

# 越波による港内伝達波に関する実験的研究

篠田 邦裕\*・山本 正昭\*\*

## 1. 緒 言

港内泊地の静穏度を保つためには、港口からの波の侵入を抑止し、かつ、防波堤からの越波を防止しなければならない。防波堤の天端高については経済的理由等からある程度の越波を許容する高さに抑えざるを得ないが、天端高を小さくすることにより伝達波がどの程度の大きさになるかを把握する必要がある。すでに古くから Fuchs<sup>1)</sup> や Jeffrey らにより潜堤の波高伝達率について理論的に考察されているが、堤体天端が静水面に近づくにつれて現実と合わない。近年、静水面上に天端がある場合については、近藤・佐藤<sup>2)</sup>や合田・竹田<sup>3)</sup>らにより実験が行なわれている。しかし、両実験では海底勾配が急な場合と碎波後の波による越波の実験が包含されていない。一方、漁港などの小規模な港では碎波帯内に防波堤を築造する場合が多く、泊地が狭いこととあいまって越波の影響が大である。さらに、海底勾配が大きい程碎波後の平均水位上昇が大きく、碎波後の波高も大きいことから<sup>4)</sup>、碎波後の波を主体とした越波による港内伝達波高の検討が必要であると考え、水理模型実験を行なった。

## 2. 実験施設と実験方法

図-1 に示す造波水路（長さ 31.0 m、幅 0.7 m、深さ 1.0 m）中に海底勾配 1/30 の斜面を製作し、堤体を

水深 15 cm の位置に設置した。堤体背後は水平床とした。堤体模型には 70 (W)×20 (B)×5 (H) cm (重量 16 kg) と 70×20×10 cm (重量 32 kg) のコンクリートブロックを積み重ねたものを使用した。堤体背後の水路終端には反射波防止のため勾配 1/6.3 の碎石斜面を設置した。これによって水路終端からの反射波の影響は、周期 0.90 sec で入射波高 1~8 cm のとき反射率 0.08~0.10 に抑えられたので伝達波高の測定には大きな影響はないと考え、反射波の影響は無視した。

また、堤体背後は締切られた水域であるので、越波によって泊地内の水位は徐々に高くなっていくが、測定によると、周期 1.27 sec の波の 10 波分の実験時間 (12.7 sec) 内には泊地内の水深は約 1 cm 程増大するだけなので、水深増大の影響は無視できるものとした。

実験諸元を表-1 に示す。これによって波の周期は 0.98~1.79 sec 間で 5 ケース、各ケースにつき、波高 1~15 cm 間で 10 ケース、堤体天端高 -5~+15 cm 間で 5 ケース、計 250 ケースの実験を行なった。堤体幅は実用上狭い範囲に限られるので今回の実験では 20 cm とした。波高の測定には容量式波高計を用い、堤体設置点とその前方 15 m 地点の進行波および堤体背後 1.5 m、3.0 m、4.5 m 地点の伝達波を測定した。入射波高、造波板前面波高、伝達波高は各々、合田によって示された<sup>5)</sup>有効測定時間内の 10 波の波高の平均値とした。なお、伝

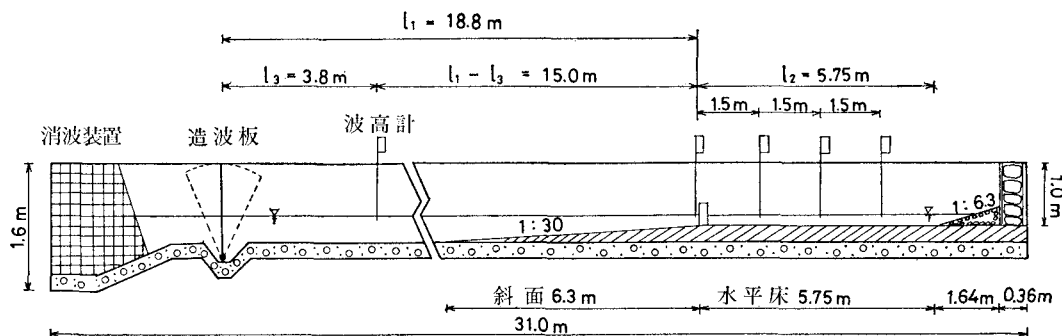


図-1 実験に使用した水路

\* 水産庁漁港部計画課

\*\* 正会員 農水省水産工学研究所漁港水理研究室

表-1 実験諸元

|                     |                                  |           |           |           |            |
|---------------------|----------------------------------|-----------|-----------|-----------|------------|
| 堤体設置水深 $h$          | 15 (cm)                          |           |           |           |            |
| 造波地点様水深 $hd$        | 36 (cm)                          |           |           |           |            |
| 周期 $T$ (sec)        | 0.98                             | 1.10      | 1.27      | 1.55      | 1.79       |
| 沖波波長 $L_0$ (m)      | 1.50                             | 1.89      | 2.52      | 3.75      | 5.00       |
| 水深波長比 $h/L_0$       | 0.10                             | 0.08      | 0.06      | 0.04      | 0.03       |
| 換算沖波波形勾配 $H_0'/L_0$ | 0.01~0.10                        | 0.01~0.08 | 0.01~0.06 | 0.01~0.03 | 0.004~0.02 |
| 入射波高 $H$            | $T$ の各ケースについて 1~15 cm の範囲 10 ケース |           |           |           |            |
| 堤体高 $hc$            | 0 10 15 20 25 30 (cm)            |           |           |           |            |
| 天端高 $R$             | -15 -5 0 5 10 15 (cm)            |           |           |           |            |
| 天端幅 $B$             | 20 (cm)                          |           |           |           |            |

注) 以後  $H_0'/L_0$  を  $H_0/L_0$  と記す

達波高とは入射波の周期間隔で表われる波形の最高値と最低値との差と定めた。

### 3. 実験結果と考察

#### (1) 実験結果

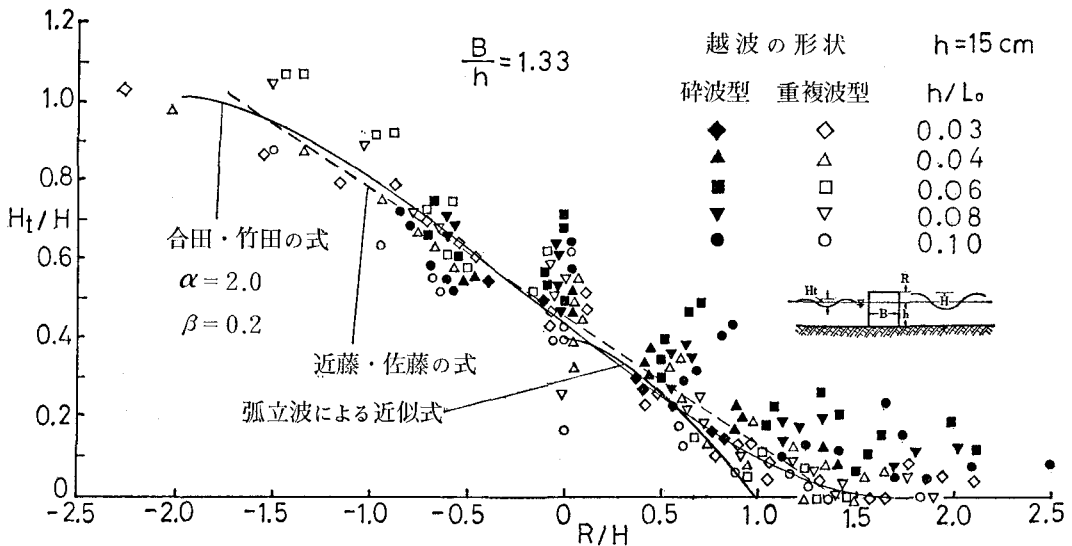
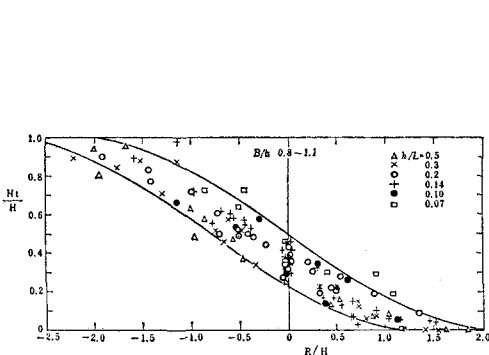
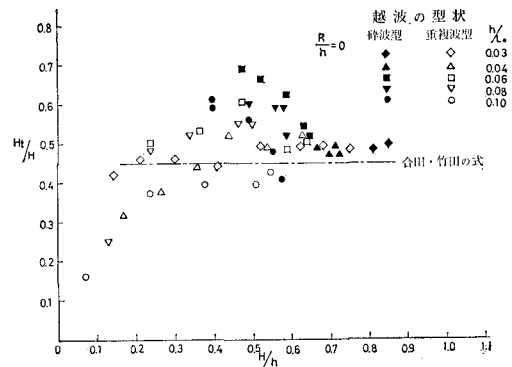
目視観測により求めた碎波水深と新碎波指標から求め

た碎波水深とはほぼ同じであったので、本実験では碎波・非碎波の区別は目視観測によるものとした。

図-2 は波高伝達率  $H_t/H$  と  $R/H$  との関係を水深波長比  $h/L_0$  をパラメータにして、全実験結果についてプロットしたものである。図には参考までに合田・竹田の実験式と近藤・佐藤の実験式および孤立波による近似式も示している。合田・竹田の式は、漁港構造物標準設計法<sup>6)</sup>で現在使用している

図-3 の上限線を示す。これらの式は、

本実験の重複波型越波の場合にはよく合っているが、碎波型越波の場合、特に天端が静水面上にある場合には、これらの式よりも波高伝達率がかなり大きくなるのがわかる。そこで、波高の変化と伝達率の変化を調べたものが図-4~6 である。図-4 は  $R/h=0$  すなわち  $R/H=0$  のときの変化である。重複波の場合には伝達率は合

図-2  $R/H$  と波高伝達率図-3 波高伝達率 (合田ら)<sup>8)</sup>図-4  $H/h$  と波高伝達率 ( $R/h=0.0$ )

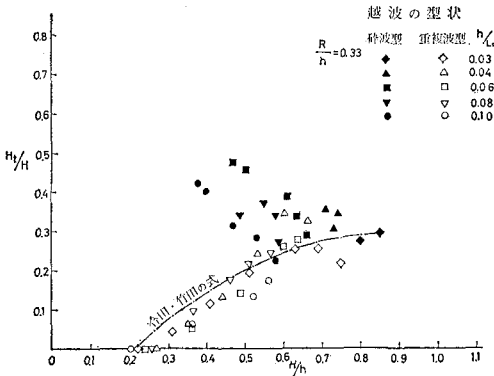


図-5  $H/h$  と波高伝達率 ( $R/h=0.33$ )

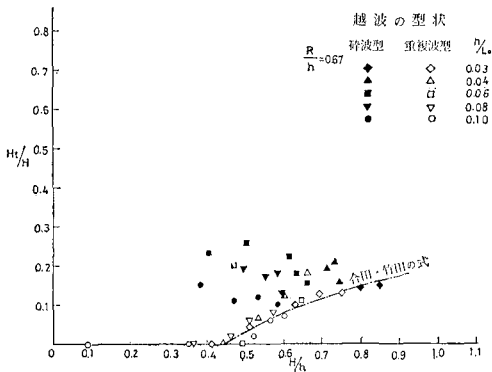


図-6  $H/h$  と波高伝達率 ( $R/h=0.67$ )

田・竹田の式と同様にほぼ一様である。しかし  $H_0$  が大きくなり、碎波すると共にその後  $H$  は減少するが、その伝達率は逆に増加する傾向が判別できる。天端が高い図-5、図-6についても同様である。したがって碎波後の伝達率は  $R/H$  のみでは表現できない、そこで碎波後の水位上昇量を表わす指標として  $H/H_0$  を調べてみると、図-7、図-8 から、 $H/H_0$  が同じ場合、 $h/L_0$  が小さいほど伝達率が大きいことが分かる。また  $h/L_0$  が小さい場合は  $H/H_0$  の小さいものがデータに含まれなかったので不明であるが、 $h/L_0$  が大きい場合は  $H/H_0$  の減少につれて伝達率は増大している。換言すれば、 $H_0$  の増大と共に伝達率が増大していると言える。

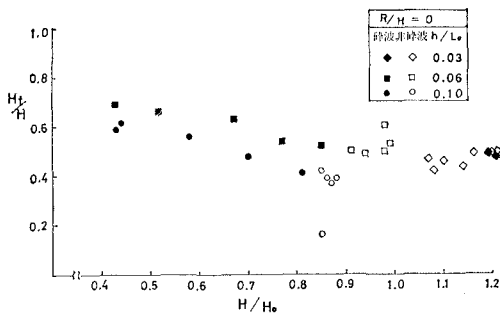


図-7  $H/H_0$  と波高伝達率 ( $R/H=0.0$ )

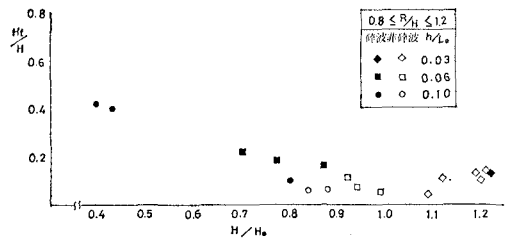


図-8  $H/H_0$  と波高伝達率 ( $0.8 \leq R/H \leq 1.2$ )

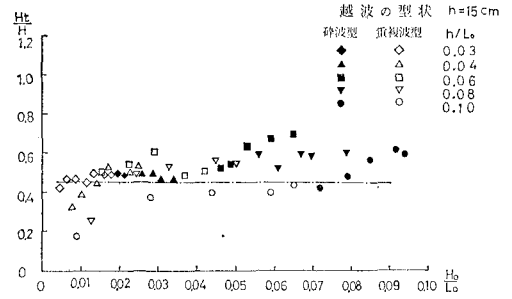


図-9  $H_0/L_0$  と波高伝達率 ( $R/H=0$ )

さらに、図-9 は沖波波形勾配  $H_0/L_0$  と伝達率との関係を表わしたもので、この  $R/H=0$  の場合、 $H_0/L_0$  の増大と共にわずかながら伝達率は増大している。

## (2) 波高伝達率の実験式について

前述した変数をもとに伝達率の実験式を重回帰分析により求める。考慮する変数は次式の通りである。

$$\frac{H_t}{H} = f\left(\frac{R}{H}, \frac{H}{H_0}, \frac{H_0}{L_0}, \frac{h}{L_0}\right) \quad \text{.....(1)}$$

この式で各項は直線的に変化し、単純な重ね合わせができるものと仮定して1次多項式で表わすこととした。計算に用いたデータの組数は250の全データから  $R=-15$  cm 全部と全く越波しなかった実験ケースを除いた209個である。これによって求めた重回帰式を式(2)に示す。

$$\begin{aligned} \frac{H_t}{H} = & 0.82 - 0.26 \frac{R}{H} - 0.28 \frac{H}{H_0} + 1.6 \frac{H_0}{L_0} \\ & - 2.8 \frac{h}{L_0} \quad \text{.....(2)} \end{aligned}$$

(2) 式の分散分析表を表-2に示す。  $F(4, 204; 0.01) = 3.32$  であるから回帰式は1%の有意水準で有意と判定される。さらに式(2)の各項の係数の  $t$  検定表を表-3に示す。  $t(208; 0.01) = 2.58$  であるから各係数は1%

表-2 分散分析表

| 要因    | 自由度    | 平方和   | 平均平方  | 分散比   |
|-------|--------|-------|-------|-------|
| 回帰    | 4      | 13.05 | 3.263 | 522.5 |
| 残差    | 204    | 1.27  | 0.006 |       |
| 全体    | 208    | 14.32 |       |       |
| 重相関係数 | 0.9545 |       |       |       |

表-3 各係数の有意性検定

| 変 数 名     | 偏回帰係数 | 標準誤差  | t 検 定 |
|-----------|-------|-------|-------|
| $R/H$     | -0.26 | 0.006 | 44.13 |
| $H/H_0$   | -0.28 | 0.052 | 5.42  |
| $H_0/L_0$ | 1.6   | 0.519 | 3.11  |
| $h/L_0$   | -2.8  | 0.359 | 7.79  |
| 回 帰 定 数   | 0.82  |       |       |

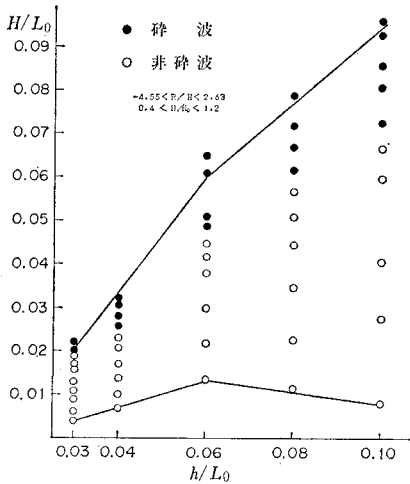


図-10 実験波の範囲

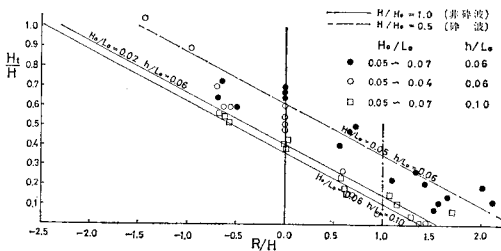


図-11 実験式の傾向線

の有意水準で有意である。

なお、(2) 式中の各無次元項の実験範囲は 図-10 に示すようなものであるが、全ての項を含むためには  $R/H$  の適用範囲は  $-1.5 \leq R/H \leq 2.0$  が適当であろう。

得られた実験式の代表例を 図-11 に示す。図中、2 本の斜め実線は非砕波の場合で両線の隔りは大きくない。一方、砕波の場合の破線と実線との隔りは大きい。この図は、それぞれの線に相当する実験データもプロットしており、実験式の適合性を確かめることができる。

さらに 図-11 には、現在の設計法に対する問題点として、漁港で用いられている  $R=1.0H$  の場合を示している。この図から、波高伝達率は重複波の場合 0.10~0.14、砕波後の場合 0.35 と求まる。重複波の場合は 図-3 の範囲であるが、砕波後の場合は 図-3 の上限値のほぼ 2 倍となっており、防波堤の機能としても問題であり、砕波後の天端高の基準について検討を要するものと思われる。

#### 4. 結 言

本実験をまとめると、次のようなことが言える。

- ① 越波による波高伝達率には  $R/H$  が最も影響する。
- ② 従来の波高伝達率の実験式は重複波型越波の場合にはよく合っているが、砕波型越波の場合は特に静水面上に天端があるとき、従来の式よりも伝達率が大きい。
- ③ 静水面上に天端があるとき、重複波型越波の場合は波高  $H$  の増大と共に伝達率  $H_t/H$  は大きくなるが、砕波型越波の場合は波高が最大るとき（即ち堤体直前で砕波するとき） $H_t/H$  が最大とはならず、むしろ砕波後の波高の方が  $H_t/H$  が大きくなる。即ち沖波波高  $H_0$  の増大と共に  $H_t/H$  は大きくなる。
- ④ 波高伝達率は  $H/H_0$  が小さいほど大きい。
- ⑤ 波高伝達率は式 (2) のように表わせる。

以上の実験結果は海底勾配 1/30 の一様斜面でのものである。さらに急勾配の場合には急激な波高増大と砕波変形があるため越波現象もより強大なものとなり、また砕波による平均水位上昇量も大きくなると思われる。急勾配の場合の波高伝達率の算定は、今後の研究課題となる。

#### 参 考 文 献

- 1) Johnson, Fuchs and Morison: The damping action of submerged breakwater, Trans. A.G.U., Vol. 32, No. 5, 1951.
- 2) 近藤俊郎・佐藤 功: 防波堤天端高に関する研究, 北海道開発局土木試験所月報 第 117 号, pp. 1~5, 1963.
- 3) 合田良実: 竹田英章: 越波による防波堤背後への波高伝達率, 第 13 回海講講演集, pp. 87~92, 1966.
- 4) 菅原輝男・山本正昭: 規則波の浅水変形計算モデル, 農土試技報 D20 号, pp. 1~22, 1978.
- 5) 合田良実: 造波水路における波浪実験の二・三の問題点について, 第 15 回海講講演集, pp. 50~57, 1960.
- 6) 全国漁港協会編: 漁港構造物標準設計法, 201 p., 1976.