

直立消波岸壁の消波効果

時 川 和 夫*

1 ま え が き

近年、海岸および港湾構造物の前面に異形コンクリートブロックを設置して、波のエネルギーを減殺させるいわゆる消波ブロックが多種多様に製作、施工されてきた。消波ブロックはその安定性を重視するために、個々の単体としての安定性や施工性の概念から発展し、改良され、今日のものに派生してきている。しかしながら実際に設置される施工断面全体を一体として考えた安定性ならびにその消波性に関しては、個々のブロックの特性が十分に発揮されたものになっているかどうかはなほ疑問で、またこれら一体となった形状による波の消波性に関して研究された論文も数少ないのが現状である。最近になって、港湾工事の拡張や、港内岸壁の整備に伴って、とりわけ小港湾や漁港においては、従来自然海浜や、船揚場斜路であった港域が直立岸壁に整備されて、港内に侵入した波浪エネルギーは消散することなく岸壁間を反射して、また港内副振動を誘発させる原因ともなって、港内静穏度を著しく低めている。このために消波機能を持った直立岸壁の必要性が要請され、北海道においては昭和45年から追直漁港¹⁾や館浜漁港^{2),3)}においてケーソンタイプの直立消波岸壁が計画施工され、港内静穏度を高めるのにその効果を発揮している。ごく最近になって特殊異形コンクリートブロック積みの消波ブロックが製作され、これを直立岸壁に施工して消波岸壁とする試みが計画され、九州門司港や道内各地漁港などにそれらの施工が普及しつつある。消波岸壁施工の目的は港内の反射波を吸収して港内静穏度を高めるとともに、岸壁前面における波高を許容限界波高内におさえて、荷役および係留を容易ならしめるものである。最近の港湾工事は港の高度利用、大水深化とともに省力化、急速施工化が1つのポイントとなりつつあり、今後ますます消波岸壁の普及が盛んになるものと予想される。本文では、これら直立消波岸壁の反射率や越波による波高伝達率について検討を加え、最も効果的な施工断面を得るために必要なブロックの形状や粗度の大きさについて実験的に検討した結果を報告する。なお4に述べる粗面による反射率の研究は、著者が昭和48年に長期在外研究員とし

て米国カリフォルニア大学バークレーに留学した際に J. W. Johnson 教授の指導を受けて当大学の水理実験室の施設を使用して行なったものを一部要約したものである。

2 反射率の測定方法

反射波の測定はすべて規則波により行なった。反射波高を取りだす方法には、微小振幅波および有限振幅波理論に適用させた Healy の方法、室田⁵⁾が行なった重複波から電気的引算回路を通じて反射波を直接取りだす方法などがあるが、岩垣⁶⁾らが指摘するように、いずれにしても反射波高を正確に測定することは非常に困難なことで、またそのばらつきも多様である。しかしながら、反射率を求める工学的な意味はまず第一に構造物前面に合成される波高の最大振幅を知ることであって、合田⁷⁾がすでに指摘した反射波相互の干渉や位相差およびこれら倍周波数の表面波の出現などを考慮した真の反射率は、その後の問題であろうと思われる。この観点に立って報文では前面に生じる最大波高(複合成波の腹)と最小波高⁸⁾(複合成波の節)を測定することにより Greslou と Mahe が行なったように Healy の方法で見かけの反射率を測定する方法をとった。(注解説参照)

3 実験方法

使用した実験水槽は2つの二次元ガラス水槽、106'×1'×3'(カリフォルニア大学バークレー水理実験室、以下サフィックスCとする)と29m×0.8m×1.0m(土木試験所港湾研究室、以下サフィックスDとする)でいずれもペンデュラム型起波機と水槽両端に消波装置が設置されている。実験はいずれも規則波により行なわれ、使用水深 $h_c=30, 45, 60$ cm および $h_D=25, 50, 53.0, 56.5$ cm, 周期 $T_c=0.9, 1.2, 1.7, 2.7$ sec, $T_D=0.9, 1.3, 1.8, 2.3, 2.6$ sec 波高 $H_c=2.0\sim 15.0$ cm, $H_D=2.0\sim 17.0$ cm, $h/L_A=0.11, 0.16, 0.26, 0.43$, $H/L_A=0.005\sim 0.071$ (L_A は微小振幅波計算波長) の範囲のものを使用した。波高の測定は電気抵抗線式および容量式波高計6本を同時に使用し、構造物前面の波高計を重複波が形成されてから、造波板からの再反射波が入射するまでの間に連続して侵入波の進行方向ならびに逆方向に

* 港湾研究室副室長

移動させて、重複波の最大波高と最小波高を取りだすようにした。記録計の固有振動数は、 $f_c=42\%$ および $f_D=300\%$ である。

4 粗度を持った直立壁の反射率⁹⁾

(1) 実験に使用した模型

実験に使用した粗面は平滑な不透過板の上に図-1, 2 および写真-1~3 に示すように垂鉛鉄板を取付けたもので、不透過板と鉄板およびおのおのの格子の継目からの

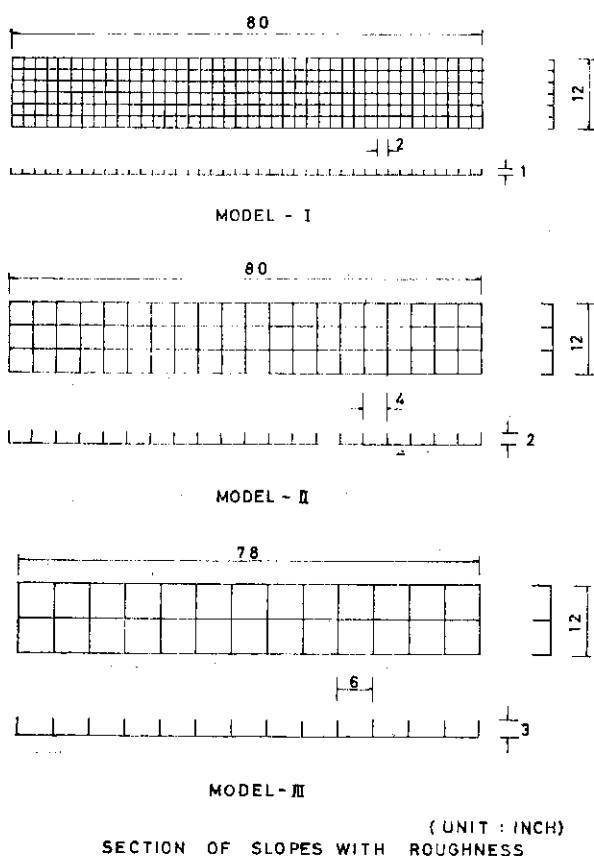
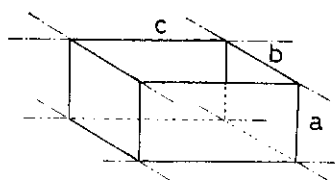


図-1 粗面の模型断面図



ROUGHNESS	c	b	a
MODEL - I	2.0	2.0	1.0
MODEL - II	4.0	4.0	2.0
MODEL - III	6.0	6.0	3.0

(UNIT: INCH)

SKETCH OF ROUGHNESS

図-2 粗度の形状寸法

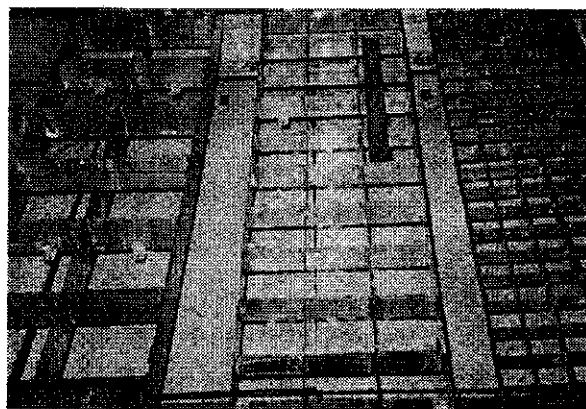


写真-1 実験に使用した粗度の模型

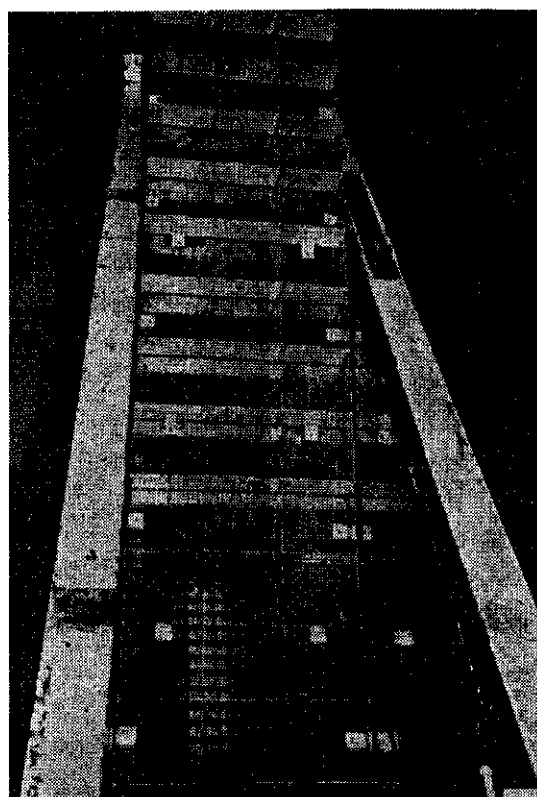


写真-2 実験に使用した粗面の模型



写真-3 実験に使用した 100 2次元ガラス水槽 (移動式波高計と波高記録装置)

漏水はないように製作した。これら構造物の据付角は $\text{Slope}=90^\circ, 45^\circ$ および 30° である。実験は反射率に対する縮尺効果を調べるために縮尺を変えて行ない $1/1, 2/3$ および $1/2$ 縮尺にした場合の反射率の変化をあわせ調べた。

(2) 実験結果

構造物前面における複合成波の振幅の一例を示すと、図-3~4 のとおりである。一連の実験について、重複波の振幅波高を調べた結果一般的にいえることは、各腹の位置における最大波高の変動は少ないが、節における最小波高は反射面から離れるにつれて大きくなり、たとえ構造物表面からの二次反射波(波長の短い表面波)が発生している場合でも構造物前面の一波長間内で最小波高を記録することができたことである。実験の結果、反射率の一例を示すと図-5~7 のとおりである。 h/L_0 をパラメーターにしてみると、一定の h/L_0 値に対して見かけの反射率には極大点と極小点が存在するようで、図でみるかぎり三次曲線、すなわち反射率は

$$\frac{H_r}{H_I} = K \cdot f\left(\frac{h}{L_0}\right) \left\{ a\left(\frac{H_0}{L_0}\right)^3 + b\left(\frac{H_0}{L_0}\right)^2 + c\left(\frac{H_0}{L_0}\right) + d \right\}$$

の関係があるように思われる。図中には縮尺を変えて実験を行なった場合の結果もあわせ記入されているが、この程度の縮尺変化では反射率はほぼ同一傾向となつて縮尺効果は現われていない。見かけの反射率としては、実験誤差による安全を見込んで一連の実験値の上限値を結ぶと、一般に反射率は、 H_0/L_0 の小さいところで $H_r/H_I \approx 1.0$ に近づき、 H_0/L_0 が大きくなるにつれて H_r/H_I は漸減する。不透過板 ($\text{Slope}=90^\circ, 45^\circ, 30^\circ$) に対するこれら実験値の上限値は、Greslou—Mahe の実験曲線とよく一致し、 $S=90^\circ$ の場合の値を合田の理論により三次近似の補正を行なうとその真の反射率はすべての H_0/L_0 の値に対してほぼ $(H_r/H_I)_A=1.0$ に近づく。図-8 は $\text{Slope}=90^\circ$ の場合の粗面からの見かけの反射率を示している。これによると粗度 M—III (図-1, 2 参照) は粗度 M—I に比べ $H_0/L_0=0.02$ 付近で 10%, $H_0/L_0=0.04$ 付近で 20% 反射率を低減させている。

(3) 侵入波の消波効果の検討

侵入波の単位幅当たりのエネルギーは一般に次式で表わされる。

$$E_t = E_r + E_I \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここで E_I : 侵入波のエネルギー, E_r : 反射波のエネ

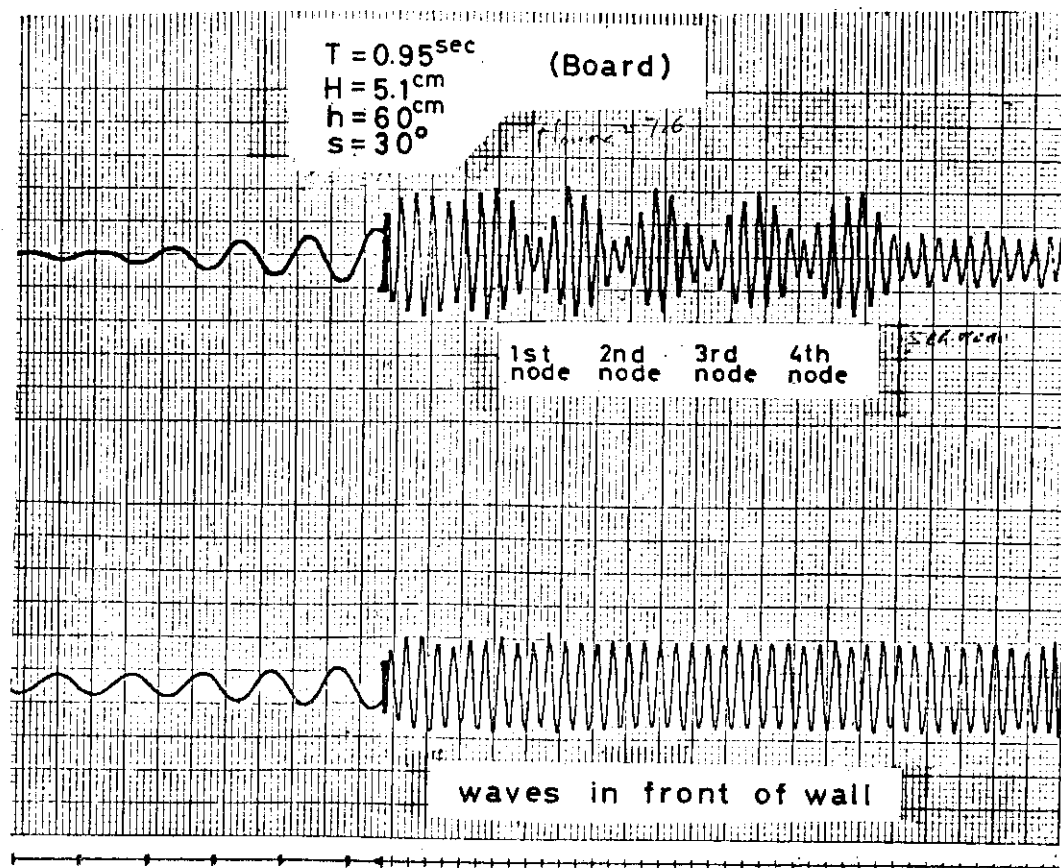


図-3 合成波形記録 (不透過滑面 $\text{Slope}=30^\circ$ の場合)

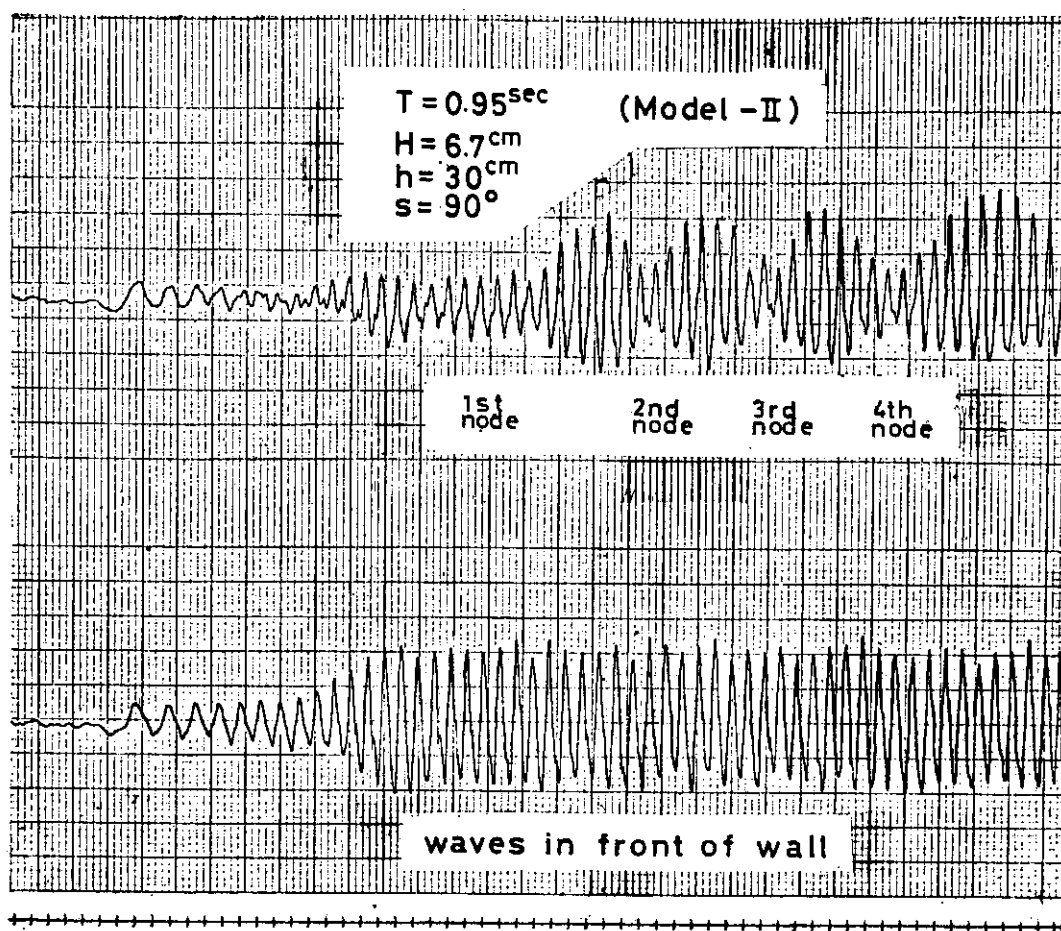


図-4 合成波形記録 (不透過斜面 Slope=90° の場合)

ルギー, E_I : 境界面で失われるエネルギー

またエネルギー損失は次式で表わされる。

$$E_I = E_S + E_R \quad (2)$$

ここで E_R : 境界面の粗度で失われるエネルギー, E_S : 境界面の Shoaling で失われるエネルギー

境界面が平滑で粗度がない場合は,

$$E_R = 0 \quad (3)$$

したがって式(2)と式(3)より

$$E_I = E_S \quad (4)$$

式(1)と式(4)より

$$E_I = E_r + E_S \quad (5)$$

境界面に粗度がある場合は,

$$E_I = E_r' + E_I' \quad (6)$$

$$E_I' = E_S + E_R' \quad (7)$$

式(6), 式(7)と式(5)より

$$\begin{aligned} E_I &= E_r' + E_S + E_R' \\ &= E_r' + (E_I - E_r) + E_R' \end{aligned} \quad (8)$$

$$\therefore E_R' = E_r - E_r' \quad (9)$$

いま波のエネルギーは, $E = 1/8 \rho g H^2 L$ で表わされる

から式(9)は,

$$\frac{E_R'}{E_I} = \frac{E_r}{E_I} - \frac{E_r'}{E_I} \quad (10)$$

ここで波長の変化は無視されるものと考え、

$$\frac{E_R'}{E_I} = \left(\frac{H_r}{H_I} \right)^2 - \left(\frac{H_r'}{H_I} \right)^2 \quad (11)$$

サフィックスのダッシュは境界面に粗度がある場合のものを表わす。図-9~11は粗度 Model-I, II および III について、それぞれの斜面の角度 $S=90^\circ$, 45° および 30° の場合のエネルギー損失の割合を示したものである。これによると粗度 h/a (h : 水深, a : 粗度の深さ) が大きいほどエネルギー損失の割合は大きくなって、 $S=90^\circ$ では H_0/L_0 が大きくなるほど E_R'/E_I は大きくなり、 $S=45^\circ$ では $H_0/L_0=0.04$ 付近で、 $S=30^\circ$ では $H_0/L_0=0.15 \sim 0.25$ 付近でピークの値となる傾向があり、 h/a 値が小さいほど H_0/L_0 の小さい値でエネルギー損失の割合が大きくなることがわかる。また $S=90^\circ$ の場合粗度 h/a の効果は H_0/L_0 が大きくなるほど有効であり、 $S=30^\circ$ の場合では H_0/L_0 が 0.03 を越えると E_R'/E_I は急速に小さくなり、 $H_0/L_0=0.06$ 以上では E_R'/E_I は 10% 以

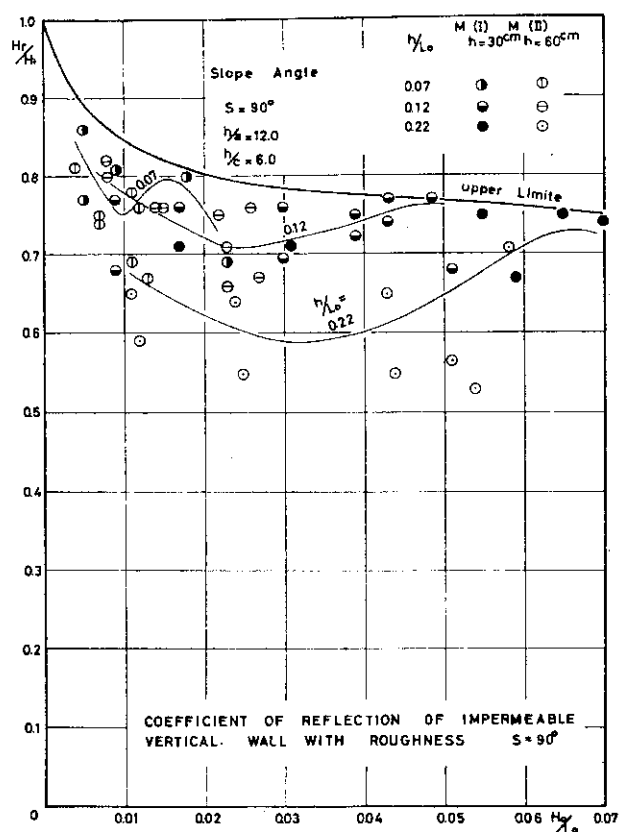


図-5 粗面の反射率 (Slope= 90° の場合)

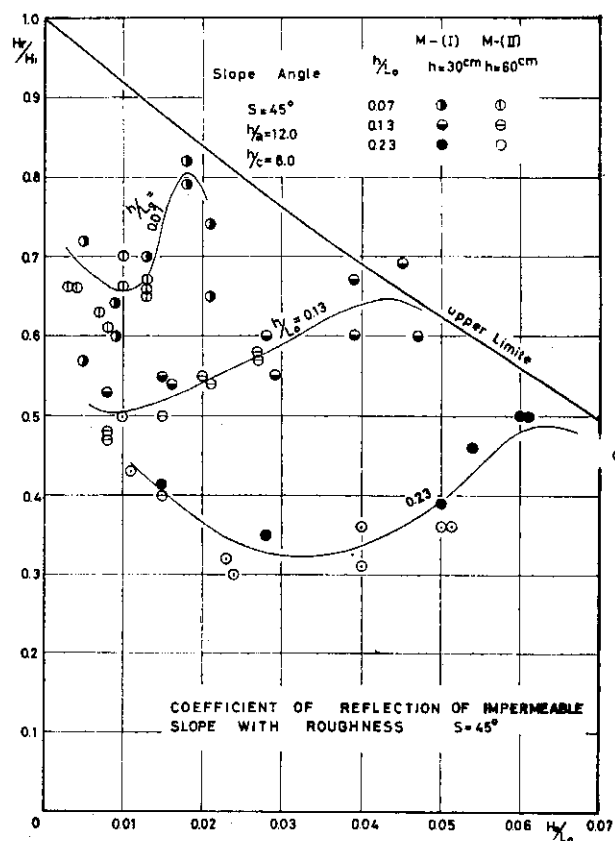


図-6 粗面の反射率 (Slope= 45° の場合)

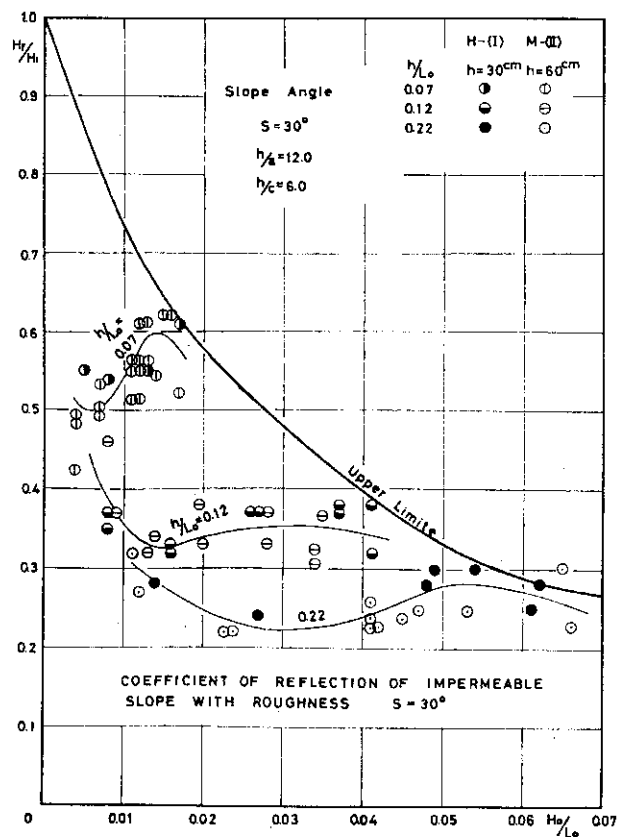


図-7 粗面の反射率 (Slope= 30° の場合)

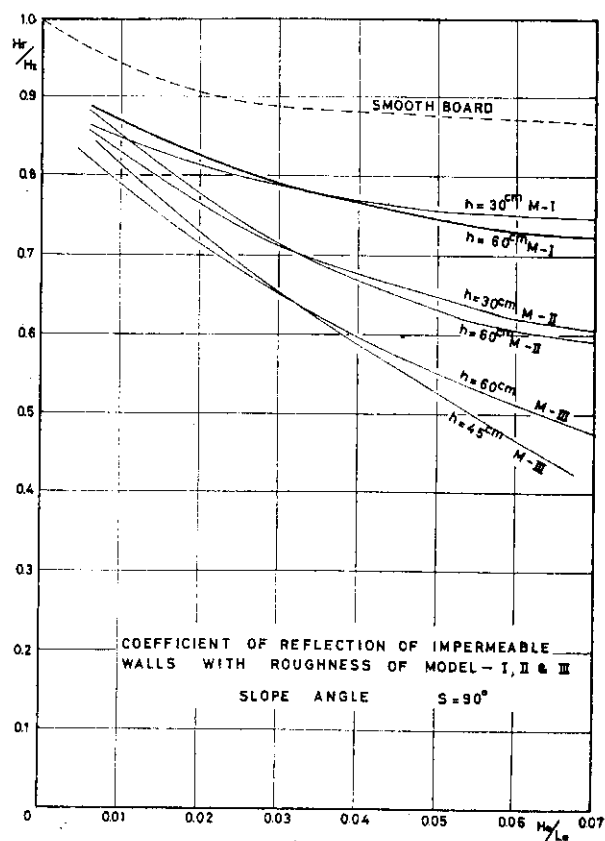


図-8 粗度と反射率の関係 (Slope= 90° の場合)

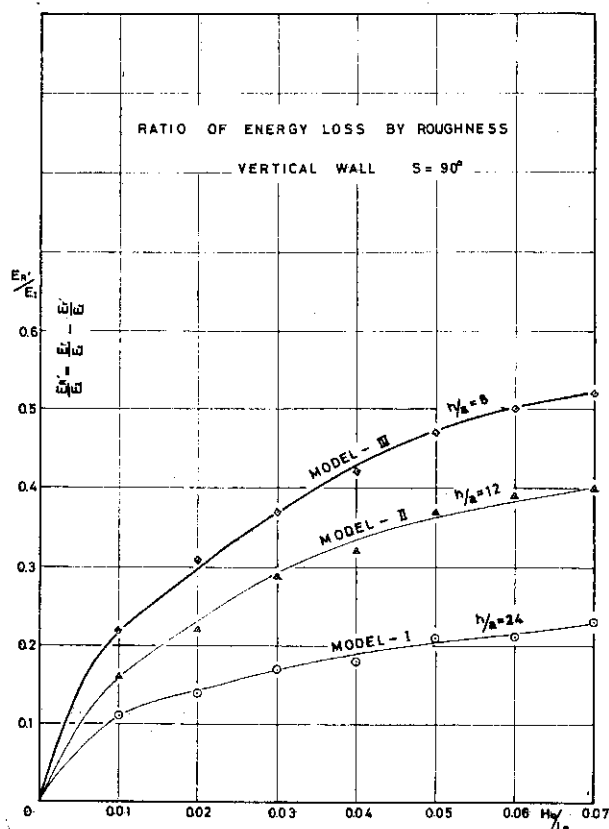


図-9 粗度と反射波損失の関係 (Slope=90° の場合)

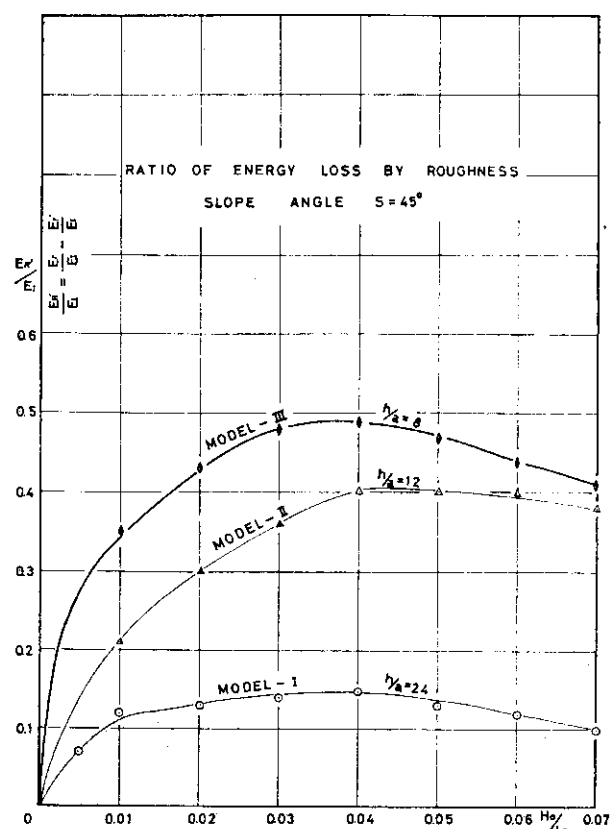


図-10 粗度と反射波損失の関係 (Slope=45° の場合)

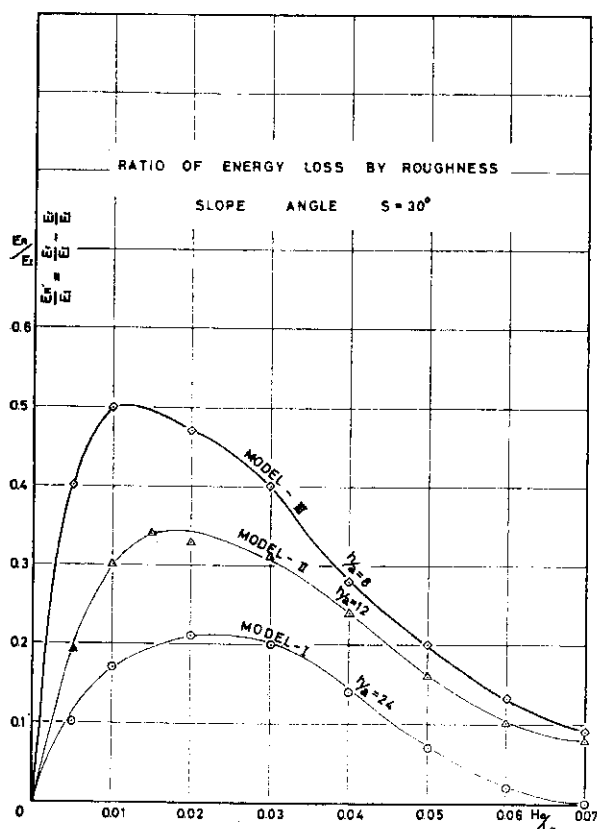


図-11 粗度の反射波損失の関係 (Slope=30° の場合)

下になって粗度 h/a の効果は顕著でなくなる。これは Slope による Shoaling の効果による波そのものの变形 (砕波) によるエネルギー損失の割合のほうが大きくなるためであろうと思われる。以上の結果から直立壁 ($S=90^\circ$) の場合は粗度 $h/a=8$ の場合は粗度なしの場合より $H_0/L_0=0.04$ 付近で 30% 反射率を小さくすることがわかる (図-8 参照)。

5 特殊異形ブロック積み直立岸壁の反射率¹⁰⁾

北海道開発局では昭和 48 年度に根室港および熊石漁港の物揚場にブロック積み直立岸壁を施工した。昭和 49 年度は道内各地の小港や漁港でこれら岸壁の施工が予定されている。ここで報告する特殊異形ブロックは A ブロックと B ブロックの二種でそれぞれ 4 層積みならびに 2 層積みに施工した場合の反射率や越波量 (伝達波高) を試験した。

(1) 実験に使用した模型

実験は縮尺 1/15 で行ない、模型の標準断面は図-12 に示すとおりである。使用した A ブロックはブロック 14 t 型および B ブロック 15 t 型である。(写真-4, 5 参照)。実験波は $T_m=1.30, 1.80, 2.30$ sec, $H_m=3\sim 16$ cm, $L_m=230\sim 500$ cm の範囲の 12 種類の波をくり返し使用した。

(2) 実験結果

a) 反射率

前節3で述べた方法で試験を行なった結果、それぞれの直立消波岸壁の反射率を示すと図-13のとおりである。図-13はこれらブロックを4層積みにした場合の反射率を直立防波堤（ケーソン防波堤）と不透過斜面（のり勾配2割と3割）および前節4における粗面 Model-I ($h/a=24$), II ($h/a=12$) およびIII ($h/a=8$)（いずれも $S=90^\circ$ ）の反射率とを比較したもので、図中の曲線

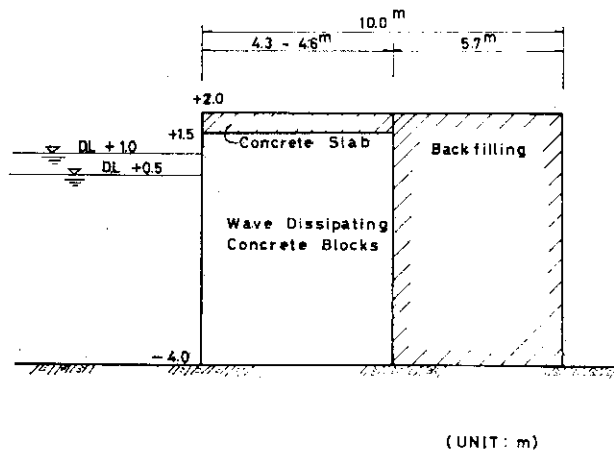


図-12 ブロック積み直立岸壁の標準断面図

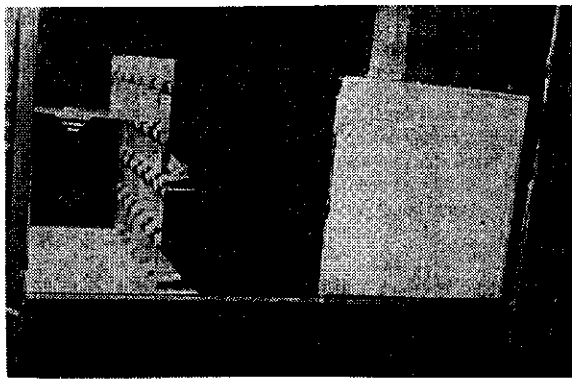


写真-4 Aブロック積み直立岸壁

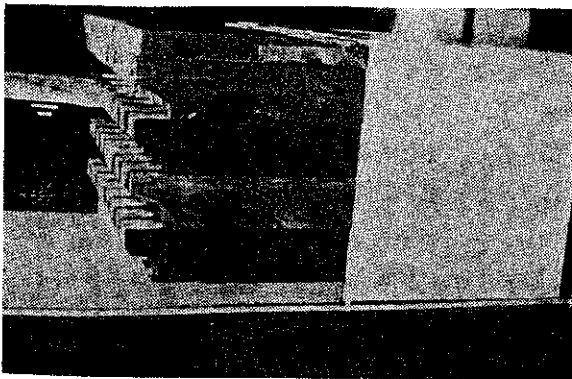


写真-5 Bブロック積み直立岸壁

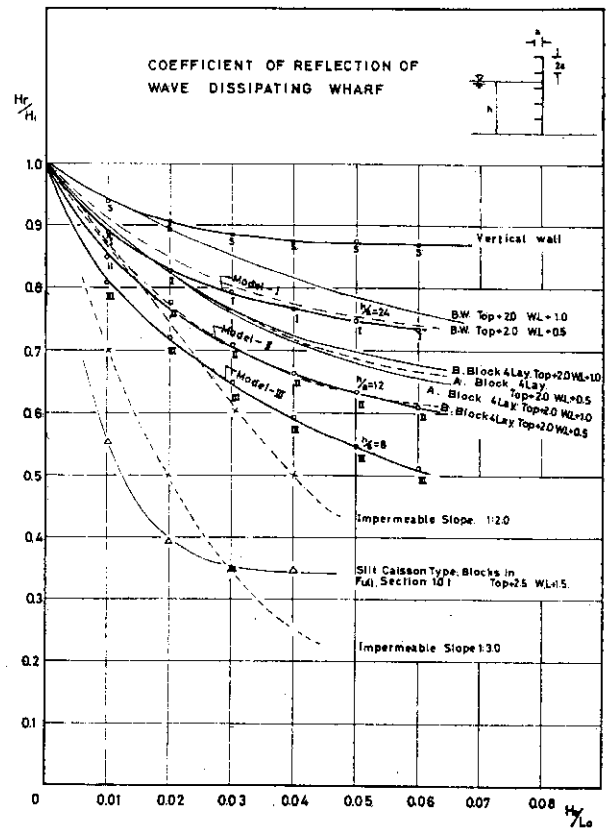


図-13 ブロック積み直立岸壁の反射率（4層積み）

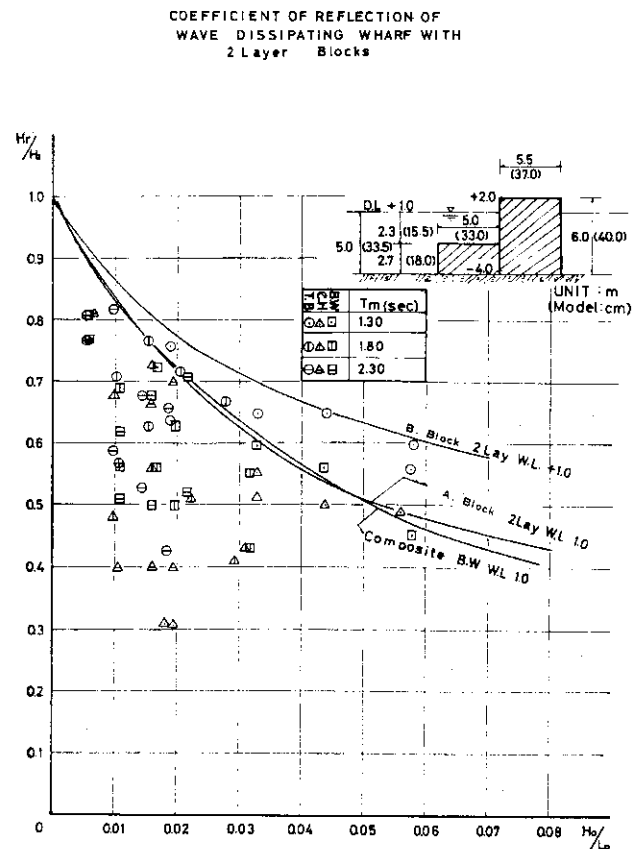


図-14 ブロック積み直立岸壁の反射率（2層積み）

はそれぞれの実験値の上限値を結んだものである。これによると特殊異形コンクリートブロック4層積みによる直立消波岸壁の反射率は両者とも潮位 $DL+1.0\text{ m}$ ではほとんど同じ傾向となり、 $DL+0.5\text{ m}$ の場合にBブロックのほうが5%程度小さくなる。これら反射率を従来の直立ケーソン防波堤のそれと比べると、一般に10%前後反射率は小さくなっているが、必ずしも消波効果がすぐれているとはいえない。また、これら消波岸壁の反射率は前節4の粗度 $h/a=24$ と $h/a=12$ との反射率のほぼ中間の値を示していることがわかる。図-14は上記直立消波岸壁の4層積みブロックのうち下方の2層ブロックをプレキャストコンクリートにして、その上部に消波ブロックを2層積みにした場合の反射率を示す。同図には直立防波堤複断面の場合の反射率もあわせて記入した。これによるとBブロックは4層積みと比べほぼ0~10%程度反射率は小さくなる。またAブロックは4層積みと比べ0~20%程度反射率は小さくなって直立防波堤複断面の反射率とほぼ同じ傾向になる。これら2層積みのブロックを取り除いた複断面の直立防波堤（図-14参照）の反射率は不透過斜面2割勾配のものとはほぼ同程度のものとなる。したがって2層積みの場合はこれら消波ブロックそれ自体の消波機能を発揮するようその施工に対しては十分留意する必要がある。

b) 越波による波高伝達率

直立消波岸壁を設置した場合に、越波量や潮上波高をどの程度防止できるかを知ることが興味ある問題である。しながらこれらの測定は非常にむずかしい判断を

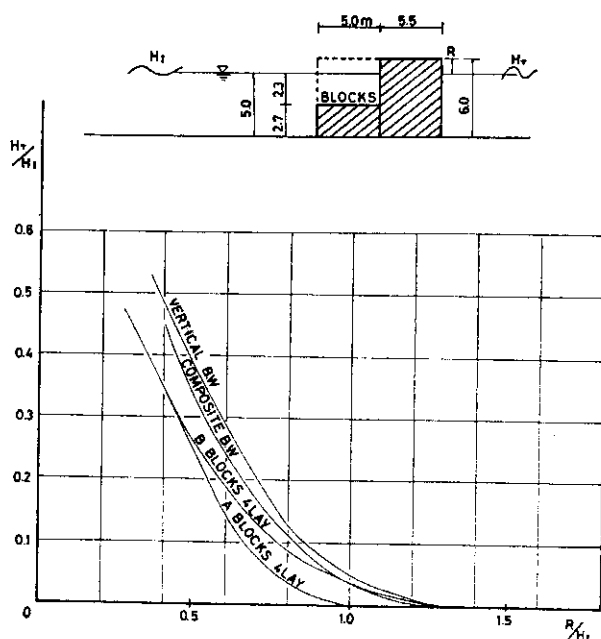


図-15 ブロック積み直立岸壁の越波による波高伝達率

必要とし、測定者の個人的能力、判断の要素が大きなファクターをしめるので、本実験においては図-12に示す断面を越波する波が背後に伝達される場合の波高 H_r を目やすにして比較検討を行なった。図-15はブロック積み直立岸壁4層積みの場合の越波による伝達率を示す。これより越波量や、潮上高の大きさを量り知ることができる。図中 R は静水面から岸壁天端までの距離、 H_r は岸壁裏込め後壁から15m（模型で1m）はなれた位置における波高、 H_l は侵入波高で直立岸壁の前面から150m（模型で10m）はなれた位置における波高である。

これによると、特殊異形コンクリートブロック4層積みによる直立岸壁の越波による波高伝達率は、従来の直立ケーソン防波堤の伝達率よりも0~15%程度小さくなっている。またA、Bブロックの伝達率は $R/H_l < 0.5$ ではほぼどちらも同じ傾向であるが、 $R/H_l \geq 0.5$ でAブロックのほうが5%程度小さくなる。2層積みの場合にはA、Bブロックともほぼ同じ傾向になり直立複断面防波堤に比べ5~10%小さくなる。

漁港の物揚場や岸壁に使用されるこれら直立消波岸壁は、図-12に示すように、岸壁天端と静水面との距離が1.0m前後という非常に小さな空間で消波しなければならず、また岸壁をブロック積みで施工する場合は、その天端に少なくとも厚さ50cm前後以上のふたコンクリート床版を設置しなければならず、実際に消波の目的で利用できる空間はさらに小さく狭められる。また上部床版には、かなりの揚圧力が発生し、侵入波高 $H=2.0\text{ m}$ の波に対して50cm厚の鉄筋コンクリート床版が持ち上げられる。

(3) 消波ブロックを岸壁に使用する場合の改良点

一般に岸壁に侵入する波浪は、防波堤ですでに遮蔽されて、港口部からの回折波や防波堤を越波したり堤体内を透過して港内に入る伝達波および港内水域で発生する波浪で、これらは比較的波形勾配の小さい波で、したがって岸壁前面においては碎波せず、ほぼ完全重複波に近い波形のものである。また港内副振動における波も波長の長い重複波と考えることができる。これらの侵入波は消波岸壁のブロック内では単なる水流の往復運動であるので、ブロック内の構造はできるだけ抵抗係数の大きいものが良く、また水流によって空気を巻込む構造のものがすぐれている。前節4の粗度が有効なもの、一つはこの点にある。写真-4の構造はブロック内の交差管路で水流を衝突させて空気を巻込んで侵入波のエネルギーロスを期待するものであるが流速がゆるい場合は単なる流れになってしまう。この形状では流速が不足するので管径を小さくして支柱の部分は菱形から矩形もしくは中空の

矩形を組合せた構造が良いと思われる。写真-5の構造については空隙部が少ないので前室の背後にもう一つ中空の溝型空隙部を設けてふところを深くして空気を巻込む構造に改良すれば消波機能は大きくなるものと思われる。また写真-4は後壁の厚みが少ないために侵入した水流および圧縮された空気がブロック相互の目地から背後にでてこれが集まって裏込めとブロックの境目を通して上部コンクリート床版末端より吹きだすので（図-12参照）、上部工および裏込め目地の施工を入念にしなければ背後の吸いだしを受ける危険があるものと予想される。現段階の特殊異形コンクリートブロック積み消波岸壁を一般の岸壁として使用することは、施工の安易さ、工期の短縮などが優先するものであって、消波効果ならびに耐久性に対して特にすぐれた効果を発揮するものではないことがいえる。今後のこれらブロックの改良、開発に待つところが多いと思われる。

6 ブロック詰ケーソンタイプ直立岸壁の反射率^{(11), (12), (13)}

北海道開発局ではわが国で初めて消波工を内蔵したスリット型ケーソンタイプの直立消波岸壁を延長 188 m、昭和 46 年度に 追直漁港で施工した。この報告はすでに月報第 208 号に述べられているので、ここでは施工に先だって土木試験所港湾研究室で縮尺 1/15 の模型を使用

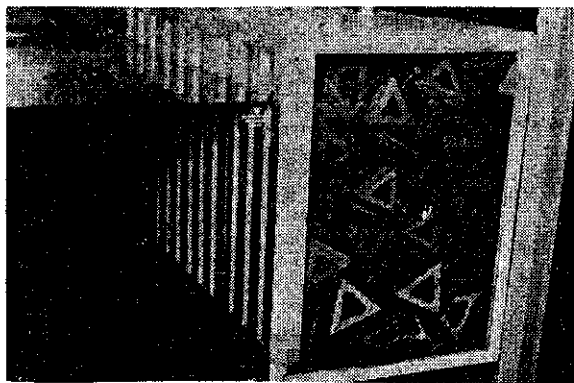


写真-6 スリット型ケーソンタイプ消波岸壁（側面）

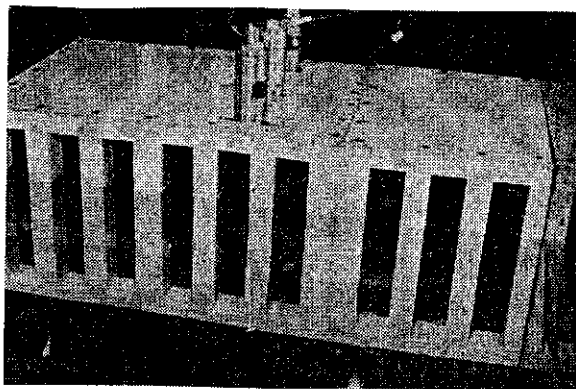


写真-7 スリット型ケーソンタイプ消波岸壁（正面）

して行なった二次元ガラス水槽による直立消波岸壁の反射率と前節の消波岸壁の消波効果と比較検討し、縮尺 1/75 で行なった三次元水槽による港内静穏度に対する消波岸壁の効果についてその要点を述べる。

(1) 実験結果

a) 二次元実験

実験に使用した模型は写真-6, 7 に示すとおりである。図-16 はスリット下端が -4.5 m の場合に中詰めブロックを数種変えて行なった場合の反射率を示す。

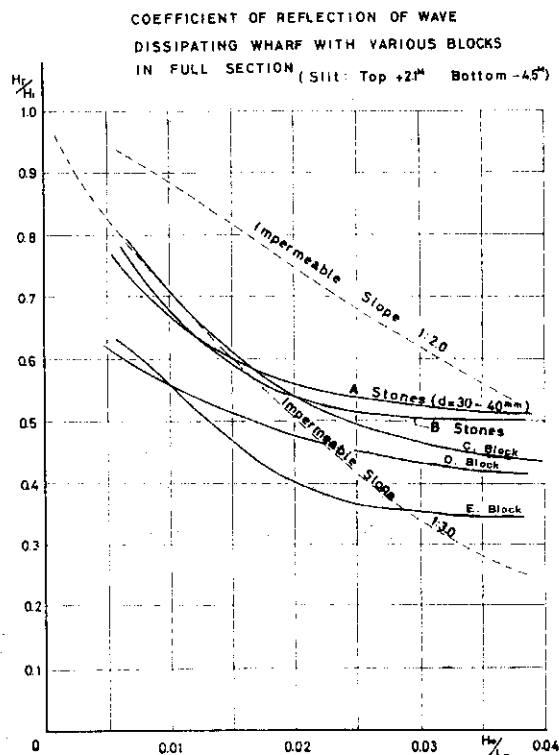


図-16 スリット型ケーソンタイプ消波岸壁の反射率と中詰めブロックの関係

これらのブロックの空隙率はほぼ 50~60% の範囲で、これによると E ブロックを全断面に填充した場合が最も小さい反射率を示すようである。この反射率は $H_0/L_0 \leq 0.03$ で 3 割勾配の不透過斜面より小さくなり、 $H_0/L_0 \geq 0.03$ ではほぼ $H_r/H_0 \approx 0.35$ になる。この値は前節 4 で述べた粗面 $h/a=12$ を Slope=45° に設置した場合の反射率とほぼ同様の傾向となっている。図-17 は全断面中詰めブロックにした場合にスリットの長さを変えて行なった実験結果を示す。これはスリット下端より下方は捨石を填充してスリットの部分に E ブロックを中詰めした場合の反射率で、これによるとスリット下端は -2.5 m 以下にしてスリットを長くしても反射率は大きく変わらないことを意味している。このことはスリット下端は静水面

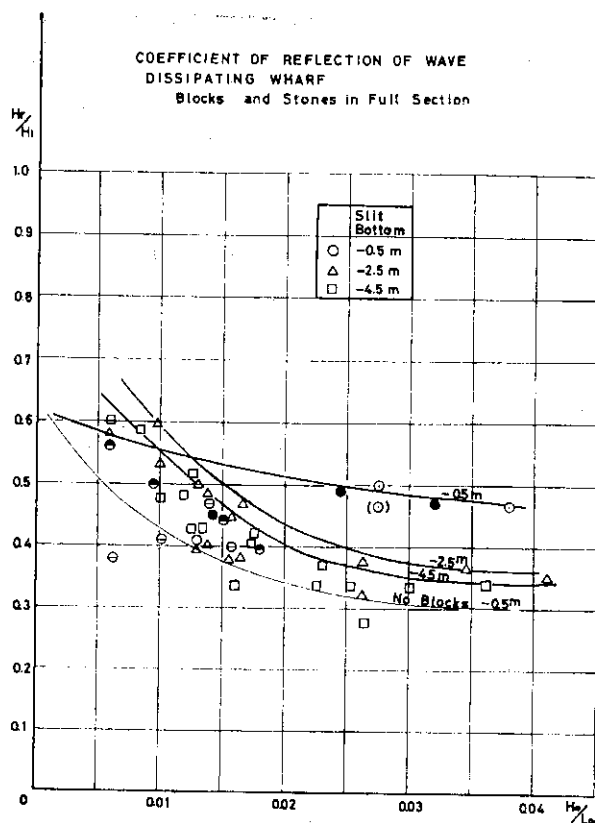


図-17 スリット型ケーソンタイプ消波岸壁
の反射率とスリット長の関係 (捨石
およびEブロック填充した場合)

から侵入波高の2倍程度必要であり、またそれ以上スリットを長くする必要もないことを意味する。しかしながら、上部床版に作用する揚圧力を測定した結果によると、揚圧力の最大同時波圧強度分布は中詰めブロックを全断面に填充すると床版に平均して一様に作用し、中詰めなしの場合に比べその波圧合力はほぼ1/3に減少して、スリットを長くするほど揚圧力は減少する傾向がある。また前面の水面付近に吹きだす水流の速度もおだやかになるので、船の接岸および係留を考慮すると下端を-4.5 mまで下げておくほうが岸壁の安定上および利用上の点で望ましい構造といえる。

b) 三次元実験

二次元水槽による試験の結果、スリット型ケーソンタイプの直立消波岸壁の消波性能はかなり有効なものと認められたが、これを現地の港に施工した場合に港内静穏度がどのように変化するかを確かめる必要があった。すなわち現地岸壁では波浪はかなり広範囲の角度から入射するので消波岸壁の法線方向の有効性を調べる必要があった。この実験は室内大型平面水槽 (18.0×10.0×0.4 m) に現地の1/75縮尺の模型を製作し、延長188 mの直立消波岸壁を設置して検討した。図-18および19に実験結果の一例を示す。図-18は従来の直立ケーソン岸壁の場合、図-19は延長188 mの消波岸壁を施工した場合の港内静穏度を示す。沖波の侵入波は波向 W 、 $T_p =$

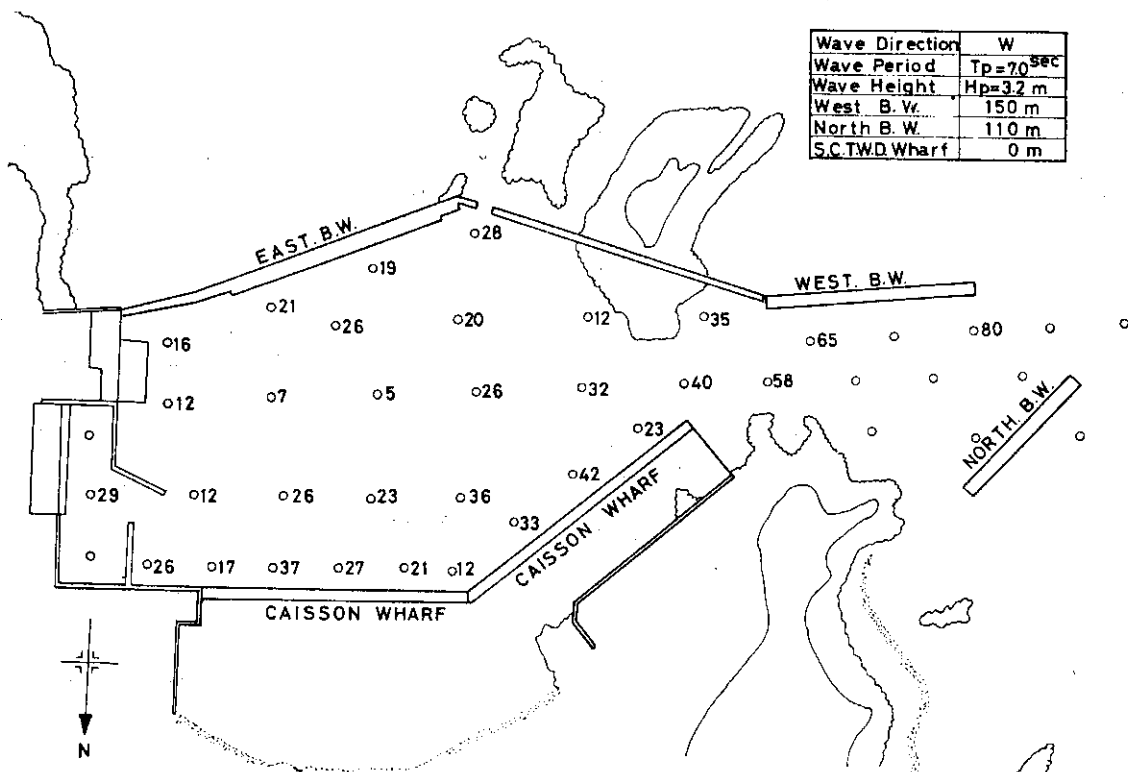


図-18 追直漁港遮蔽実験静穏図 (直立岸壁施工)

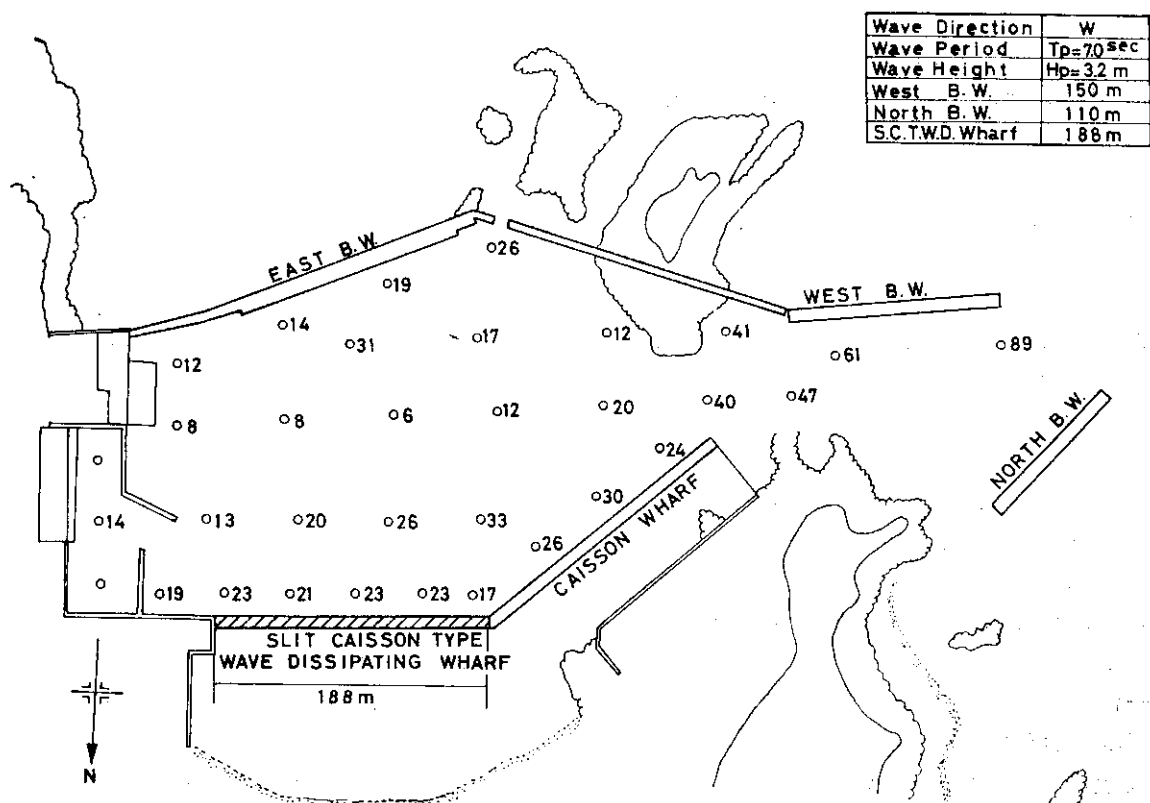


図-19 追直漁港遮蔽実験静穏図 (スリット型ケーソンタイプ消波岸壁 188 m 施工)

7.0 sec, $H_p=3.2 \text{ m}$ である。図中の数値は沖波侵入波高に対する各測点の波高を%で示したものである。消波岸壁の効果はまず第一に、港口を節とし、港奥船揚場前面を反射面として発生する港内縦断方向の副振動が非常に良く防止されることである。第二に漁船溜における波高を半減させている。また消波岸壁前面の波高は侵入波向 WNW に対して7~10%, W および WS 波に対して5~15%それぞれ小さくなっておりかなりの効果を發揮していることがわかる。すなわち消波岸壁は横からの沿い波に対しても十分消波効果があることがいえる。

c) スリット型ケーソンタイプ消波岸壁の今後の課題

室蘭開発建設部追直漁港で製作したスリット型ケーソンの重量は一基 254 t で、岸壁背後埋立地で製作されたものを 500 t 吊り起重機船で吊り上げ所定位置に据付けした。普通のケーソンと異なりスリットがあるので注水する手間は省け、波による揺れも少ないので据付けは非常に簡単で、1 箇の吊りだしから据付け完了までの時間は約 1 時間であった。中詰めブロックの据付けは、ケーソン内での作業が危険なので潜水夫は使用せず、特殊な吊金具とクローラー台船を使ってケーソン上面から個々に吊り下げて行なった。このために施工当初の実質空隙率が 63% と約 8% 大きくなった。今後は大型起重機船

の使用によって、陸上でブロック填充、床版打設を行なってケーソン一基を一体としてユニット化して岸壁の急速施工を可能ならしめるように改良するのも一方法であろう。また填充ブロックについては静水面付近と水底付近に分けて、設置するブロックや捨石およびその他のコンクリート構造物（たとえば前節の粗面）などを組合せた合理的かつ経済的な中詰め填充材についてさらに検討する必要があると思われる。

7 結 論

以上の実験結果から消波岸壁の反射率について次のことがいえる。

(1) 構造物により反射する見かけの反射率は一定の h/L_0 に対して極大値と極小値があるようで、 H_0/L_0 に対し三次曲線をとる。

(2) 消波岸壁の見かけの反射率は、それぞれの h/L_0 に対する上限値を結ぶと H_0/L_0 が小さいほど大きくなって $H_r/H_t=1.0$ に近づき H_0/L_0 が大きくなるにつれて漸減する。

(3) 粗面が反射率低減によぼす効果は h/a が小さくなるほど大きくなる。

(4) 粗面による侵入波のエネルギー損失は $S=90^\circ$ では、 H_0/L_0 が大きいほど大きく、 $S=45^\circ$ では $H_0/L_0=0.04$ 付近で、 $S=30^\circ$ では $H_0/L_0=0.02$ 付近で最大値を

とる。

(5) 特殊異形ブロック4層積みの直立消波岸壁の反射率は粗面 $h/a=12\sim14$ ($S=90^\circ$) の反射率とほぼ同じである。

(6) 特殊異形ブロック2層積みの直立消波岸壁の反射率はこれら2層積みブロックを取除いた複断面の直立防波堤の反射率と同じかそれより大きくなる。

(7) スリット型ケーソンタイプ消波岸壁の消波効果は、 $H_0/L_0 \leq 0.03$ で3割勾配の不透過斜面の反射率より小さくなり、 $H_0/L_0 \geq 0.03$ ではほぼ $H_r/H_I = 0.35$ である。これは粗面 $h/a=12$ ($S=45^\circ$) の反射率とほぼ同様である。

以上の各節により直立消波岸壁の消波効果に関して、その工学的意味の反射率を述べ消波岸壁に使用するブロックの改良、開発に対して若干の提案を行なった。今後の消波岸壁の合理的設計、施工に少しでも参考になれば幸いである。

解 説—1

Healy の方法解説

いま 入射波を $y_1 = a \sin(\sigma t - kx)$

反射波を $y_2 = b \sin(\sigma t + kx)$ とすると

a, b はともに振幅、ここで

$$\sigma = \frac{2\pi}{T}, \quad k = \frac{2\pi}{L} \quad \text{である。}$$

合成波は $y = y_1 + y_2$

$$= a \sin(\sigma t - kx) + b \sin(\sigma t + kx)$$

$$= (a+b) \sin \sigma t \cos kx$$

$$- (a-b) \cos \sigma t \sin kx$$

ここで、

$\cos kx = \pm 1$ の時

すなわち

$\sin kx = 0$ ($x = \frac{L}{2}$ の倍数) の時

$$\therefore (y_{\max})_{\max} = a + b$$

$$(y_{\max})_{\min} = -a + b$$

また

$\sin kx = \pm 1$ の時

すなわち

$\cos kx = 0$ ($x = \frac{L}{2}$ の倍数 $+\frac{L}{4}$) の時

$$\therefore (y_{\min})_{\max} = a - b$$

$$(y_{\min})_{\min} = -(a - b)$$

したがって、

$$a = \frac{(a+b) + (a-b)}{2} = \frac{y_{\max} + y_{\min}}{2}$$

: 入射波の半波高 (振幅)

$$b = \frac{(a+b) - (a-b)}{2} = \frac{y_{\max} - y_{\min}}{2}$$

: 反射波の半波高 (振幅)

反射率は

$$\frac{H_r}{H_I} = \frac{2b}{2a} = \frac{y_{\max} - y_{\min}}{y_{\max} + y_{\min}}$$

例えば、海岸構造物前面における波浪状況が重複波で、その進入波の波長のほぼ半波長の位長で最大波高 $H_{\max} = 2.1$ m を観測し、また $\frac{1}{4}$ 波長の位置で、最小波高 $H_{\min} = 0.9$ m を観測したとすると、この場合の侵入波高 H_I は $H_I = \frac{H_{\max} + H_{\min}}{2} = \frac{2.1 + 0.9}{2} = 1.5$ m
また反射波高 H_r は $H_r = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{2} = \frac{2.1 - 0.9}{2} = 0.6$ m したがって、この構造物の反射率は上記の波に対して

$$\text{反射率} = \frac{H_r}{H_I} \times 100 = \frac{0.6}{1.5} \times 100 = 40\% \quad \text{となる。}$$

解 説—2

直立壁に粗度を取付けた場合の消波効果

[例]

水深 $h = 12.0$ m のところに設置されている直立ケーソン壁に深さ $a = 0.5$ m, 1.0 m および 1.5 m の格子状の粗度 (図-2 参照) を取付けた場合にケーソン前面に生じる反射率はどうなるか、

いまかりに侵入波 $H_0/L_0 = 0.04$ ($T_p \approx 10^{\text{sec}}$, $H_p \approx 6$ m) の場合を考えると図-13 より

$a = 0.5$ m の場合

$$h/a = \frac{12.0}{0.5} = 24 \quad \text{反射率 } H_r/H_I = 77\%$$

$a = 1.0$ m の場合

$$h/a = \frac{12.0}{1.0} = 12 \quad \text{反射率 } H_r/H_I = 66\%$$

$a = 1.5$ m の場合

$$h/a = \frac{12.0}{1.5} = 8 \quad \text{反射率 } H_r/H_I = 59\%$$

となりこの場合ほぼ2割勾配の斜面の反射率に等しくなる。

参 考 文 献

- 1) 橋本 明, 得永道彦, 寺地治一, 鴻上雄三, 時川和夫; 消波機能を内蔵する岸壁について—追直漁港—5.0 m 岸壁の計画と施工—, 土木試験所月報 第208号, 1970.
- 2) 高野哲三; 館浜漁港の消波機能を有する—2.5 m 物揚場工事について—, 第16回全国漁港建設技術研究会講演集, pp. 71~81, 1971.
- 3) 尾崎 晃, 大沼孝二; 直立式消波岸壁について, 第27回年次学術講演会講演集 第II部 pp. 55, 1972.
- 4) 運輸省第4港湾建設局下関調査設計事務所; 門司

- 港消波岸壁模型実験報告書, No. 63, 1974.
- 5) 室田 明, 山田哲二; 反射に関する基礎的研究, 第13回海岸工学講演会講演集, pp. 9~14, 1966.
- 6) 岩垣雄一, 木村 晃; 反射実験における波の相互干渉, 第18回海岸工学講演会論文集, pp. 105~109, 1971.
- 6) Goda Y. and Abe Y.; Apparent Coefficient of Partial Reflection of Finite Amplitude Waves, Report of The Port and Harbour Research Institute, Vol. 7. No. 3, 1968.
- 8) Greslou L. and Mahe Y.; Etude du Coefficient de Reflexion d'une Houle sur un Obstacle Constitue par un Plan Incline, proc. 5th Conf. on Coastal Eng., pp. 68~83, 1954.
- 9) Johnson J. W. and Tokikawa K.; Wave Reflection on Slopes for Different Roughness, University of California, Berkeley, CE 299 Report, 1973.
- 10) 土木試験所港湾研究室; 直立消波岸壁性能試験報告書, 1974.
- 11) 鴻上雄三, 時川和夫; 消波工を内蔵した岸壁の消波効果について, 第25回年次学術講演会講演集第II部, pp. 71~74, 1970.
- 12) 土木試験所港湾研究室; 追直漁港遮蔽模型実験報告書, 1972.
- 13) 井島武士, 尾崎重雄, 松尾隆彦, 小林 彰; 直立消波岸壁に関する研究(1)—水平板岸壁について—第16回海岸工学講演会講演集, pp. 289~296, 1969.

昭和49年11月30日発行 編集兼 相田俊郎
発行人

発行所 北海道開発局土木試験所
062札幌市豊平区平岸1条3丁目2番地
電話 (841) 1111 (代表)

印刷所 興国印刷株式会社
札幌市中央区大通り西8丁目
電話 (241) 4323 (代表)