

# 異形ブロックの消波効果に関する一考察

鴻上雄三\* 時川和夫\*\*

## 目 次

1. まえがき
2. 実験装置および方法
3. 異形ブロックの消波効果
4. 実験結果
5. 実験結果の考察および結論
  - 1) 反射率
  - 2) 透過率
  - 3) 遡上率
  - 4) エネルギー損失係数  $k$
  - 5) 実験結果の現地への適用性

### 1. まえがき

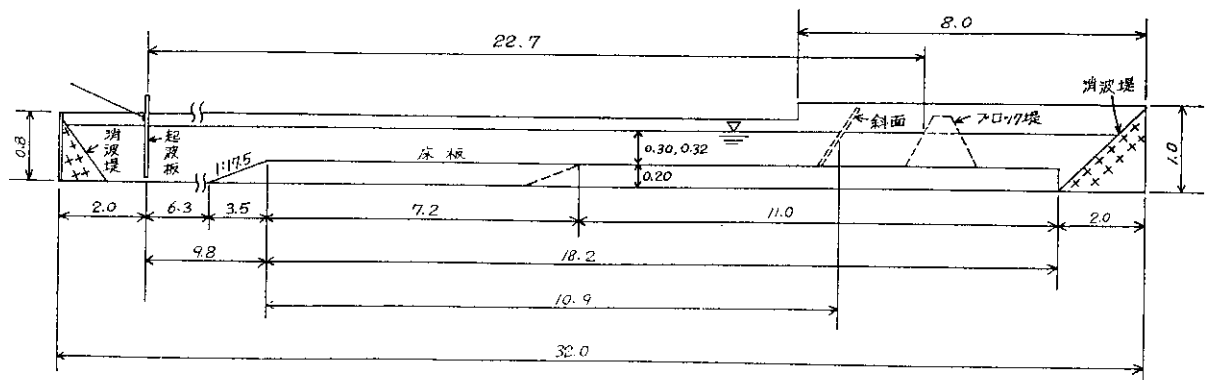
近年、港湾工事において、消波の目的で数多くの異形コンクリートブロックが、盛んに用いられているが、現在までのところ、ブロックの消波効果に関しては明確に把握されていない状態である。この報文においては波の反射、透過および遡上に焦点を絞り、まず層積みした2, 3の異形ブロックの消波効果を比較検討し、次に異形ブロック堤について、1つの断面をとりあげて、これ

を構成するブロックの大きさや空隙の状態、およびその積み方が、消波効果にどのような影響を与えるかについて検討を加えた。

### 2. 実験装置および実験方法

実験に用いた波浪水槽は、図—1に示すように長さ32.0m、幅0.8m、深さ0.8mの両面ガラス張り、造波装置はベンジュラム型である。実験は縮尺 $\frac{1}{50}$ で行なった。用いた波は現地に換算すると、周期 $T_p=4.0\sim 12.0$  sec、波高 $H_p=0.2\sim 3.4$  m、波長 $L_p=20.4\sim 95.6$  m、水深 $h_p=6.0\sim 6.4$  mで、使用した異形ブロックの重量は、透過および不透過斜面上に層積みしたブロック（以下層積み異形ブロックという）に関しては $W_p=8, 21$  t、ブロック堤に積んだものに関しては $W_p=2, 8, 16, 21$  tである。

波高の測定は、直線性のよい抵抗線式波高計6台を同時に用いて行ない、記録紙上に第1波よりほぼ30波；造波板からの再反射波が入るまでの波を連続記録させた。入射波および反射波の波高は、ブロックノリ面の前方1～3波長の間に生じる部分重複波の腹および節において



図—1 32m波浪水槽断面図 (単位 m)

測定された波高の中から、最大波高： $H_{max}$ と最小波高： $H_{min}$ （おのおの連続5波の平均）を求めることにより次のHealyの方法で計算した。入射波高 $H_i = (H_{max} + H_{min}) / 2$ 、反射波高 $H_r = (H_{max} - H_{min}) / 2$

また異形ブロックノリ面を遡上する波高の測定は、前面で反射波が十分形成された後、遡上する波の連続5波

の平均をガラス両側面より同時に読みとって、その平均を遡上高 $R$ とした。

実験は次の3つの場合について行なった。

(1)層積みの場合、これは表—1に示すとおり、A, B, Cの3種類の異形コンクリートブロックを用い、8種類の積み方について、ブロックの下層を透過斜面（透過に

\*港湾研究室長 \*\*同室主任研究員

表一 層積み異形ブロックの積み方

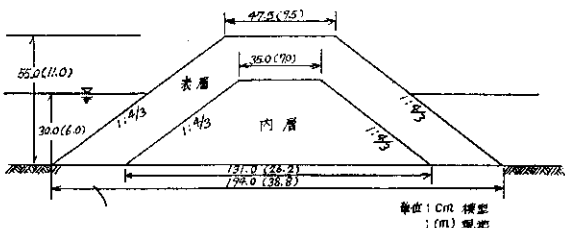
| 勾配     | ①        | ②        | ③        | ④        |
|--------|----------|----------|----------|----------|
| ノリ勾配   | 1/10     | 1/15     | 1/15     | 1/15     |
| 種類     | B70-7 2層 | B70-7 2層 | A70-7 2層 | C70-7 2層 |
| 積み方    | 並積       | 並積       | 並積       | 並積       |
| 空隙率(%) | 51.0     | 51.0     | 55.0     | 57.0     |
| 勾配     | ⑤        | ⑥        | ⑦        | ⑧        |
| ノリ勾配   | 1/15     | 1/15     | 1/20     | 1/30     |
| 種類     | A70-7 2層 | A70-7 1層 | A70-7 2層 | A70-7 2層 |
| 積み方    | 乱積       | 乱積       | 並積       | 並積       |
| 空隙率(%) | 55.0     | 60.4     | 55.0     | 55.0     |

よる波の減衰率が、使用した波に対して、0～6%の範囲にあるメッシュの鉄格子)にした場合、および不透過斜面(板)にした場合についてそれぞれ比較検討した。

(2)ブロック堤に積んだ場合、これは表一2に示すとおり図一2の断面にAブロックを用いて、6種類の積み方について検討した。

表一2 ブロック堤の積み方および空隙率

| 種類  | ①'                  | ②'                                         | ③'                                          |
|-----|---------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 表層  | 全16 <sup>+</sup> 乱積 | 表層16 <sup>+</sup> 乱積<br>内層2 <sup>+</sup> 。 | 表層16 <sup>+</sup> 乱積<br>内層2 <sup>+</sup> 乱積 |
| 表層  | 219個                | 133個                                       | 124個                                        |
| 内層  | 58.5%               | 54.1%                                      | 43.5%                                       |
| 全断面 | 58.5%               | 51.3%                                      | 51.3%                                       |
| 空隙率 | 58.5%               | 52.8%                                      | 52.7%                                       |
| 種類  | ④'                  | ⑤'                                         | ⑥'                                          |
| 表層  | 全8 <sup>+</sup> 乱積  | 表層8 <sup>+</sup> 乱積<br>内層2 <sup>+</sup> 。  | 表層21 <sup>+</sup> 乱積<br>内層2 <sup>+</sup> 。  |
| 表層  | 457個                | 256個                                       | 95個                                         |
| 内層  | 51.3%               | 53.0%                                      | 56.3%                                       |
| 全断面 | 51.3%               | 51.3%                                      | 51.3%                                       |
| 空隙率 | 55.3%               | 53.3%                                      | 54.0%                                       |



図一2 ブロック堤断面図

(3)不透過斜面のみの場合。

### 3. 異形ブロックの消波効果

異形ブロックの消波効果の大きさを比較するために、入射波がブロック内部で失うエネルギー量の大小を調べる。このためまず次のことを仮定する。測定波についてはすべて微小振幅波理論が適用でき、しかも入射波、反射波、および透過波について波長の変化はないものとする。前記の実験方法により入射波高、反射波高、および

透過波高が求まり、これより異形ブロックによるみかけのエネルギー損失が求められる。ここでは次の3つの場合について、それぞれのエネルギー関係式を作って考察する。

①不透過斜面のみの場合

②透過斜面上に異形ブロックを設置した場合

③不透過斜面上に異形ブロックを設置した場合

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

$$② \quad E_t = E_r + E'_s + E_B + E_t \dots\dots\dots(2)$$

$$③ \quad E_t = E_r + E'_s + \alpha E_B + \beta E_s \dots\dots\dots(3)$$

ここに  $E_t$ : 入射波のエネルギー,  $E_r$ : 反射波のエネルギー,  $E_s$ : 不透過斜面により失われるエネルギー,  $E'_s$ : 異形ブロックノリ面により失われるエネルギー,  $E_B$ : 異形ブロック内部で失われるエネルギー,  $E_t$ : 透過波のエネルギー,  $\alpha, \beta$ : 係数,

$$\text{いま(2)式において } E'_s + E_B = E_B \dots\dots\dots(4)$$

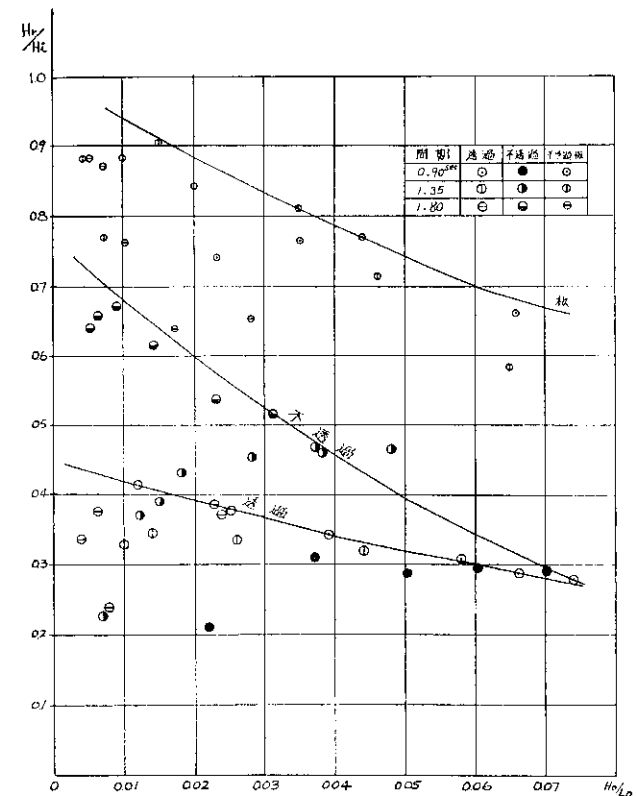
$$(3)式において \quad E'_s + \alpha E_B + \beta E_s = k E_B \dots\dots\dots(5)$$

とおくと

$$E_t = E_r + E_B + E_t \dots\dots\dots(6)$$

$$E_t = E_r + k E_B \dots\dots\dots(7)$$

(6), (7)式より異形ブロックにより失われるエネルギー  $E_B$  と、不透過斜面上の異形ブロックにより失われるエネルギー  $k E_B$  が求まる。ここで単位巾の1波長の波が有



図一3 ノリ勾配1/1.0の場合の反射率  
(Bブロック2層整積み使用)

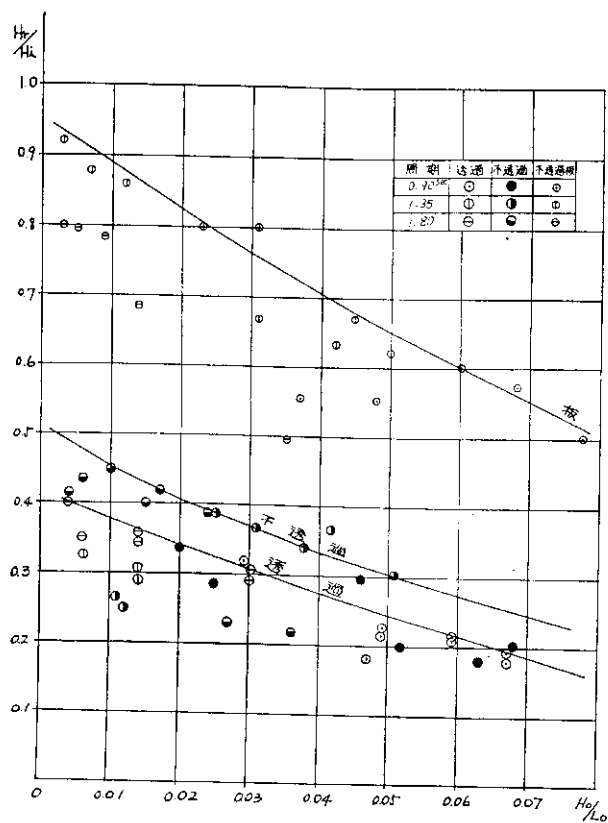


図-4 ノリ勾配1/1.5の場合の反射率  
(Bブロック 2層整積み使用)

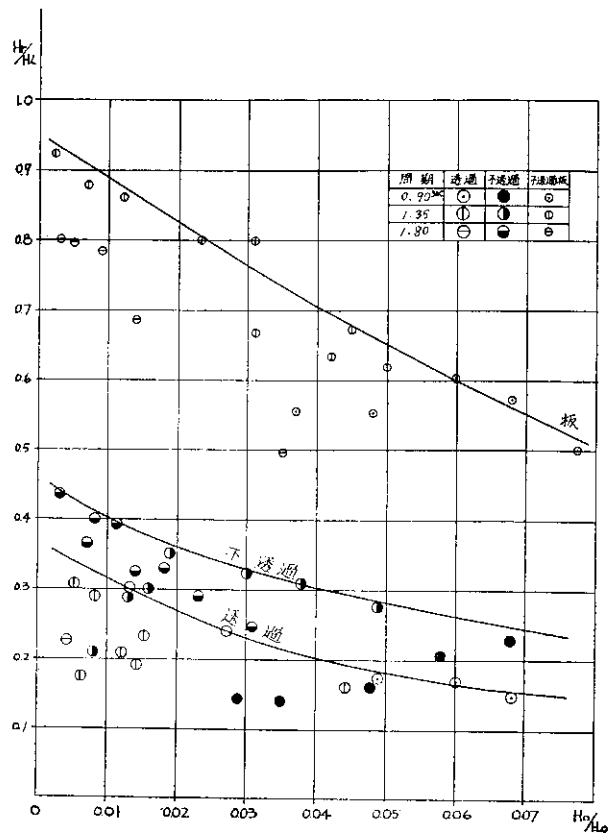


図-6 ノリ勾配1/1.5の場合の反射率  
(Cブロック 2層整積み使用)

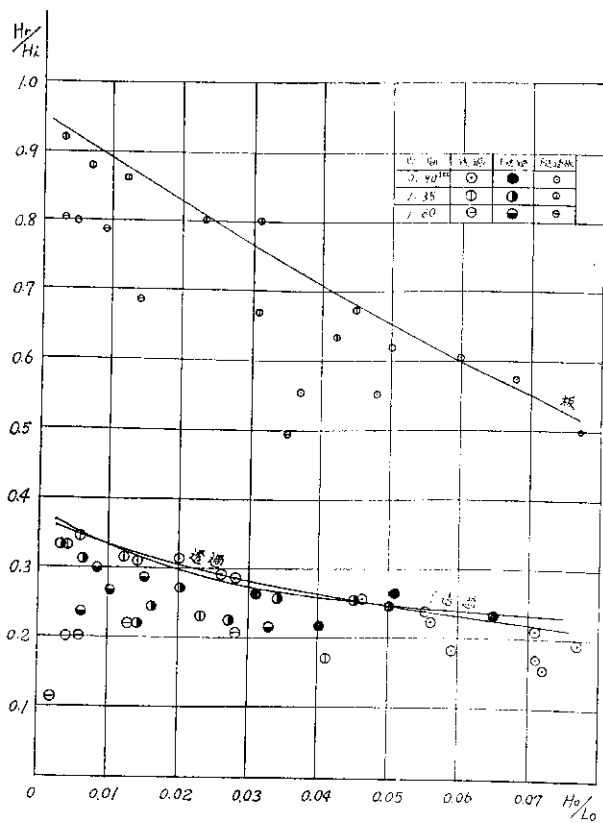


図-5 ノリ勾配1/1.5の場合の反射率  
(Aブロック 2層整積み使用)

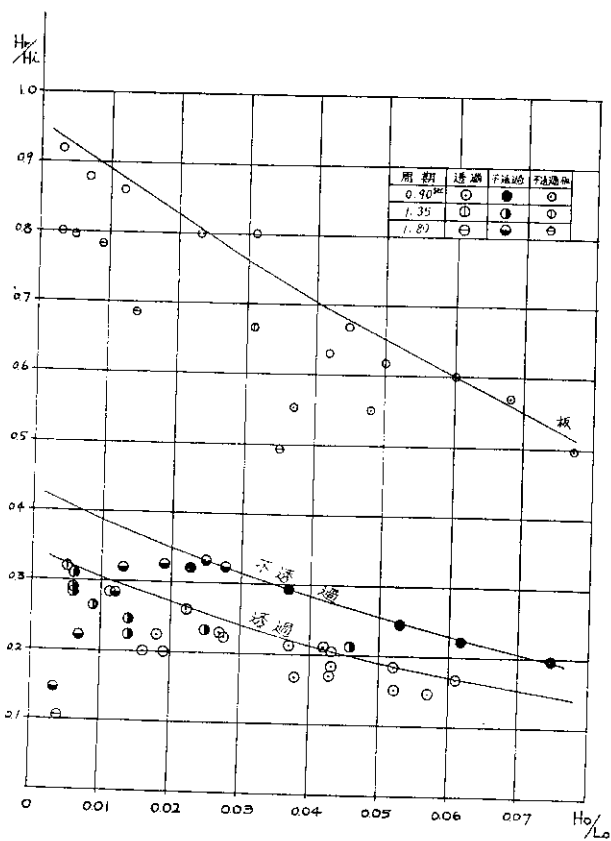


図-7 ノリ勾配1/1.5の場合の反射率  
(Aブロック 2層乱積み使用)

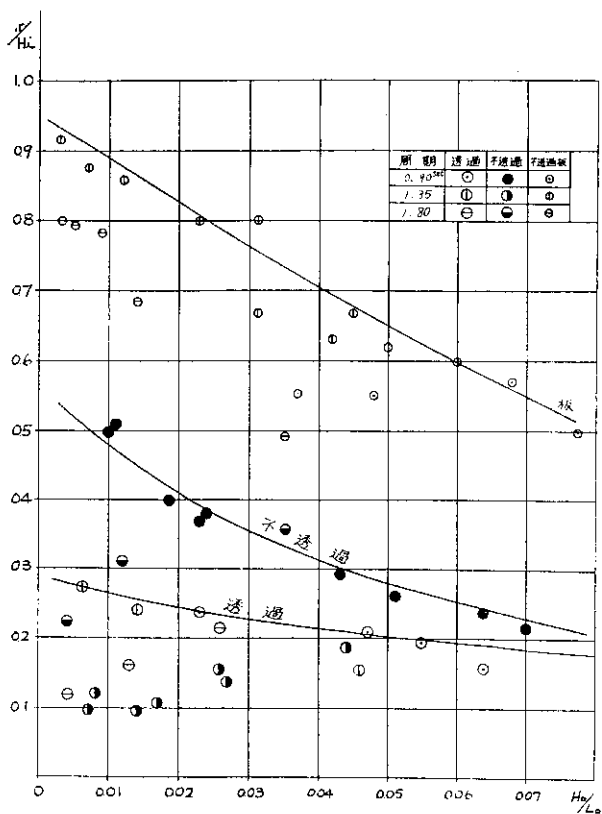


図-8 ノリ勾配1/1.5の場合の反射率  
(Aブロック1層乱積み使用)

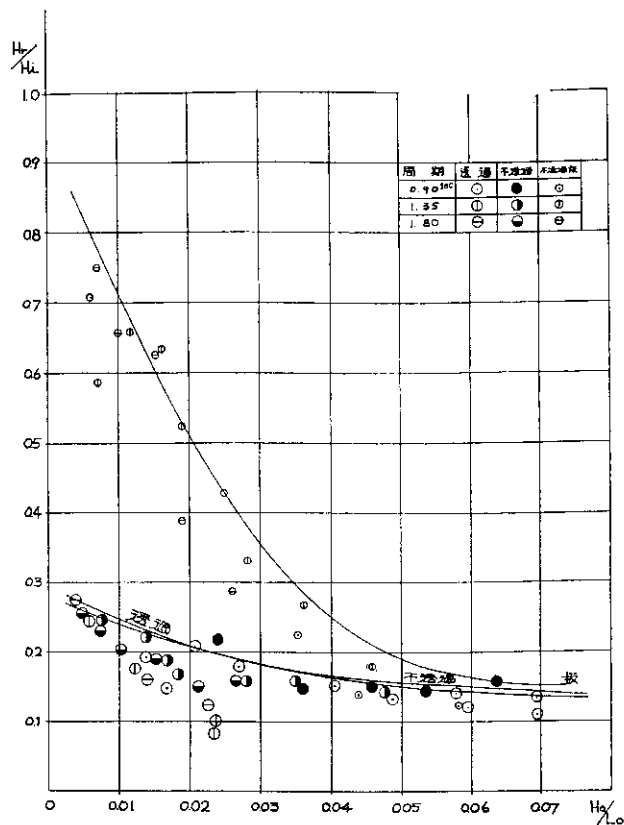


図-10 ノリ勾配1/3.0の場合の反射率  
(Aブロック2層整積み使用)

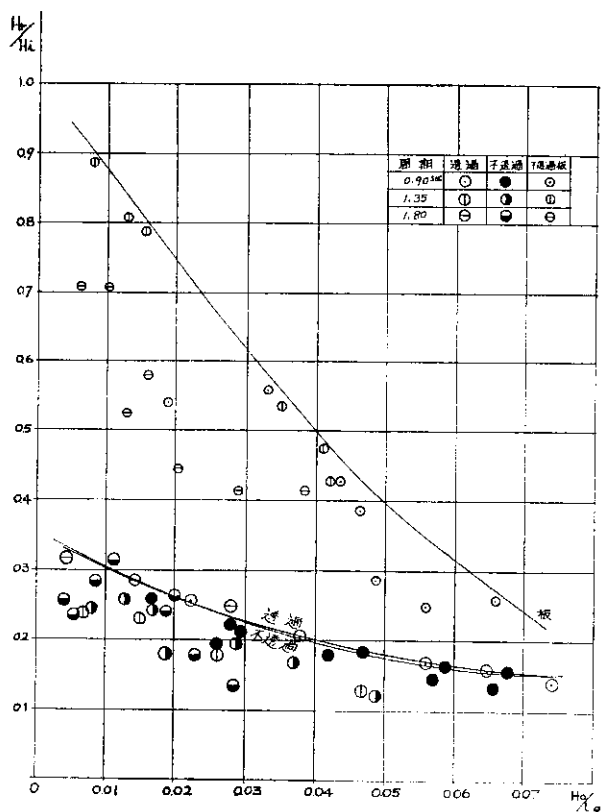


図-9 ノリ勾配1/2.0の場合の反射率  
(Aブロック2層整積み使用)

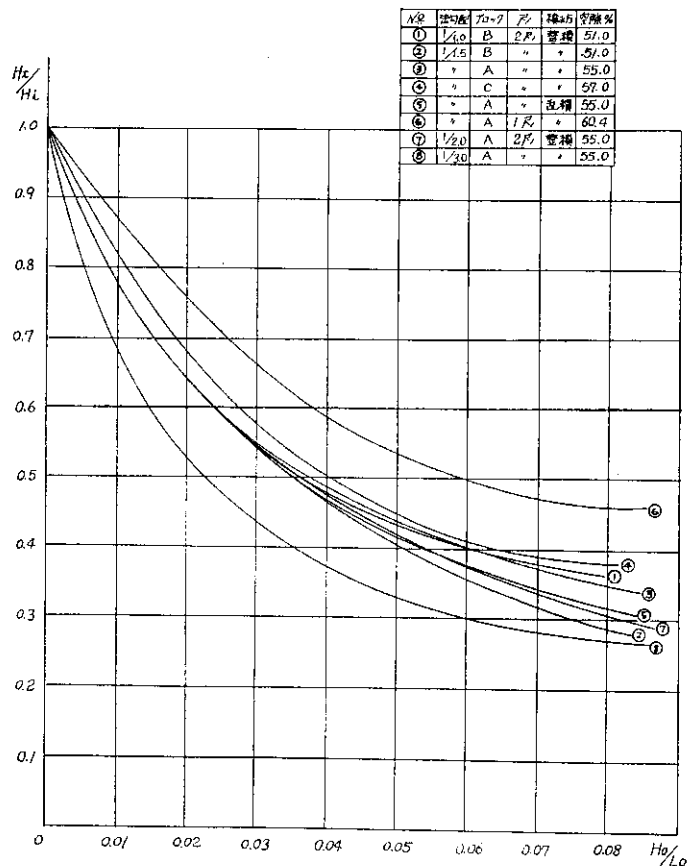


図-11 層積み異形ブロックの積み方  
による透過率の変化

するエネルギー  $E$  は、次の(8)式で表わされるものとする。

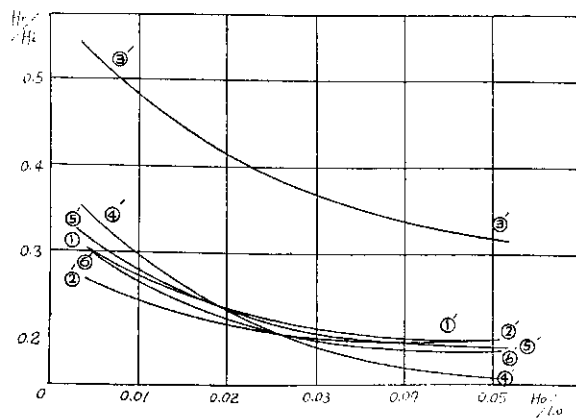
$$E = \frac{1}{2} \rho \int_0^L \int_{-h}^{\eta} \left\{ \left( \frac{\partial \phi}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial \phi}{\partial z} \right)^2 \right\} dx dz$$

$$+ \rho g \int_0^L \int_0^{\eta} z dx dz = \frac{1}{8} \rho g H^2 L \dots \dots \dots (8)$$

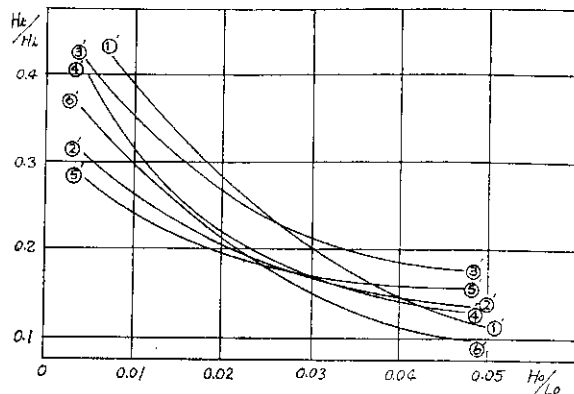
#### 4. 実験結果

層積みした異形ブロック（表—1 参照）に関して、反射率を示すと図—3～10のとおりである。図中(◎⊙⊖)印は透過斜面上にブロックを設置した場合、(●●●)印は不透過斜面上にブロックを設置した場合、(○○○)印は不透過斜面（板）のみの場合の実験値を示す。また透過率について示すと、図—11のとおりである。図中の曲線はおおのこの種類の断面に対する実験値の上限値を連ねたものである。ブロック堤に関して反射率および透過率を示すと図—12, 13のとおりである。図中の番号は表—2の断面番号に一致する。また層積み異形ブロックについて遡上率の一例を示すと、図—14のとおりである。

層積みした異形ブロックにより失われるエネルギー



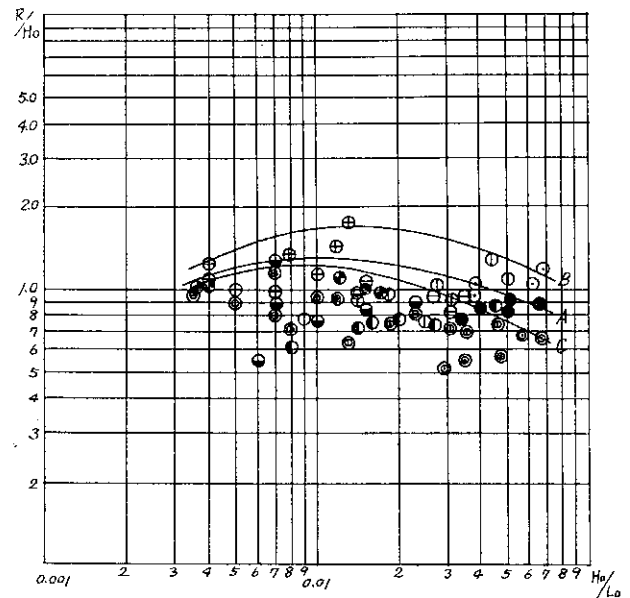
図—12 ブロック堤の積み方による反射率の変化



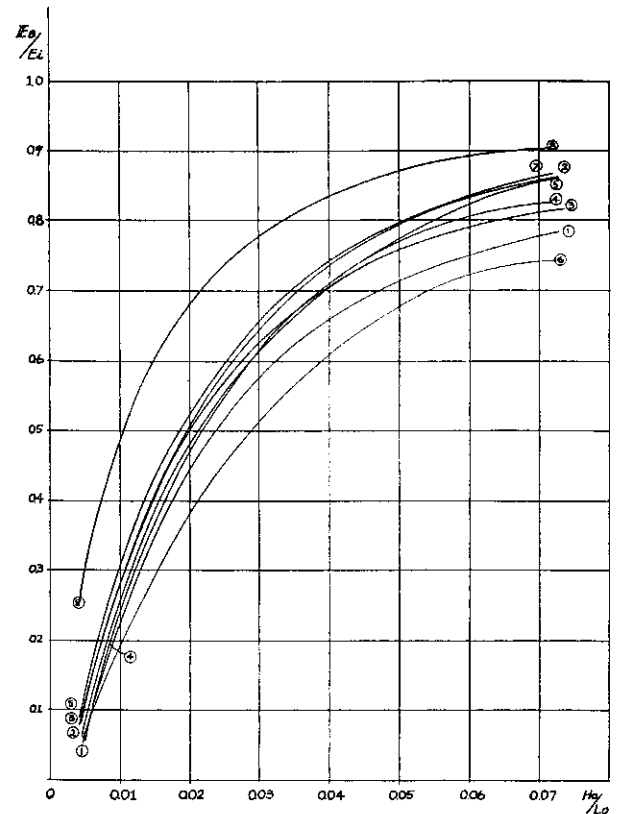
図—13 ブロック堤の積み方による透過率の変化

(ブロック重量 8 t) ノリ勾配 1:1.5

| Tm sec | Bブロック | Aブロック | Cブロック |
|--------|-------|-------|-------|
| 0.90   | ◎     | ●     | ⊙     |
| 1.30   | ⊖     | ●     | ⊙     |
| 1.80   | ⊖     | ●     | ⊙     |
| 2.60   | ⊕     | ●     | ⊙     |

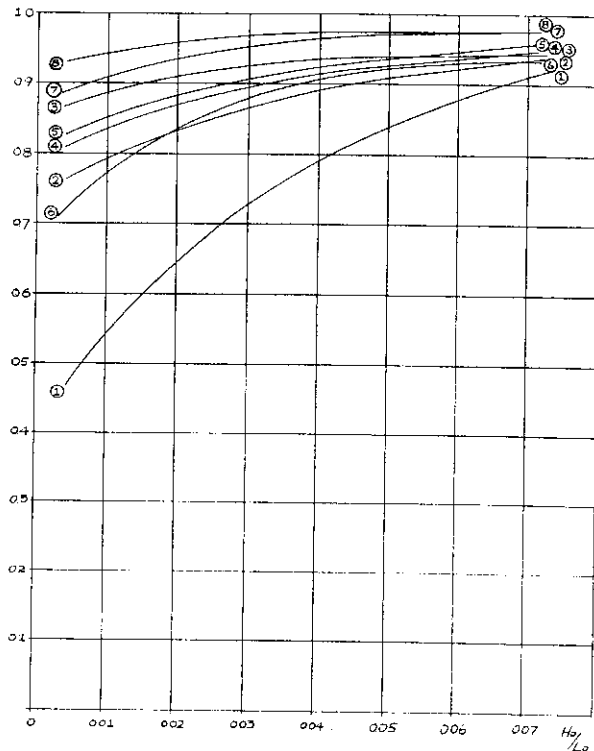


図—14 不透過斜面上に設置した2層整積み異形ブロックの遡上率

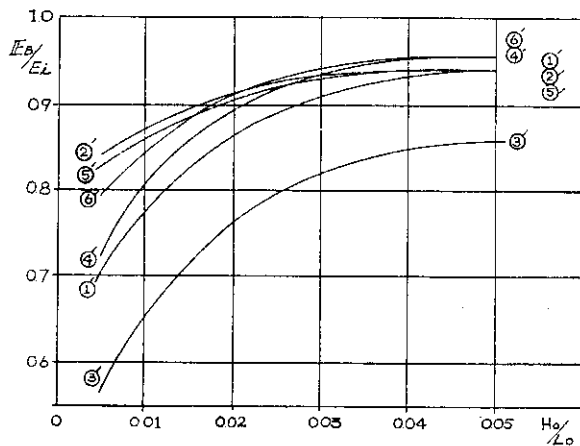


図—15 透過斜面上の層積み異形ブロックのエネルギー損失

$kE_B/E_i$



図—16 不透過斜面上の層積み異形ブロックのエネルギー損失



図—17 ブロック堤の積み方によるエネルギー損失

$E_B$  および  $kE_B$  を(6), (7)式より求めて, 沖波波形勾配  $H_0/L_0$  との関係で示すと図—15, 16のとおりである。図中の番号は表—1の断面番号に一致する。

層積み異形ブロックの場合についてはエネルギー損失の割合が大きいものはAブロック2層整積み, ノリ勾配1/3.0の場合で, 最も小さいのはAブロック1層乱積み, ノリ勾配1/1.5の場合である。このひらきは  $H_0/L_0$  により変化するが一般に15~30%であることがわかる。またノリ勾配1/1.5の場合, 2層積みの異形ブロックのみにては, いずれもほぼ同じ傾向で顕著な差はない。

しかし, 不透過斜面上に層積みして設置した異形ブロックの場合, エネルギー損失の割合が大きいものはAブロック2層整積み, ノリ勾配1/3.0の場合で, 最も小さいのはBブロック2層整積み, ノリ勾配1/1.0の場合である。このひらきは一般に10~40%である。またノリ勾配1/1.5の場合の2層積みの異形ブロックについては, 損失の大きいものから順にAブロック2層整積み, Aブロック2層乱積み, Cブロック2層整積み, Bブロック2層整積みとなることがわかる。

またブロック堤により失われるエネルギー  $E_B$  について示すと図—17のとおりである。

## 5. 実験結果の考察および結論

上記の実験結果より侵入波の反射率, 透過率および遡上率に関して次のことがいえる。

### 1) 反射率

#### i) 層積みした異形ブロックの反射率

①ノリ勾配1/1.5の不透過斜面上に2層整積みした異形ブロックによる反射率は, 大きいものから順にBブロック, Cブロック, Aブロックとなり, この傾向は侵入波の  $H_0/L_0$  が小さいほど著しい。

②Aブロック2層整積みの場合, 下層が透過, 不透過に関係なく, 反射率はほぼ同じであるが, 2層乱積みの場合, 下層が透過の場合は不透過の場合に比べて約7%反射率が減少する。

③2層整積みしたBブロックおよびCブロックは, 下層が透過の場合は不透過の場合に比べてそれぞれ7%および10%一様に減少する。これはブロック内部の空隙の通路がブロックの形状およびその積み方によって変化することを示し, この通路の方向が下層の不透過面に直角で波の進行方向に平行なものほど, すなわち侵入波の2次元運動の方向と同じ方向に向いているものほど, 下層面による反射エネルギーが大きく前面に流出するために, 消波効果が悪くなるといえる。

④反射率を小さくするには設置するブロックのノリ面勾配をできるだけゆるくするのが望ましい。例えばノリ勾配1/3.0で2層整積みしたAブロックについてみると,  $H_0/L_0$  の小さな波に対しても反射率は28%以下におさえることができる。

#### ii) ブロック堤の反射率

①ノリ勾配1/4の乱積みしたAブロック堤の反射率は16~35%の範囲にあって,  $H_0/L_0$  が小さい波浪ほど反射率は大きい。

②内層を同一ブロックにして, 表層を8, 16, 21 tのブロックで乱積みした場合, 空隙率は55~57%ではほぼ等しいが, この範囲においては, 反射率はいずれの場合もほぼ同じである。

③ブロックを乱積みにした場合、(実験No.①'②'④'⑤'⑥')は、密に整積みした場合、(実験No.③')より反射率がほぼ15~20%小さい。

## 2) 透過率

### i) 層積みした異形ブロックの透過率

①異形ブロック2層積みの透過率は、ノリ勾配が1/1.0~1/2.0の範囲においては $H_o/L_o > 0.03$ の波浪に対して $H_t/H_i = 30 \sim 55\%$ 、 $H_o/L_o < 0.03$ の波浪に対して $H_t/H_i = 55 \sim 100\%$ になる。

②ノリ勾配1/1.5で2層整積みした異形ブロックの透過率は、大きいものから並べるとCブロック、Aブロック、Bブロックの順で、これは空隙率の大きさの順に一致する、またAブロックとBブロックを比べると $H_o/L_o < 0.03$ の波に対しては、どちらも同じ傾向であるが、 $H_o/L_o > 0.03$ の波浪に対してはBブロックのほうが透過率は小さい。

③Aブロック2層整積みについて、ノリ面勾配の影響をみると、ノリ勾配がゆるくなるほど透過率は小さくなり、ノリ勾配1/3.0の場合は1/1.5および1/2.0の場合よりほぼ10%減少する。ノリ勾配1/1.5と1/2.0を比べると、 $H_o/L_o < 0.03$ の波に対してはどちらも同じ傾向であるが、 $H_o/L_o > 0.03$ の場合、 $H_o/L_o$ が大きくなるにしたがって1/2.0の方はだんだん透過率は小さくなる。

④Aブロック2層積みの場合、整積みと乱積みによる相違はあまり認められないが、 $H_o/L_o > 0.03$ の波浪に対して、乱積みのほうが整積みと比べ透過率は3%程度減少する。

### ii) ブロック堤の透過率

①ノリ勾配1/1.5のAブロック堤の透過率は、 $H_o/L_o > 0.03$ の波浪に対して $H_t/H_i = 10 \sim 20\%$ 、 $H_o/L_o < 0.03$ の波浪に対して $H_t/H_i = 20 \sim 50\%$ となり、2層乱積みのブロックのみの場合よりほぼ20~50%減少している。

② $H_o/L_o$ が同一の場合は、 $h/L_o$ が大きい波浪ほど透過率は小さい。

③乱積みに対して行なった実験結果より、空隙率が大きいものほど透過率は大きいといえる。

④空隙率がほぼ等しい場合でブロックの大きさだけが異なる実験(No.②'⑤'⑥')を比較すると、 $H_o/L_o = 0.02 \sim 0.03$ 付近を境にして透過の性質が変わる。すなわち $H_o/L_o < 0.02 \sim 0.03$ では、表層ブロックが大きいものほど透過率は大きく、 $H_o/L_o > 0.02 \sim 0.03$ では逆に小さくなる。また実験No.④'⑤'を比較すると、 $H_o/L_o < 0.03$ では内層ブロックが大きいほうが透過率は大きく、 $H_o/L_o > 0.03$ では逆に小さくなる。

## 3) 遡上率

### i) 層積みした異形ブロックの遡上率

①層積みした異形ブロックの遡上率のピークは、 $h/L_o$  = 0.03~0.26に関して $(R/H_{omax}) = 0.9 \sim 1.8$ の間にあり、下層面の透過、不透過による相違はあまりないようである。傾向としては $H_o/L_o = 0.01 \sim 0.03$ 付近に遡上率のピークがあるようで、これより $H_o/L_o$ が大きくなると $R/H_o$ は小さくなる。

### ii) ブロック堤の遡上率

①乱積みおよび整積みしたAブロック堤の遡上率のピークは、 $h/L_o = 0.03 \sim 0.10$ に関して、 $(R/H_o)_{max} = 1.0 \sim 1.8$ の範囲にあるが、 $H_o/L_o = 0.01 \sim 0.03$ 付近に遡上率のピークがあるようで、これより $H_o/L_o$ が大きくなると遡上率は減少する。

②ブロック堤内層を一定にして表層を8,16,21tのブロックで乱積みした場合、遡上率は表層のブロックの大きさには関係なく空隙率が大きいほど小さくなる。また表層のブロックを一定にして内層に小さなブロックを用い、空隙率を小さくすると遡上率は大きくなる。

### 4) エネルギー損失係数 $k$

層積みした異形ブロックに関する実験結果より、ブロック下面の不透過面で反射された波のエネルギーが、再び前面に流出する場合に生じるエネルギー損失の係数 $k \left( = \frac{k E_B}{E_B} \right)$ を図-16, 17より求めると、図-18~20に示すとおりである。ノリ勾配1/1.5の場合、2層整積

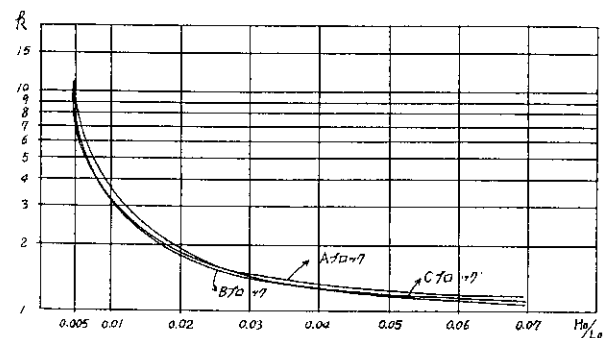


図-18 2層整積み異形コンクリートブロックの $k$ 値  
(ノリ勾配1/1.5の場合)

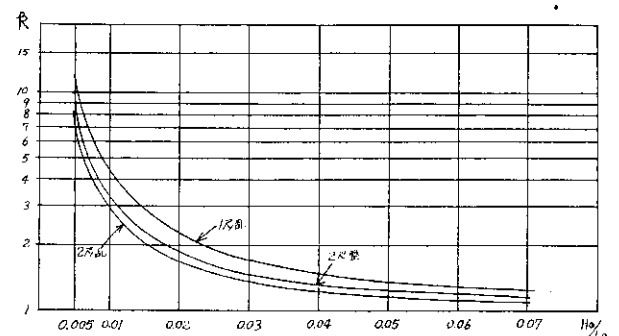
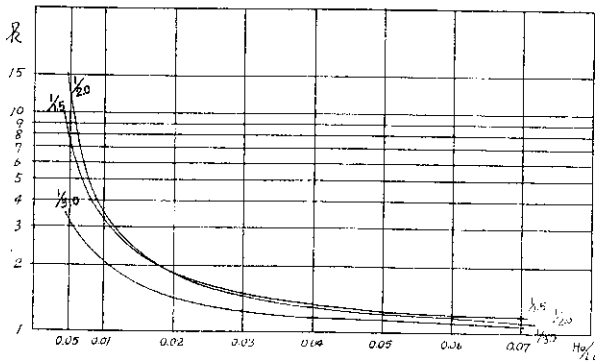


図-19 ブロックの積み方と $k$ 値の関係  
(Aブロック, ノリ勾配1/1.5の場合)



図—20 ノリ勾配と $k$ 値の関係  
(Aブロック2層整積みの場合)

みした異形ブロックの $k$ を示すと図—18のとおりである。いずれもほぼ同様の傾向を示し、 $H_0/L_0$ が増加するにつれて $H_0/L_0 > 0.025$ では $k$ は徐々に小さくなるが、 $H_0/L_0 < 0.025$ では $k$ は急激に小さくなる。また $H_0/L_0 > 0.025$ の範囲では $k$ の値は大きいものから順にAブロック、Cブロック、Bブロックとなり、 $H_0/L_0 < 0.025$ では、Cブロック、Aブロック、Bブロックの順になる。

またノリ勾配 1/1.5 の場合で、積み方を変えたAブロック層積みの $k$ を示すと、図—19のとおりである。2層乱積みした場合の $k$ は1層乱積みした場合のほぼ $1/2$ で、2層整積みした場合の $k$ はこれらの中間の値になる。また、Aブロック2層整積みの場合についてノリ勾配の影響を示すと図—20のとおりである。勾配 1/1.5 および 1/2.0 の場合は $k$ の値はほぼ同じ傾向であるが、ノリ勾配 1/3.0 の場合はこれらのほぼ $1/2$ になる。すなわち $k$ の値の大きいブロックほど、不透水性斜面上に設置して使用すると消波効果が良いといえる。また逆に $k$ の値の小さいものほど、ブロック下層を透過性の構造にして設置するほうが得策といえる。

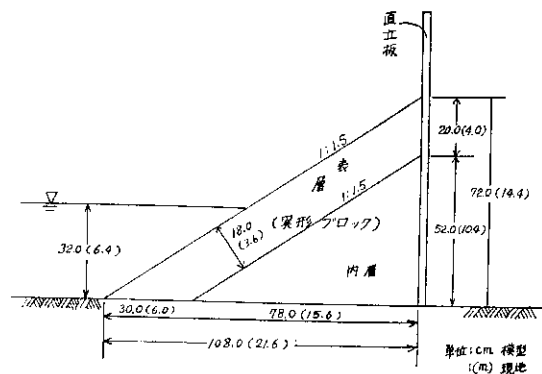
##### 5) 実験結果の現地への適用

上記の実験結果を現地に適用させる場合に、まず縮尺効果の問題があげられる。現在までのところ、波動を対象とした実験においてはフルードの相似律が用いられ、現象がごく短時間に生じる衝撃波圧の実験においてさえも、模型の縮尺が $1/10 \sim 1/30$ の範囲であれば縮尺の影響はないと報じられている。また波の反射および透過に関する実験においても、この範囲の縮尺においては縮尺の影響を考慮しなくてもよいと報じられている。<sup>3)</sup>したがって縮尺 $1/30$ でフルードの相似律により行なった上記の実験結果は、そのまま現地に適用して差し支えないものと考ええる。

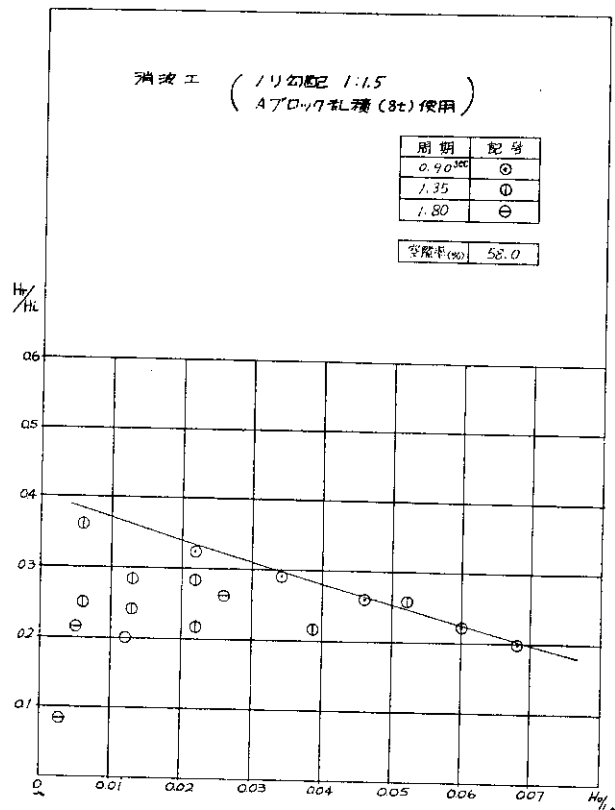
一般に現地で消波工として用いられているブロックの状態は、外海に面したところでは防波堤の前面に乱積み

されて、所要のノリ勾配で設置されており、特に前面での静穏度が要求される場合は、これによる波の反射率を知る必要がある。実験室内では図—21に示すような断面について実験を行ない次の結果を得た。

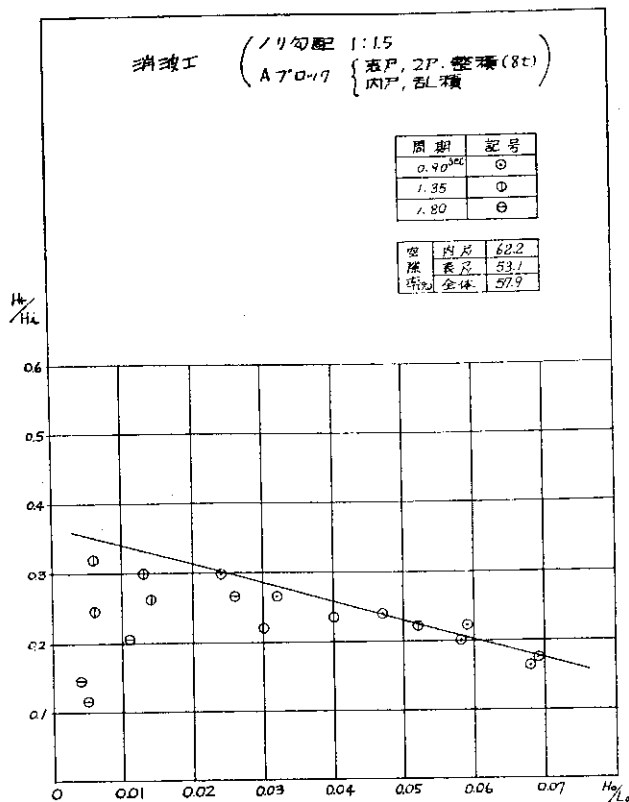
- ①ノリ勾配 1/1.5、Aブロック乱積み (8 t) の場合は、反射率は不透過斜面上の2層乱積みブロックの場合とほぼ同様である (図—22参照)。
- ②ノリ勾配 1/1.5、表層2層整積み (8 t) 内層乱積み (8 t) の場合は、反射率は2層整積みによる場合とほぼ同様である。(図—23参照)。
- ③ノリ勾配 1/1.5、表層乱積み1層 (21 t) 内層乱積み (8 t) の場合は、反射率は不透過および透過斜面上に設置した



図—21 消波工断面図



図—22 消波工の反射率

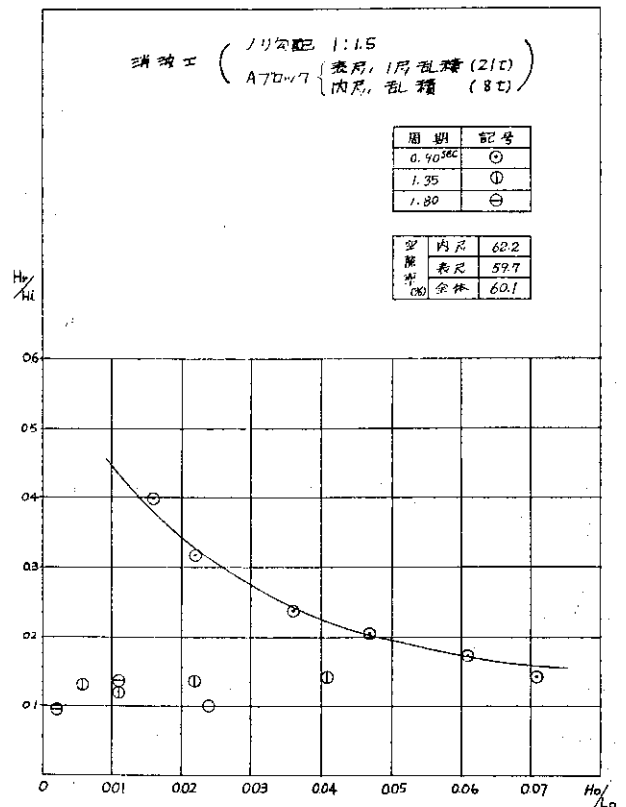


図—23 消波工の反射率

1層乱積みの場合のはば中間の値を示し、 $H_o/L_o$ が小さい波に対しては、不透過斜面上の場合の値に近づき、 $H_o/L_o$ が大きい波に対しては透過斜面上の場合に等しくなる傾向を示している。(図—24参照)。

一般に消波堤前面に生じる波高の最大振幅(波の山から谷までの距離)は $H_{max}=H_i+H_r$ で与えられるが、しかし実際の波は不規則波であるためにこれよりはいくぶん小さい値となることが予想される。

以上の実験結果より侵入波の特性(波高および波長)を知れば、その前面に生じる波高の最大値を予測することができ、またブロック堤に関しては、背後に伝達される透過波高およびその前面に生じる反射波高の最大値を推定することができる。



図—24 消波工の反射率

#### 参考文献

- 1) 鴻上：2, 3の異形ブロックの水理特性について  
北海道開発局土木試験所報告第42号(1966)
- 2) 永井, 久保, 時川：栈橋に働く揚圧力に関する研究, 第13回海岸工学講演会講演集(1966)
- 3) 佐藤, 三橋, 秦：潜堤に関する研究  
農業土木試験場技報
- 4) 鴻上, 時川：六脚ブロック堤に関する研究  
第23回年次学術講演会講演概要(1968)
- 5) L.Greslou, Y.Mahe: ETUDE DU COEFFICIENT DE REFLEXION D'UNE HOULE SUR UN OBSTACLE CONSTITUE PAR UN PLAN INCLINE, Coastal Engineering 5th (1954)