

ブロック積防波堤の波高伝達特性

三 浦 晃\*・遠 藤 茂 勝\*\*

1. ま え が き

ブロック積防波堤の波高伝達率に関する入射波の特性および、堤体形状による基本的な傾向については、これまでの研究<sup>1),2),3),4)</sup>にみられるようにいくつかの結果が示されている。また著者らは、ブロック積防波堤の堤体幅による波高伝達率の減少効果や、ブロック積防波堤内部を伝達する内部伝達波の入射波波形勾配との関連および、ブロック積防波堤の伝達率の実験式などについて検討してきた。しかし防波堤前面に波が入射してから、防波堤背後水域に波が伝達されるまでの一連の伝達経路内での波の変形特性については、まだ十分理解するにいたっていない。一方防波堤内の波高伝達は、入射波の特性、防波堤の形状そしてブロックの特性などに関係する複雑な機構をもつと同時に、波高伝達過程を知ることは、ブロック積防波堤の安定性を検討する上で重要な意味をもつ。そこで、本文では入射波の伝達過程に沿った波高伝達特性を調べる目的で、防波堤内部および背後水域に伝達される波について実験を行なったのでそれらについて報告する。

2. 実験装置と実験方法

実験は長さ 27.6 m、幅 0.7 m、高さ 1.0 m の両面ガラス張鋼製二次元水槽をもちいた。この水槽の一端にはピストン式造波装置を、また他端と造波板背後には、スリット型直立消波装置が設置されている。実験は六脚ブロックの 1t 型 1/25 モデルをもちいたブロック積防波堤で、ブロックの大きさ 8.4 cm、重量 328 g、体積 145.58 cm<sup>3</sup> のものである。入射波高、内部伝達波高および、防波堤背後水域への伝達波高の測定は、容量式波高計によって検出し、デジタル水位記録装置に記録した。また造波周期は、ポテンシャルメーターをもちいたモーター電流調整装置によってモーターの回転数をコントロールし、モーターによって駆動する造波板の往復運動から光電式デジタルカウンターによって測定した。本文でもちいた入射波高  $H_i$  は、堤体を設置する前に堤体設置

地点であらかじめ測定した波高である。また、堤体内部伝達波高  $H_N$ 、および堤体背後水域への伝達波高  $H_t$  は、それぞれ平均水面が堤体を横切る部分を基準として測った距離すなわち、内部伝達波では、堤体入射面からの距離が  $a$  cm、また背後伝達波では堤体背面からの距離が  $l$  cm の各測点で測定したものである。本実験の条件はすべて、越波状態が発生しない場合の実験で、実験条件をまとめたものが、表-1 である。

表-1 実験条件 ( $h=30.0$  cm,  $h_0=20.0$  cm)

| Exp. No. | $\alpha$ | $B$<br>(cm) | Void<br>(%) | $T$<br>(sec) | $H_i/L$            | $a$<br>(cm)                | $l$<br>(cm)                   |
|----------|----------|-------------|-------------|--------------|--------------------|----------------------------|-------------------------------|
| 1        | 1:1.5    | 80.0        | 60.26       | 1.0          | 0.0081<br>} 0.0762 | 20 40 60 80                | 100.0                         |
| 2        |          | 100.0       | 60.00       |              |                    | 20 40 60<br>80 100         |                               |
| 3        |          | 160.0       | 60.00       |              |                    | 20 40 60 80<br>100 120 140 |                               |
| 4        | 1:0.0    | 160.0       | 60.00       | 1.4          | 0.0081<br>} 0.0726 | 20 40 60 80<br>100 120 140 | 100.0                         |
| 5        | 1:0.0    | 40.0        | 59.97       | 1.6          | 0.0081<br>} 0.0762 | /                          | 20.0<br>} 400.0<br>(20 cm 間隔) |
| 6        |          | 60.0        | 59.99       | 1.8          |                    |                            |                               |
| 7        |          | 85.0        | 60.00       | 2.0          |                    |                            |                               |
| 8        |          | 105.0       | 59.99       | 2.2          |                    |                            |                               |
| 9        |          | 160.0       | 60.00       | 2.4          |                    |                            |                               |
|          |          |             |             |              |                    |                            |                               |

3. 実験データの整理

本実験では、全長 27.6 m の造波水槽をもちいたが、実験堤体は、水槽のほぼ中央部に設置したので、造波板の中立点からの距離は 13.0 m である。このため堤体を通して伝達された背後伝達波は、水槽末端で反射してもどり、比較的短時間に重複状態となる。また一方、実験水路内の造波機によって起こされた波は静水面中を伝播するため、造波直後の波は、波高が安定せず、また次第に増大し、ある値まで達してから一定波高となるような経過を経て安定する。従って造波直後の波による伝達波もこれらの不安定性を含むので、データとしては、ある一定時間経過した後の波を採用しなければならない。し

\* 正会員 理博 日本大学教授 生産工学部 土木工学科  
\*\* 正会員 工修 日本大学講師 生産工学部 土木工学科

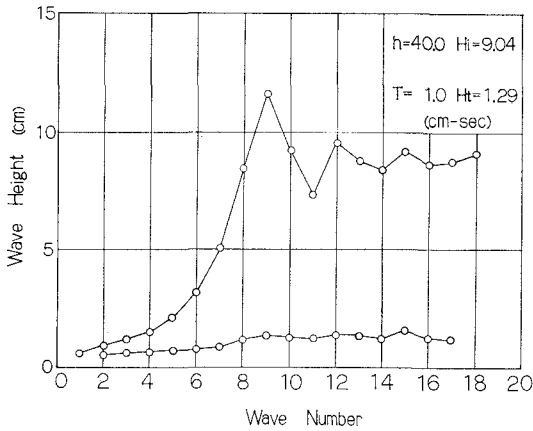


図-1 波高連続記録  
( $h=40.0$  cm,  $T=1.0$  sec)

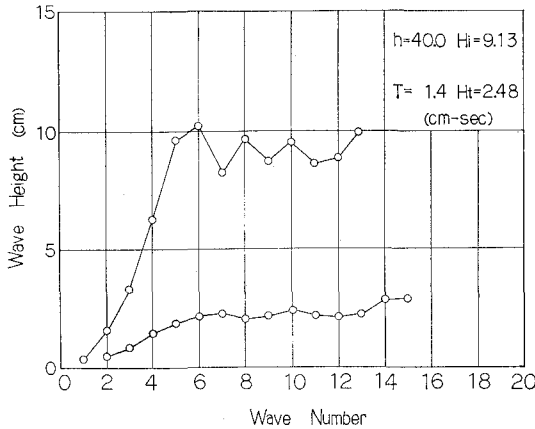


図-2 波高連続記録  
( $h=40.0$  cm,  $T=1.4$  sec)

かしこれらの現象は、入射波の周期によっても異なり、いずれも実験データのバラツキの大きな原因となるので、この種のデータ整理にあたっては、水槽の長さ、実験模型の設置地点、入射波の特性などによる造波水槽内での発生波の変動特性を考慮してデータ整理を行う必要がある。図-1,2 は、実験模型の設置前に測定した無堤時の実験水路内の波高の連続記録と、堤体設置後の伝達波高の連続記録をまとめて示したものである。図の上方の波高の大きい方が入射波高で、下方の小さい波は、堤体幅  $B$  が  $60.0$  cm のときの伝達波高である。この結果は、入射波高が約  $9.0$  cm で、波の周期が  $1.0$  sec の波と  $1.4$  sec の波を例として示したものであるが、これらの結果からわかるように、入射波波高は次第に増大し、ある波高まで達したのち一定波高に収束するような変化を示す。また波が増大して、最大波高に達するまでの波数をみると、 $1.0$  sec の波では9波要するのに対して、 $1.4$  sec の波では6波で最大波高となっている。この傾向は、防波堤背後水域への伝達波高にも同様に認められ

る。このように実験水路内の波は、安定するまでに時間を要するので、これら波の変動特性を考慮して、それぞれの波について、採用できる波数を、記録上の打ち出し波数でまとめ

表-2 波高計算表

| $T$<br>(sec) | $H_t$<br>(omit) | $H_t$<br>(ave) | $H_t$<br>(omit) | $H_t$<br>(ave) |
|--------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| 0.8          | 9               | 10~15          | 8               | 9~14           |
| 1.0          | 8               | 9~14           | 7               | 8~13           |
| 1.2          | 7               | 8~13           | 6               | 7~12           |
| 1.4          | 5               | 6~11           | 4               | 5~10           |
| 1.6          | 4               | 5~10           | 3               | 4~9            |
| 1.8          | 3               | 4~9            | 2               | 3~8            |
| 2.0          | 3               | 4~8            | 2               | 3~7            |
| 2.2          | 3               | 4~8            | 2               | 3~7            |

たものが表-2 である。表中のオミット波数とは、波の成長過程の波数であり、平均値を求めるための上限の波数は、反射波の影響の入らない範囲から定めた波数である。以上のように、本実験では、それぞれの入射波に対してオミット波数  $N$  を求め ( $N+1$ ) 波目の波から基本波数として連続6波をとり、さらに6波中の max と min を省いた4波の平均値で求めることを基本としたが、特に  $2.0$  sec および  $2.4$  sec の波では、水路の長さの関係から反射波の影響が比較的早く現われるので、波の安定性を考えて範囲をきめた。

#### 4. 内部伝達波の実験結果

##### (1) 傾斜防波堤の内部波高伝達率

内部伝達波の測定には、容量式波高計を堤体内部に挿入して測定した。測定間隔は  $20.0$  cm ごととし、防波堤背後  $1.0$  m 地点の伝達波高をも同時に測定した。図-3

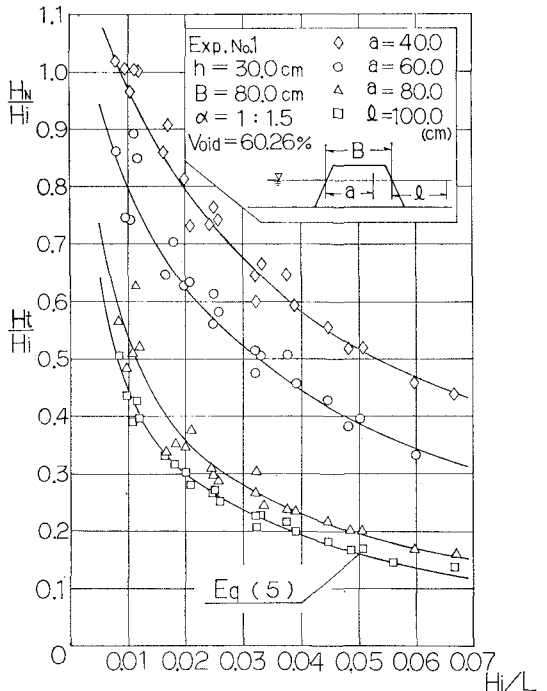


図-3 入射波波形勾配と波高伝達率  
(Exp. No. 1)

は、防波堤堤体幅が 80.0 cm のときの結果である。この図は、入射波波形勾配  $H_i/L$  と内部波高伝達率  $H_N/H_i$  を示したものであるが、防波堤背後水域への波高伝達率と同様に、防波堤の形状特性が一定の場合には、内部波高伝達率は入射波の周期に関係なく、入射波の波形勾配によってきまる。また、入射面からの内部伝達距離が増大するとともに、内部波高伝達率は減少している。

## (2) 直立防波堤の内部波高伝達率

直立防波堤の内部波高伝達率も傾斜防波堤と同様に  $a$  を 20.0 cm ごとに測定した。ここでは、傾斜防波堤と直立防波堤の入射面ののり勾配の違いによる内部伝達波の変動特性を検討したものであるが、それらの結果は、防波堤の堤体幅が等しく、内部伝達距離が同じ地点では、ほとんど差がなく、のり勾配の影響は認められなかった。そこで次に、防波堤の堤体幅を増大させた場合の内部波高伝達率について検討した。図-4 に示した結果は堤体

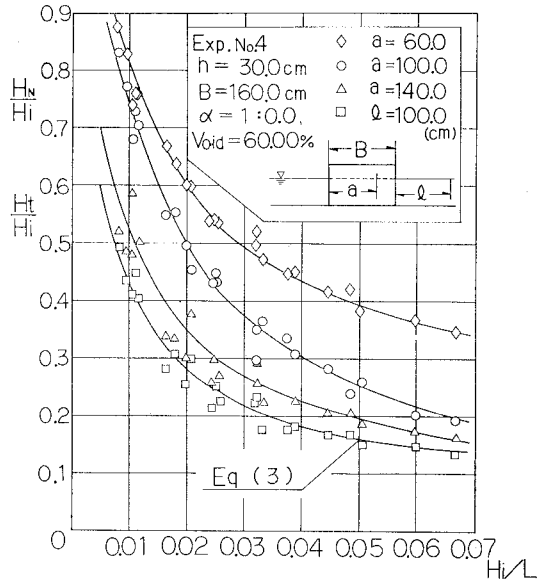


図-4 入射波波形勾配と波高伝達率  
(Exp. No. 4)

幅が 160.0 cm の直立防波堤の内部波高伝達率をまとめたものである。このように堤体幅が、約 1 波長程度もある防波堤の結果でも、内部波高伝達率は入射波の波形勾配によって決まり、内部伝達距離が増大するとともに減少する傾向は、傾斜堤の場合と変わらない。そして、図-3, 4 とを比較してみると、直立防波堤の堤体幅は傾斜堤の堤体幅の 2 倍にもおよぶ大きい堤体であるにもかかわらず、入射面からの内部伝達距離が等しい 60.0 cm 地点の結果では、全ての入射波波形勾配の波に対してきわめて近似した値を示し、平均曲線で 2.0~3.0% 程度の差しか認められない。

## (3) 内部伝達距離と内部波高伝達率

防波堤内部を伝達する波の入射波波形勾配と内部波高

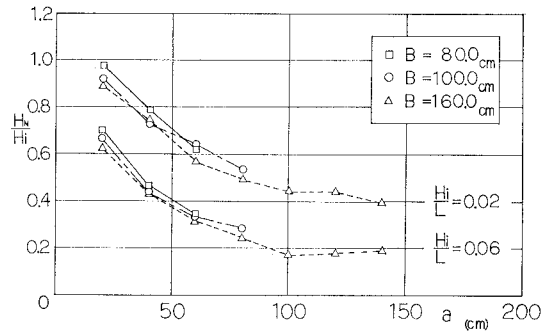


図-5 内部伝達距離と内部波高伝達率  
(Exp. No. 1~3,  $H_i/L=0.02, 0.06$ )

伝達率の平均曲線から、それぞれの入射波波形勾配に対する内部波高伝達率を読みとり、防波堤入射面からの伝達距離を横軸にとり、防波堤堤体幅をパラメーターとしてまとめたものが図-5 である。これは、傾斜防波堤の結果で、入射波波形勾配を一定としたときの堤体幅による内部波高伝達率の変化を比較したもので、入射波波形勾配が 0.02 と 0.06 の結果を例として示した。防波堤の堤体幅が 80.0, 100.0, 160.0 cm の 3 種類の場合であるが、内部波高伝達率は、防波堤の堤体幅にあまり関係なく、きわめて近似した値となり、内部伝達距離が増大するとともに一様に減少している。このことは、防波堤内部に伝達された波の特性は、防波堤内の伝達距離に支配され防波堤の堤体幅が異なっても、内部波の現象は、あまり変わらないことを意味するものと考えられる。またこれらの結果を、内部伝達距離  $a$  とブロックの大きさ  $d$  の比である  $a/d$  と、内部波高伝達率  $H_N/H_i$  の関係を入射波波形勾配をパラメーターとして検討した結果は、いずれの波の場合とも片対数紙上で直線関係となる。このことは、直立防波堤の結果にも同様に認められ、それぞれの防波堤の  $a/d$  と内部波高伝達率  $H_N/H_i$  の関係はおよそ次の関係で表わされる。

傾斜防波堤  $2.38 \leq (a/d) \leq 11.90$

$H_i/L=0.01$  のとき

$$H_N/H_i = e^{\{0.1122 - 0.0417(a/d)\}}$$

$H_i/L=0.03$

$$H_N/H_i = e^{\{0.0169 - 0.0956(a/d)\}}$$

$H_i/L=0.05$

$$H_N/H_i = e^{-\{0.0834 + 0.1269(a/d)\}}$$

$H_i/L=0.07$

$$H_N/H_i = e^{-\{0.2189 + 0.1427(a/d)\}}$$

直立防波堤  $2.38 \leq (a/d) \leq 9.52$

$H_i/L=0.01$

$$H_N/H_i = e^{\{0.2240 - 0.0503(a/d)\}}$$

$H_i/L=0.03$

$$H_N/H_i = e^{\{0.0905 - 0.1068(a/d)\}}$$

..... (1)

..... (2)

$$H_i/L=0.05$$

$$H_N/H_i=e^{-\{0.0132-0.1330(a/d)\}}$$

$$H_i/L=0.07$$

$$H_N/H_i=e^{-\{0.0967+0.1488(a/d)\}}$$

## 5. 背後伝達波の実験結果

### (1) 伝達波の変形

防波堤背後水域での波の変形の問題は、防波堤の消波効果を評価する上で重要であると同時に、防波堤の設置地点を論ずる上で基本的な問題でもある。そこで防波堤背後水域に伝達された波がどのような変形過程を経て伝達されるかを検討したものが図-6である。この結果は直立防波堤で、防波堤堤体幅が160.0cmのものである。このように、防波堤背後水域に伝達された波は、極大、極小値をもつ伝達過程を有し、極大値の最初の値は、防波堤背面にきわめて近い位置に現われ、防波堤の堤体幅には全く関係なく、防波堤幅が40.0, 60.0, 85.0, 105.0, 160.0cmの堤体に対していずれも堤体背後60.0~80.0cmの間に生じ、ほぼ一定している。

### (2) 背後伝達波の波高伝達率

防波堤背後水域に伝達された波は上にのべたように、極大、極小をもつような変動を示すが、特定の地点の波高伝達率がわかれば、防波堤背後水域の波高伝達率はおおよそ推定しうる。そこで、直立防波堤の背後1.0m地点の実験結果をもとに、入射波波形勾配と波高伝達率の関係を求めたものが次式である。

$$H_i/H_t=1/[1+e^{\{0.344(B/d)+0.099\}}]$$

$$\times (H_i/L)^{[0.046(B/d)+0.377]}/[0.046(B/d)+0.277] \dots (3)$$

これは合田の提案した金網型ウェーブフィルターを対象とした波高伝達率の理論式中の  $\alpha mD/S$  を  $K_B$  においてえられる(4)式

$$H_i/H_t=1/[1+K_B(H_i/L)^\beta]^{1/\beta} \dots (4)$$

に適用して求めたもので、傾斜防波堤の波高伝達率の実験式<sup>9)</sup>

$$H_i/H_t=1/[1+e^{\{0.198(B/d)+1.011\}}]$$

$$\times (H_i/L)^{[0.020(B/d)+0.488]}/[1/[0.020(B/d)+0.488] \dots (5)$$

と同様に、ブロック積直立防波堤の波高伝達率も(4)式の形で表わされ実験結果とよく一致する。

## 6. む す び

ブロック積防波堤の波高伝達経路に沿った防波堤内部および防波堤背後水域の波高伝達特性について検討してきたが、それらについておまな事柄をまとめるとおよそ次のようである。

(1) 入射波波形勾配と内部波高伝達率の関係は、図-3, 図-4に示されるように、直立防波堤、傾斜防波堤ともに、いずれの測点の結果も、相対水深には関係なく入射波の波形勾配によってきまり、内部伝達距離が増大するとともに、波高伝達率は減少する。この傾向は防波堤の堤体幅に関係なく全ての結果は、片対数紙上ではほぼ直線関係にある。

(2) ブロック積防波堤の背後水域に伝達された波は、極大極小をくり返すような変形過程を示し、最初に現われる極大値は、防波堤背後の比較的堤体に近い位置に現われ防波堤の堤体幅が変化しても、それらの位置はほぼ一定している。

(3) 直立防波堤の波高伝達率は、傾斜防波堤の波高伝達率と同様に、合田の提案した金網型ウェーブフィルターを対称とした波高伝達率の理論式によく一致し、直立防波堤の波高伝達率は(3)式から求められる。

以上のように本実験では、ブロック積防波堤の内部波高伝達率と防波堤背後水域へ伝達された波の変形特性を検討したが、この種の防波堤の内部伝達波および、背後伝達波はともに、防波堤の堤体幅に関係なく変化する。

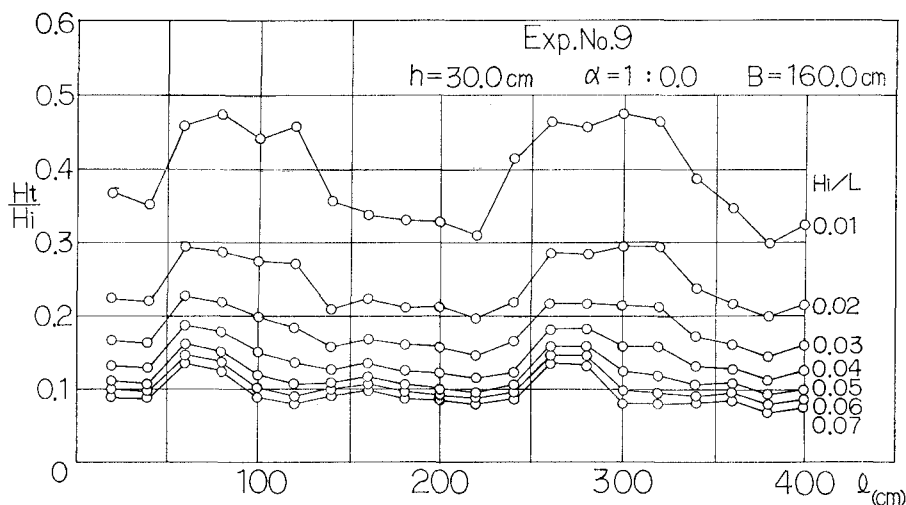


図-6 背後伝達距離と背後波高伝達率 (Exp. No. 9)

このことは、防波堤に入射した波がブロック堤内部の複雑な経路を経て伝達する際に、エネルギー損失を生じ、その損失によって波が減衰することを示すものと考えられる。しかし、波の減衰についてはさらに検討を要するので今後研究を重ねたい。

最後に、御指導頂いた本学理工学部久宝雅史教授、竹沢三雄助教授に深く感謝致します。

#### 参 考 文 献

1) 服部昌太郎・堀 和彦：ブロック積防波堤の波高伝

達率に関する実験的研究，第20回海岸工学講演会論文集，pp. 55-61，1973.

2) 沼田 淳：ブロック堤の消波効果に関する実験的研究，第22回海岸工学講演会論文集，pp. 501-505，1975.

3) 三浦 晃・遠藤茂勝：ブロック積防波堤の波高伝達率に関する実験的研究，第23回海岸工学講演会論文集，pp. 129-133，1976.

4) 三浦 晃・遠藤茂勝：透過性構造物の波高伝達に関する研究，日本大学生産工学部報告A，第9巻，第2号，pp. 33-45，1976.