

# 港湾技研資料

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

No. 134

Mar. 1972

御前崎港の遮蔽実験について

—不規則波による実験例—

服 部 典 節      吉 村 知 司

運輸省港湾技術研究所



# 御前崎港の遮蔽実験について

## 目 次

要 旨 .....	3
1. ま え が き .....	3
2. 御前崎港の風 .....	5
3. 実験計画および模型 .....	8
3.1 実験計画 .....	8
3.2 模型縮尺および製作 .....	8
4. SE方向の規則波による実験 .....	9
4.1 実験装置 .....	9
4.2 実験方法 .....	9
4.3 実験結果および考察 .....	10
5. NE方向の不規則波による実験 .....	14
5.1 実験装置および計測器 .....	14
5.2 実験方法 .....	15
5.3 実験に用いた不規則波 .....	15
5.4 実験結果および考察 .....	16
6. 結 論 .....	23
参 考 文 献 .....	24

# 御前崎港の遮蔽実験について

— 不規則波による実験例 —

服 部 典 節 \* 吉 村 知 司 \*\*

## 要 旨

本資料は、静岡県御前崎港の将来計画について、SE方向の波とNE方向の波に対する港内静穏度とその対策について模型実験（縮尺1/150）を行ない、検討・考察を加えたものである。その結果、航路泊地の静穏度を保つためには、主防波堤の先端部を30°屈曲し、中央部に突堤を設けることが港内波を減少せしめるうえに必要なことがわかった。この実験は、静岡県の委託により港湾技術研究所が実施したものである。

## 1. ま え が き

### (1) 御前崎港の概要

御前崎は、静岡県のほぼ中央部最南端にあり、駿河湾と遠洲灘を分割する御前崎台地として突出している岬である。港はその岬の西部水面を港湾区域とし、地方港湾に指定されている（図-1）。

従来は、避難港として整備されてきたが、近年静岡県の木材需要に対処すべく、第3次港湾整備5ヶ年計画により木材港として開発されることになった。<sup>1)</sup> 昭和46年度を初年度とする5ヶ年計画では、建設費総額約200億円を見込み、50年度における取扱貨物量は196万トンと予想される。本港湾の完成後には、-7.5m岸壁2バース、-10m岸壁3バース、防波堤1,500m等が築造され、貯木場550,000 $m^2$ 工業用地1,450,000 $m^2$ の造成が予定されている。

当港の開発は、本県西部地区経済圏の産業振興の役割りをもつものとして、大きく期待されている。

### (2) 実験の目的

御前崎港は、上に述べたように、将来木材港としての計画と工業用地の造成の進展に伴ない、新設防波堤内に大きな航路と泊地をもつこととなる。全体計画は図-2のとおりであり、港内水面はN-S方向に細長い航路および泊地と、将来計画に含まれる-12m岸壁および護岸前面の泊地、ならびに内港の-7.5m岸壁よりなっている。

来襲波浪の方向は、主としてSE方向（うねり）とNE方向（風波）である。SE方向のうねりに対しては東防波堤1,500mにより、防波堤先端部からの廻浪による以外は、港内は殆んど完全に遮蔽されている。そこでSE方向の波浪についての問題点は、沖波が波高3m~5m程度のときに越波を生じて、航路および泊地が擾乱される恐れのあることである。そして、この越波は-10m岸壁に反射して、航路は複雑な波高等高線を描くことになることが予想される。しかしながらSE波に対しては、越波による擾乱を除けば原案の防波堤延長は理想的なものであり、何等の改善の必要性はないと考えられる。

次に考えられるNE方向の風波に対しては、埋立地の遮蔽は西防波堤1,200mによるだけで、東側の航路および泊地には直接波浪の侵入することが予想される。したがって航路を波浪から遮蔽するため、東防波堤1,500mの先端部を屈曲させるか、あるいは副防波堤を出すかの必要性が生じてくる。しかしながら、この場合には、航路の幅員を300mとしなければならないために、西防波堤1,200mの延長を短縮せざるを得なくなる。

このような全体計画原案の問題点、すなわち、SE波の越波による港内水面の変動現象、ならびにNE方向の風波による港内の擾乱および防波堤計画変更（図-2）による対策とその効果について、模型実験による検討を行なうことになった。このため本実験が静岡県御前崎港管理

\* 水工部 部附

\*\* 水工部 波浪研究室

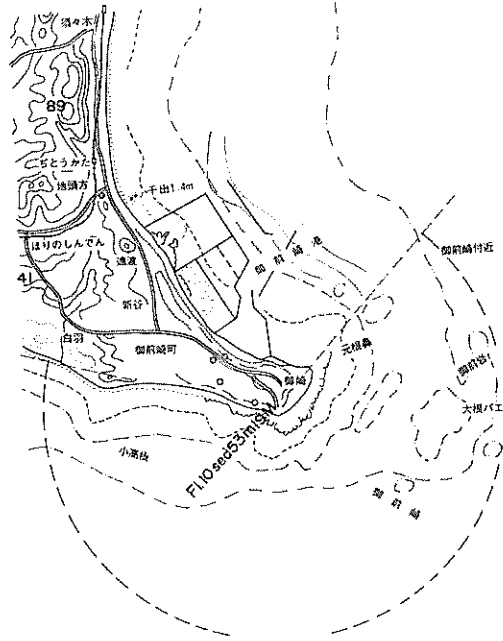


図-1

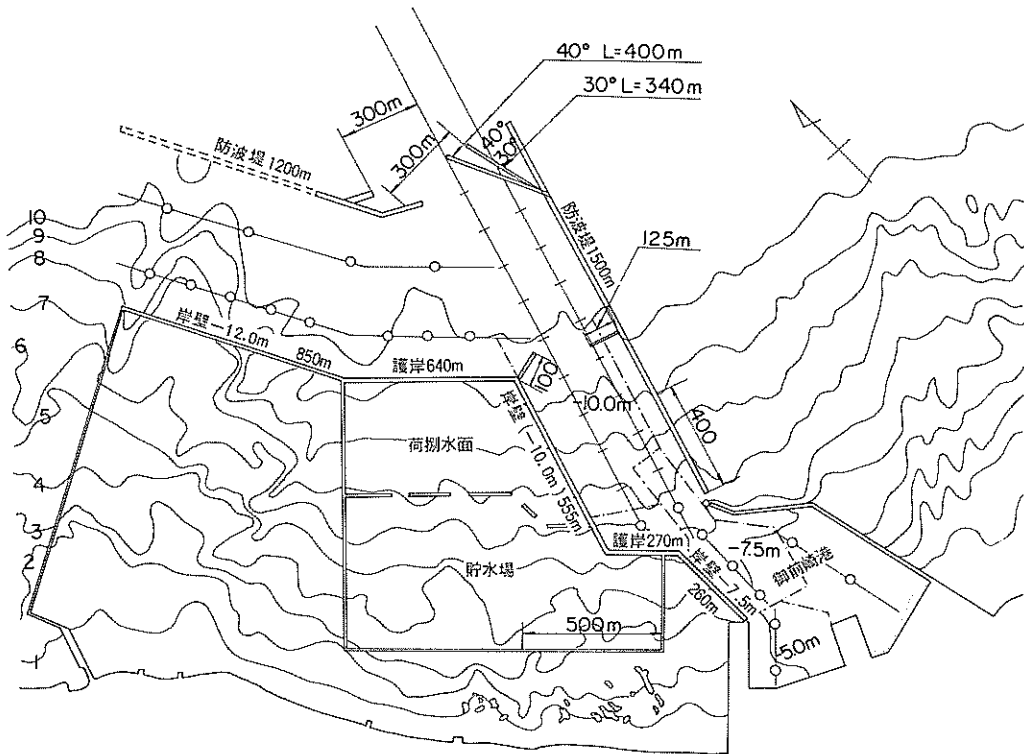


図-2

事務所より港湾技術研究所に委託された。以下はその報告である。

## 2. 御前崎港の風

表一は、御前崎測候所で1日8回観測された風のうち10m/s以上の風の5ヶ年間の方向別回数である。この表によると、W方向の風が圧倒的に多い回数を占めている。次いでE方向、S方向、N方向の順になっている。この傾向と港湾の位置を考えると、W方向の風は陸風と

なり、港湾に影響の少ない風向である。他の三方向の風は、年間を通じても比較的少なく、御前崎港の位置と地形の良好であることを示している。

時期的に四季に分けて風向別に回数を示したのが表一2である。上と同様に年間を通じてW方向の風が多いが夏季には比較的少ない。港湾に影響を与えるE方向の風は、秋に多く、同様にN方向の風は春先きに多くなっている。

表一 10 m/s 以上 風向別回数

風 向	1961	1962	1963	1964	1965	計
SE~SSW	31	21	13	6	7	78
SW~WNW	357	305	321	256	468	1707
NW~NNE	6	7	15	19	5	52
NE~ESE	27	16	20	18	47	128
計	421	349	369	299	527	1965

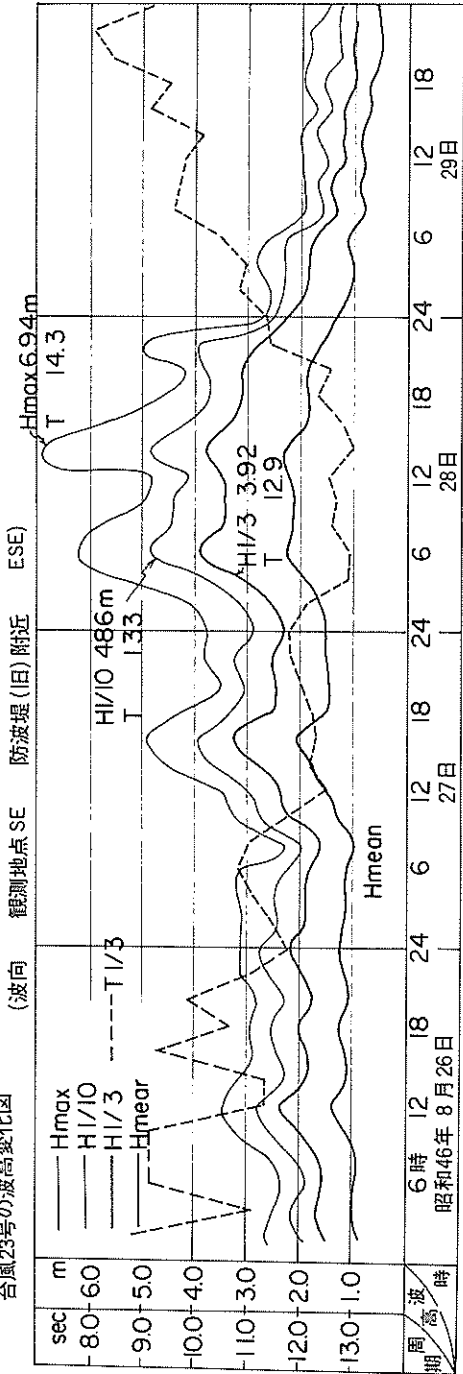
表一2

季 節	SE~SSW	SW~WNW	NW~NNE	NE~ESE
12月~2月	7	940	15	19
3月~5月	29	433	21	36
6月~8月	23	115	3	21
9月~11月	19	218	13	50

SE方向の風は数は少ないが、おそらく台風時のような時の波浪に伴ったものと考えられ、重要である。したがって、本模型実験の波向もこれにとられている。図一3は、御前崎の南方を通過した台風23号(1971)の際に御前崎港において取得された波高記録であって、波はSE方向から来襲しており、かなりの高波が記録されている。またNE方向の風は、それによって起される

波浪が航路泊地へ直接侵入することになるため、これも重要である。模型実験においては、風波の特性をできるだけ再現するよう、不規則波による実験を行なうこととする。なお図一4, 5は、1961年から1965年迄の風向図とその中の10 m/sec以上の風の風向図を示したもので、上述の特性が良く表われている。

台風23号の波高変化図



28日における波高と周期の関係

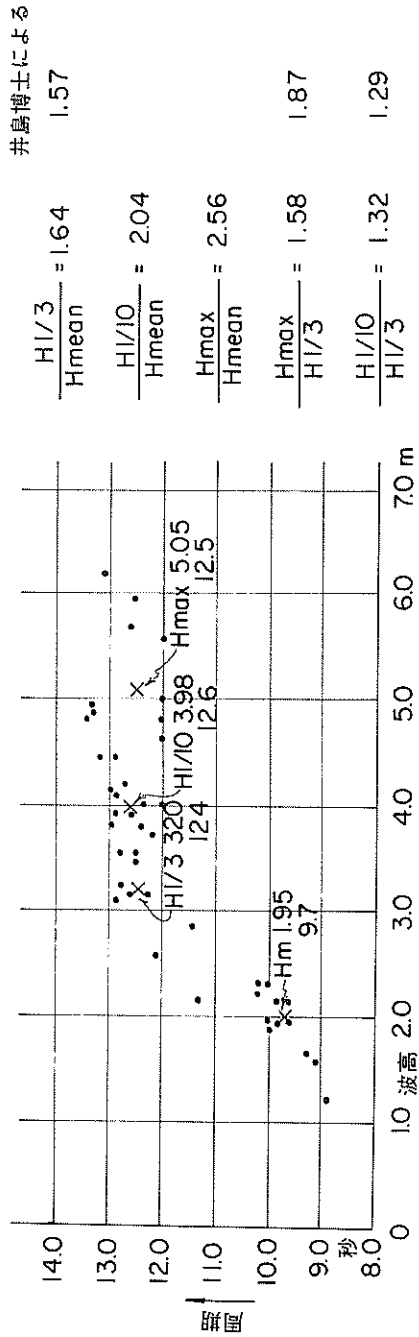


図-3

1961~1965年 10m/s以上風向圖

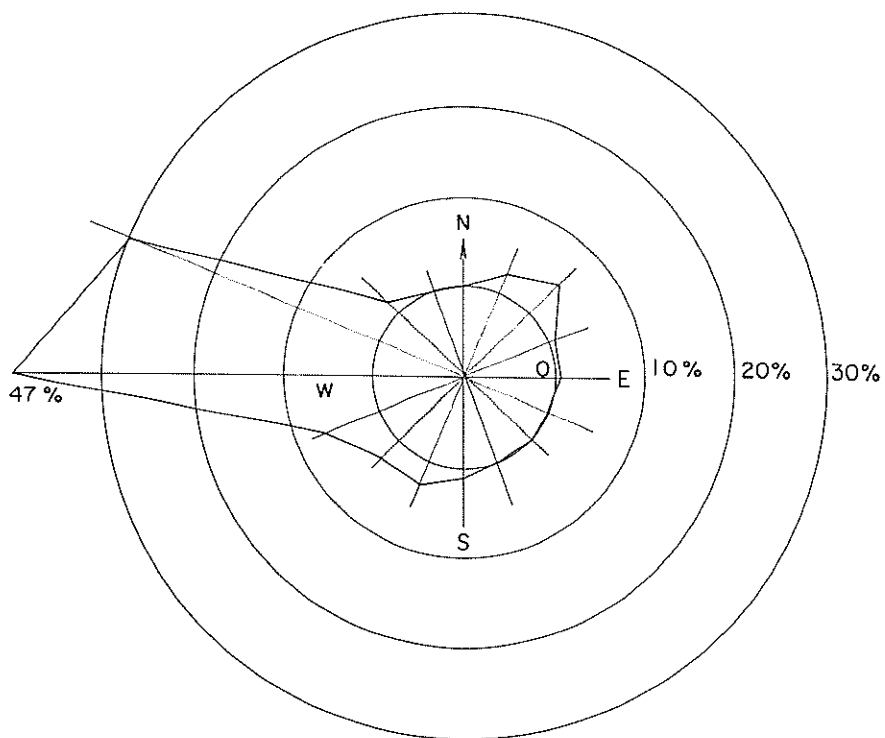


圖-4

1961~1965年 風向圖

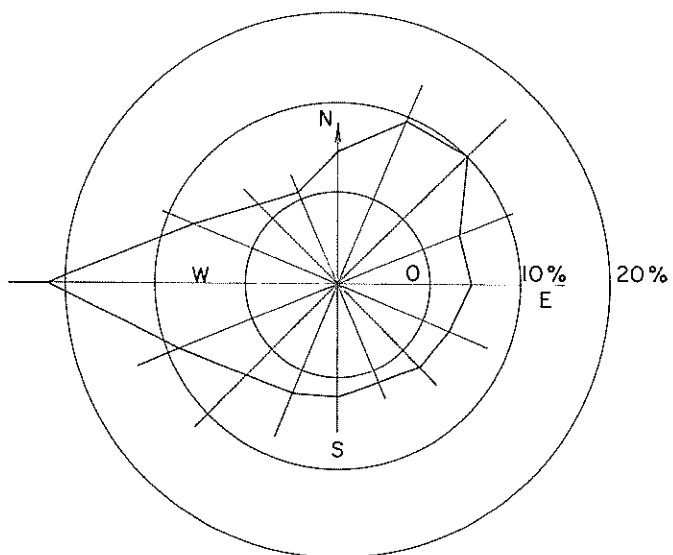


圖-5

### 3. 実験計画および模型

#### 3.1 実験計画

御前崎は、駿河湾の西南端に位置し、港は御前崎先端部の西側に、地形にだき込まれるように構築されている。港の重要施設である東防波堤は、主としてS E方向の波に対して静穏な港内を得るべく計画されている。そして、上に述べた関係位置からみて、S寄りの波は海底の深浅によって全てS E方向に屈折し来襲するものと考えられる。

御前崎港の風向風速図より、第二の主風向としてNE方向があり、波向としてもS E波に次いで考慮すべきものである。

港湾の完成図から判断すると、N E方向の波に対しては西防波堤によって一部の港湾区域は遮蔽されるが、N - S方向の航路泊地に対するN方向の風に対しては全く

無防備となると思はれる。問題は、主風向として、S E、N Eのどちらの波を主として考えるかである。また、両方向共、港内の波浪の大きさによっては、東防波堤の先端部の位置を屈曲させる必要性が生じてくる。そして、主防波堤をして航路泊地を守るべく先端部を屈曲すると、航路幅約300mを維持しなければならないため、西防波堤先端部は西方向に短縮せざるを得なくなり、(-12m)岸壁前面の静穏度に影響を及ぼすようになる。

したがって、実験波を定めるにあたっては、御前崎港に対する主波向をS EとN Eのどちらにとるか、およびN Eの波向に対する港湾完成時の港の静穏度を維持するための東防波堤先端の屈曲その他の対策について考慮しなければならない。

以上から、委託者側の要望事項を考慮して実験に用いられる波と実験ケースを表一の通りにとることにした。

表一 3

波向	波高	周期	波の特性	防波堤法線その他
NE	3m~4m	9 sec	不規則波	侵入波(防波堤原案)
SE	3m	9 sec	規則波	越波の港内に与える影響(防波堤原案)
	5m	11 sec	規則波	" ( " )
NE	3m~4m	9 sec	不規則波	防波堤計画変更 先端部を30°屈曲した場合
	3m~4m	9 sec	不規則波	防波堤中央部から突堤を出した場合
	3m~4m	9 sec	不規則波	更に-10m岸壁北端から波除堤を出した場合
	3m~4m	9 sec	不規則波	防波堤計画変更 先端部を40°屈曲した場合
	3m~4m	9 sec	不規則波	現況にて東防波堤から突堤を出した場合
	3m~4m	9 sec	不規則波	現況

なお、S E方向の規則波については、木材荷捌水面沖側の護岸(-10m)の消波の必要性につき、消波工の有無について実験を行なうこととする。したがって実験ケースは11ケースとなる。また、完成時の主防波堤と旧防波堤の間の開口部については、部分的に実験を行ない、その影響について考察することとする。

この他、旧防波堤の沖側に築造を予定されている埋立地に関しても、波浪による影響について調査することとする。

する。

#### 3.2 模型縮尺および製作

##### (1) 模型縮尺

模型の縮尺は実験に使用した水槽(20m×30m×1.0m)の大きさに制約される。また、不規則波発生用造波機の設置位置との関係もあって、模型の縮尺は水平・垂直共に150分の1にした。



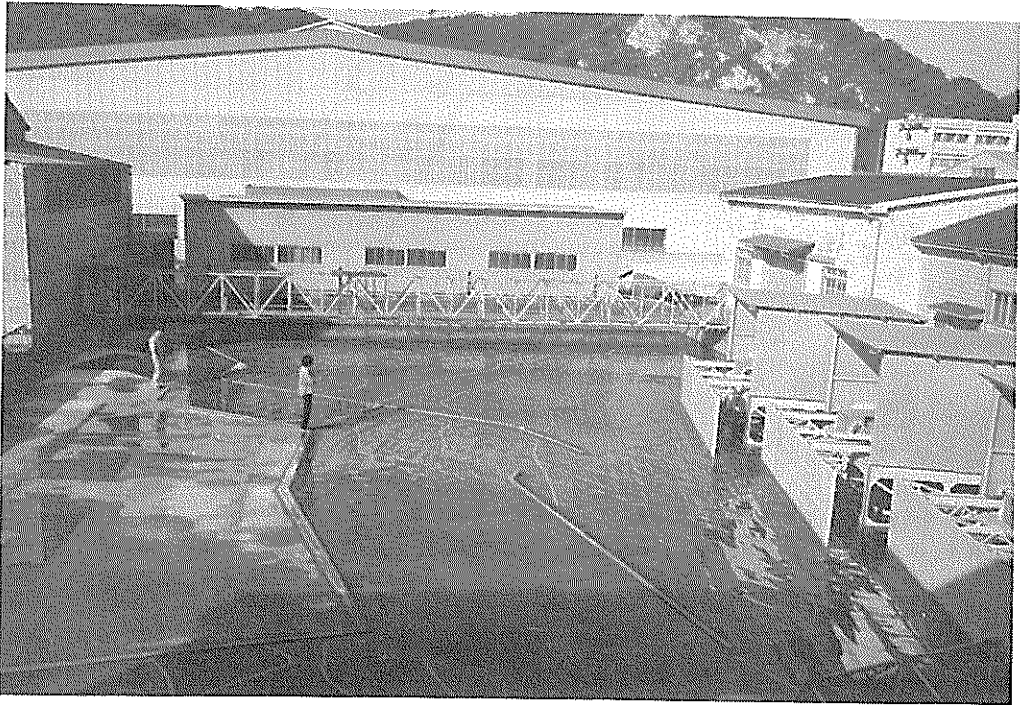
フルードの相似律を用いると波高、水深等の長さの縮尺は $1/160$ 、波の周期等の時間の縮尺は $1/\sqrt{150} \approx 1/14$ になる。

#### (2) 模型製作

御前崎港の実験用模型は港湾技術研究所の中型平面水槽内に製作された。S E方向からの規則波の実験に用い

る造波機はこの水槽に常設されており、この造波機の位置および水槽の諸元によって、模型が実験の御前崎港の形状に対して鏡像関係になるように製作した。

製作のための等深線は、防波堤の外側では45年度の深淺測量図により、また防波堤の内側では港湾が完成した時の浚渫後の深淺によって決められた。



写真一1 模型および不規則波造波機全景

### 4. S E方向の規則波による実験

#### 4.1 実験装置

##### (1) 造波装置

S E方向の規則波の実験には水槽に常備設置されている造波装置を用いた。この造波装置は、200V、20馬力のモータを用いて2段減速を行ない、変形フラップ型の造波機を駆動するようにになっている。

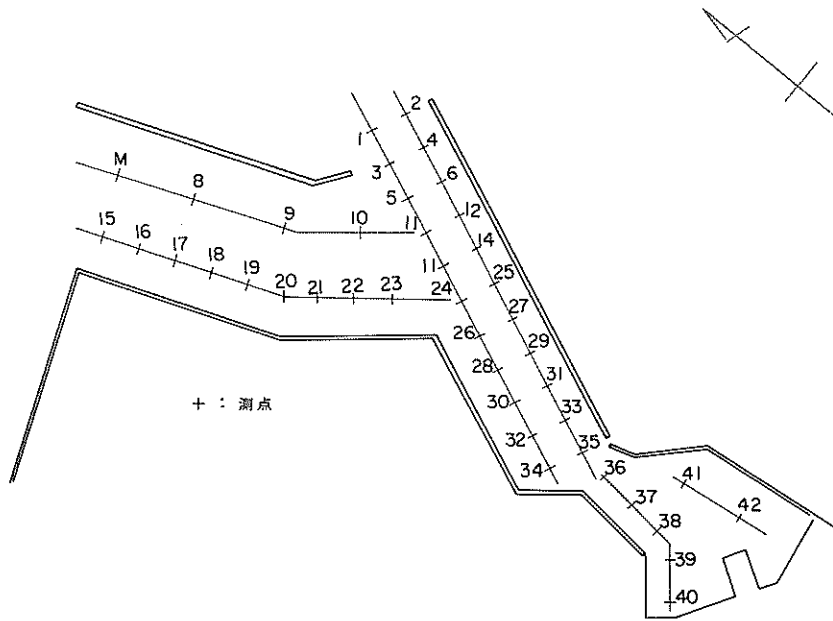
##### (2) 波高測定装置

波高測定のピックアップとしては $\pm 15\text{cm}$ まで測定できる容量型波高計を用いた。このピックアップからの出力信号は直流増幅器を通してペン書きオシロに記録される。

#### 4.2 実験方法

##### (1) 測点

本実験のような遮蔽実験では測点を数多く取って、正確な等高線図を描くことが重要となる。しかし、数多くの測点を設けると実験時間および解析に多くの時間を要する。そこで、測点数は図一6のように42点とした。特に東防波堤の西側航路内は船の泊地としても利用されるため、攪乱波を正確に測定する必要がある。そこで、この領域では数多くの測点を設けた。測点間隔は1m間隔とし、余り重要でない領域ではそれより間隔を拡げた。



図一 6

## (2) 実験方法

沖波波高が所要の波高になるように造波機の偏心を決定しておく。この偏心で造波機を駆動させる。2台の容量型波高計を所定の測点に設置して、波形記録を取る。測点で数10波程度測定した後、造波機を駆動させた状態で次の測点に波高計を移動させ、波形を記録する。この測点移動時に波高計の検定曲線が変化することはなかった。ただし、波高計移動時に生ずる攪乱波が消滅したことを確認してからペン書きオシロに波形を記録した。

## 4.3 実験結果および考察

御前崎港は、SE波に対して、防波堤により殆んど完全に遮蔽されている（完成後の場合）。従って航路泊地の静穏度は確保されているといえよう。

問題は航路泊地の越波による擾乱である。防波堤の構造が混成堤であることによって、ある程度の越波は予想される。

以下各ケースについて述べる。

### (1) ケース1

640mの消波護岸あり  
 旧船入間と新防波堤間の開口部あり（図一7）。

$H = 3\text{ m}$

$T = 9\text{ sec}$

SE方向の規則波に対して防波堤の方向はほぼ直角を

なしている。

越波による港内波の発生については、先に当所において実験的に検討されており、<sup>2), 3)</sup>これによると $H = 3\text{ m}$ の場合7%程度の越波による港内波高の発生が考えられる。

実験によると防波堤1,500mの全長に亘り、波は沿い波となり越波が観察される。港内に発生した波は、エネルギーの拡散がなく（-10m）岸壁に反射し増大しているように考えられる。防波堤内側において先端部は、波の回折の影響により50%~20%の値をしめしている。更に内部に入ると15%程度の等高線が防波堤沿いにあらわれており、港内反射の影響を示している。

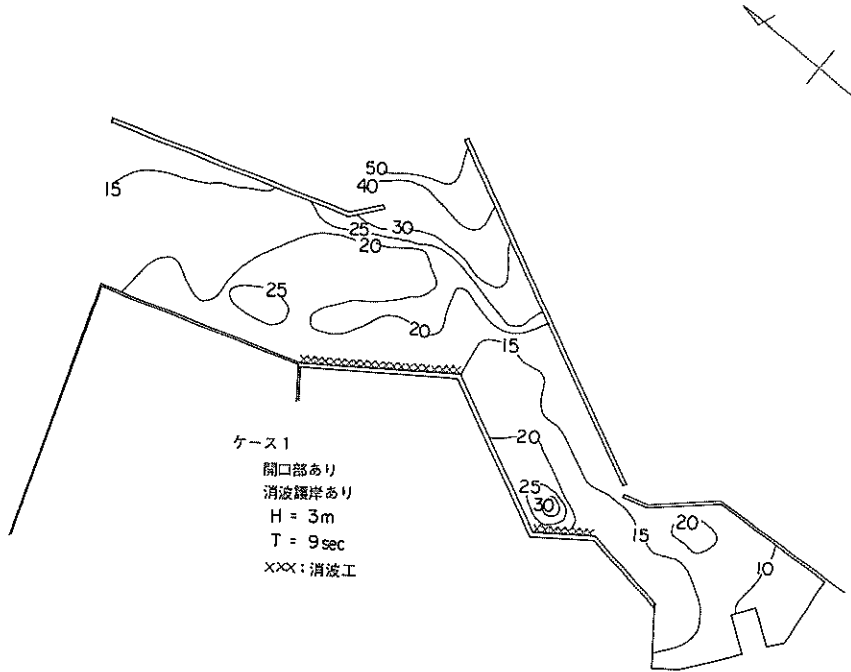
問題の消波護岸の前面であるが、回折および越波により20%前後の値をしめている。

（-12m）岸壁の前面においては、岸壁が直立壁であるため25%程度の等高線があらわれている。

旧船入間においては、一部に20%の等高線がみられるが、全般的に15%~10%と極めて低い。

開口部の影響は、この等高線からは殆んどないと考えて良い。

（-10m）岸壁の前面隅角部に30%程度の波高の増大がみられるが、これは反射の影響によるものといえよう。



図一七

- (2) ケース 2  
 消波護岸なし  
 { 開口部閉塞 (図一八)  
 H = 3 m  
 T = 9 sec

この実験の目的の一つに、外海に面した 640 m 護岸の消波工の必要性の有無があげられる。

このケースは、消波護岸のない場合であって、この護岸の前面は消波工のないため、20%から30%にいたる等高線を示し、ケース 1 の場合に比較してその値は大きい。

東防波堤 1500 m の内側は、前ケースに比べて複雑な等高線を示しており、先端部においては 40% 程度の波高の増大がみられる。これは回折波の影響によるものと越波によるものが重ね合っただようになつたように見える。

防波堤の南側では、越波により前ケースと同じく 10%~15% 程度の等高線を示す。

(-7.5) 岸壁の前面、および旧船入潤もケース 1 と同じく 15%~5% の範囲の波高を示している。

(-10 m) 岸壁の南側においても港内反射により 30% 程度の波高の増大がある。

- (3) ケース 3  
 消波護岸あり  
 { 開口部あり (図一九)

- H = 5 m  
 T = 11 sec

640 m 護岸の前面は、消波工の影響により後のケース 4 より比較的静穏な状態を保っている。文献 3) によると H = 5 m の時 2割程度の港内発生波をみることになるが、防波堤の先端部は、越波と回折波の影響により 30%~40% の波高をしめしている。防波堤沿いの南側においては、越波の影響により 20%~25% の波高の増大をみる。

旧船入潤および (-7.5 m) 岸壁の前面は 15%~10% 程度の波高をしめす。

前ケース (H = 3 m, T = 9 sec) の時と同様 (-10.0 m) 岸壁の南側では、反射波の影響により 40% 程度の波高の増大をみる。

- (4) ケース 4  
 消波護岸なし  
 { 開口部閉塞 (図一十)  
 H = 5 m  
 T = 11 sec

640 m 護岸の消波工のない場合、等高線は複雑な影響をとり、その前面においては、回折と反射波の影響により、20%~40% の値をしめす。

更に (-12 m) 岸壁の前面では、30% 程度の値をし

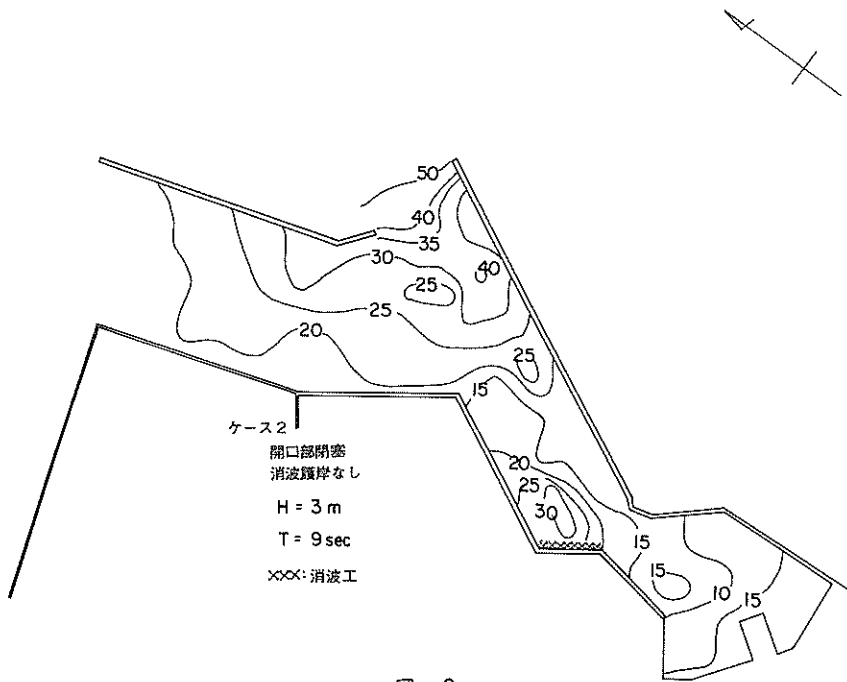


図-8

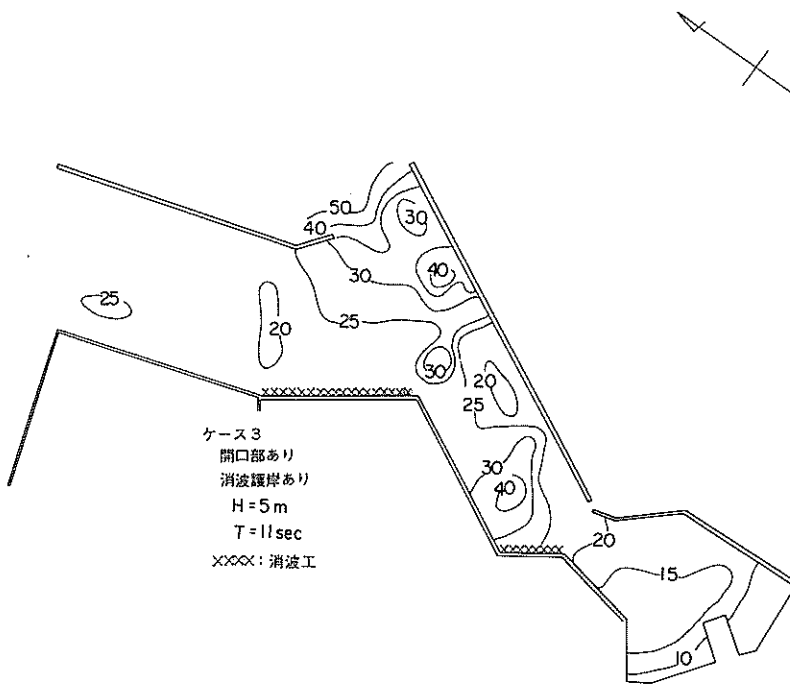


図-9

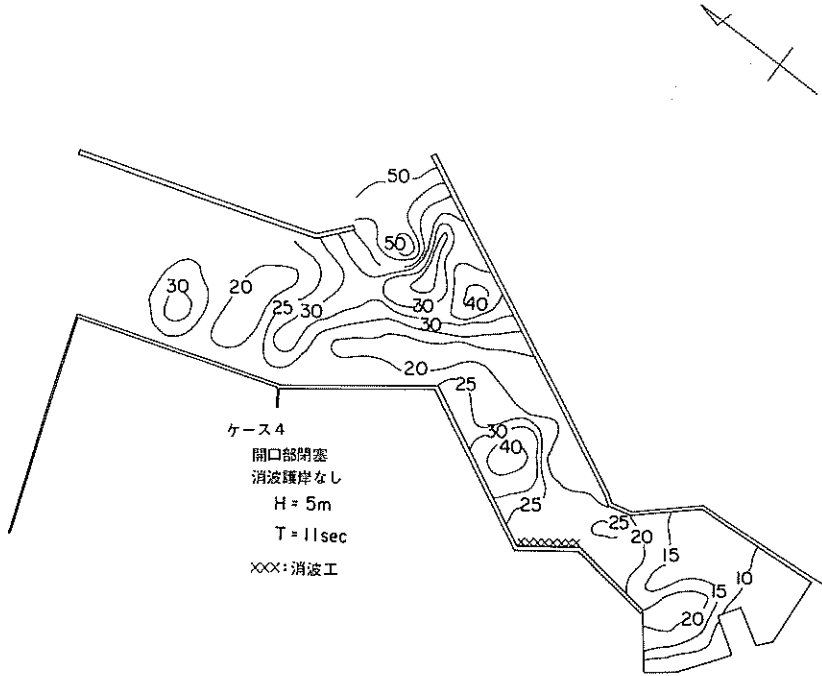
め、消波工のあるなしに大きな影響をうけていることがわかる。

防波堤先端部内側においても、等高線は複雑であって、30%~40%の値をしめている。

防波堤の両側では、20%程度の波高をしめし越波の直立壁での反射を示している。

(-10m) 岸壁の前面で40%程度の波高の増加をみる、これは岸壁が直立壁であるための反射をしめすものであろう。

(-7.5m) 岸壁の前面では、20%~15%と波高をましている。



図一10

(5) まとめ

i) 実験によると越波の最小限界は3m~5mであると考えられる。

ii) 模型実験による港内波高等高線は、越波による港内発生波と防波堤を回折して入射する波浪および港内反射により比較的複雑な形状をしめている。そして防波堤背後の等高線は15%~20%の値をしめ、明らかに越波によって航路が擾乱されていることがわかる。

iii) (-10m) 岸壁の南前面および隅角部に30%~40%程度の波高の高まりが現われており、明らかに直立岸壁による港内反射の影響をうけていることがわかる。よって、港湾の施工順序にもよるが(-10m) 岸壁を施工する時は、上記事項を考慮する必要がある。

iv) 港内では、直立岸壁の前は反射の影響をうけているが(-12m) 岸壁前面においても図に示されるように20%~30%の波高等高線を示す。

v) 問題の消波護岸640mの前面であるが、消

波護岸のある時とない場合では、SE方向の波に対する波高の減衰率の差は、図に示されるように大きい。

vi) 次に旧船入間においては、波高は非常に小さく10~15%の値をしめす。

vii) 防波堤外側に設けられる予定の埋立地に関しては、SE波の収斂作用により、大きく越波し、よほどの消波性の良い護岸を用いない限り、埋立地を設けることは不可能であると思われる。

viii) 次に新防波堤と旧防波堤の間の開口部のSE波に対する影響であるが、実験によると港内にそれ程の影響はない。しかしながら、かえって、このような切欠部分は波浪の作用により堤体延長上の弱点となる可能性があり、このため充分に補強することが必要である。

ix) 防波堤1,500mの内、水深の深い部分の堤体については、直立防波堤とすることが、強大な波圧に対しても有効であると考えられる。こゝでは防波堤の構造上の問題にふれないが、地盤が良好であるようなので

直立式とし、前面に投入される捨石を防波堤後方に投入して、防波堤の滑動防止に用いることが得策であると考えられる。また外防波堤1,200mについても同様である。

X) SE方向の波について、防波堤1,500mの法線は原案にて適当であると考えられるが、NE方向の波については、防波堤先端部分を屈曲させて侵入波を防ぐことが得策であると考えられる。したがってSE方向の波について、防波堤の屈曲は良い側に作用するこそすれ、悪い側に作用することはない。たゞ、港口が港の左側に移ることにより、(-12.0m)岸壁の前面の波が多少高くなるものと考えられるが、貨物荷役に支障を与え

る程度ではないであろう。

## 5. NE方向の不規則波による実験

### 5.1. 実験装置および計測器

#### (1) 不規則波発生装置

当研究所の不規則波発生装置は図-11のブロックダイアグラムのようにになっている。

まず、2台の白色雑音発生装置によって白色雑音を発生させ、この白色雑音を、4~40Hz間を $\frac{1}{2}$ oct区切りとした10チャンネルのバンドパスフィルターに通して任意のスペクトルを持つ波を発生させる。10チャンネルのバンドパスフィルターの幅は表-3のようにになっている。

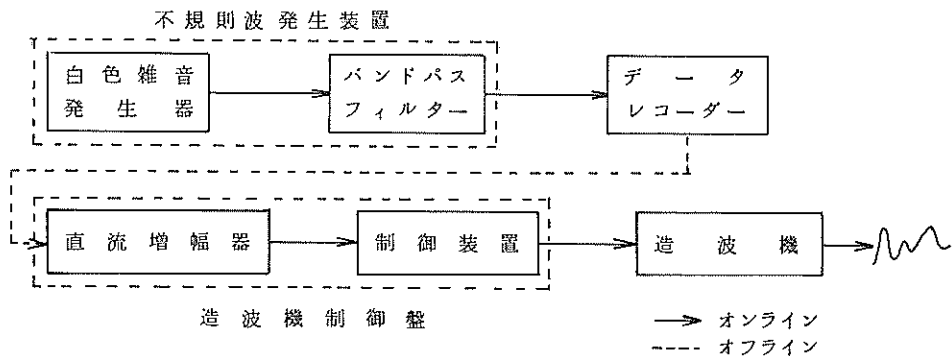


図-11 不規則波発生装置のブロックダイアグラム

表-3 バンドパスフィルター

チャンネル	周波数幅 (Hz)	中心周波数 (Hz)
CH-1	4 ~ 5	4.48
CH-2	5 ~ 6.3	5.61
CH-3	6.3 ~ 8	7.10
CH-4	8 ~ 10	8.95
CH-5	10 ~ 12.5	11.2
CH-6	12.5 ~ 16	14.1
CH-7	16 ~ 20	17.9
CH-8	20 ~ 25	22.4
CH-9	25 ~ 31.5	28.0
CH-10	31.5 ~ 40	35.5

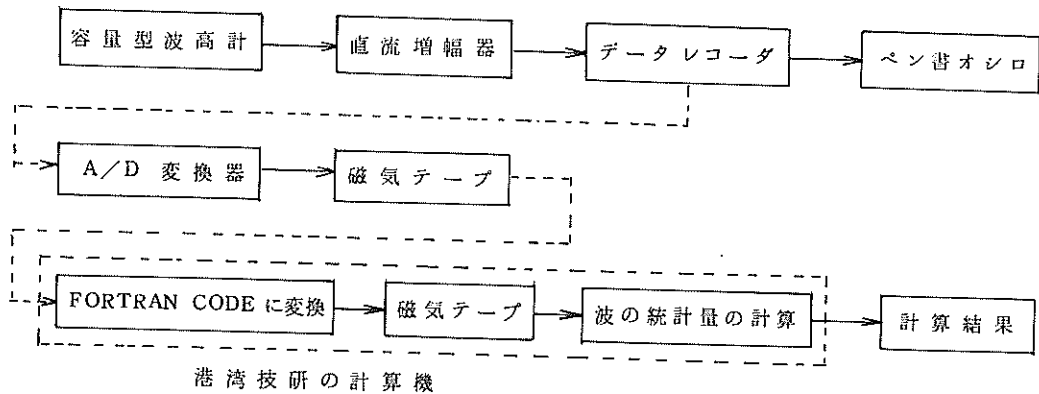
このような高周波数の波は実験に用いることができないので、可変速のデータレコーダにいったん記録し、記録時のテープ速度の $\frac{1}{10}$ テープ速度で再生させ、これを造波機制御盤への入力とする。このようにすればバンドパスフィルターから出た波の $\frac{1}{10}$ の周波数に変換することが

できる。

データレコーダの出力は $\pm 1V$ であるから、これを造波機駆動に必要な電圧にまで増幅するために、直流増幅器が制御盤内に内蔵されている。この直流増幅器の増幅率は7.5倍と一定になっている。この増幅された電圧を入力として、制御装置を通して造波機が駆動される。駆動方式はミナーシャモーターの回転をボールネジの回転に変換し、このボールネジの回転が造波板を前後に運動させるものである。造波板の幅は5m、高さは1.2mでピストン型である。NE方向の不規則波の実験にはこの造波機を3台用いた。水槽の諸元と模型との関係で造波板を一直線上に並べることができないため、一台一台を前後に少しずつ並べた。

#### (2) データ記録と解析装置

データ記録から解析結果を得るまでのブロックダイアグラムを図-12に示す。波形をデータレコーダとペン書オシロに同時に記録させたのはA/D変換器による計算がうまくゆかなかった場合のことを考えたからである。



図一 12 データ記録・解析のブロックダイアグラム

## 5.2 実験方法

### (1) 測点

NE方向の不規則波による実験の測点はSE方向の規則波の実験における測点と同じであることを原則にするけれども、実験ケースによっては港外に測点が出る場合もある。その時はその測点は除外するか、または1mずらして港内に生じるような位置を選んだ。

### (2) 測定時間

測定時間を長くすれば測定波数が多くなって、波の統計量の変動が小さくなる。しかし測定時間と解析時間がそれだけ長くかかるために、測定波数を約150波とした。実験に用いた波の有義波の周期が模型で0.73secとなるから測定時間は $0.75 \times 150 = 110$ 秒 $\approx$ 1分45秒として決定した。

### (3) 実験方法

まず、造波機を駆動させ、測点に波が到達したことを確認し、ある時間経過した後、スタートでペン書オシロと記録用データレコーダに波形を記録し始める。スタートから1分45秒経過した後記録を止め、同時に造波装置の入力用データレコーダのストップボタンを押して、造波機を止める。次の測点に波高計を移動する。水面が静穏になってから波高計の零線を調整して、再び同じ方法で測定を行なう。

波高計の検定を実験前後2回行って検定曲線を決定するようにしたけれども、実験前と後ではほとんど差はなかった。

用いた中型平面水槽が屋外にあるので、風の強い日には水面に風波が立って零線の調整が困難になると同時に測定値に誤差を含むため、風の強い日は実験をとりやめた。

## 5.3 実験に用いた不規則波

### (1) 不規則波の諸元

2で述べたように風向がNE~N間ではNEからの風が年間を通じて最も多く、また駿河湾の地形を考えるとNE方向のフェッチが最も長く7.8kmになる。このことは、駿河湾内の発生波の内NE方向からの波が波高も高く、回数が多いことを示している。また、防波堤の配置計画からみても、NE方向の波は港内に容易に侵入し、港内を攪乱すると予想される。そこで、実験に用いる不規則波はNE方向の駿河湾内発生波を対象にする。

波浪推算の結果と委託者側の要望事項を考慮して、実験に用いる波高は有義波の波高で $H_{1/3} = 4.0$ m、周期は有義波の周期で $T_{1/3} = 9$ secとする。模型縮尺から実験に用いる不規則波は $H_{1/3} = 2.67$ cm、 $T_{1/3} = 0.738$ secとなる。この不規則波を対象にして、当研究所の不規則波発生装置で起した不規則波は表一4のようになった。

表一4に示した実験波の諸元は波形記録からゼロアップクロス法で求めた値である。実験に用いる不規則波は目標不規則波の波高より有義波の波高で0.7cm程度小さくなっている。これは、最初沖防波堤からの反射波が造波板によって再反射されて、実験波に重って入ってくる不規則波を目標波に一致させたが、後で沖防波堤前面に碎石を敷いて防波堤からの反射波を消したことによって生じたものである。しかし、このような遮蔽実験では防波堤による回折波の波高は入射波高に比例するので、有義波の波高の比で定義される回折係数は周期に大きく影響される。そこで、周期が一致しているならばほぼ一回折係数を持つと考えることができる。このことについては後で詳細に述べる。

NE方向の不規則波としては表一4の不規則波を用いた。

表-4 実験不規則波

	$H_{max}$	$H_{1/10}$	$H_{1/3}$	$T_{1/3}$	$\bar{H}$	$\bar{T}$
実験不規則波	3.52 cm	2.46 cm	1.97 cm	0.686 sec	1.34 cm	0.556 sec
現地換値	5.28 m	3.70 m	2.97 m	8.40 sec	1.91 m	6.81 sec

(2) 不規則波のスペクトル

波形記録から実験に用いる不規則波の周波数スペクトルを求めると図-13のようになる。図-13の二つのスペクトルは防波堤開口部の中央から2mの地点で2回測定した波形記録から求めたものである。このスペクトルより求めた有義波の波高、 $1/10$ 最大波高、平均周期は表-5のようになる。

表-5 スペクトルから求めた実験波

	$H_{1/10}$ (cm)	$H_{1/3}$ (cm)	$\bar{T}$ (sec)
1	2.85	2.24	0.655
2	2.63	2.07	0.627

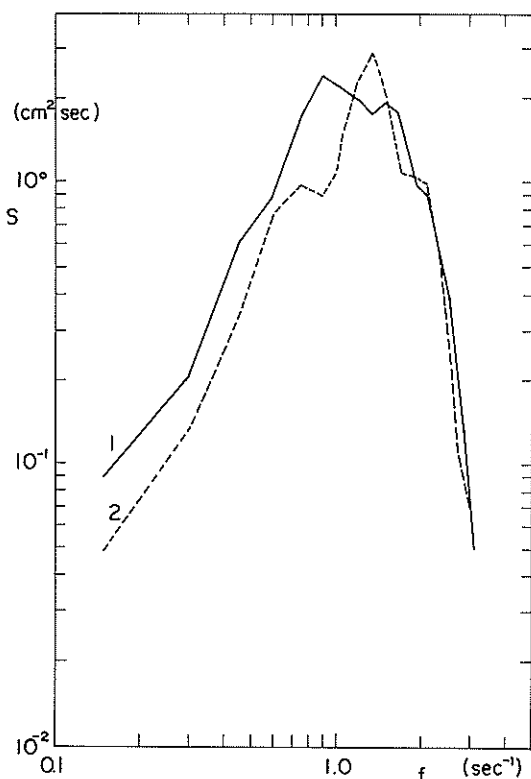


図-13

同一地点で2分間の測定記録から計算したスペクトルであるから両者は一致しなければならないと考えられるが、スペクトルの形は異なっている。これは、長い不規則波の記録から異なる2区間の不規則波を用いた短い2分間の測定時間であったこととスペクトル計算における信頼限界によるものと思われる。しかし、表-5の両者の統計量はスペクトルの形が異なっているにもかかわらず、有義波の波高で0.17cm、平均周期で0.028secの差しかなく良く一致している。

スペクトルから計算した表-5の波高は表-4のゼロアップクロス法で求めた値より少し大きい。

5.4 実験結果および考察

(1) 各ケースの実験結果

回折係数Kは実験波の有義波高に対する回折波の有義波高の比で定義する。図はこのK値によって示されている。

(i) ケース5

本ケースは御前崎港の将来計画の原案と同じ防波堤配置を示している。図-14の防波堤配置図からわかるようにほぼNNE方向へ一直線状に延びた1,500mの東防波堤とNNW方向、1,200mの西防波堤によって港外からの侵入波を阻止する配置である。しかし、このような防波堤の配置ではNE方向からの波は東防波堤によって回折されたとしても-10m岸壁の前面の航路内には大きな回折波が侵入してくると予想される。また、いったんこの航路に侵入した波は東防波堤と-10mの岸壁に挟まれるためにエネルギー拡散による波高減衰を余り起さないと予想される。



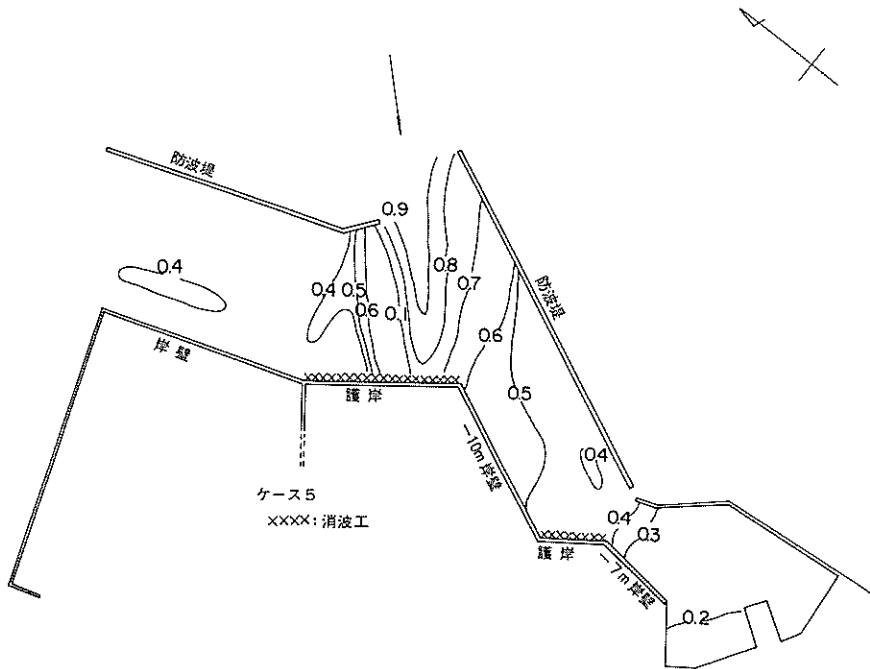
実験結果を図一14に示す。図一14からわかるようにNE方向の開口部中央線上では大きな回折係数を生じており、この中央線から離れるに従って回折係数は急激に小さくなっている。図一14の開口部付近の等回折係数の分布は規則波の回折係数の分布形と良く一致している。これは実験不規則波が周波数においてのみ不規則で、方向分散をもたないためである。もし方向分散を考慮するなら回折係数は一方向のみの不規則波より遮蔽部分で大きく、開口部付近で小さくなる。

西防波堤の背後の岸壁では $K = 0.3 \sim 0.4$ の値になっている。この部分で $K = 0.4$ の閉曲線が生じているの

は岸壁からの反射によるものと思われる。

-10mの岸壁と東防波堤によって狭まれた航路には入口付近に $K = 0.6$ が生じて、 $K = 0.5$ の線は航路を縦断して-10m岸壁の南端部に入っている。-10m岸壁には $K = 0.5$ の波が生じている。実験波と現地波に換算すると $H \frac{1}{3} = 3.0m$ であるから、-10m岸壁では $H \frac{1}{3} = 1.5m$ とかなり大きな波が生じる。上述の理由からこの部分では波高減衰は小さい。

-7.5mの岸壁では $K = 0.2 \sim 0.4$ の波が生じている。現地波では $H \frac{1}{3} = 0.6 \sim 1.2m$ 程度である。



図一14

(ii) ケース6

ケース5の実験結果から-10m岸壁では $K = 0.5 \sim 0.6$ となって、入射波の波高が大きいと船の接岸に問題が生じるものと思われる。同時に泊地としての要求を満さなくなる。そこで、ケース5で述べた理由を考慮して、1500mの東防波堤の先端から300m南に下った箇所防波堤の延長方向に対して $30^\circ$ 、先端部を北に傾けて、その屈曲部を340mの長さにし、同時に東防波堤の南端から675m付近に120mの突堤を防波堤に直

角に、また-10mの岸壁と護岸の交点から100mの突堤を東の方向に設置して、航路内に回折波が侵入しにくくした。このような防波堤の配置は図一2の通りである。

実験結果を図一15に示す。防波堤によって回折された波はケース5と同様に開口部付近で規則波と同じような波高分布を示している。特に、開口部から入った波は港内でエネルギーが拡散されて、開口部付近で急激に減衰する。突堤付近ですでに $K = 0.3$ の値になっている。

西防波堤の背後は $K=0.3\sim 0.4$ 程度でケース5の値とほとんど変わらない。

-10m岸壁前面の航路は $K=0.2$ 程度でケース5に比較して $\frac{1}{2}\sim\frac{1}{3}$ 程度になっている。 $K=0.2$ の線はケース1の $K=0.5$ の線と同様に航路を北から南に縦断している。ケース1と同様にこれは-10m岸壁による反射波の影響と思われる。

-7.5m岸壁では $K=0.1$ になって、ケース5の $\frac{1}{3}$ 程度の波高である。

以上のように、東防波堤の先端を $30^\circ$ 傾け、2本の突堤を設けることによって、突堤より港奥の地域の波高は $\frac{1}{3}$ 程度に小さくなる。

(iii) ケース7

100mの突堤の効果を調べるために、ケース6の防波堤配置から100m突堤を取り除いてみた。

このケースの実験結果を図-16に示す。図-16からわかるようにケース6の場合とほとんど同じ波高分布形を示している。

防波堤開口部で $K=1.0$ の線が現われなかったのは、測点1, 3での測定時に相対的に小さい波が入って来たためだと考えられる。これは測定時間が1分45秒と短

いことが原因である。 $K=0.8$ および $0.7$ の線についてケース6と比較してみるとほぼ同じ位置にあるので、すべての測点で入射波が小さくなっていったとは考えられない。このような測定時間による誤差は $K$ 値にして $0.1$ 程度である。

$K=0.2$ の線が少し東防波堤に移動しているようであるが、上述の誤差を考えると全くケース6と同じであるといえる。

以上により、100m突堤は-10m岸壁からの反射波を防止する効果をもつが、その効果は小さい。

(iv) ケース8

さらに、120mの突堤の効果を調べるために120mの突堤を取り除いてみた。

実験結果は図-17に示すとおりである。この図から、開口部、西防波堤背後および-10m岸壁前面ではケース6, 7とほとんど同じ分布形を示していることがわかる。しかし、-7.5m岸壁の北端の航路中央部まで $K=0.2$ の線が延びてきて、 $K=0.1$ の線がケース6, 7に比較して港奥に退いている。これは防波堤による回折波が直接港奥に入ってくるようになり、この回折波と-10m岸壁からの反射波が重なり合うためだと推測さ

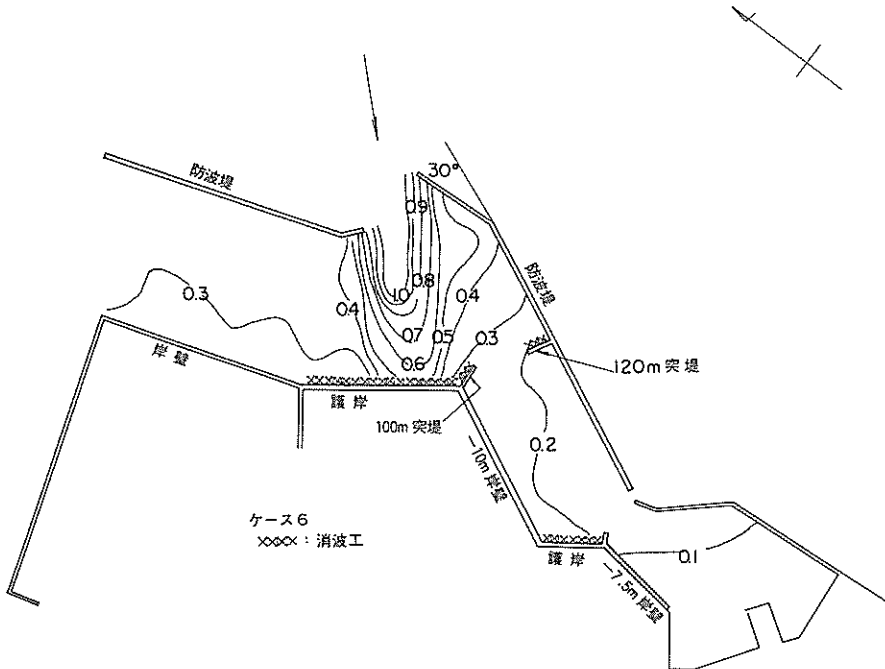


図-15

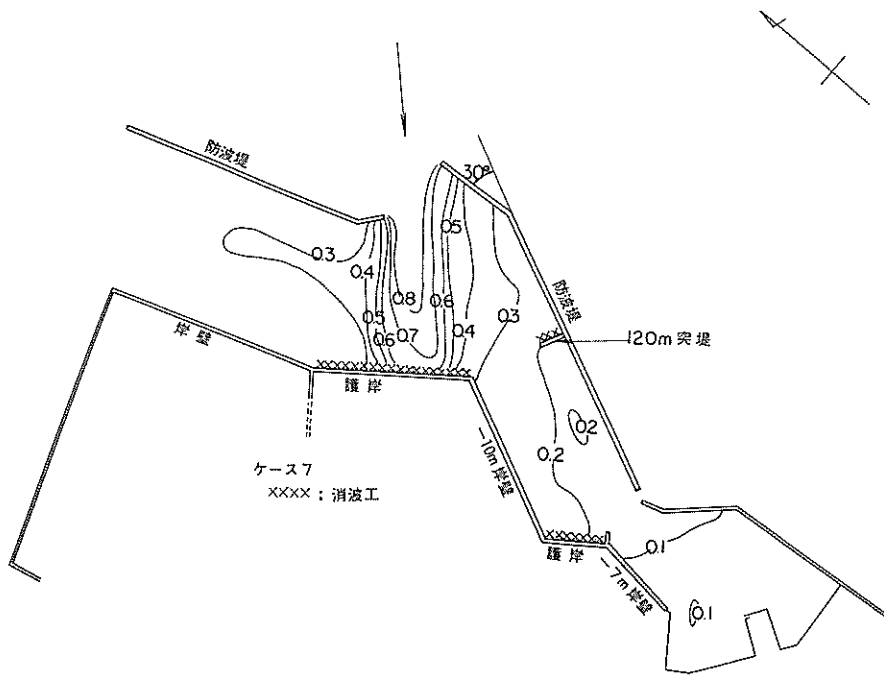


図-16

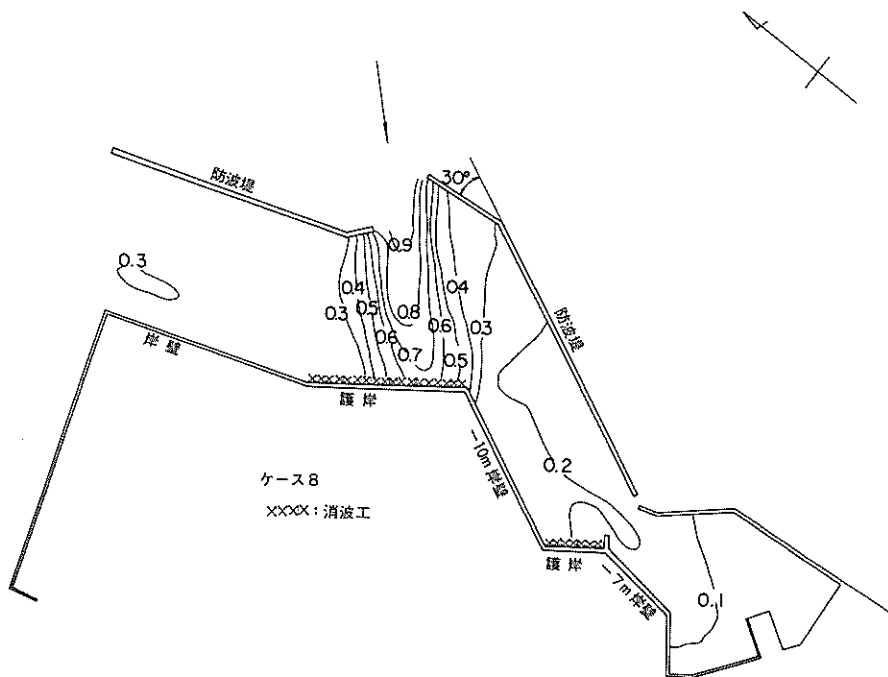


図-17

れる。

以上の結果から、120mの突堤は-7.5m岸壁前面を静穏にさせる効果を有していることがわかる。

(V) ケース 9

防波堤の傾角を40°にして、ケース8と比較してさらに回折波が航路内に侵入しにくくした場合である。この場合も開口部の幅は300mとし、船舶の出入に支障をきたさないようにしてある。

傾角を40°と大きく傾けた場合でも、図-18に示されているようにケース8と比較して、 $K=0.2$ の線が少し港口付近に移動していることを除いてほとんど同じである。

このことは、防波堤を30°から40°に傾けても余り港内の静穏には効果がないことを示している。しかし、防波堤開口部をNW方向に移動させても航路の波高減少に効果がないことをこの結果は示しているのではなく、この程度の移動では余り効果を示さないだけである。規則波の回折図から考えても開口部をNW方向に移動すればする程-10m岸壁前面の航路は静穏になるが、西防波堤背後の岸壁はじゃう乱されるようになる。

(VI) ケース 10

防波堤の建設段階で予想される防波堤の配置の一つとして図-19に示すような120mの突堤と島堤をもつ防波堤配置が考えられるので、この場合についても実験を行った。その結果を示すと図-19のようになる。

防波堤前面で生じている波高の大きい部分は貯木場の護岸からの反射波によるものである。この反射波が到達しない-7.5mの岸壁付近では波高はかなり減衰している。この岸壁の北端で $K=0.4$ 、中央部で $K=0.2$ となっている。さらに港奥では $K=0.1\sim 0.2$ でかなり静穏になっている。

これはケース8で述べたように120m突堤の効果によるものと考えられる。

貯木場前面にある島堤はこの図から判断しても、また規則波の島堤による回折図から判断しても港内の静穏にはほとんど関係ないと考えられる。

(VII) ケース 11

120mの突堤と島堤を取り除いた場合である。実験結果を図-20に示す。ケース10と比較して、 $K=0.4$ の線はケース10の $K=0.3$ の線まで港内に入り、 $K=$

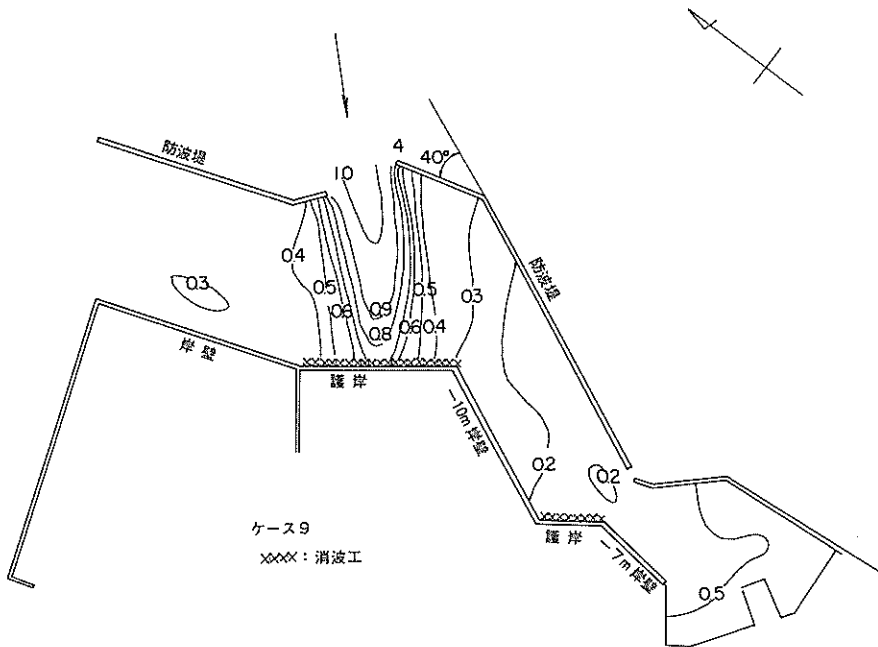
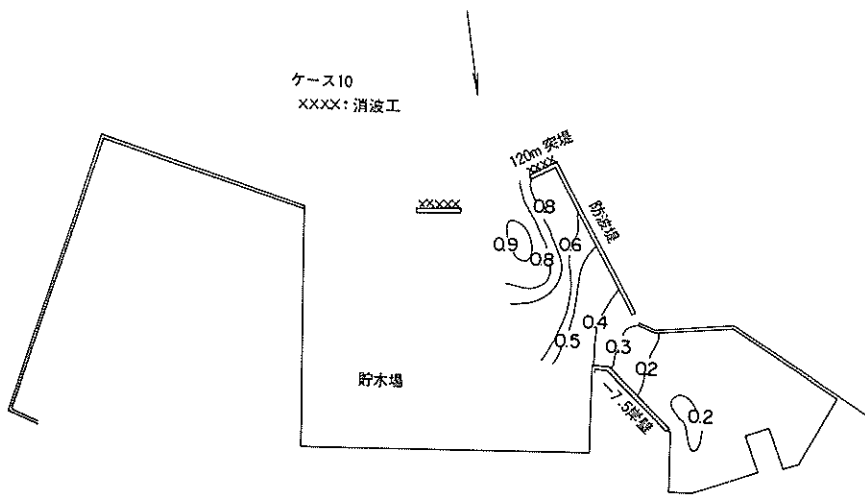
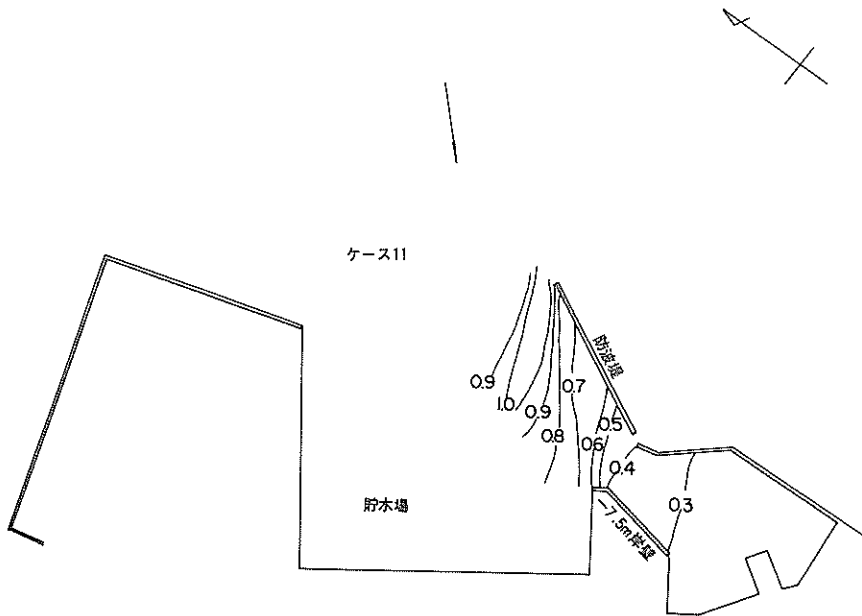


図-18



図一19



図一20

0.3の線はケース10の $K=0.2$ の線よりさらに港内に入り、 $-7.5\text{m}$ 岸壁の南端まで移動する。ケース10で述べたように、 $120\text{m}$ の突堤は港内の静穏にかなり効果があることが確認された。

貯木場の護岸からの反射波によって、ケース10と同様に波高の高い部分が東防波堤付近に生じる。

#### (2) 回折波のスペクトル変化

ケース8について、回折波のスペクトルの変化を港内数点について計算した。選んだ測点は図一6の測点番号の内3, 5, 11, 24, 28, 32, 36, 38の8点で、これらの点は東防波堤から2番の測線上にある。

3, 5, 11の測点は開口部付近、24, 28, 32の測

点は-10m岸壁の前面, 36, 38の測点は-7.5m岸壁の前面にある。

これらの測点のスペクトルは図-21, 22, 23に示すとおりである。(縦軸の単位の差異に注意されたい。)

開口部付近にある3, 5, 11の測点のスペクトルは低周波数の部分を除いて全体的に小さくなっているとみなすことができる。f=1.35のピーク値を除いて測点3, 5, 11のスペクトルともf=1.8の付近で極大値を示している。しかし、この極大値がどのような原因で生じるか明らかでない。

-10m岸壁前面の航路内の測点24, 28, 32については特に、測点24におけるスペクトルがf=0.75でピークを示し特異な形となっている。28, 32の測点におけるスペクトルは共にf=1.35でピーク値を示し、ほぼ同じ形を示している。24, 28, 32の測点のスペクトルともスペクトルに極大値が数個ある複雑な形になっている。これは反射波との干渉によって生じたものと予想される。

-7.5m岸壁の前面の36, 38におけるスペクトルは、ピークの値が小さく、一般に低周波数部のスペクトルが相対的に大きくなっている。

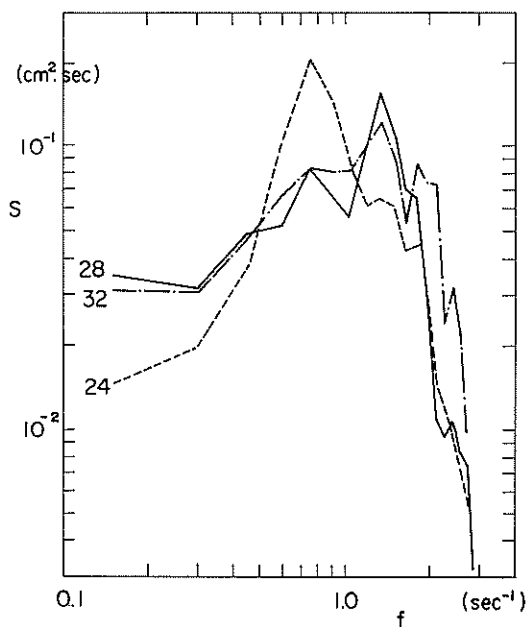


図-22

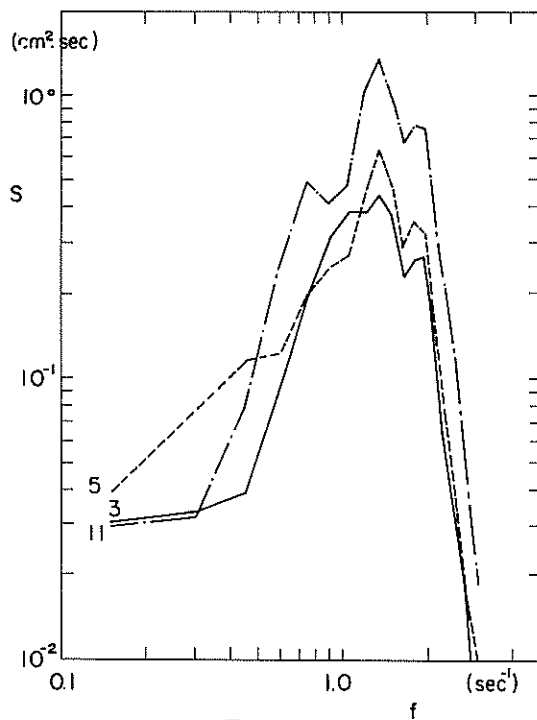


図-21

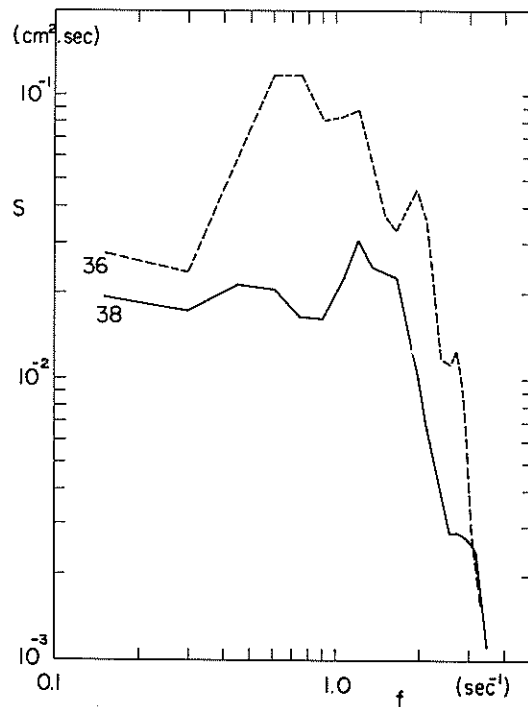


図-23

以上、回折波のスペクトルに変化について調べたが、回折不規則波のスペクトルを単に定性的に述べたにすぎない。波の変形に伴うスペクトルの変化については今後実験によって検討してゆく必要がある。

### (3) 回折係数に対する考察

このような不規則波の実験によって求めた有義波の波高の比としての回折係数 $K$ が表-4の不規則波だけに成り立ち、有義波の波高または周期が変化すればそれに伴って新しく実験を行わなければならないのか、それともある有義波の波高または周期で実験して得た回折係数を利用することができるのか明らかでない。もし前者の場合であるなら有義波高または周期が変る毎に数多くの実験をしなければならないし、もし後者なら実験ケースをある程度限定することができる。

そこで、これについて簡単な計算を行なって調べてみる。規則波の回折係数 $K_R$ は角振動数 $\sigma = 2\pi/T$ と平面座標および水深の関数であるが、今ここでは同一地点および一様水深を考えているから $K_R$ は $\sigma$ だけの関数になる。

入射波高を $H_1$ 、回折波の波高を $H_d$ とすると

$$\frac{H_d}{2} \exp(i\sigma t) = \frac{H_1}{2} K_R(\sigma) \exp(i\sigma t) \quad (1)$$

なる関係が規則波の場合に成り立つ。

不規則波が成分波の重ね合わせで表わされるとすると回折波のスペクトル $S_{H_d}(\sigma)$ は入射波のスペクトル $S_{H_1}(\sigma)$ との間に次の関係が成り立つ。

$$S_{H_d}(\sigma) = \{K_R(\sigma) K_R^*(\sigma)\} S_{H_1} \quad (2)$$

ここで、 $K_R^*(\sigma)$ は $K_R(\sigma)$ の共役複素数である。

回折波の有義波波高 $H_d'_{1/3}$ は

$$H_d'_{1/3} = 4.00 \sqrt{\int_0^{\infty} \{K_R(\sigma) K_R^*(\sigma)\} S_{H_1}(\sigma) d\sigma} \quad (3)$$

となり、 $H_1$ が Rayleigh 分布すると仮定すると式(1)から $H_d$ も Rayleigh 分布して

$$\begin{aligned} H_1'_{1/3} &= 1.60 \bar{H}_1 \\ H_d'_{1/3} &= 1.60 \bar{H}_d \end{aligned} \quad (4)$$

となる。ここで、 $\bar{H}_1$ 、 $\bar{H}_d$ は入射波および回折波の平均波高である。

入射波の有義波波高 $H_1'_{1/3}$ のみが $H_1'_{1/3}$ になったと仮定すると $H_1'$ による回折波の有義波波高 $H_d'_{1/3}$ は式(3)と同様に

$$H_d'_{1/3} = 4.00 \sqrt{\int_0^{\infty} (K_R K_R^*) S_{H_1}(\sigma) d\sigma} \quad (5)$$

となる。入射波のスペクトル $S_{H_1}(\sigma)$ と $S_{H_1}(\sigma)$ の間に

定数 $K_1$ とした次の関係式が成り立つとする。

$$S_{H_1}(\sigma) / S_{H_1}(\sigma) = K_1^2 \quad (6)$$

これから $\bar{H}_1' / H_1 = H_1'_{1/3} / H_1'_{1/3} = K_1$ となり、式(4)と式(5)から

$$\frac{H_d'_{1/3}}{H_1'_{1/3}} = K_1 \quad (7)$$

となる。式(7)から、回折係数 $K$ は

$$K = \frac{H_d'_{1/3}}{H_1'_{1/3}} = \frac{H_d'_{1/3}}{H_1'_{1/3}} \quad (8)$$

となって、波高が変化しても回折係数 $K$ は変らない。つまり、波高のみが変化しても式(6)が成り立つ限り回折係数 $K$ は変らない。

これより、NE方向の不規則波による実験結果は周期がほぼ8~9 sec間にあれば有義波の波高が変化してもほぼ成り立つと考えることができる。

### (4) まとめ

以上、御前崎の実験から得られ結果を要約すると次の通りである。

NE方向の不規則波による実験

- (1) 御前崎港の将来計画の原案であるケース5の防波堤配置では-10m岸壁で $K=0.5\sim 0.6$ にもなる。
- (2) -10m岸壁の北端に設けた100mの突堤は航路内に侵入する回折波を阻止する効果はほとんどない。
- (3) 東防波堤から直角に延した120mの突堤は計画完成後においても-7.5m岸壁の波高を減少させるし、防波堤建設途中でも-7.5m岸壁の波高をない場合に比較して $\frac{1}{3}$ 程度減少させる。
- (4) 東防波堤の先端部を3°傾けることは港内を静穏にする上で大変有効である。
- (5) 東防波堤の先端部を4°傾けても3°の場合とほとんど変わらない。
- (6) 実験で求めた回折係数は波高のみが変化する限りではほぼ同一の回折係数になる。
- (7) 本実験の範囲においては、港内を静穏させる防波堤配置としてケース6, 7, 8, 10, 9, 5の順に効果がある。

## 6. 結 論

御前崎港の将来計画について、原案である1,500m防波堤のNS方向に直線上に延した計画は、NE方向の波に対して全く無防備のまゝであり、この対策として、

防波堤先端部をW側に屈曲することが必要である。その角度としては、先端から約300mの延長を約30°屈曲するのが適当であろう。

防波堤の中央部から突出せしめる突堤は、港湾の完成前における港内波の減少に対して有効であり、-7.5m岸壁の使用を可能にする。また港湾の完成後においても有効であることがみとめられた。

SE方向の波に対する越波は、港内を擾乱せしめ、-10m岸壁の南側に波高の増大する箇所を生じせしめる。このため、建設工事の施工順序に従い、-10m岸壁の施工段階において、防波堤の嵩上の必要性が考慮される。依って、港湾各施設の施工順序の検討が必要である。

#### 謝 辞

この模型実験は、水工部合田波浪研究室長の指導のもとに、SE方向規則波については水工部服部技官、NE方向の不規則波については波浪研究室吉村技官の担当で行なわれた。こゝに厚く感謝する次第である。

(1971年12月28日受付)

#### 参 考 文 献

- 1) 静岡県土木部, 御前崎港の港湾計画について 昭和44年3月
- 2) Yoshimi Goda, Hideaki Takeda and Yoshiichi Moriya: "Laboratory Investigation on Wave Transmission over Breakwaters" Report of the Port and Harbour Research Institute, No.13, April, 1967
- 3) Yoshimi Goda: "Re-analysis of Laboratory Data on Wave Transmission over Breakwaters" Report of the Port and Harbour Research Institute, vol. 8, No.3, 1969.
- 4) 合田良実, 吉村知司, 伊藤正彦, 島堤による反射および回折に関する研究, 港湾技術研究所報告10巻2号, 1971. 6.



港湾技研資料 No.134

1972・3

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 日青工業株式会社

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