

# 横スリットケーソンに作用する波力機構について

村田 繁\*・山本修司\*\*・今野 茂\*\*\*  
木村岩男\*\*\*\*・岩淵榮一\*\*\*\*\*

## 1. はじめに

近年、遊水部を有する直立消波構造堤が、多く建設されるようになってきた。この種の構造物については、消波、越波、波圧等に関する水理現象を解明するため、各種の研究が積極的に行なわれている。しかし、これまでのところ、大水深直立消波構造堤の波力機構について研究した報告は少ない。

運輸省第二港湾建設局では、地震・津波の常襲地帯に位置する釜石港において、津波および異常波浪から背後の人命、資産を防護するために、釜石湾口津波防波堤を建設している。この津波防波堤は、延長 1 960 m (開口部 300 m)、最大水深 -65 m の規模のケーソン式混成堤である。昭和 56 年度にマウンド部の捨石投入を開始したところであるが、ケーソンの構造としては、防波堤反射波による航行船舶、漁業等への影響を軽減するために、消波機能を有するものであることが要求される。このため、横浜調査設計事務所では、構造案の 1 つとしての横スリットタイプの遊水部を有する直立消波ケーソン式混成堤に作用する波力機構に関する水理模型実験を実施した。

本報文は、上記の実験より得られた成果の一部を報告するものである。

## 2. 実験方法

### 2.1 実験装置

実験に使用した造波水槽は横浜調査設計事務所所有のもので、図-1 に示すような長さ 30 m × 幅 1 m

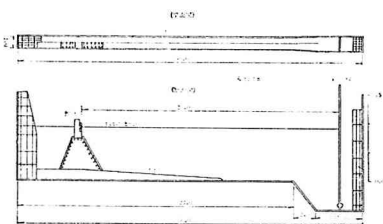


図-1 実験長水路

×高さ 1.5 m で、水路中央に隔壁を有するとともに片側がガラス張りとなった鋼板製長水路である。造波機は駆動モーターによるフラップ型造波形式で、造波能力としては、周期 1~4 秒、波高 0~20 cm の規則波が発生可能である。

### 2.2 実験波および潮位

波浪条件としては、周期は 9, 13, 15 sec の 3 ケースとし、波高は防波堤の設計波高 8.3 m をもとに、地形、砕波、非砕波の現象等を考慮して与えた。潮位は LWL ( $\pm 0.0$  m), HWL ( $\pm 1.5$  m) の 2 つとした。

### 2.3 実験断面

実験の対象とした断面を図-2 に示す。マウンド上の水深  $d$  およびケーソン高さ  $l$  の変化による波力の相違をみるために、ケーソン高さが異なるものを 4 断面設定した。また、バットレスあるいは水張部を設けることに

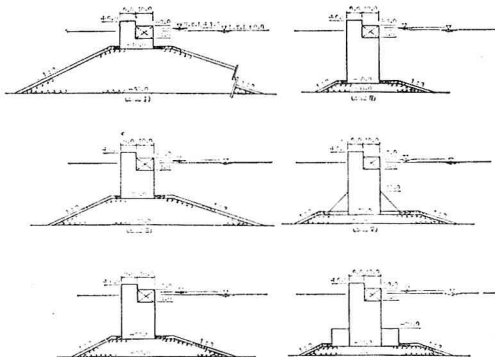


図-2 実験断面

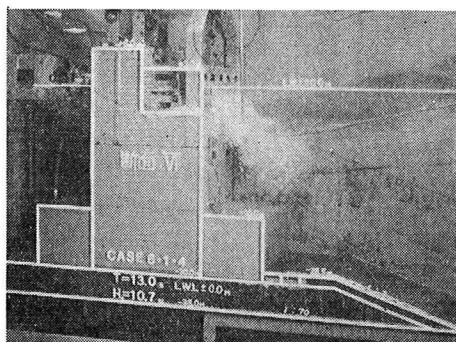


写真-1 模型断面例

\* 正会員 修士 運輸省第二港湾建設局横浜調査設計事務所次長  
\*\* 正会員 修士 運輸省第二港湾建設局横浜調査設計事務所調査課長  
\*\*\* 運輸省第二港湾建設局横浜調査設計事務所建設専門官  
\*\*\*\* 運輸省第二港湾建設局横浜調査設計事務所水工係長  
\*\*\*\*\* 運輸省第二港湾宮古港工事事務所工務課長

よる波力の相違をみるために2断面追加し、合計6断面について実験した。断面Ⅵの例を写真-1に示す。断面諸元は図-2に示すとおりで、模型縮尺は1:50である。

## 2.4 波圧、波力の測定方法

堤体の前面壁、上部工、フーチングあるいは水張部上面、底版下、および遊水部の梁、底面、前面壁、隔壁、奥壁に超小型波圧計を設置して、各部に作用する波圧を測定した。また、堤体に作用する水平波力、鉛直波力を測定するために、図-3に示すように堤体の上部および後部にロードセルを取付けた。堤体を所要の高さに設定するに際しては、ターンバックルにて連結された鉄棒の中間に鉛直波力測定用のロードセルを取付け、鉄棒の上方を梁に吊り下げ、下方を堤体に取付けたのち、ターンバックルを調節しながら水平に吊り下げた。堤体とマウンド間の間隙は約5mmとした。

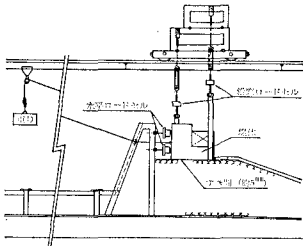


図-3 堤体模型取付状況

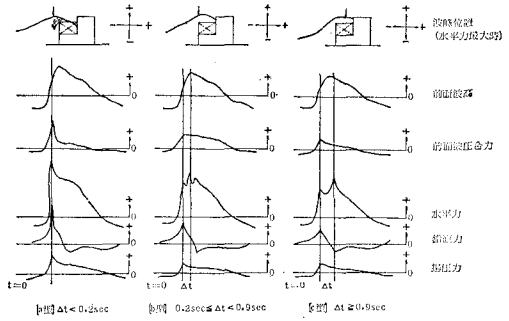


図-4 波力経時変化の類型化

較的大きい砕波力が作用するときに発生する。また、c型は非砕波が作用するときに発生する。

これらをもとに、波力の経時変化を最大水平波力と最大鉛直波力の出現時間差  $\Delta t$  に着目して整理すると、各実験ケースは表-1の3つの型に分類できる。断面Ⅰでは、 $\bar{H}_I/d$ ,  $\bar{H}_I/L$  ( $\bar{H}_I$ ;

表-1 最大水平波力と最大鉛直波力の出現時間差

| 型   | 出現時間差 $\Delta t$ (sec)                            |
|-----|---------------------------------------------------|
| a 型 | $\Delta t < 0.2 \text{ sec}$                      |
| b 型 | $0.2 \text{ sec} \leq \Delta t < 0.9 \text{ sec}$ |
| c 型 | $\Delta t \geq 0.9 \text{ sec}$                   |

通過波高、 $L$ ; 波長) により、a, b, cの各型の現象がみられるが、断面Ⅱ～Ⅵでは全てc型となる。

## 3.2 水平および鉛直波圧強度

### (1) 断面Ⅰ～Ⅳの波圧強度

図-5は平均波圧強度  $\bar{P}_{(HR)}$  の最大とそのときの鉛直波圧強度  $P'_{(v)}$  を、それぞれ通過波高  $H_I$  に対してプロットしたものである。水平波圧強度は水平波力  $P_{(HR)}$  をケーソン高  $l$  で割った  $\bar{P}_{(HR)} = P_{(HR)}/l$  で、鉛直波圧強度は鉛直波力  $P_{(v)}$  がケーソン幅  $B$  に三角形分布で作用するとしたときの堤前趾での鉛直波圧強度  $P'_{(v)} = 2 \times P_{(v)}/B$  で示している。

$\bar{P}_{(HR)}$  が  $0.7 \sim 1.0 w_0 H_I$  にあるのは、マウンドが高い断面Ⅰ、Ⅱのケースに多い。断面Ⅰで波高が大きいときは、マウンドが高いために堤体に衝撃砕波が作用しており、このため  $\bar{P}_{(HR)}$  が大きくなっている。また、断

## 3. 実験結果

### 3.1 最大水平波力と最大鉛直波力の出現時間差

各測点の測定値から堤体に作用する前面波力、水平波力、鉛直波力、揚圧力等の経時変化を整理し、これを類型化すると図-4のような3つの型に類型化できる。

**a 型:** 最大水平波力と最大鉛直波力がほぼ同時に出現する。これはスリット前面波力が最大となるとき水平波力が最大となる場合で、このとき堤体底面での揚圧力がほぼ最大になるとともに、遊水部内の水位が上昇してないために、鉛直波力も大きくなっている。

**b 型:** 水平波力が最大となるとき鉛直波力が最大と最小の中間となる。これはスリット前面波力がピークをやや過ぎ、遊水部、上部工に作用する水平波力もまだ最大に達しておらず、水平波力が最大となる場合である。また、このとき堤体底面での揚圧力はピークを過ぎており、他方、遊水部内の水位も可成り上昇して遊水部内には下向きの水圧が作用して鉛直波力が最大値を下まわっている。

**c 型:** 水平波力が最大となるとき鉛直波力がほぼ最小となる。これは波峰が上部工の近傍にあって、遊水部内の水塊が奥壁に作用するときに一致しており、遊水部、上部工に作用する水平波力が最大となる場合で、このとき堤体底面での揚圧力はピークを過ぎ、遊水部内では水位が上昇して下向きの水圧が作用しているため、鉛直波力は最小となる。

a 型は衝撃砕波力が作用するときに発生し、b 型は比

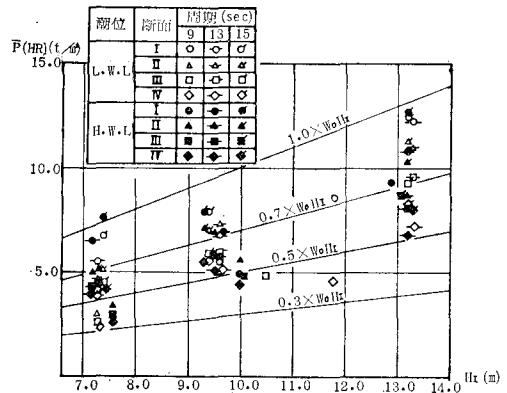


図-5.1 最大水平波圧強度 (断面Ⅰ～Ⅳ)

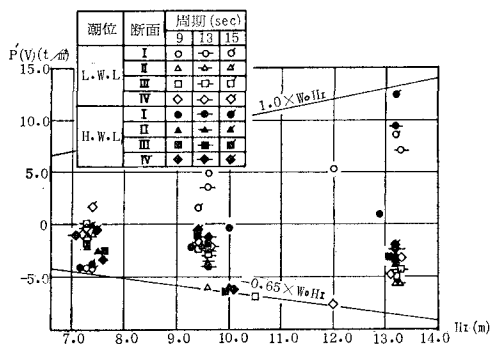


図-5.2 鉛直波圧強度 (断面 I~IV, 水平波力最大)

面 I で波高が小さい非砕波が作用する場合と、非砕波が作用する断面 II の場合は、堤前面で衝撃砕波が作用しないもの、遊水部に進入した水塊が遊水部奥壁に衝撃的にあたるとき、遊水部に作用する水平波力がスリット前面波力とほぼ同時に最大となるために、 $\bar{P}_{(HR)}$  が大きくなっている。 $\bar{P}_{(HR)}$  が  $0.3 \sim 0.7 w_0 H_I$  にあるのは、マウンドが低い断面 III, IV のケースに多い。断面 III, IV ではマウンドの影響も少ないためスリット前面での波力も小さく、遊水部に進入した水塊の影響も弱まるので、 $\bar{P}_{(HR)}$  が小さくなるものと思われる。さらに、 $P'(V)$  が上向きとなるのは断面 I のケースであり、その他の断面では殆どどのケースで下向きとなっている。

## (2) 断面 V, VI の波圧強度

図-6 は断面 IV, バットレスを有する断面 V, 水張部

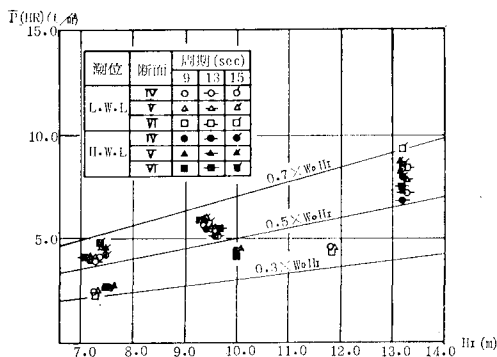


図-6.1 最大水平波圧強度 (断面 IV~VI)

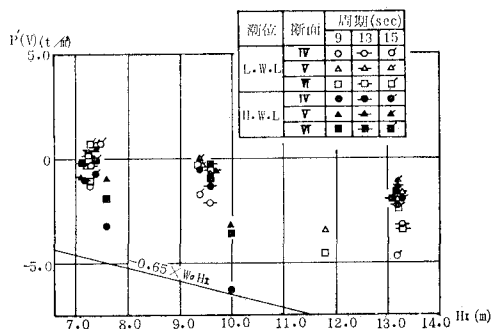


図-6.2 鉛直波圧強度 (断面 IV~VI, 水平波力最大)

を有する断面 VI の最大水平波圧強度、およびそのときの鉛直波圧強度を波高に対してプロットしたものである。これらを比較すると、 $T=9$  sec のケースを除いて、バットレス、水張部を設けた断面 V, VI の方が断面 IV より若干大きくなっている。鉛直波圧強度は殆どが下向きとなっている。波圧強度を周期間で比較すると、 $T=9$  sec のとき小さく、また波高間で比較すると、波高が小さいほど波圧強度が小さくなっている。さらに、バットレスおよび水張部を設けると、鉛直波圧強度は大きくなっている。

## 3.3 実験波圧分布の簡便化

水平波力最大時の実験波圧分布を検討する。水平波圧分布としては、平均波圧強度  $\bar{P}_{(HR)}$  がケーソン全高さ  $I$  に一様に分布するものとする。また、鉛直波圧分布については、遊水部に作用する鉛直波圧を一括して遊水部底面に一様に分布するものとする。このとき、鉛直波圧は 3.1 の a, b, c 型の経時変化パターンに対応して、図-7 の左図のようにそれぞれ A, B, C 型の波圧分布となる。次に、全ての鉛直波力が堤体底面に作用し、さらに、A 型では三角形分布、B, C 型では遊水部直下で一様分布、遊水部後方で三角形分布となると考えれば、鉛直波圧分布は簡便的に図-7 の右図のようになる。実験から得られた各ケースの波圧をこの簡便化した波圧分布にそって整理すると、断面 I では A, B, C の 3 つの型に、断面 II ~ VI では全て C 型になる。

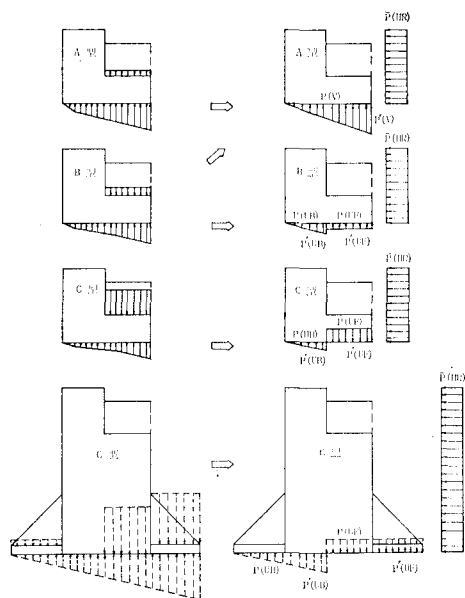


図-7 実験波圧分布

## 3.4 波圧算定法の検討

ここでは、3.3 で検討した実験波圧分布をもとに、波圧算定法を検討する。まづ、実験波圧分布を以下の (1), (2) のように取扱う。

(1) 水平波圧分布は合田式の波圧分布によるものとし、受圧面としては堤体の天端から基部までの高さを考え、スリット部の空隙はないものとする。

(2) 鉛直波圧分布は合田式で求められる分布を基本とし、3.3でA, B型となるケースについては全幅での分布を、C型となるケースについては遊水部より後方に作用する波圧分布とする。

次に、実験波圧と上記(1), (2)の方法で算定される波圧とを比較する。ここで、水平波力 $P_{HR}$ 、鉛直波力 $P_V$ と堤体水中重量 $W$ との関係は、摩擦係数を $\mu$ とすれば、滑動限界状態では以下になる。

$$P_{HR} = \mu(W - P_V)$$

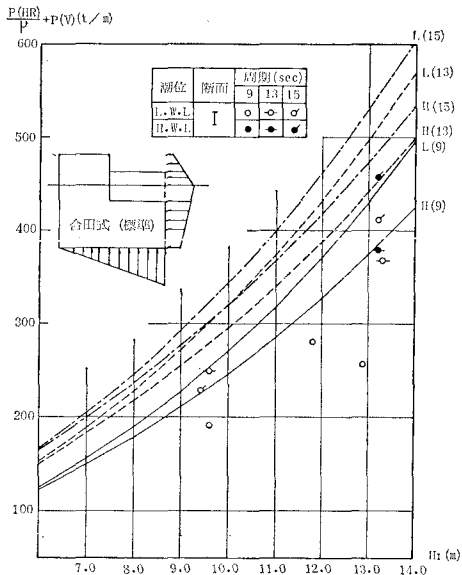


図-8.1 合成波力 (A, B型)

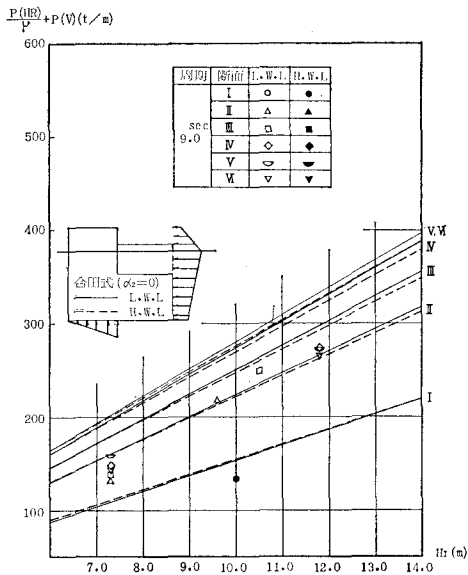


図-8.2 合成波力 (C型, T=9 sec)

これから、 $P_{HR}/\mu + P_V$  (以下、合成波力と称す<sup>2)</sup>) が大きければ大きいほど、滑動に対して危険側となる。従って、ここでは実験波圧分布に基づく合成波力 (以下、実験波力と称す<sup>2)</sup>) と上記の算定法に基づく合成波力 (以下、算定波力と称す<sup>2)</sup>) とを比較する。なお、本稿では、合田による波圧算定式<sup>2)</sup>は、一般的な標準式を合田式 (標準)、一般式において  $\alpha_2=0$  とする場合を合田式 ( $\alpha_2=0$ ) と略記する。図-8.1は実験波圧分布がA, B型となるケースについて実験波力と合田式 (標準) による算定波力を比較したものである。これでは、全ケース実験波力が算定波力より小さくなっている。図-8.2~4は実

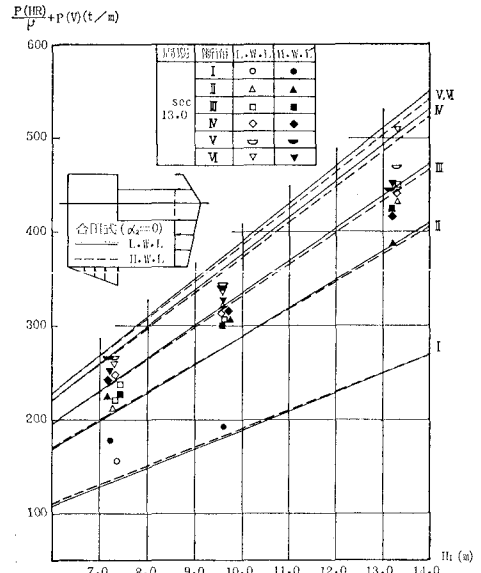


図-8.3 合成波力 (C型, T=13 sec)

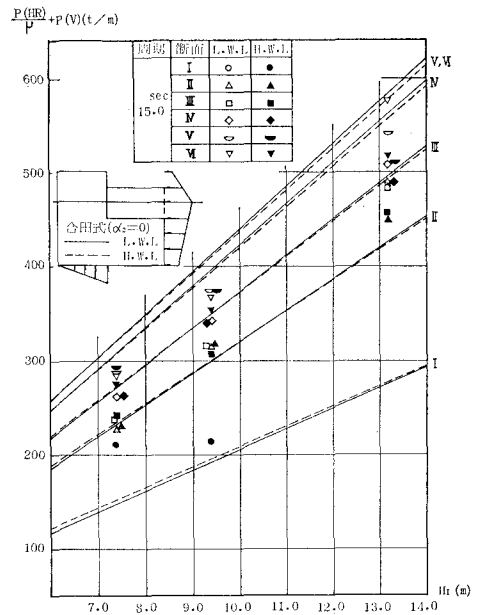


図-8.4 合成波力 (C型, T=15 sec)

