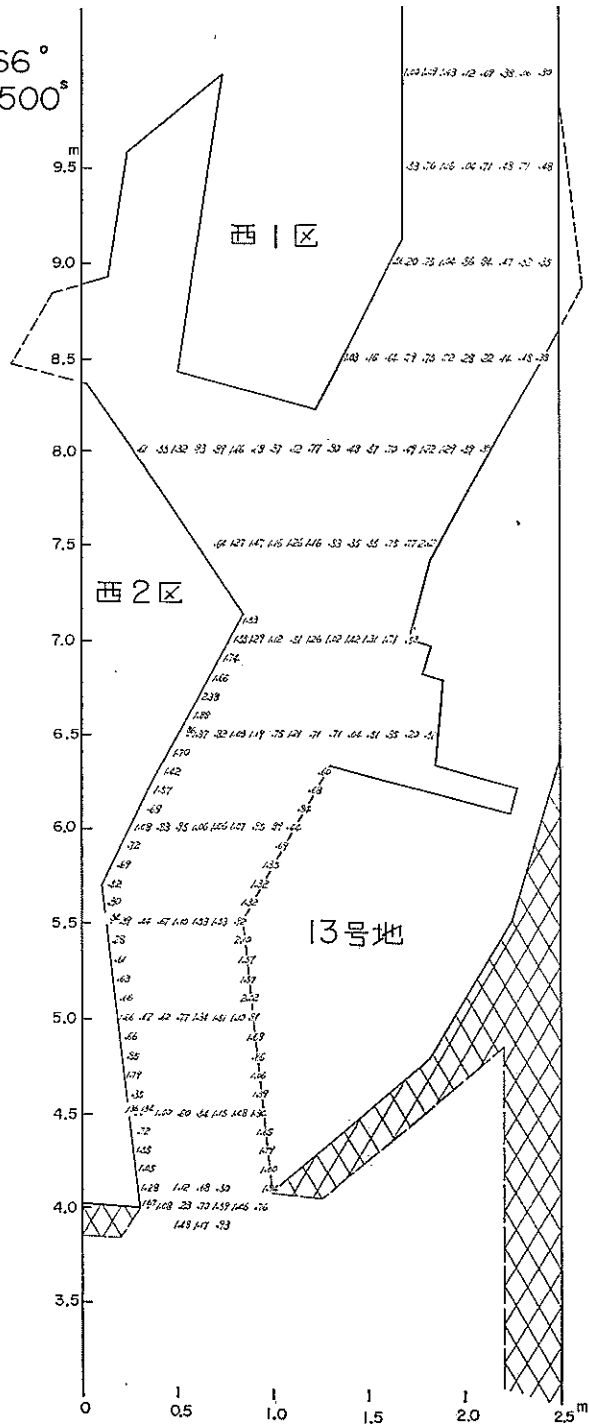
付図 航路内の波高分布

波向 166°
 $T_m = 0.400^s$



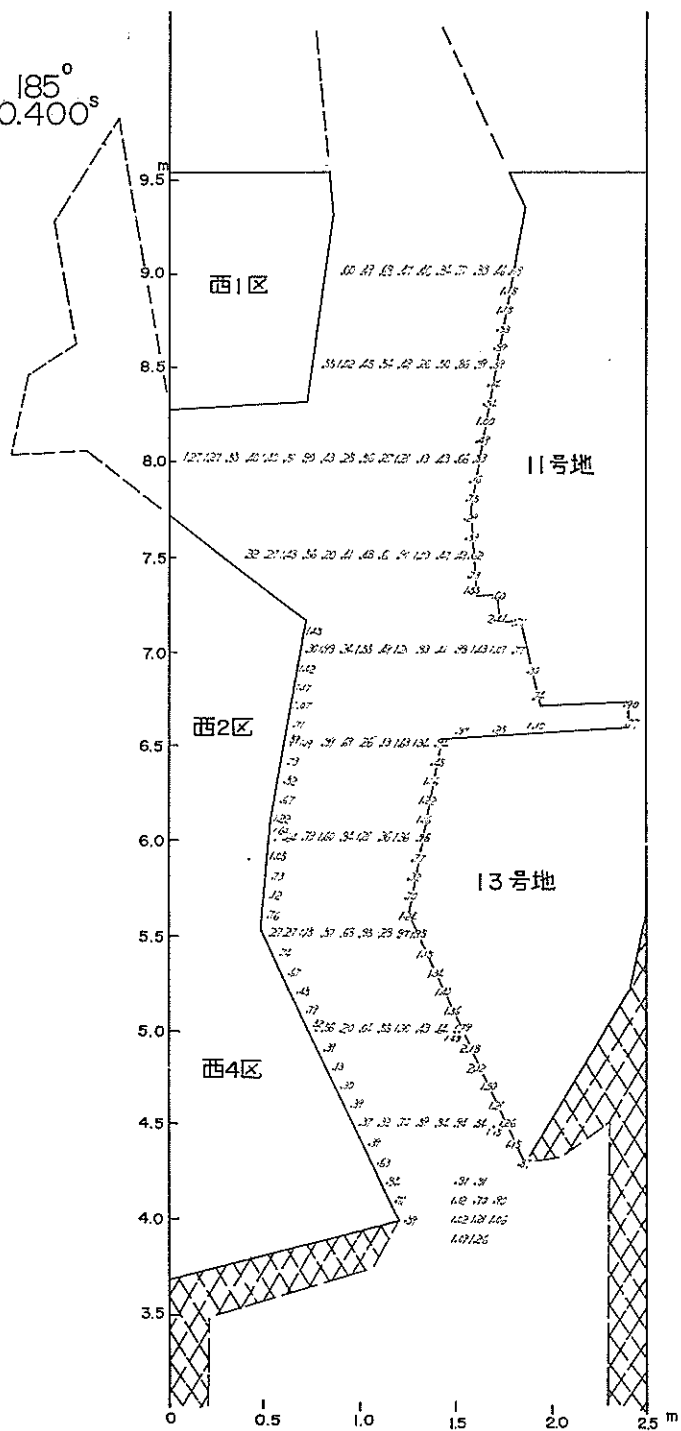
付 圖 1

波向 166°
 $T_m = 0.500^s$



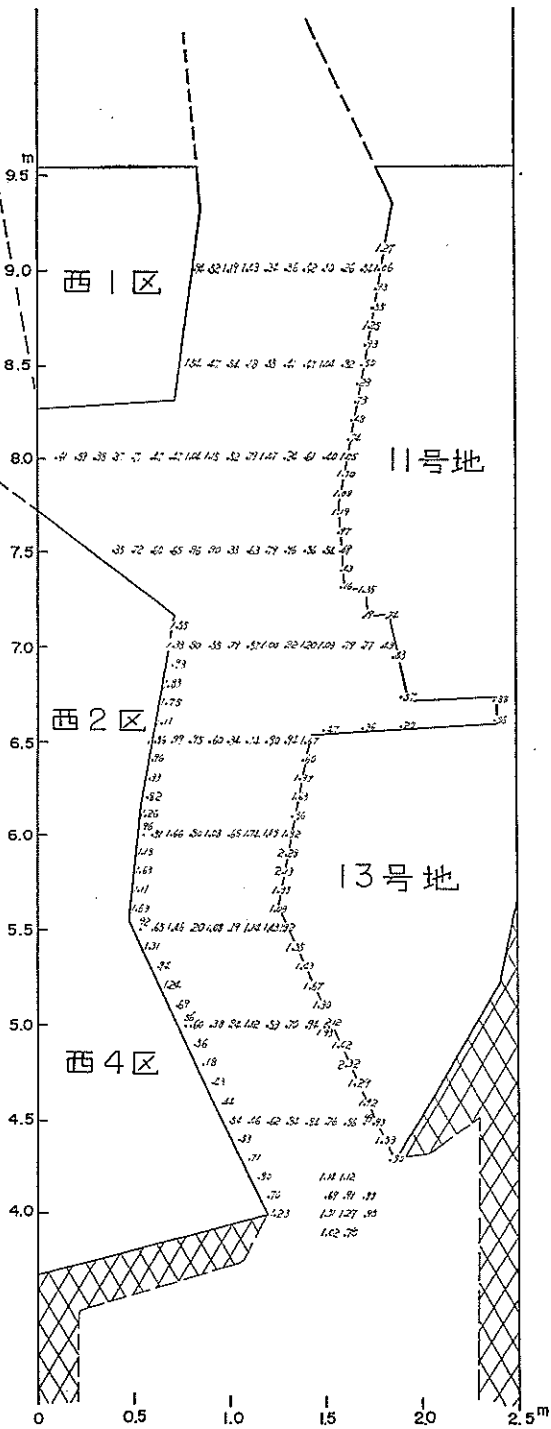
付 图 2

波向 185°
 $T_m = 0.400^s$



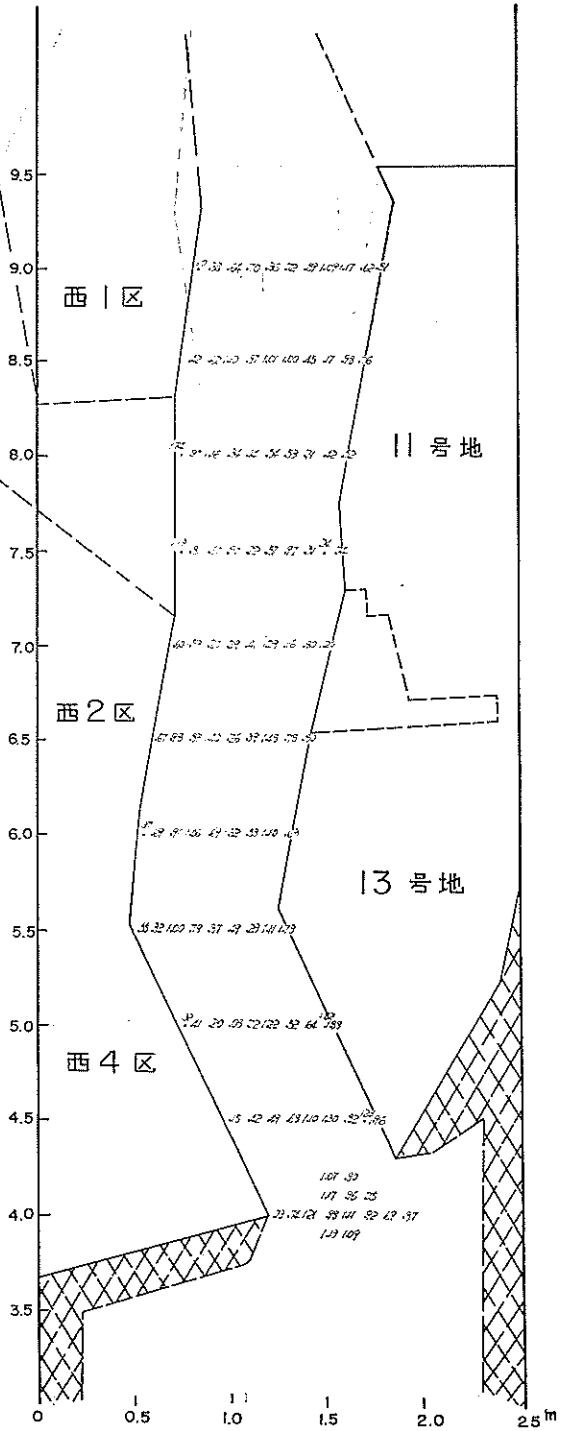
付 圖 3

波向 185°
 $T_m = 0.500^s$



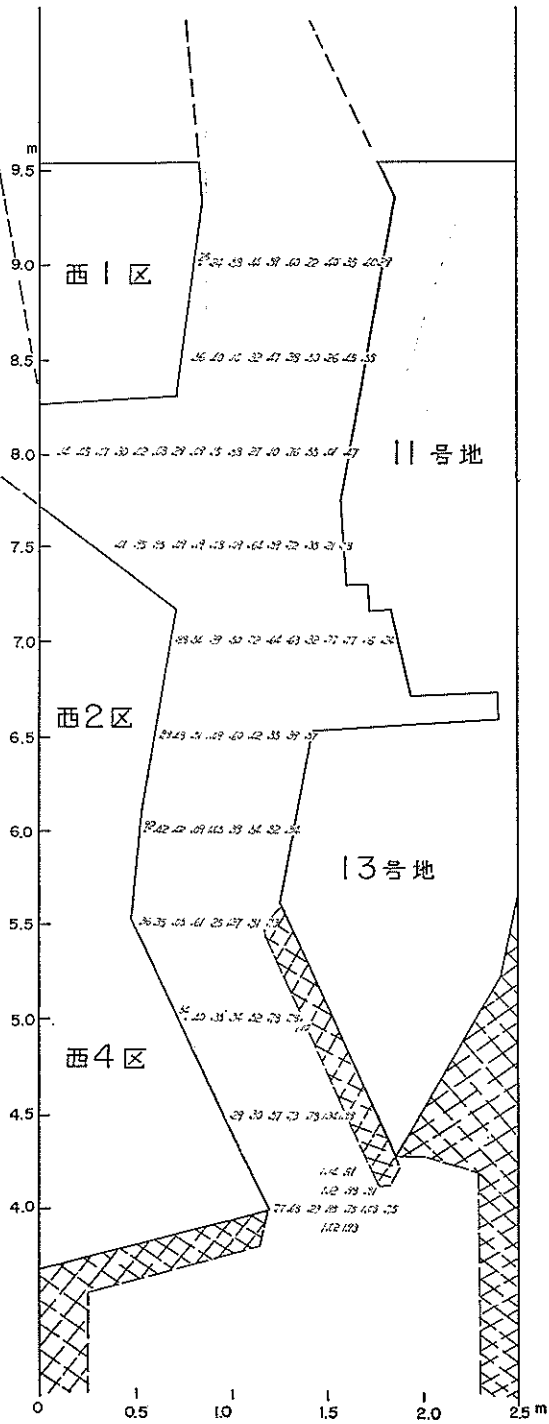
付 圖 4

波向 185°
 $T_m = 0.400^s$

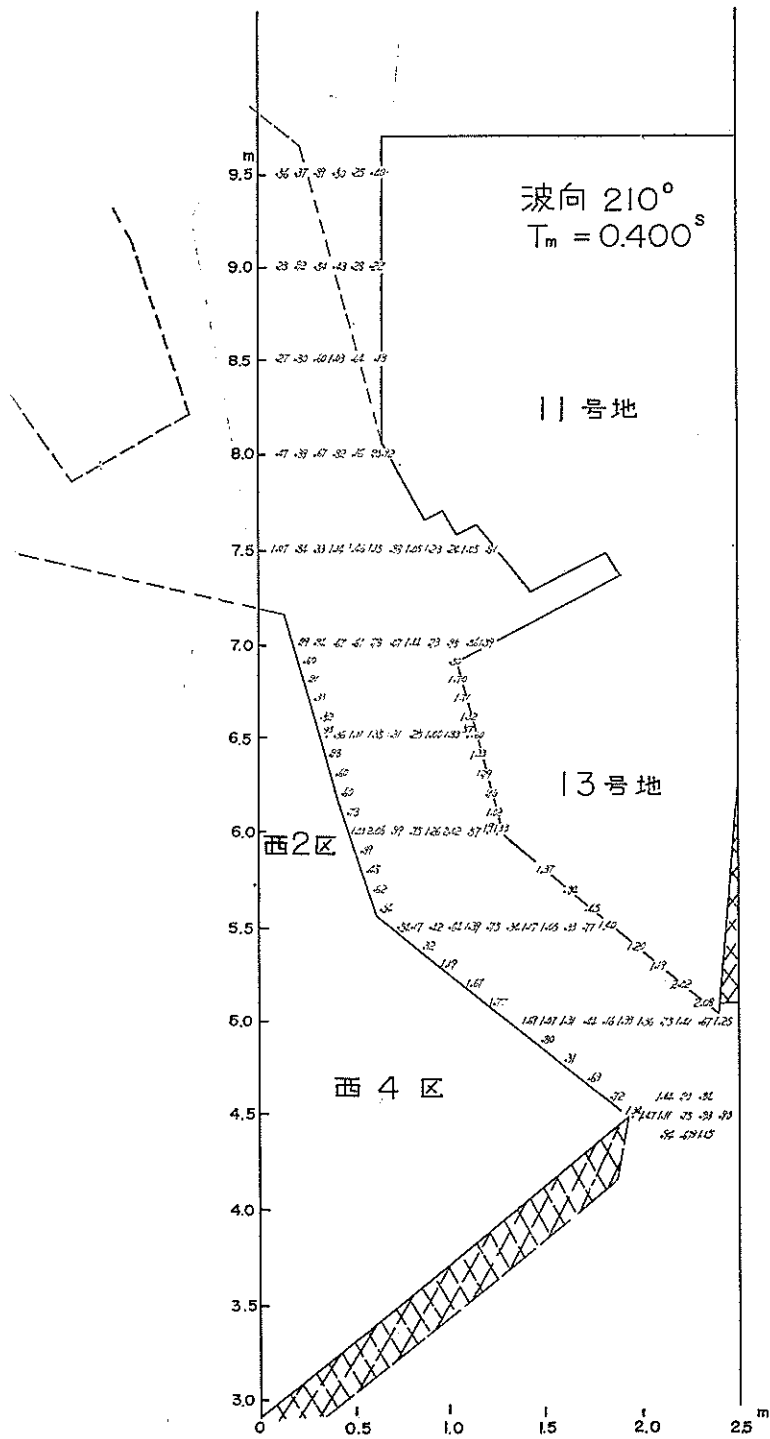


付 图 5

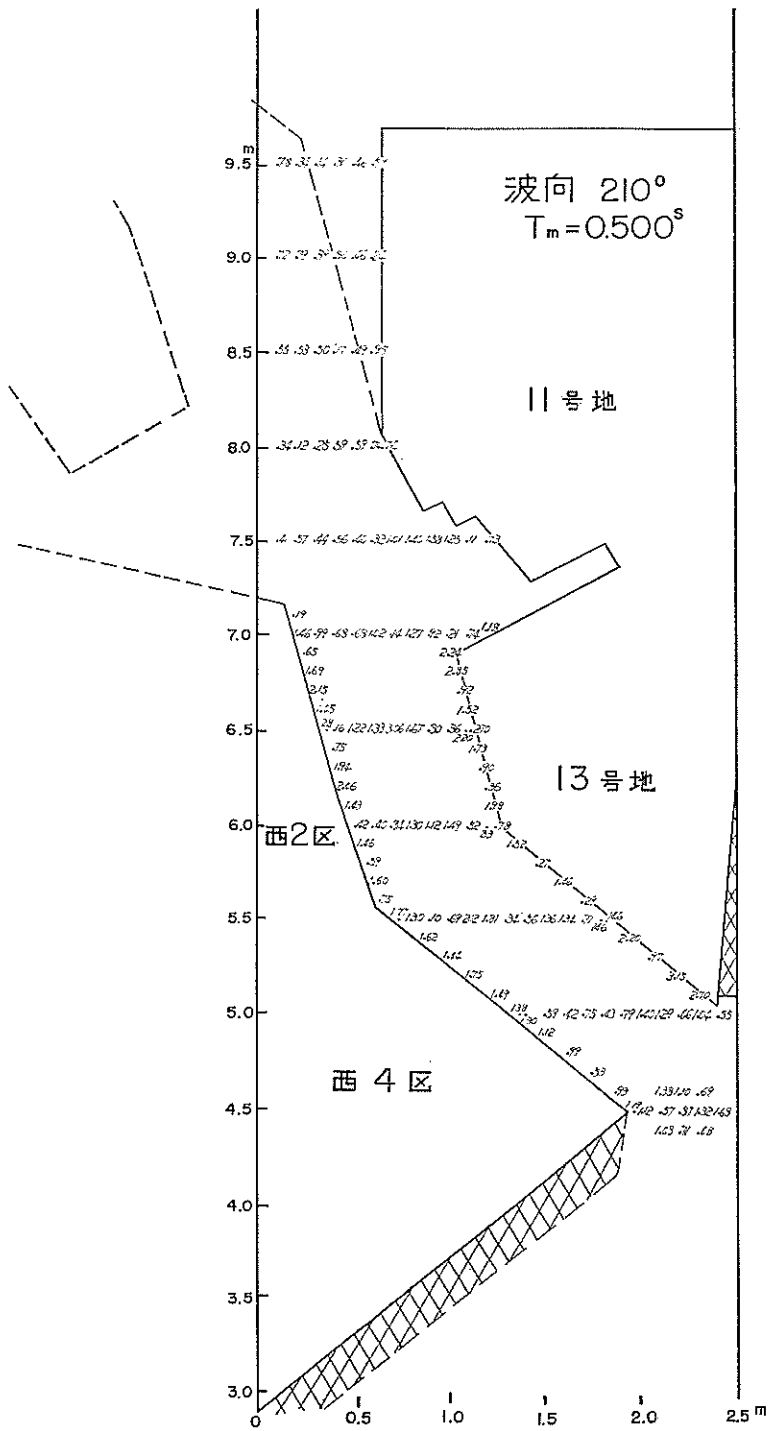
波向 185°
 $T_m = 0.400^s$



付 图 6



付 图 7



付 图 8

港湾技術研究所報告 第4卷11号

1965年11月

編集兼発行人 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 誠文堂印刷工業株式会社
川崎市荻宿531-2