港湾技術研究所報告

REPORT OF PORT AND HARBOUR TECHNICAL RESEARCH INSTITUTE MINISTRY OF TRANSPORTATION, JAPAN

第3巻 1号 Vol. 3 No. 1

カーテン防波堤とその特性について…………… 森平倫生，柿崎秀作 合田良実

1964年4月

運輸省港湾技術研究所

国土技術政策総合研究所 図書室 蔵書

目　　　次

ページ
第1章　カーテン防波堤の特性とその問題点……1
第2章　カーテン防波堤の理論的考察……2
　第1節　一 般 的 考 察……2
　第2節　防波効果に関する従来の研究……4
第3章　実験装置および実験方法……7
　第1節　実 験 装 置……7
　第2節　実 験 方 法……9
第4章　実験結果とその考察……11
　第1節　波の伝達率について……11
　第2節　波の打ち上り高について……13
　第3節　カーテン壁に作用する波力について……16
　第4節　波の反射率について……19
　第5節　エネルギーの保存係数について……21
第5章　カーテン防波堤の設計例……23
第6章　結　　論……24
　謝　　辞……24
　参 考 文 献……24
　付録Ⅰ　波のエネルギーの鉛直分布……24
　付録Ⅱ　主 要 記 号 表……26

カーテン防波堤とその特性について

森平倫生*，柿崎秀作*，合田良実**

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF A CURTAIN-WALL BREAKWATER

by Michio Morihira, Shusaku Kakizaki and Yoshimi Goda.

Synopsis

In this paper the characteristics of a "curtain-wall breakwater" which have been studied experimentally are presented.

A curtain-wall breakwater is composed of a thin vertical barrier extending from depth of -d to some height above the mean water level and of supporting piles. This type of breakwater is intended to reflect most of the wave energy which is concentrated near the surface with a partial barrier around the still water level. The transmission and reflection coefficients of a model breakwater have been determined experimentally as well as the height of wave crests at the barrier. A modified solution of Ursell's theory and Wiegel's calcuation for the transmission coefficient are compared with experimental ones, but the agreement is not good for both theories. It has been concluded in the experiment that this type of breakwater is most effective and practical in deep water region; the relative depth h/L of 0.2 may be taken as a lower limit for a curtain-wall breakwater to be practical.

The wave forces acting on the barrier were also measured in the experiment. These forces were about 60 per cent of the theoretical ones computed with a modified Sainflou formula for the pressure of standing waves.

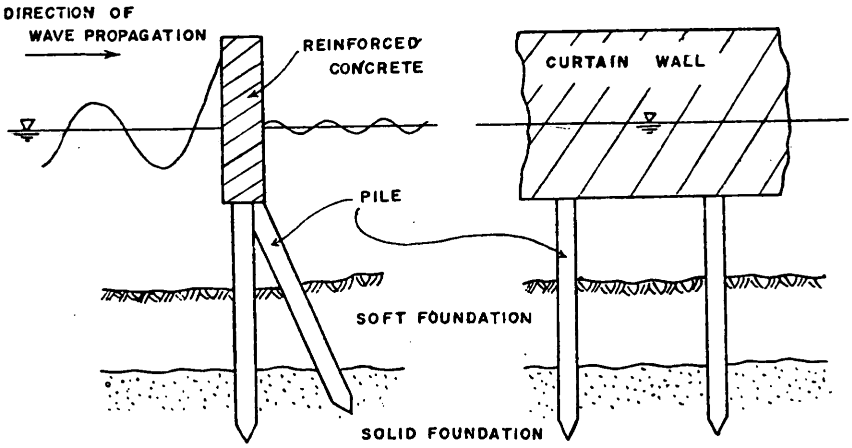
In addition, an example of a curtain-wall breakwater design is discussed.

第1章　カーテン防波堤の特性とその問題点

カーテン防波堤とは耳慣れない名称に違いない。これは図—1—1のように水面付近にだけ直立壁を設けた特殊な型の防波堤を，このように命名したものである***。しかし，このような防波堤の型式自身としては新らしいものではなく，既に清水港の折戸湾の貯木場波除堤として施工例（静岡県施工）があり，また名古屋港の稲永埠頭前に現在施工中（名古屋港管理組合）の波除堤もこの型式のものである。

このように底のあいた防波堤で本当に波を防ぎうるかどうかがまず第1の疑問点であろう。通常の防波堤であれば，混成堤にしろ，斜面堤にしろ基礎地盤から捨石，コンクリートブロック，あるいはケーソン等をつみあげて波を完全にくいとめるようにしてある。ところがこのカーテン防波堤では直立壁は水面付近にしかないのであるから，一見したところ波は壁の下を潜り抜けてしまうように思われる。しかし，波の性質を考えてみると表面でこそ水粒子の動きは激しいが，水面から下に潜るにつれて水粒子の動きは次第に小さくなる。特に波長の半分以上深いところでは，水の動きはほとんど零となる。したがつて水粒子の大きく動く水面付近に壁を作つてその動きを止めてやれば，壁の背後へ抜ける波を相当小さくおさえられることになる。ただし，水深に比べて波長の大きい長波の場合には水粒子の動きは水面から水底まで一様であるから，この場合にはあまり効果がないであろう。結局，問題はある水深と波長の条件の下で，特定の開口比に対する波高伝達率を定量的に求めることに帰着

* 水工部防波堤研究室
** 水工部模型試験課長
*** 水工部防波堤研究室長伊藤技官の命名による。



図—1—1　カーテン防波堤略図
Curtain-wall Breakwater

する。この波高伝達率，または壁の背後へ抜ける波の波高と入射波の波高の比を理論的および実験的に求めるのが本研究の第1の目的である。

また，実際の設計について考えてみると，まず直立壁に作用する波力を知らなければならない。直立壁の天端高を定めるには，波の打ち上げ高を知らなければならない。さらに防波堤前面のじょう乱の状況を把握するためにはカーテン防波堤の反射率を知る必要もある。こうした諸点について実験データを求め設計のための資料を見出すのが本研究の第2の目的である。

実際の設計施工での上でカーテン防波堤の大きな特徴は，重量がきわめて小さいことである。したがつて，海底地盤が軟弱であつても大規模な地盤改良工事を必要としないことで，清水港の例ではH—パイルを直立壁の支承として斜めに打ち込み若干の捨石マウンドを洗掘防止のために施工している程度である。このため通常の混成堤型式に比べて工費がかなり節約できることが多いであろう。特に地盤が悪いところほどこのカーテン防波堤が有利になるものと予想される。

一方，カーテン防波堤の設計で一番大きな問題となるのは作用する波力の大きさであろう。通常の防波堤のように自重で波力に抵抗するのでなく，波力は全て支持杭に伝えられるのであるから，支持杭の強度から考えて許容し得る波力の大きさが決まることになる。したがつて，大きな波高が来襲するような所にはまず不向きである。

こうした点を考慮すると，カーテン防波堤が最も適するのは大きな港の中の波除堤とか比較的静かな湾や入江で特に地盤の悪いような所の防波堤などであろう。これらの防波堤は，従来は防波効果に比して工費が嵩むなどの理由で建設を見合わせてきた例も多いものと考えられる。したがつて，カーテン防波堤の開発によつては経済効果が大きくなるものも出現しよう。こうした意味で本研究でとりあげたカーテン防波堤は将来有望な特殊防波堤であるといえる。

第2章　カーテン防波堤の理論的考察

第1節　一般的考察

カーテン防波堤の防波効果を考察する前に波の一般的性質，特にエネルギーの鉛直分布を考えてみよう。実際の海の波は周期も波高も不規則な波の集合で，波高も波長に比べてかなりの大きさを持つが，ここでは取り扱いを簡単にするため，および問題の本質を把握するために，波は波高の極めて小さい一定周期の正弦波であると考える。したがつてその波形は

$$\eta = \frac{H}{2} \sin (kx - \sigma t) \cdots\cdots (2.1)$$

で表わされる。ここに

η；静水面から測った水面の高さ

H；波　高

k；$2\pi/L$

L；波　長

σ；$2\pi/T$

T；周　期

x；水平座標

t；時　間

この波のもつエネルギーは一周期の平均として単位面積あたり次のようになる。

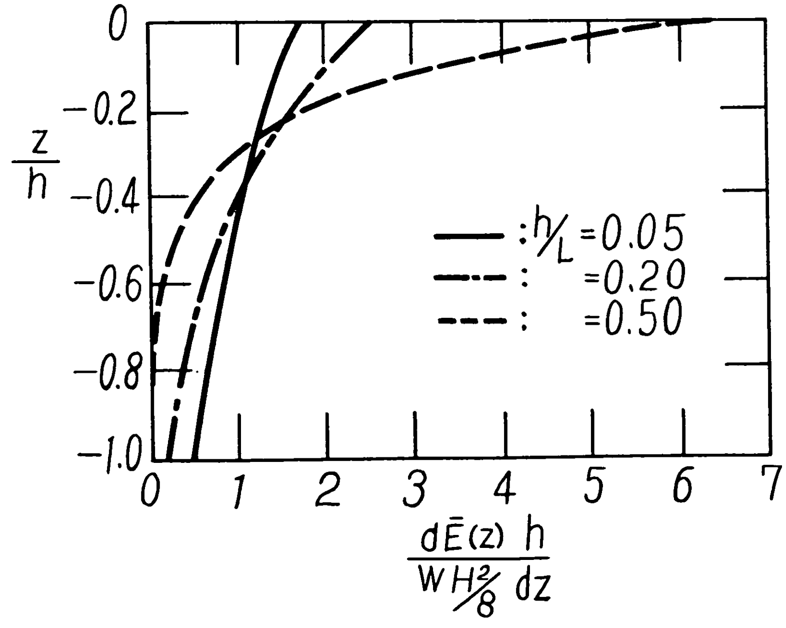
$$\bar{E} = \frac{w}{8} H^2 \cdots\cdots (2.2)$$

（幅Bの水路内の一波長あたりに含まれる波のエネルギーは $wH^2LB/8$ である。）

ここに w は水の単位体積重量である。このエネルギーは水面から水底までの水柱に含まれるものであるが，その分布は一様でなくて次式に示すような形になる。（この式の誘導については，付録1を参照されたい。）

$$d\bar{E}(z) = \frac{wkH^2}{16 \sinh kh} \left[\frac{\cosh 2k(z+h)}{\cosh kh} + \frac{\sinh 2k(z+h)}{\sinh kh} \right] dz \cdots\cdots (2.3)$$

この(2.3)式の深さ方向のエネルギー分布を水深波長比 h/L が0.05，0.2，0.5の3つの場合について計算して



図—2—1　波のエネルギーの鉛直分布
Vertical Wave Energy Distribution

みると図—2—1のようになる。図の縦軸は点の相対深さ z/h で横軸はエネルギー強度である。この図では各分布曲線ともその囲む面積が1となるように表示してある。この図をみると，浅海ではエネルギー分布は比較的一

様であるが，深海に近ずくにつれて（h/L が大きくなるにつれて）エネルギーが水面付近に集中してくる様子がよく分かる。

このように深海に近いところでは，波のエネルギーが水面付近に集中しているのであるから，このエネルギーが伝達されるのを防ぐために水面付近に壁を設ければ波を効果的に阻止できるわけで，これがカーテン防波堤の原理である。

しかし注意しなければならない点は，（2.2)式で示されるように波のエネルギーが波高の自乗に比例することである。このためエネルギーの90%が水面付近の壁で阻止されたとしても残りの10%のエネルギーが壁の背後へ伝達されると，そこでは入射波高の0.31倍($1/\sqrt{10}$) の伝達波高が生ずることになり，伝達波高を入射波高の$1/10$に抑えようとすると，入射波のエネルギーの99%までを喰い止めなければならない。このためカーテン防波堤で波高伝達率を 0.2程度以下に抑えることは非常に難かしいことになる。

つぎに壁の背後へ伝達される波と前方で反射される波の大きさであるが，もしカーテン防波堤のところでエネルギー損失がないとすれば，エネルギー保存の原理によつて入射波のエネルギーは伝達波と反射波のエネルギーの和でなければならない。すなわち，(2.2) 式から

$$\frac{wH_I^2}{2}=\frac{wH_T^2}{2}+\frac{wH_R^2}{2}\cdots\cdots\cdots\cdots(2.4)$$

または

$$H_T^2+H_R^2=H_I^2\cdots\cdots\cdots\cdots(2.5)$$

ここに

H_I ；入射波の波高

H_T ；伝達波の波高

H_R ；反射波の波高

である。もし伝達波と反射波の波高が正確に求められるならば，それが (2.5)式を満足しているかどうかを調べることによつてエネルギー損失を推定することができる。すなわち，エネルギー保存係数 K_C を導入すると ($0<K_C<1$)，(2.5)式は一般に

$$H_R^2+H_T^2=K_C\,H_I^2\cdots\cdots\cdots\cdots(2.6)$$

のようになる。ここで反射率 K_R，伝達率 K_T を H_R/H_I，H_T/H_I でそれぞれ定義すると，(2.6)式は，さらに

$$K_R^2+K_T^2=K_C\cdots\cdots\cdots\cdots(2.7)$$

となる。(2.7)式によれば，防波堤を設計する場合は伝達率は小さいほどよいわけで，反射率 K_R を大きくするかエネルギー保存係数 K_C を小さくすればよいわけである。

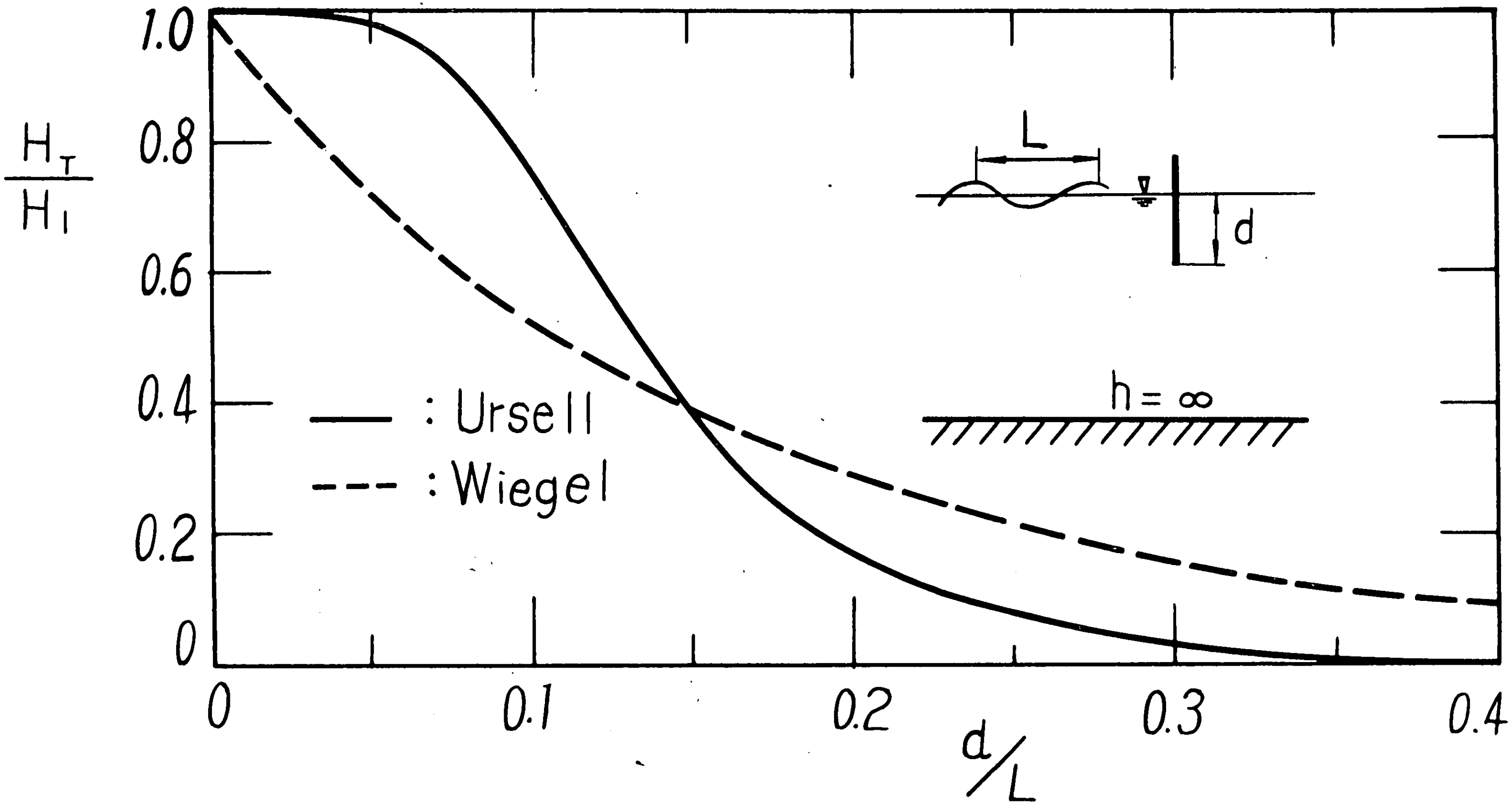
第2節　防波効果に関する従来の研究

カーテン防波堤と波の相互作用を理論的に解くことは極めて困難である。

水深が無限に深い深海波の場合については Ursell[1](1947) が静水面下 d まで拡がつた直立壁を設けたケースを解いて次のような結果を得ている。

$$\frac{H_T}{H_I}=\frac{K_1\left(2\pi\frac{d}{L}\right)}{\sqrt{\pi^2 I_1^2\left(2\pi\frac{d}{L}\right)+K_1^2\left(2\pi\frac{d}{L}\right)}}\cdots\cdots\cdots\cdots(2.8)$$

ここに，I_1，K_1はそれぞれ次数 1 の第 1 種および第 2 種変形ベッセル関数である。この結果を数値計算してみると図—2—2のような伝達率曲線が得られる。すなわち，$1/4$波長分だけ直立壁を伸ばすと伝達率は7.5%，$1/10$波長の場合は76.5%となる。伝達率を 0.2以下にするには波長の0.19倍だけ下方へ延ばさなければならない。



図—2—2　伝　達　率　曲　線
Transmission Coefficient Curve

一方水深が有限の場合はこれを厳密に解くことが非常に難かしいため Wiegel(2)(1960)はエネルギー伝達を考慮して次のような算定式を導びいている。

$$\frac{H_T}{H_I}=\sqrt{\frac{2k(h-d)+\sin 2k(h-d)}{2kd+\sinh 2kh}} \cdots\cdots(2.9)$$

この式は進行波のエネルギーの内，壁から下の部分のエネルギーだけが壁の背後へ伝達されるものとして進行波の圧力と粒子速度を使つて計算したものである。(Wiegel は積分の近似値としてベッセル関数を使いその第一次項を取つて上記の式を導びいているが，同じ結果を双曲線関数の定積分を使つて求めることができる。)したがつて，この式は厳密な理論解ではないが，工学的な見地からは有用な算定式ということができる。 Wiegel は簡単な実験を行なつて，その結果が計算値と定性的に良く一致すると述べている。

ここで興味のあるのは Wiegel の計算式と，Ursell の理論式の比較である。Wiegel の導びいた(2.9)式は特に水深の条件はないので深海波の場合を考えると

$$\sinh kh \fallingdotseq \frac{e^{kh}}{2} \gg kh$$

であるから，(2.9)式は次のように簡略化される。

$$\frac{H_T}{H_I} \simeq \sqrt{\frac{\sinh 2k(h-d)}{\sinh 2kh}} \simeq \sqrt{\frac{e^{2kh}\,e^{-2kd}}{e^{2kh}}}=e^{-kd} \cdots\cdots(2.9)'$$

図—2—2にみるように(2.9)′式の値は Ursell の理論値に比べて d/L の小さいときは過小の伝達率を与え d/L が大きくなると大き目の伝達率を示す傾向にある。両者の差は最大で20%を越えており，これから類推して Wiegel の計算式は波高伝達率で 0.2 程度の誤差を含むものと考えられよう。

また，図—2—3 は Wiegel による(2.9)式と Ursell の理論値を修正した計算値について波高伝達率 H_T/H_I と d/h の関係を水深波長比 h/L をパラメーターとして示している。この修正方法は次の通りである。例えば水深波長比 $h/L=0.2$ の場合について $d/h=0.6$ の時の H_T/H_I を求めるには，まず，$d/L=d/h\times h/L=0.12$ を求めて，これに対する深海波の H_T/H_I を図—2—2から0.60と読み取る。次に $h/L=0.2$ に対する深海波の H_T/H_Iを読みとる。これは0.17である。しかし，$d/h=1.0$の時は $H_T/H_I=0$ でなければならぬから，これに対する補正を

$$\frac{H_T}{H_I}=\frac{0.60-0.17}{1-0.17}=\frac{0.43}{0.83}=0.52$$

とするのが適当である。一般的には

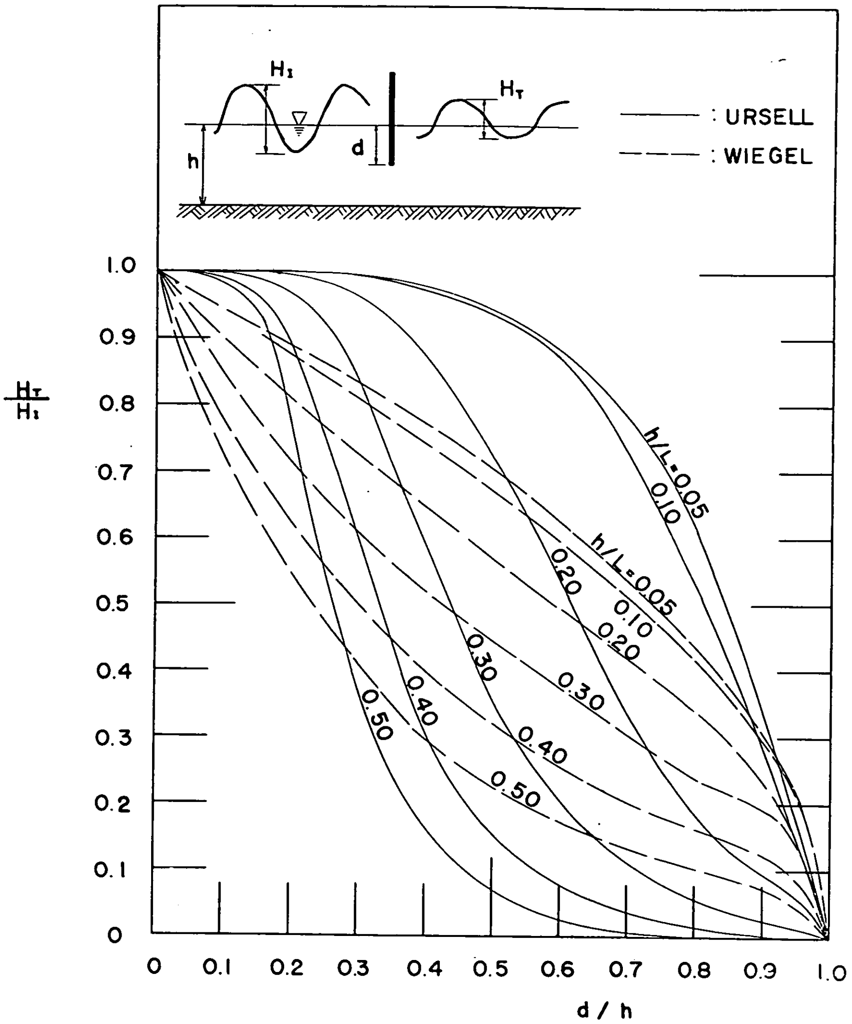
$$\frac{H_T}{H_I}=\frac{F(d/L)-F(h/L)}{1-F(h/L)} \cdots\cdots(2.10)$$

となる。ここに

$$F(x)=\frac{K_1(2\pi x)}{\sqrt{\pi^2 I_1^2(2\pi x)+K_1^2(2\pi x)}}$$

である。

カーテン防波堤の静水面下の深さが小さいときは (d/h が小さいとき)，Wiegel による伝達率は (2.10)式による Ursell の修正値より小さく，逆に d/h が大きいときは，すなわち静水面下の深さが大きいときは，Wiegel による伝達率が大きくなる傾向がある。



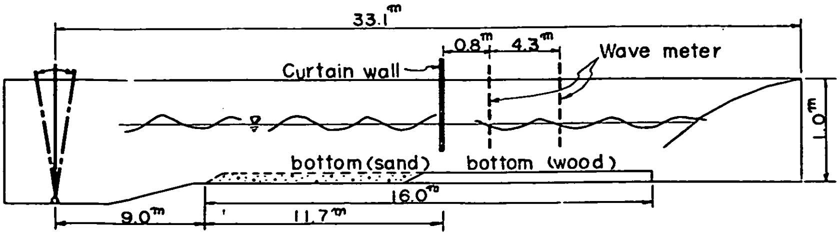
図—2—3　伝 達 率 と d/h の 関 係

Relation between the Transmisson Coefficient and d/h

第3章　実験装置および方法

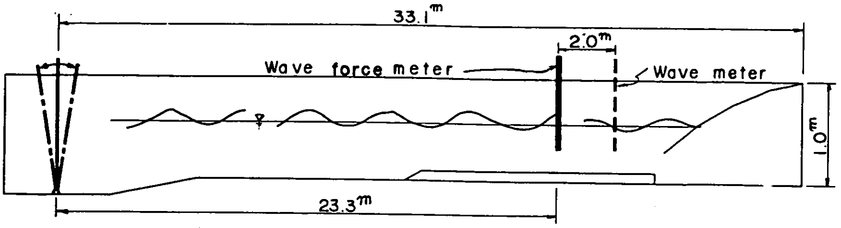
第1節　実　験　装　置

実験に使用した造波水路は，長さ33.1m，幅0.5m，深さ0.9mで，一端にフラップ型造波装置を有する。図—3—1～2に示すように海底は造波板から9m～19m間は砂および小砂利の水平床とし，19m～25.8m間は木板製水平床としている。この造波水路の最大発生波高は約30cmであり，発生波周期は0.5sec～4.0secである。



図—3—1　伝達率，反射率，波の打上り高測定実験

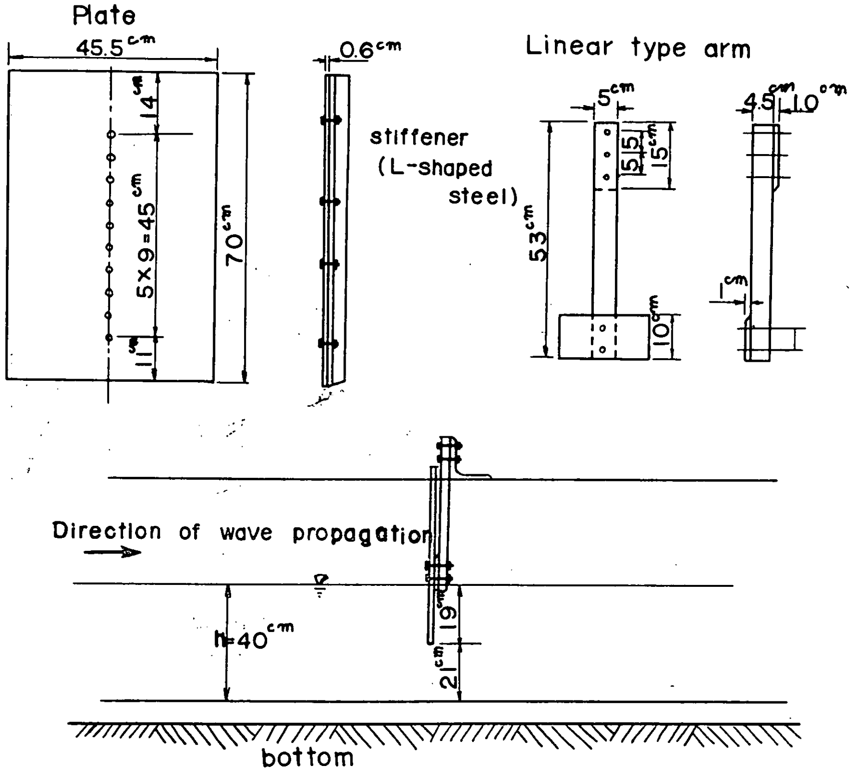
Experiment of the Transmission and the Reflection Coefficient, the Height of Wave Run-Up.



図—3—2　波　力　測　定　実　験
Experiment of Wave Force Measurement

波高測定は専らニツケル線による抵抗線波高計を用い，入射波高と伝達波高の測定を行なつた。

波力は造波板から23.3mの所に図—3—3に示す鋼板を直線型アームにとりつけ，直線型アームに張りつけられたゲージ間のモーメントの差により算定を行なつた。記録は電磁オツシログラフに自記させた。



図—3—3　模　型　カ　ー　テ　ン　壁
Model of Curtain-Wall

この波力測定装置の原理はつぎのとおりである[3]。すなわち，図—3—4に示すように直線型アームの上部は支承に固定され，水平部の一端に物体が吊されている。

波力 F および揚圧力 U によつて鉛直アーム上の２点A，B に生ずる曲げモーメントをそれぞれM_A，M_Bとすると

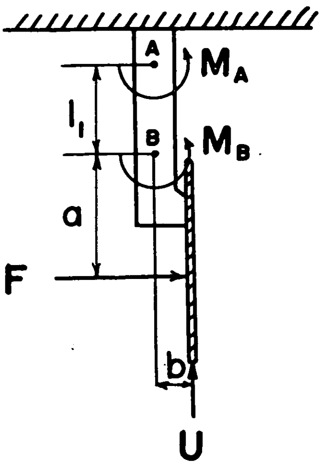
$$M_A=F(l_1+a)+Ub$$

$$M_B=Fa+Ub$$

であるから，その差は

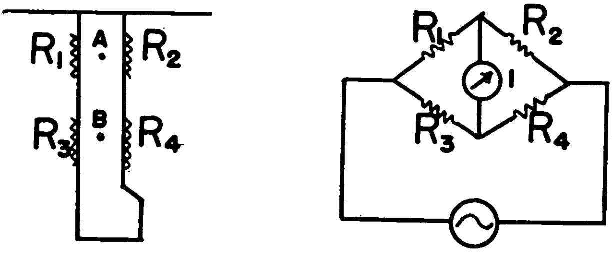
$$M_A-M_B=Fl_1 \cdots\cdots\cdots (3.1)$$

となる。すなわち，揚圧力による曲げモーメントは互いに消し合つて波力 F に比例した分だけが残るわけである。



図—3—4　波力測定の原理
Principle of Wave Force Measurement

2点間の曲げモーメントの差を求めるには，各点の表裏にワイヤーストレインゲージをはりつけ図—3—5に示すようなブリッジ回路を構成すればよい。



図—3—5　ブリッジ回路図
Bridge circuit

すなわち，外力によつて生ずるゲージの抵抗変化は

$$\left.\begin{aligned}\frac{\varDelta R_1}{R_1}&=\frac{\lambda}{E}\left(-\frac{U}{A}+\frac{M_A}{W}\right)\\\frac{\varDelta R_2}{R_2}&=\frac{\lambda}{E}\left(-\frac{U}{A}-\frac{M_A}{W}\right)\\\frac{\varDelta R_3}{R_3}&=\frac{\lambda}{E}\left(-\frac{U}{A}+\frac{M_B}{W}\right)\\\frac{\varDelta R_4}{R_4}&=\frac{\lambda}{E}\left(-\frac{U}{A}-\frac{M_B}{W}\right)\end{aligned}\right\}\cdots\cdots(3.2)$$

ここに

λ；ゲージ率

E；ヤング率

A；断 面 積

W；断面係数

であり，このときの不平衡電流は

$$I\propto E_0\frac{(R_1+\varDelta R_1)\ (R_4+\varDelta R_4)-(R_2+\varDelta R_2)\ (R_3+\varDelta R_3)}{(R_1+R_2)\ (R_3+R_4)}$$

であるから，結局

$$I\ \propto\ \frac{2\lambda l_1}{EW}F\cdots\cdots(3.3)$$

となつて波力Fに比例する出力電流をとり出すことができる。

直線型アームは断面5 cm× 3 cm，長さ53cmの角鋼を用いた。(図—3—3参照)

模型カーテン壁として使用した鋼板は図—3—3に示した如く，幅45.5cm，長さ70cm，厚さ 0.6cmで，2本のボールトで直線型アームに締結される。この取付孔は，海底とカーテン壁下端間の開きを変化させるように壁を5cmごとに自由に上下できるようにしてある。また，波力による板のタワミを減少させるため板背後に2本の山型鋼 (40×40× 5) がとりつけられている。

第2節　実 験 方 法

実験は2つの実験からなり，第1の実験は主として伝達波高，波の打上り高，反射率の測定実験であり (図—3—1 参照)，第2の実験は主としてカーテン壁に作用する波力測定実験である (図—3—2 参照)。すべての実験

を通じて水深は40cmに固定し，現象を簡単にするため波はすべて砕波しない波に限定した。

(1) 伝達波高および反射率，波の打上り高測定実験

カーテン壁を設置する前にカーテン壁設置位置における進行波（入射波）の波高の測定を行ない，カーテン壁設置後，伝達波高および反射率の測定を行なつた。カーテン壁と水路側壁間のすき間から波のエネルギーが背後に伝達されるのを防ぐため，このすき間にパテをつめ完全にエネルギー伝達がないようにした。カーテン壁と海底間の開口部からの伝達波高は背後約1mと5mの点に抵抗線波高計を設置して測定を行ない，電磁オツシログラフの記録から平均伝達波高を決定した。反射率はカーテン壁からほぼ½波長または1波長の距離にある地点で最大波高 Hmax を，同じくほぼ¼波長または¾波長の距離にある地点で最小波高 Hmin を測定し，次に述べる方法により算定した。波のカーテン壁への打ち上り高は静水面からの高さRをスケールにより測定した。これらの測定はすべて原則として反射波が造波板から再び反射されて波を歪める前に行なわれた。

水路内の部分重複波は同一波長，同一周期からなる互いに反対方向に進行する進行波を重ね合わせることにより得られるものと考えることができる。すなわち，部分重複波は次のように表わされる。

$$\eta = A_I\cos(kx-\sigma t)+A_R\cos(kx+\sigma t+\theta) \cdots\cdots(3.1)$$

ここに， η ；静水面からの水面の高まり

A_I ；入射波の振幅

A_R ；反射波の振幅

θ ；位　相　角

である。η が任意の位置において極値をとる時間は

$$t = \frac{1}{\sigma}\tan^{-1}\frac{A_I\cos kx + A_R\cos(kx+\theta)}{A_I\sin kx - A_R\sin(kx+\theta)}$$

であるから，これを(3.1) 式に代入して，各位置における振幅を求めると

$$a = \left[A_I^2+A_R^2-2A_IA_R\cos(2kx+\theta)\right]^{1/2} \cdots\cdots(3.2)$$

となり，(3.2)式は$\cos(2kx+\theta)=-1$ のとき，すなわち，位相角を完全反射の場合と同じくπとすれば反射地点($x=0$) から $nL/2$ の点で最大値

$$a_{max}=|A_I+A_R| \cdots\cdots(3.3)$$

をもち，$\cos(2kx+\theta)=+1$ のとき，すなわち，反射地点から $(2n-1)L/4$ の点で最小値

$$a_{min}=|A_I-A_R| \cdots\cdots(3.4)$$

をもつ。ここにnは正の整数である。(3.3) (3.4) 式より入射波と反射波の振幅は

$$A_I = \frac{a_{max}+a_{min}}{2}$$

$$A_R = \frac{a_{max}-a_{min}}{2}$$

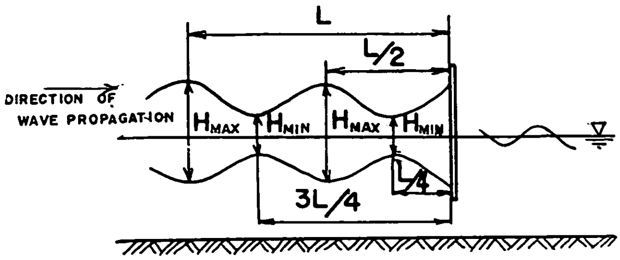
となり，入射波高，反射波高はつぎのようになる。

$$\left.\begin{aligned} \text{入射波高}\ H_I &= \frac{H_{max}+H_{min}}{2} \\ \text{反射波高}\ H_R &= \frac{H_{max}-H_{min}}{2} \end{aligned}\right\} \cdots\cdots(3.5)$$

反射率は入射波高と反射波高の比であるから

$$K_R = \frac{H_R}{H_I} = \frac{H_{max}-H_{min}}{H_{max}+H_{min}} \cdots\cdots(3.6)$$

H_{max} と H_{min} は図—3—6の様に表われるから，あらかじめ波長を知つておけば測定しやすい。



図—3—6　反射率測定図
Measurement of the Reflection Coefficient

本実験においては H_{max}, H_{min} はそれぞれ2点でスケールにより測定しそれらの平均値で反射率の計算を行なつた。実験ケースは波が砕波せず，しかも水深波長比が浅海波限界である0.05から深海波限界 0.5の間になるようつぎに示すものを採用した。

(2) 波力測定実験

(1)と同様に入射波高の測定を行ない，つづ

d/h ＼ T	1.1 *sec*	1.6 *sec*	2.2 *sec*	2.7 *sec*
1.0			$H=$ 2.8cm〜16.0cm 9 種類	
0.725	$H=$ 3.7cm〜13.2cm 5 種類	$H=$ 2.8cm〜15.5cm 7 種類	$H=$ 1.5cm〜16.0cm 10 種類	$H=$ 1.8cm〜14.8cm 10 種類
0.475	$H=$ 6.3cm〜11.7cm 2 種類	$H=$ 5.8cm〜15.2cm 3 種類	$H=$ 2.8cm〜16.0cm 5 種類	$H=$ 3.5cm〜14.8cm 5 種類
0.225	同上	同上	同上	同上
0	同上	同上	同上	同上

いてカーテン壁を設置して波力の測定を行なつた。カーテン壁と水路の側壁あるいは海底と接触すると正確な波力の測定ができないため，現象を歪めない程度に僅かの間隙を残すよう注意した。実験ケースは(1)と同様の見地からつぎに示すものを採用した。

波　高； 5 *cm*,　10*cm*,　15*cm*

周　期； 1.1*sec*, 2.2*sec*, 3.16*sec*

カーテン壁の静水面下の深さ（d）； 0 *cm*, 9 *cm*, 19*cm*, 29*cm*, 39.4*cm*

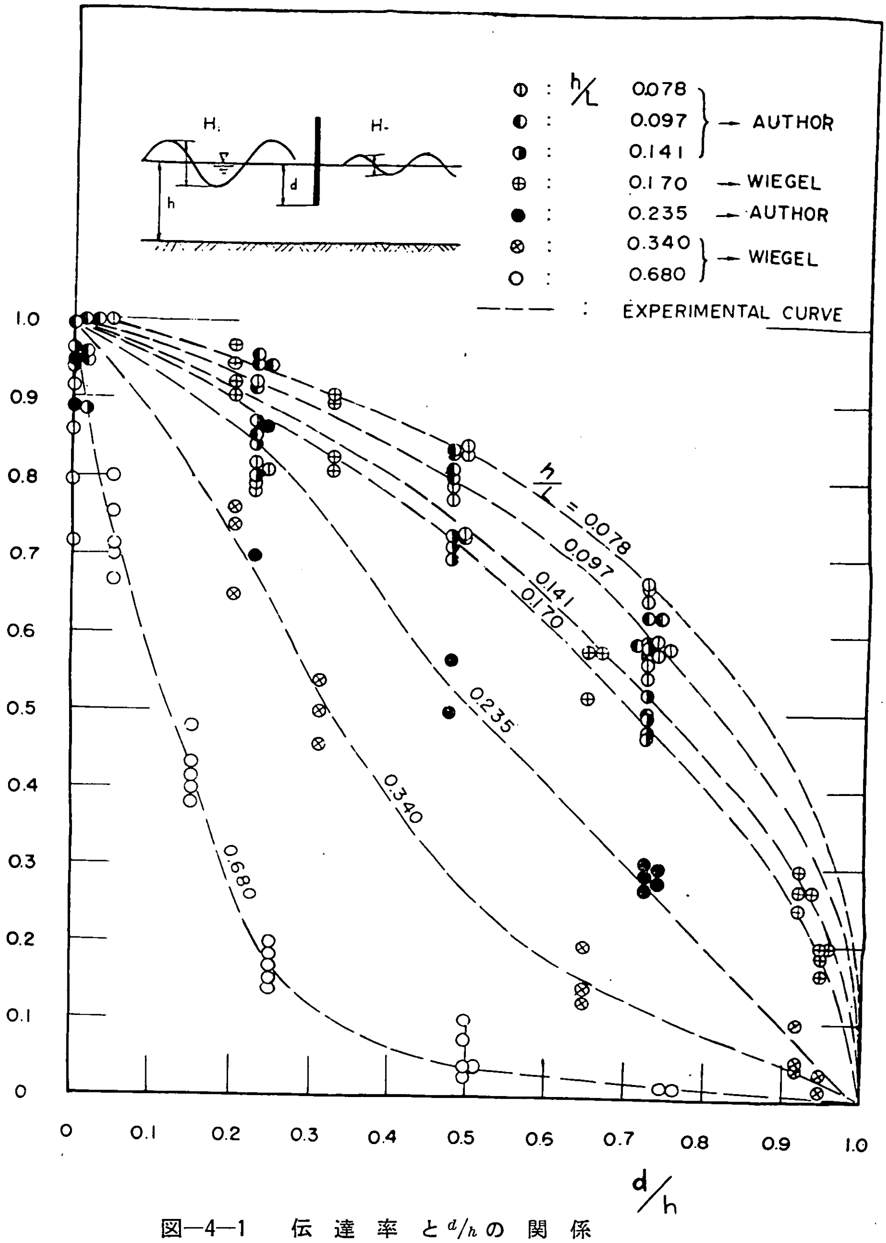
波力記録曲線はすでに述べたように電磁オッシログラフに記録させ，カーテン壁からの反射波が再び造波板から反射して波を歪める前の記録から読みとりを行なつた。また同時に伝達波高をカーテン壁背後 2 mの点においてスケールにより測定し，反射率の測定もあわせて行なつた。

第4章　実験結果とその考察

第1節　波の伝達率について

図—4—1は波の伝達率 H_T/H_I の実測値と d/h の関係を水深波長比 h/L をパラメーターとして示したものである。この図には Wiegel の実験結果もあわせて示している。伝達率は水深波長比が大きくなるにつれて同じカーテン壁の静水面下の深さに対して小さくなる傾向にある。例えば伝達波高を入射波高の½にしようとすれば $h/L=$ 0.68のときは，静水面下の深さ d/h は0.12でよく，$h/L=$0.097のときは0.82と非常に大きく，ほとんど海底近くまで壁を設置しないと目的を達成することはできない。$h/L=$0.235のときは，カーテン壁をほぼ水深の½の所まで設ければ伝達波高を入射波高の½にすることができる。これらの事実から，カーテン防波堤は浅海波領域* に

は不向きで少なくとも $^h/_L$ が 0.2 程度より大きい中間領域*から深海波領域*に適するものということができる。



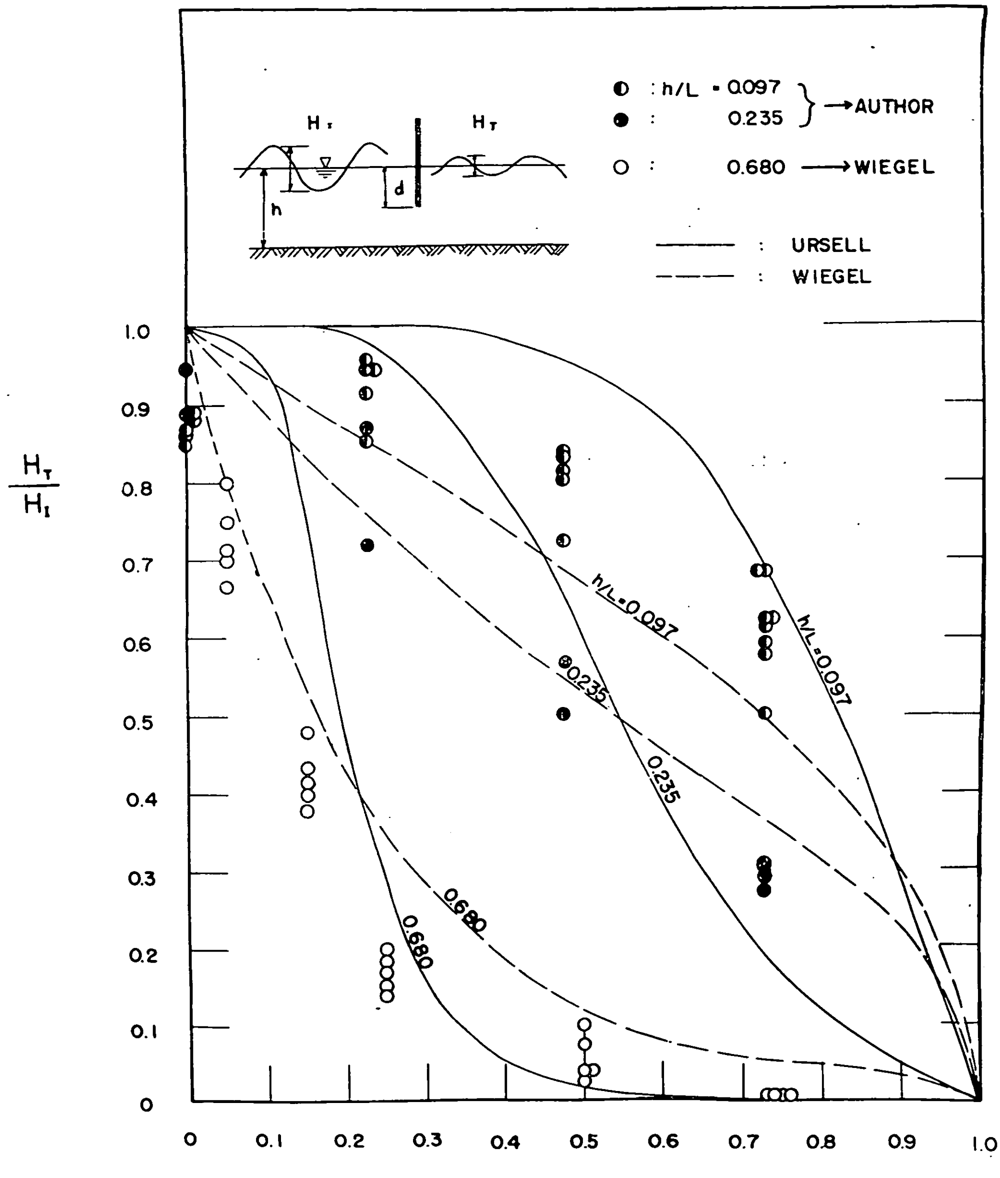
図—4—1　伝 達 率 と $^d/_h$ の 関 係

Relation between the Transmission Coefficient and $^d/_h$

図—4—2は $^h/_L$=0.68, 0.235, 0.097の 3 ケースについて H_T/H_I と $^d/_h$ の関係を実験値，Wiegel の計算値および Ursell の修正値について比較したものである。Wiegel の計算値は水深波長比が小さいと ($^h/_L$=0.097)過小の値を与え，逆に大きいと ($^h/_L$=0.68) 過大の値を与え，Ursell の修正値はカーテン壁の静水面下の深さが大きい部分では過小の値を与え，逆に深さの小さい部分では過大の値を与えるようである。さきに述べたようにカーテン防波堤の防波効果の関係から，この建設可能な条件は水深波長比が 0.2 程度より大きい場所と考えられる

* 浅海波領域； $^h/_L$ ＜ 0.05
中 間 領 域； 0.05 ＜ $^h/_L$ ＜ 0.5
深海波領域； $^h/_L$ ＞ 0.5

ので，実際の設計にあたつては 図—4—1 の実験曲線を使用すればよい。しかしながら実際上問題となるのは伝



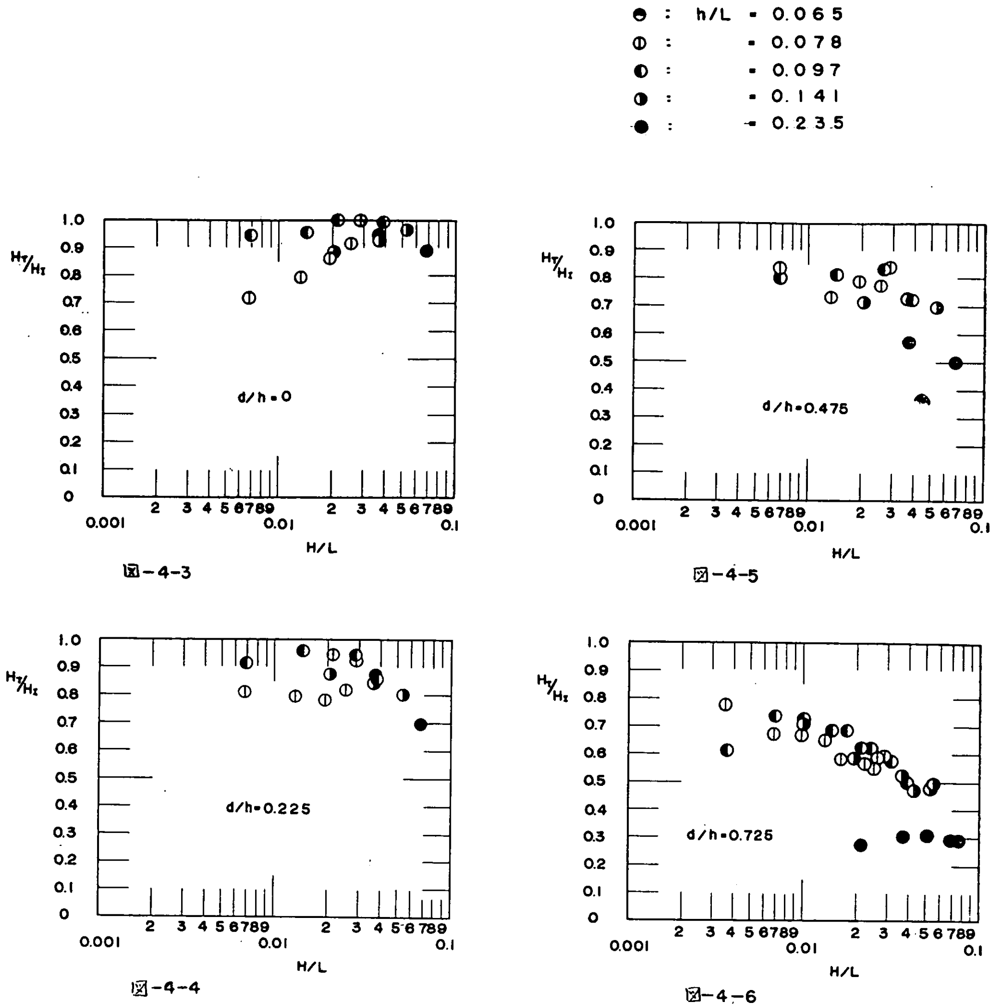
図—4—2　伝　達　率　と $^d/_h$ の　関　係
Relation between the Transmission Coefficient and d/h

達率が½以下でしかもカーテン壁の静水面からの深さが½程度より小さい場合であると考えられるので，この範囲内でよく実験値と一致する Ursell の修正曲線を使用するか内挿法により実験曲線を使用すれば十分である。

伝達率 H_T/H_I と波形勾配 H/L の関係を $^d/_h$ ごとに水深波長比 $^h/_L$ をパラメーターに図—4—3〜6 に示している。伝達率 H_T/H_I は $^d/_h=0$ のケースをのぞけば波形勾配が大きくなるにつれて減少する傾向にあるが，波形勾配による伝達率の変動はあまり大きいものではない。

第2節　波の打ち上り高について

図—4—7〜11に波の打ち上り高 $^R/_H$ と波形勾配 $^H/_L$ の関係を $^d/_h$ ごとに $^h/_L$ をパラメーターとして示している。打ち上り高は波形勾配 $^H/_L$ が大きくなれば大きくなる傾向にあり，この実験の範囲内では波の打ち上り高



図—4—3～6　波高伝達率と波形勾配の関係

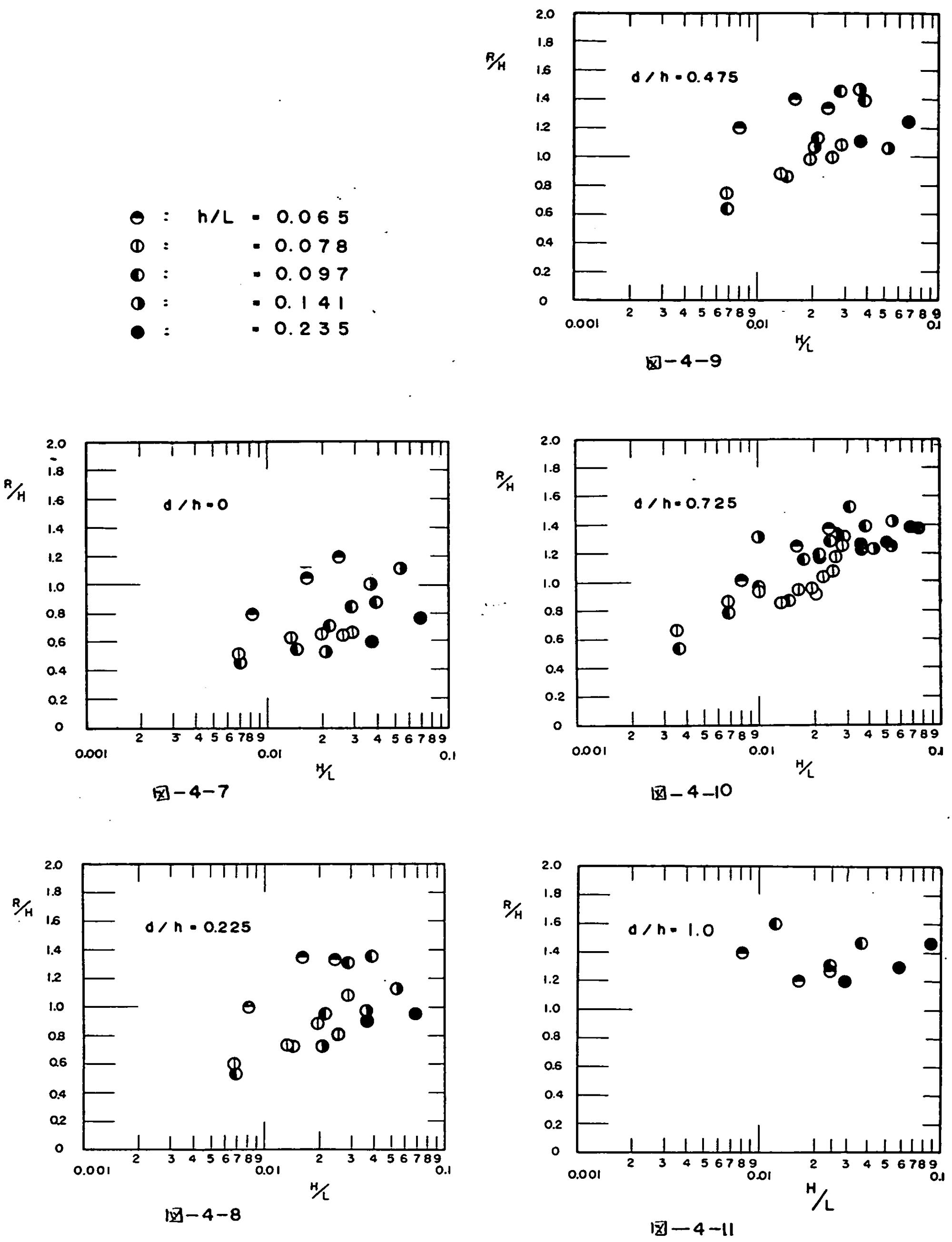
Relation between the Transmission Coefficient and the Wave Steepness

の最大値はつぎのようになる。

d/h =1.0	のとき	$(R/H)_{max}$=1.60
=0.725	〃	=1.52
=0.475	〃	=1.47
=0.225	〃	=1.35
=0	〃	=1.20

図—4—12はこの $(R/H)_{max}$ と d/h の関係ならびに水深波長比 h/L=0.235に対する R/H と d/h の関係を示したものである。

潮位および波高が与えられたとき，越波を阻止する（しぶきは許容するが波の実質部分は越えない）に必要な護岸等の天端高については，港湾局海岸研究会により，過去の実験結果や現地の実例に徴して作成した方法が提案されている[4]。これによれば砕波点より沖側に建設される構造物の天端高は静水面上+1.25Hである。水理公式集[5]によれば，強力な水平力を有する越波を阻止するための限界高は0.5H～0.75H であり，壁体をこえる水

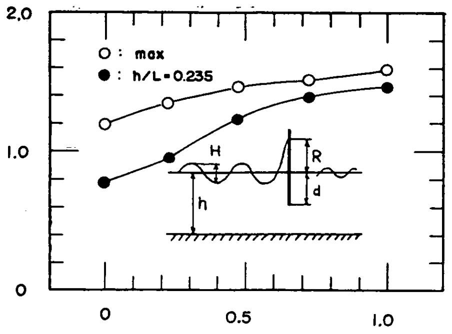


図—4—7～11　波の打ち上り高と波形勾配との関係

Relation between the Height of Wave Run-up and the Wave Steepness

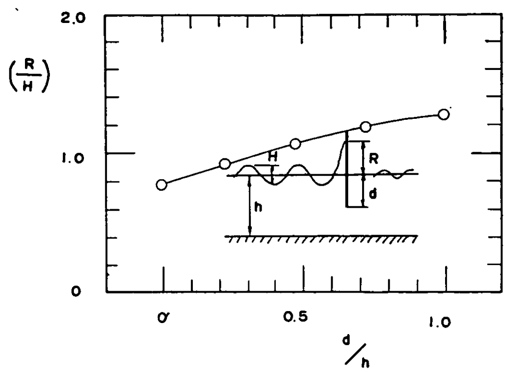
量を完全に阻止するための限界高としては 1.5H～2.0Hを必要とすることが述べられている。

図—4—12 の曲線は完全にしぶきも含めた越波を阻止する高さを示すものであり，防波堤の目的からして越波による港内のじょう乱はある程度までは許容できることから，$d/h=1.0$ のときの $R/\bar{H}$ を1.25Hとし，$(R/H)_{max}$ 曲線にほぼ平行な曲線を描き，これを天端高算定曲線としてもさしつかえないものと考えられる。図—4—13 にこのカーテン防波堤天端高算定曲線を示す。



図—4—12　カーテン壁への波の打ち上り高と d/h の関係

Relation between the Height of Wave Run-Up to the Curtain-Wall and d/h



図—4—13　カーテン壁への波の打ち上り高と d/h の関係(カーテン防波堤の天端高算定曲線)

The crown Height of a Curtain-Wall breakwater

第3節　カーテン壁に作用する波力について

カーテン防波堤に作用する全波力 P は，防波堤の幅 B，波高 H，防波壁の静水面下の深さ d，水の単位体積重量 w 等に関係するので，これを無次元量 $P/wBH(d+H/2)$ の形に表示して d/h との関係を調べると図—4—14～16のようになる。これらの図は h/L ごとに H/h をパラメータにして示したものである。

$P/wBH(d+H/2)$ はカーテン壁の静水面からの深さ d が零のケースとほぼ海底まで拡がつたケース ($d/h \doteqdot 0.99$) をのぞけば波高水深比 H/h に関係なく水深波長比 h/L により一義的に決定されるようである。

図—4—17～21は実測波力 P と Sainflow 公式による波力 Ps の比と水深波長比 h/L の関係を H/h をパラメーターに d/h ごとに示したものである。ここで，カーテン防波堤の下端と海底間が開いている場合の Sainflou 公式による波力は，カーテン壁が海底に達しているとしたときの波圧分布からカーテン壁下端以深に作用している波圧分布を差し引いたものを用いた。すなわち図—4—22より p_3 を計算し $ABCD$ をもつてカーテン壁に作用する Sainflou 波力とした。

図において

$$p_1=(p_2+wh)\left(\frac{H+\delta_0}{H+\delta_0+h}\right)$$

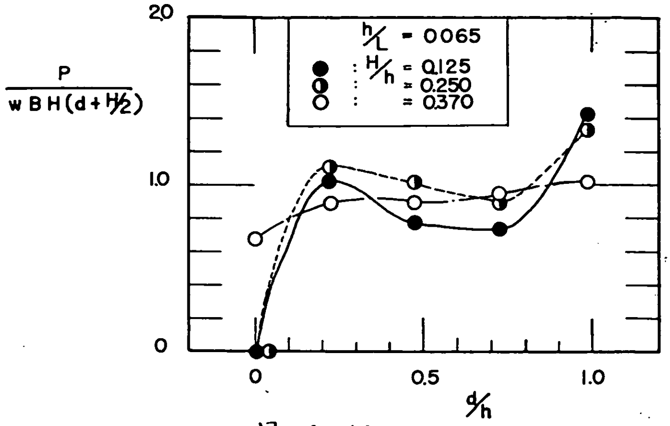
$$p_2=\frac{wH}{cosh\ 2\pi h/L}$$

$$\delta_0=\frac{\pi H^2}{L}\ coth\ \frac{2\pi h}{L}$$

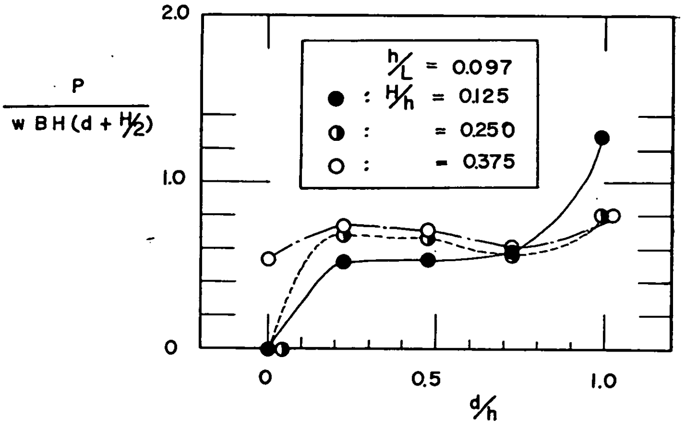
である。

P/Ps は水深波長比が 0.1 より小さくなるとすべての d/h について増加する傾向にあり，特に $d/h \doteqdot 0.99$ のケースでは (完全な壁面に近い状態である) Sainflou 公式による波力よりも大きい波力がカーテン壁に作用することを示している。図—4—23[6]はアメリカの W.E.S. と土研の実験結果であり，実測波力による転倒モーメントと Sainflou 公式による計算値の比を示しているが，この図によつても水深波長比が 0.1 より小さい場合は Sainflou 公式による計算値よりも大きい波力が作用するものとしなければならないことが示されている。

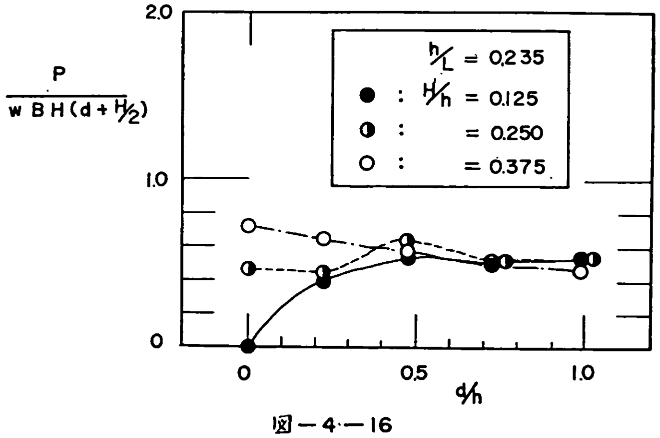
カーテン壁と海底間が開いている場合は，本実験の範囲内では P/Ps は 1 よりも小さく，水深波長比が 0.1 よりも大きい場合はほぼ0.6～0.4程度である。第4.1節に示した如く，カーテン防波堤の効果が十分に表われるのは水深波長比がほぼ 0.2程度より大きい中間領域から深海領域にあることから，カーテン防波堤に作用する波力としては図—4—22に示した方法で計算される波力を用いれば十分安全側である。



図－4－14



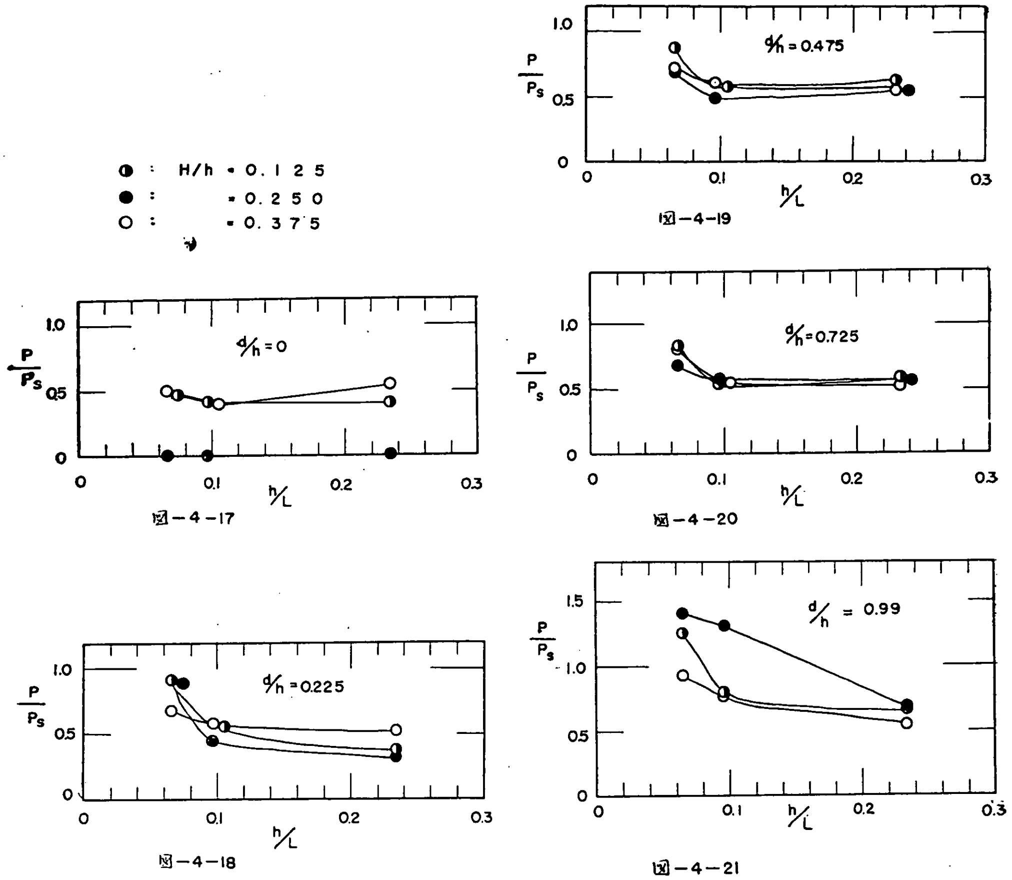
図－4－15



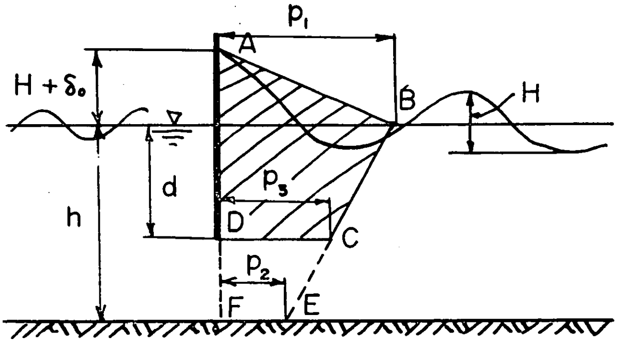
図－4－16

図—4—14～16　無次元波力と d/h の関係

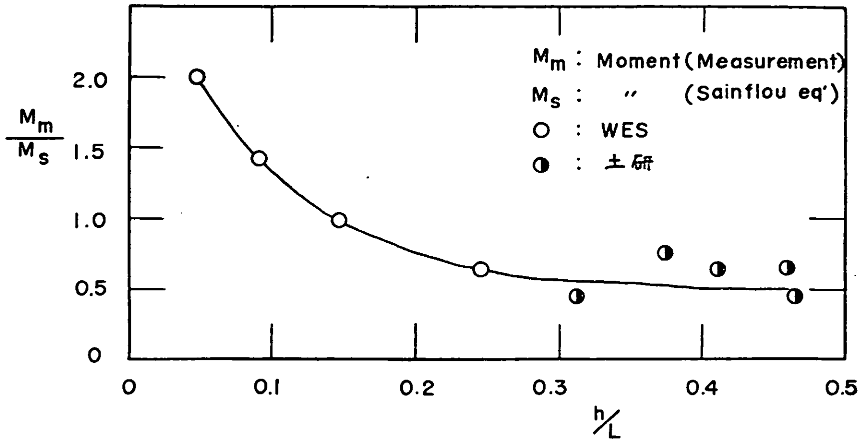
Relation between non-dimenssional wave force and d/h



図—4—17—21　実測波力と **Sainflou** 波力の比
Ratio of the Actual Wave Force to Sainflou's Wave force



図—4—22　**Sainflou** の 波 圧 分 布
Wave Pressure Distribution by Sainflou



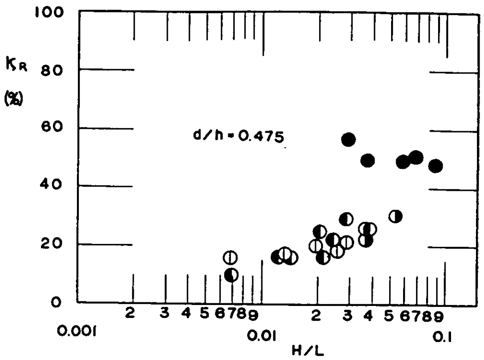
図—4—23　実測波力による転倒モーメントと Sainflou 式による計算値の比

Ratio of Overturning Moment by Actual Wave Force to Those by Sainflou's formula

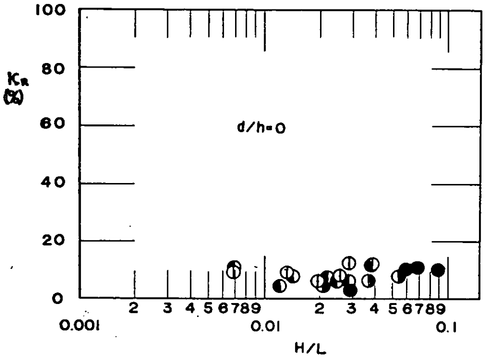
第４節　波の反射率について

実験で測定された反射率 H_R/H_I と波形勾配 H/L の関係を d/h ごとに h/L をパラメーターに図—4—24〜28に示している。反射率は水深波長比の減少にともない減少する傾向にあり水深波長比の小さい波ほどカーテン壁背後に伝達しやすいことを示している。カーテン壁が海底まで達しているケースに限つて波形勾配の増大にともない反射率は減少する傾向がある。図—4—29は水深波長比 h/L=0.235と0.097の２ケースについて反射率と d/h の関係を示したものである。この図によれば h/L=0.2 程度であつてカーテン壁を水深の半分のところまで建設するとすれば50〜60%の反射波が生ずるものと考えられる。

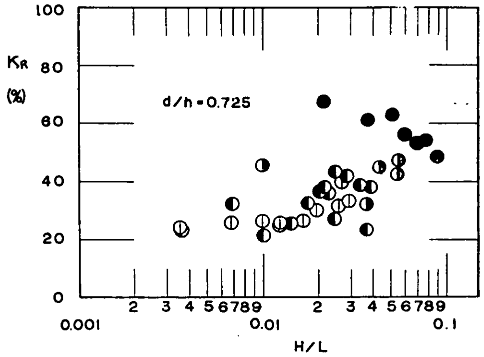
⊖ : h/L = 0.065
⦶ : = 0.078
◐ : = 0.097
◑ : = 0.141
● : = 0.235



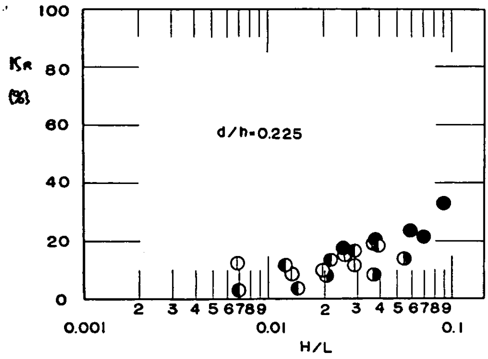
図−4−26



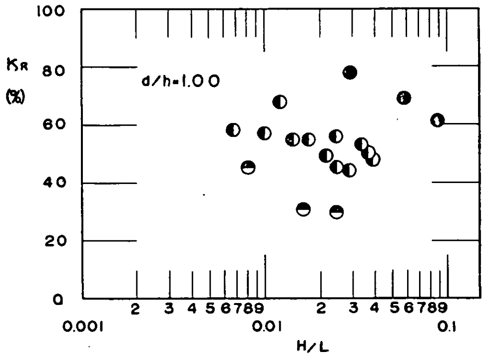
図−4−24



図−4−27

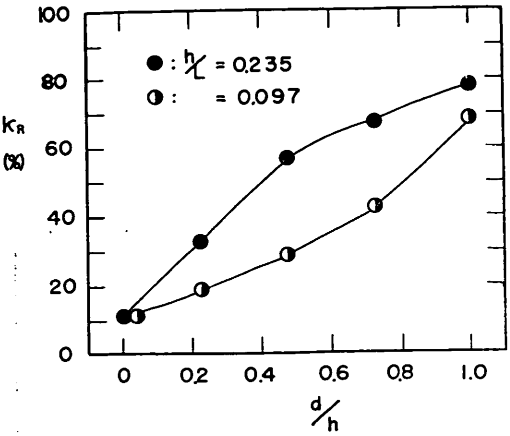


図−4−25

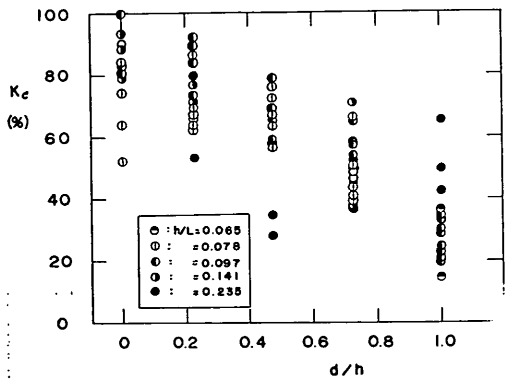


図−4−28

図—4—24～28　反射率と波形勾配の関係
Relation between the Reflection Coefficient and the Wave Steepness



図—4—29　反射率と $^d/_h$ の関係
Relation between the Reflection Coefficient and d/h



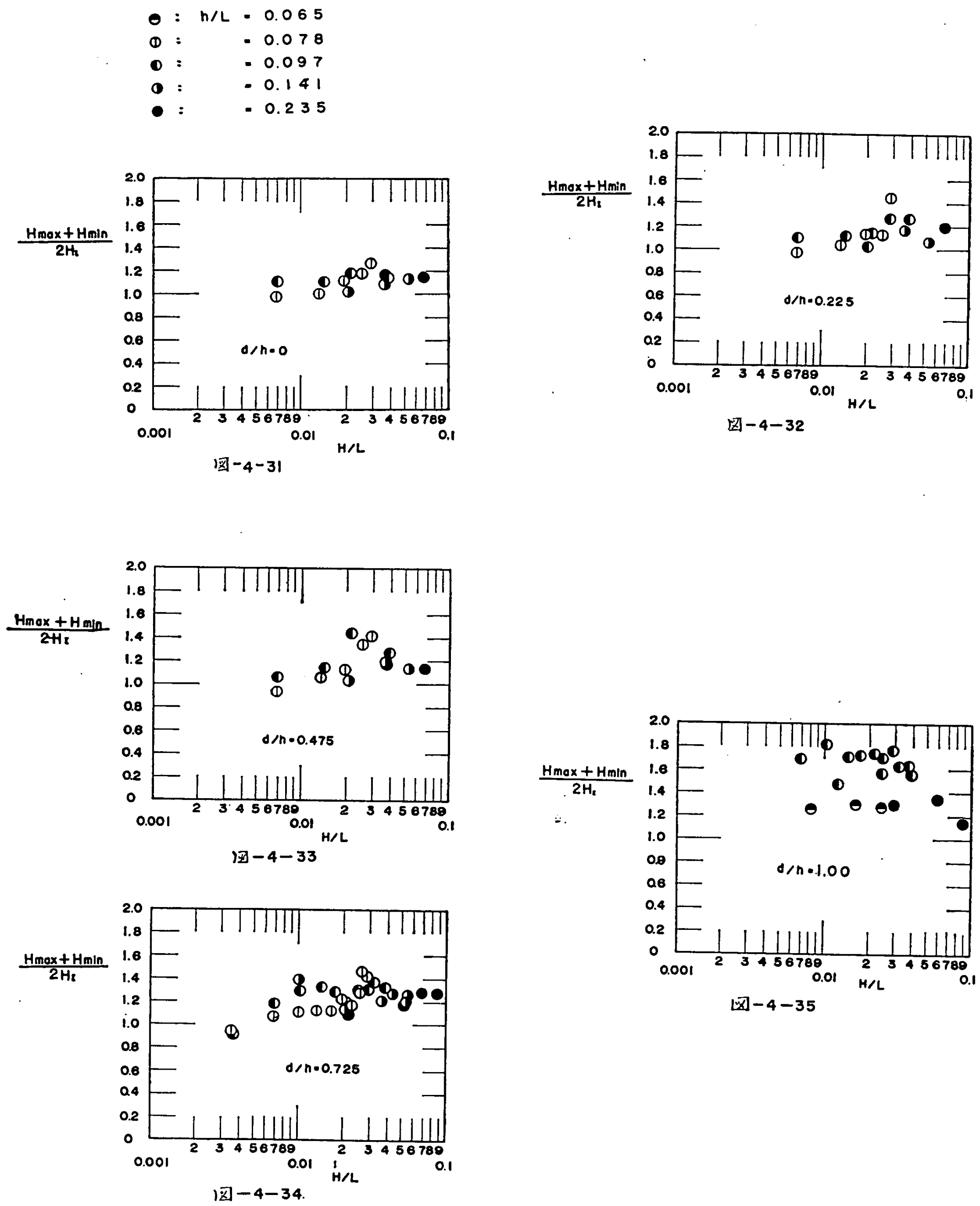
図—4—30　エネルギー保存係数と $^d/_h$ の関係
Relation between the Energy Conservation Cefficient and d/h

第5節　エネルギーの保存係数について

図—4—30は（2.7）式によるエネルギー保存係数と $^d/_h$ の関係を水深波長比 $^h/_L$ をパラメーターに示したものである。エネルギー保存係数は $^d/_h$ の増加にともない減少する傾向にある。ここで入射波高 H_I と伝達波高 H_T は直接測定できるが，反射波高 H_R は直接測定できず，すでに第3章で述べた方法により反射率として $(H_{max}-H_{min})/(H_{max}+H_{min})$ を求めた。（2.7）式を書きなおせばつぎのようになる。

$$\left(\frac{H_T}{H_I}\right)^2 + \left(\frac{H_{max}-H_{min}}{H_{max}+H_{min}}\right)^2 = K_C \cdots\cdots(4.1)$$

反射率 $(H_{max}-H_{min})/(H_{max}+H_{min})$ は波形が正弦波形であるとしたとき $H_I=(H_{max}+H_{min})/2$，$H_R=(H_{max}-H_{min})/2$ になることから導びかれたものであり，水路内の波の波形は正弦波形ではないため実測入射波高 H_I と部分重複波の節と腹の位置での波高の和の平均をとつた入射波高 $(H_{max}+H_{min})/2$ はかなり相違するものと考えられる。また，H_{max} と H_{min} の読み取り精度についても問題は残されている。この部分重複波の入射波高 $(H_{max}+H_{min})/2$ と実測入射波高 H_I の比を波形勾配 $^H/_L$ に対してプロットしてみると図—4—31～35のようになる。これらの図をみると $(H_{max}+H_{min})/2H_I$ はすべての $^d/_h$ のケースについて1よりも大きく，$^d/_h$ が減少するにつれて，すなわちカーテン壁と海底間の開きが大きくなると $(H_{max}+H_{min})/2H_I$ は減少する傾向がある。こうした点に関してはさらに詳細な検討を加える必要があり，今後研究して行かねばならぬ問題の1つである。



図—4—31～35　部分重複波の入射波高と実測入射波高の比と波形勾配の関係
Relation between the ratio of the Incident Wave Height of Partial Standing Wave to the One of the Actual Incident Wave and the Wave Steepness

第5章　カーテン防波堤の設計例

カーテン防波堤の設計を行なう場合はつぎに述べる手順によればよい。

(1) 建設地点における水深波長比 h/L と，設計波高（入射波高）と港内での許容波高の関係からカーテン壁の静水面からの深さを決定する。

(2) カーテン壁への波の打ち上げ高から天端高を決定する。

(3) カーテン壁および支持杭に作用する波力からカーテン壁および杭基礎の設計を行なう。

本章では以上の手順によりカーテン防波堤の設計を行なう。

設　計　例

いま大きい港の中の船だまりあるいは貯木場等のカーテン防波堤を，次の気象海象条件ならびに地形条件を用いて設計する。

風　　速；$30^{m}/_{sec}$

吹送時間；60*min*

吹送距離；2*km*

水　　深；－8*m*

H.W.L　；＋1.0*m*

L.W.L　；±0*m*

許容波高；0.5*m*

*S.M.B.*法によれば発生波の諸元がつぎのように推定される。

波　　高；1.25*m*

周　　期；3.5*sec*

波　　長；18.95*m* (*L.W.L.*時)

19.05*m* (*H.W.L.*時)

許容波高 0.5*m*の条件から波高伝達率 H_T/H_I は0.4が要求される。水深波長比 h/L は *L.W.L* 時において0.422であり *H.W.L.*時においては0.473であるから，カーテン壁の深さと水深の比 d/h は図—2—3の Ursell の修正曲線を利用すれば *L.W.L.*時，*H.W.L.*時においてそれぞれ0.35，0.31となる。よつて安全側である *L.W.L.* 時のカーテン壁の深さを採用すれば $d=2.8m$ となる。

つぎにカーテン壁の天端高は *H.W.L* 時の波を越波させないことが必要であるから図—4—13を使用して $d/h=0.31$ に対する R/H を読みとれば1.0となり，波の打上り高 R は1.25*m* である。よつてカーテン防波堤の天端高は *H.W.L*＋1.0*m* に 1.25*m*を加えた＋2.25*m*をとればよい。

カーテン壁に作用する波力は，*H.W.L.*時におけるものが安全側であるから上に得られた結果を使用すればつぎのようになる。

$$\delta_0=\frac{\pi H^2}{L}\ coth\ \frac{2\pi h}{L}\ \fallingdotseq\ 0.26m$$

$$p_2=\frac{wH}{cosh\ \dfrac{2\pi h}{L}}\fallingdotseq 0.13\ {}^{ton}/_{m^2}$$

$$p_1=(p_2+wh)\ \left(\frac{H+\delta_0}{h+H+\delta_0}\right)\ \fallingdotseq\ 1.35\ {}^{ton}/_{m^2}$$

$$p_3=p_2+(p_1-p_2)\ \frac{d}{h}=0.65\ {}^{ton}/_{m^2}$$

よつて，波力Pは

$$P = \frac{1}{2} p_1 (H + \delta_0) + \frac{d}{2} (p_1 + p_3) \fallingdotseq 4.82 \ {}^{ton}/_{m}$$

となる。

得られたカーテン壁に作用する波力を使用してカーテン壁およびカーテン壁の支持杭基礎の設計を行なえばよい。

なお支持杭に作用する波力は壁面に作用する波力と異なり，流れの速度の自乗に比例する抗力と流れの加速度に比例する質量力の和の形で表わされる。しかしながらカーテン壁を設けたときの流れの状態については実験データーが得られていないので，支持杭に作用する波力を正確に算定することは困難である。ただし，支持杭に作用する波力はカーテン壁に作用する波力に比して小さく，また作用点の位置も低いので，杭の設計の上ではこれを無視しても差しつかえないものと思われる。実際に設計する場合の注意としては，カーテン壁を設けることによりその下を抜ける流速はかなり早くなるので，適当な洗掘防止工を考える必要がある。また海底地形の影響で波の砕けやすい地点には不向きである。

第6章　結　　論

カーテン防波堤に関して得られた結果を列記するとつぎのとおりである。

(1) カーテン防波堤建設に適した地点は大きい港の中とか，比較的静かな内海，入江，湾などで水深波長比が0.2程度より大きいところである。

(2) 浅海波領域およびこれに近い中間領域にカーテン防波堤を建設しても大きい防波効果は望めない。

(3) 波高伝達率を推定するには実験曲線を使用するか Ursell の修正曲線を使用すればよい。

(4) カーテン防波堤に作用する波力は Sainflou 公式により第4章に述べた方法で算定すれば十分である。

(5) カーテン防波堤の天端高は図—4—13から得られるものを使用すればよい。

以上の通りであるが，浅海波の場合の波高伝達率の厳密な解析，有限振幅波に対する反射率の決定法，カーテン防波堤によるエネルギー損失などに関してはさらに検討を加える必要がある。

謝　辞

本報に関する模型実験に際し，終始熱心な指導を賜わった鶴田千里水工部長，伊藤喜行防波堤研究室長ならびに，計測を担当した原中祐人技官に対して深謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

(1) Ursell. F, "The Effect of a Vertical Barrier on Surface Waves in Deep Water". Proc. Cambridge Phil. Soc., Vol. 43, Part 3, pp 374-382, July 1947.

(2) Wiegel. R. L, "Transmission of Waves Past a Rigid Vertical Thin Barrier", Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Waterways and Harbors Division, Vol. ww1, March 1960.

(3) 鶴田千里，"海洋構造物に関する二三の問題"，運輸技術研究所，石油資源開発株式会社，pp 237-244

(4) 井島武士，川上善久，"日本沿岸の海岸保全のための自然条件と海岸堤防の天端高算定について" 第9回海岸工学講演会講演集，PP 138〜142，1962.

(5) 土木学会，"水理公式集" 昭和32年改訂版 pp 247.

(6) 土木学会，"水理公式集，昭和32年改訂版 pp 238.

付録Ⅰ　波のエネルギーの鉛直分布

波のエネルギーの鉛直分布を求めるには，水粒子の運動速度と軌道中心からの変位量を知る必要がある。波形

が (2.1)式で与えられる微小振幅波の粒子速度は

$$u=\frac{\pi H}{T}\ \frac{\cosh\ k(z+h)}{\sinh\ kh}\ \sin(kx-\sigma t)\ \cdots\cdots(A.1)$$

$$v=-\frac{\pi H}{T}\ \frac{\sinh\ k(z+h)}{\sinh\ kh}\ \cos(kx-\sigma t)\ \cdots\cdots(A.2)$$

のようになる*。ここに

z ; 静水面から上方に(正)測つた鉛直座標

u ; 水粒子の軌道速度の水平成分

v ; 水粒子の軌道速度の鉛直成分

である。

また水粒子の軌道中心からの変位量は次式のようになる。

$$\xi=\frac{H}{2}\ \frac{\cosh\ k(h+z)}{\sinh\ kh}\ \cos(kx-\sigma t)\ \cdots\cdots(A.3)$$

$$\zeta=\frac{H}{2}\ \frac{\sinh k(h+z)}{\sinh\ kh}\ \sin(kx-\sigma t)\ \cdots\cdots(A.4)$$

ここに

ξ ; 水粒子の水平方向の変位量

ζ ; 水粒子の鉛直方向の変位量

である。

波のエネルギーはまず位置のエネルギーと運動のエネルギーの二つに分けられる。いま深さ z の位置で長さ dx, 厚さ dz で単位幅の直方体の水塊を考えると，この水塊が持つ運動エネルギーは，

$$d\bar{E}_k=\frac{w}{2g}(u^2+v^2)dz\,dx=\frac{w}{4g}\ \frac{\pi^2 H^2}{T^2\sinh^2 kh}\left[\cosh 2k(z+h)-\cos 2(kx-\sigma t)\right]dz$$

であり，これを一波長あたりで平均すると

$$d\bar{E}_k=\frac{1}{L}\int_x^{x+L}d\bar{E}_k=\frac{w}{4g}\ \frac{\pi^2H^2\cosh 2k(z+h)}{T^2\sinh^2\ kh}\ dz$$

ここで周期と水深，波長の関係式

$$L=\frac{g}{2\pi}\ T^2\ \tanh\ kh$$

を用いると上記の平均運動エネルギーが

$$d\bar{E}_k=\frac{wkH^2\ \cosh\ 2k(z+h)}{8\sinh\ 2kh}\ dz\ \cdots\cdots(A.5)$$

と書き改められる。この$(A.5)$式は上記の誘導で明らかなように，厚さdz, 幅，長さともに単位長の水塊の有する平均運動エネルギーを表わしている。したがつてこれを水底から水面まで積分すれば，表面の単位面積あたりの平均運動エネルギーが

$$\bar{E}_k=\int_{-h}^{0}d\bar{E}_k=\frac{1}{16}\ wH^2\cdots\cdots(A.6)$$

と求められる。

一方，位置のエネルギーについては付図—1に示したように水深 z における鉛直変位量を ζ とすれば，海底から水深 z 間の位置のエネルギーは，一波長あたりの平均としてつぎのようになる。

$$\left[\bar{E}_P\right]_{-h}^{z}=\frac{1}{L}\left[\int_x^{x+L}\int_{-h}^{(z+\zeta)}wz\,dz\,dx-\int_x^{x+\zeta}\int_{-h}^{z}wz\,dz\,dx\right]=\frac{1}{L}\int_x^{x+L}(w\zeta z+\frac{w}{2}\zeta^2)dx$$

ここで，ζ は微少振幅波理論によれば

$$\zeta=\frac{H}{2}\ \frac{\sinh k(h+z)}{\sinh\ kh}\ \sin(kx-\sigma t)$$

であるから，結局

---

* 例えば，水理公式集（昭和38年）pp.451 参照

$$\left[\bar{E}_P\right]_{-h}^{z} = \frac{1}{L}\int_x^{x+L} \frac{wzH}{2}\ \frac{\sinh k(h+z)}{\sinh\ kh}\ \sin(kx-\sigma t)dx$$

$$+\frac{1}{L}\int_x^{x+L}\frac{wH^2}{8}\ \frac{\sinh^2 k(h+z)}{\sinh^2\ kh}\ \sin^2(kx-\sigma t)dx$$

となる。

$$\therefore\ \ d\bar{E}_P = \frac{wH^2}{16}\ \frac{k\sinh\ 2k(h+z)}{\sinh^2\ kh}\ dz \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (A.7)$$

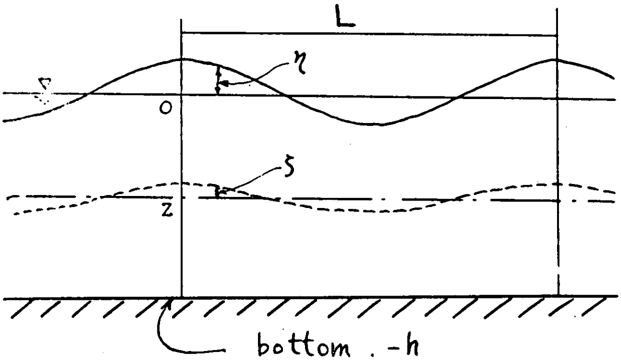
$(A.7)$式を水底から水面まで積分することにより

$$\bar{E}_P = \int_{-h}^{0} d\bar{E}_P$$

$$= \frac{wH^2}{16}\ \frac{\cosh\ 2kh-1}{2\sinh^2 kh} = \frac{wH^2}{16} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (A.8)$$

と既知の結果が得られる。

波の全エネルギーは $(A.6)$式と $(A.8)$式を加えることにより 表面の単位面積あたりの平均エネルギーとして(2.2)式のように求められる。またエネルギーの鉛直分布は$(A.5)$式と$(A.7)$式を加えることにより (2.3)式のように得られる。



附図－1

付録Ⅱ　主　要　記　号　表

本報告において用いた主要記号とその定義は次の通りである。

A ；直線型アームの断面積 (cm^2)

A_I ；入射波の振幅 (cm)

A_R ；反射波の振幅 (cm)

a ；部分重複波の振幅 (cm)

B ；カーテン壁の幅 (cm)

d ；カーテン壁の静水面からの深さ (cm)

$\bar{E}$ ；単位面積あたり一週期平均の波のエネルギー 〔M/T^2〕

$d\bar{E}(z)$；任意水深 z における波のエネルギー 〔M/T^2〕

E ；ヤング率 (kg/cm)

dE_k ；任意水深 z における波の運動エネルギー 〔M/T^2〕

dE_p ；任意水深における波の位置エネルギー 〔M/T^2〕

F ；全波力 (kg)

g ；重力の加速度（cm/sec^2）

H ；波高（cm）（入射波高H_Iと同じ）

H_I ；入射波高（cm）

H_T ；伝達波高（cm）

H_R ；反射波高（cm）

H_{max}；部分重複波の腹の位置の波高（cm）

H_{min}；部分重複波の節の位置の波高（cm）

h ；水　　深（cm）

I_1 ；次数１の第１種変形ベッセル関数

k ；波数（$=2\pi/L$）（$1/cm$）

K_C ；エネルギー保存係数

K_I ；次数１の第２種変形ベッセル関数

K_T ；伝 達 率

K_R ；反 射 率

L ；波　　長（cm）

l_1 ；直線型アーム上の２点$A\ B$ 間の長さ（cm）

M_A ；A点のまわりのモーメント〔$M.L$〕

M_B ；B点のまわりのモーメント〔$M.L$〕

P ；波力強度（kg/cm）

P_S ；Sainflou 公式による波力強度（kg/cm）

p_1 ；Sainflou 公式による静水面の波圧強度（g/cm^2）

p_2 ；Sainflou 公式による海底の波圧強度（g/cm^2）

p_3 ；Sainflou 公式による静水面下$-d$の位置における波圧強度（g/cm^2）

Ri ；ゲージ抵抗

R ；静水面からの波の打上り高（cm）

T ；波の周期（sec）

t ；時　　間（sec）

U ；揚 圧 力（kg）

u ；水粒子の水平分速度〔L/T〕

v ；水粒子の鉛直分速度〔L/T〕

W ；直線型アームの断面係数（cm^3）

w ；水の単位体積重量（g/cm^3）

x ；横軸（水平距離）

z ；縦軸（鉛直距離）

δ_0 ；波高中分面の上昇値（cm）

η ；静水面から測つた水面の高さ（cm）

θ ；位 相 角

λ ；ゲージ率

σ ；角振動数（$=2\pi/T$）

港湾技術研究所報告　第3巻1号

1964年4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
横須賀市川間162

印 刷 所　中和印刷株式会社
東京都中央区入船町2の3