

# パラペット突出型消波ブロック被覆堤の設計法 に関する研究

Researches on the Design of the Composite Breakwater Installed Projecting Parapet and Armored with Wave Dissipating Concrete Blocks

関野高志\* 角野隆\*\* 井元忠博\*\*

港内静穏度の向上をはかる目的で、消波ブロック被覆堤を採用する場合、来襲する波高に比例してその天端高を上げることが必要となる。しかし、現行設計法では通常、消波工天端と本体内天端の高さを同一としているため、波高によっては必要とされる消波ブロック量が大幅に増大する。そこで、消波ブロック量を最小限にし、越波などを防止するため、本体内のパラペットを消波工天端より高くしたパラペット突出型消波ブロック被覆堤について、その波圧および越波特性を検討した。また、通常の消波ブロック被覆堤の抱える課題についても合わせて検討を加えた。

《パラペット突出型消波ブロック被覆堤；波圧；波圧てい減率；天端高；越波量》

## まえがき

消波ブロック被覆堤は、防波堤の前面に消波ブロックを設置して波力、越波量の低減および反射波防止などをはかるものである。そのため、衝撃碎波が発生する恐れのある場合や防波堤付近が小型船舶の航路になっており、反射波を防止したい場合などによく用いられる形式である。

近年、港内水域が狭く、多くの小型船舶が出入りする港などで静穏度の向上に対する要請が強くなってきている。それに対処するため、前述したような観点から消波ブロック被覆堤を採用し、所要の港内静穏度を満足するように天端高を上げる場合、消波工と本体内の天端高を

同一とする現行設計法では、必要とされる消波ブロック重量が大幅に増加する。そこで、消波ブロック天端は反射波防止などの観点から決め、消波ブロック量をできるだけ最小限にし、越波については、本体内のパラペットを消波工天端より高くして防止するというパラペット突出型消波ブロック被覆堤を検討することとした。

このような構造の場合、波圧の作用状況は、消波ブロックの設置されている消波工被覆面と、その上部の消波ブロックに被覆されていないパラペット部とでかなり異なり、現象が複雑となるため計算式の適用方法が明確でない。また、越波量についても防護護岸のような高天端のものは、合田ら<sup>1)</sup>の実験報告があるものの防波堤のよ

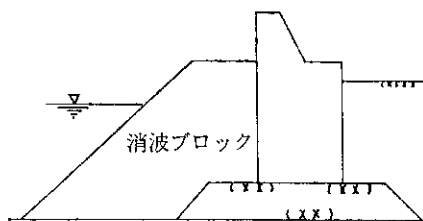


図-1.1 防波護岸  
(本体内天端が消波工天端より高い)



図-1.2 通常の消波ブロック被覆堤  
(本体内天端と消波工天端を合わせる)

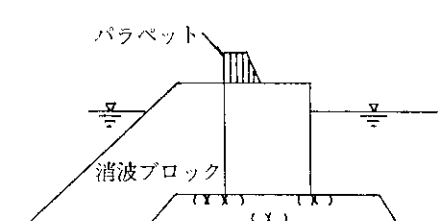


図-1.3 パラペット突出型消波ブロック被覆堤  
(越波防止機能向上のため、本体内のパラペットを消波工天端よりも高くする)

\*港湾研究室副室長 \*\*同室員

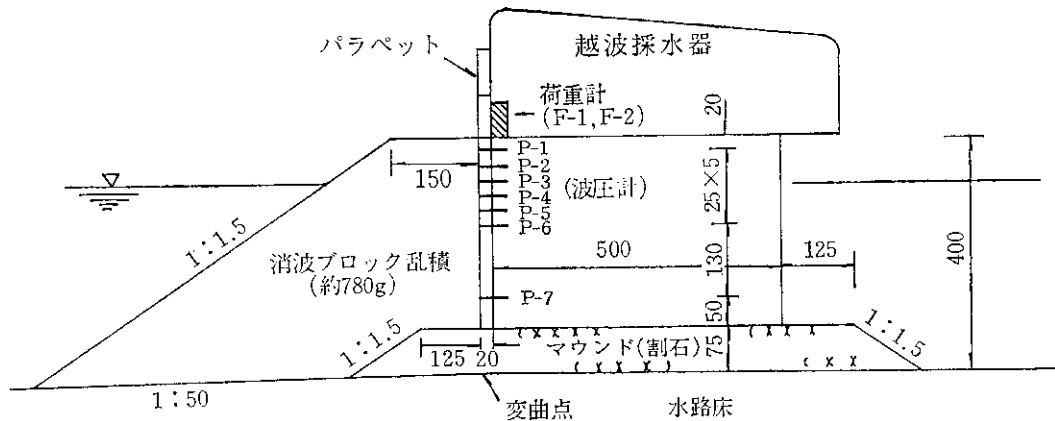


図-1.4 実験断面 (単位: mm)

うなやや天端高の低い構造の場合、実験例は少ない。

以上のことから、本報告ではパラベット突出型消波ブロック被覆堤の波圧・越波特性を検討するとともに、通常の消波ブロック被覆堤の抱える課題についても合わせて検討を加えた。

### 1. 波圧に関する検討

パラベット突出型消波ブロック被覆堤へ作用する波圧を検討するため、模型実験を行った。実験は、通常タイプの消波工天端と本体工天端を同一としたものと、消波ブロック天端よりパラベットを突出させたものの2通りで行った。

#### 1.1 実験内容および実験ケース

図-1.4に示すように、消波ブロック断面は変化させずにパラベット高を0 cm, 7 cm, 14 cmと変化させた場合の作用波力の増大に関する規則波実験を行った。

消波ブロックに被覆される部分には、7個の波圧計を設置した。また、パラベット部分の波圧は消波ブロック面の凹凸により波の乱れが想定されるため、パラベット部の全体波圧を荷重計により計測することとした。

実験条件は、次の27ケースである。

$$\left( \begin{matrix} h/L=0.075 \\ 0.100 \\ 0.140 \end{matrix} \right) \times \left( \begin{matrix} R/H=0.4 \\ 0.6 \\ 0.8 \end{matrix} \right) \times \left( \begin{matrix} H/h=0.45 \\ 0.55 \\ 0.65 \end{matrix} \right) = 27 \text{ ケース}$$

ここに、 $h$ : 水深,  $L$ : 波長,  $R$ : 消波工高,  $H$ : 波高

なお、本模型は特定の断面を想定したものではないが、消波工断面から考えると縮尺は1/40程度となる。この場合、実験は現地換算で次の範囲で行ったことになる。

波高 5.3~8.3 m, 水深 10.5~13.6 m

周期 8.3~16.3 sec, パラベット高 (消波工天端上) 0~5.6 m, 消波工天端高 (静水面上) 2.2~5.3 m, マウンド厚 3.0 m

### 1.2 実験結果

#### (1) 通常タイプの消波ブロック被覆堤

消波ブロック被覆堤への波力は、現設計においては次のような計算式を用いている。

##### ① 砕波帯内 森平式

$$\left. \begin{array}{l} \text{i) 波圧の作用高 } \eta = 1.0 H_{1/3} \\ \text{ii) 平均波圧強度 } \bar{p} = 1.0 \omega_0 H_{1/3} \cos \beta \end{array} \right\} \text{式(1)} \quad (0 \leq \beta \leq 45^\circ)$$

##### ② 砕波帯外 合田準用式

$$\left. \begin{array}{l} \text{i) 波圧の作用高 } \eta = 0.75(1 + \cos \beta) \lambda H_{\max} \\ \text{ii) 前面波圧強度 } p_1 = \frac{1}{2}(1 + \cos \beta) \alpha_1 \omega_0 H_{\max} \end{array} \right\} \text{式(2)}$$

$$\alpha_1 = 0.6 + \frac{1}{2} \left[ \frac{4\pi h/L}{\sinh(4\pi h/L)} \right]^2$$

- ここに
- $\eta$ : 静水面上波圧が0になる高さ
  - $\bar{p}$ : 直立壁に作用する平均波圧強度
  - $\omega_0$ : 海水の単位体積重量
  - $H_{1/3}$ : 設計有義波高
  - $\beta$ : 構造物法線の垂線と波の主方向から  $\pm 15^\circ$  の範囲で最も危険な方向とのなす角 (度)
  - $\lambda$ : 波圧てい減率
  - $H_{\max}$ : 設計最高波高
  - $p_1$ : 静水面における波圧強度
  - $h$ : 直立壁前面における水深
  - $L$ : 水深  $h$  における波長

今回の実験は、すべて砕波帯内の条件で行った。

砕波帯内における計算式は、現在一般に上記のように森平式を用いているが、合田準用式を用いることができれば、砕波帯内外で計算式を使い分けしなくて済むた

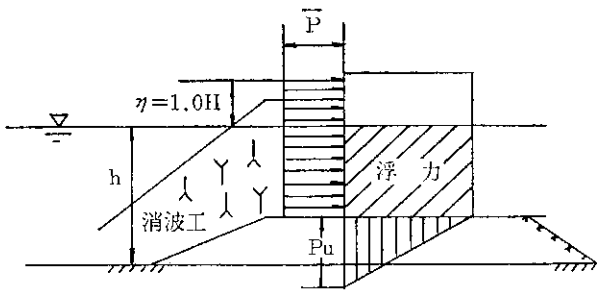


図-1.5 森平式の波圧分布 (天端高がηより高い場合)

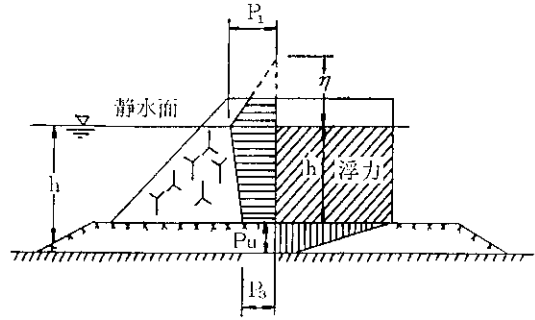


図-1.6 合田準用式の波圧分布

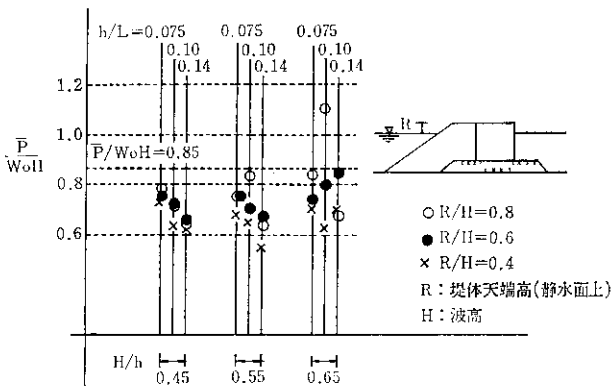


図-1.7 消波ブロックで被覆したときの平均波圧係数  $\bar{P}/\omega_0 H$

め、ここでは、森平式の平均波圧係数  $\bar{P}/\omega_0 H$  の確認と合田準用式を用いた場合の  $\lambda$  の値について検討する。

図-1.7 に平均波圧係数の実験値を示す。平均波圧係数は、波高・水深比  $H/h$  の大きな一部の値を除き、ほぼ 0.85 以下に分布している。

次に、図-1.8 に、実験による全波力  $P_E$  と式(2)の合田準用式において  $\lambda=1.0$  として求めた計算波圧  $P_C$  との比を示す。この  $P_E/P_C$  は、ほぼ  $\lambda$  の値と考えることができる。

図-1.8 によれば、天端高が高くなれば  $\lambda$  の値は大きくなる傾向にある。これは、天端高の違いにより波圧の鉛直分布が異なることが原因とみられる。全体的にみれば、 $\lambda$  の値は波高・水深比  $H/h$  の大きな領域で、一部、値の大きなものがあるが、おおむね 0.7~1.0 の範囲にある。

なお、砕波帯外において、合田準用式を適用する場合の  $\lambda$  は、通常 0.8~1.0 をとるのが一般的である。

#### (2) パラペット突出型消波ブロック被覆堤

パラペットが突出した消波ブロック被覆堤の波圧分布は、天端高や波高・水深比  $H/h$  によりやや異なるが、およそその傾向を把握するために例をあげると、図-1.9, 1.10 のようになる。図中、実線の波圧分布は、堤体がパラペット天端まで消波ブロックで被覆されていると仮定して、合田準用式で求めた計算値を示し、丸印は、今回

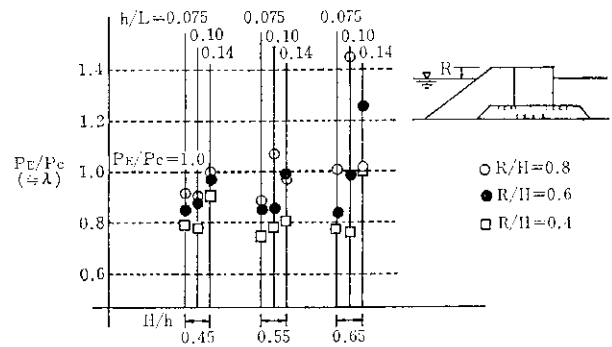


図-1.8 実験全波力と計算全波力との比

3通りのパラペット天端高で行った波圧の実験値を示している。ただし、パラペット部については、全体波力しか測定していないので波圧分布を等分布と仮定して図に示している。

これらの図から、一般に次のようなことがいえる。

#### ○消波ブロック被覆部

実験値をもとに、各波圧測定点の合田準用式の  $\lambda$  を算出すると、それらの値はほぼ 0.8~1.1 の範囲内となる。一般的に実験値の波圧分布は、静水面上において合田準用式で計算した値よりやや大きめの値を示す傾向にある。

#### ○パラペット部

パラペット部の波圧分布は、実験値では一様分布と仮定しているため、合田準用式を用いた場合の三角形分布あるいは台形分布の形状と異なるが、分布面積でおおよそ比較すると、図-1.9, 1.10 に示した実験条件のもとでは、実験値の方が合田準用式の  $\lambda=1.0$  の場合よりやや小さい値となっている。しかし、消波工天端が低い場合には、逆に  $\lambda$  が 1.0 近くにもなっている例があるなど全体的にばらつきも大きい。

以上のことから、パラペット突出型消波ブロック被覆堤では、消波ブロック被覆部とパラペット部とで波圧の作用状況がやや異なるとみられるので、以下においては消波ブロック被覆部、パラペット部、および全体(消波ブロック被覆部+パラペット部)の3通りに分けて波圧

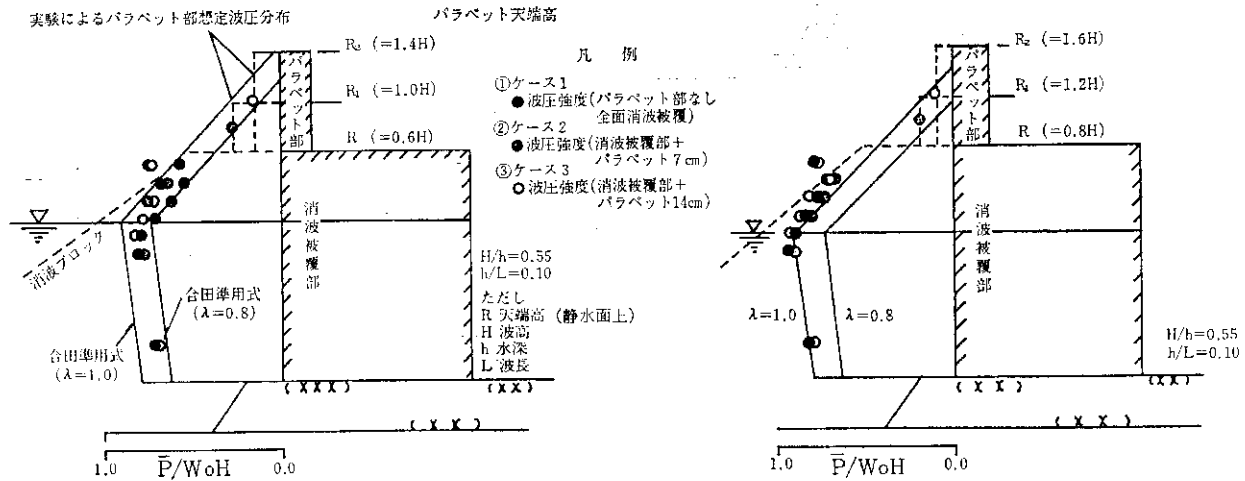


図-1.9, 1.10

3通りのパラペット天端の、実験値と計算値の波圧分布の比較 (図-1.9は図-1.10よりやや天端高が低いケースである)

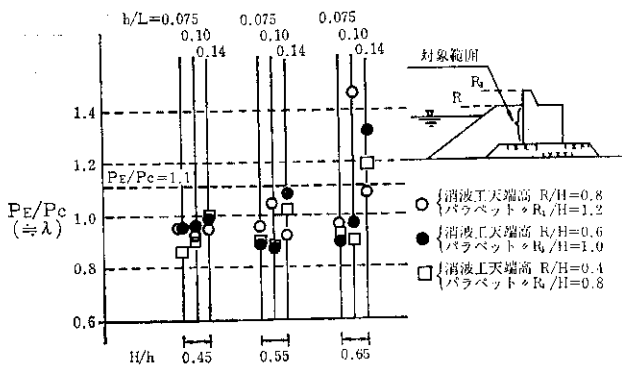


図-1.11 消波ブロック被覆部の実験波力と計算波力の比 (消波工天端とパラペット天端の差 0.4 H)

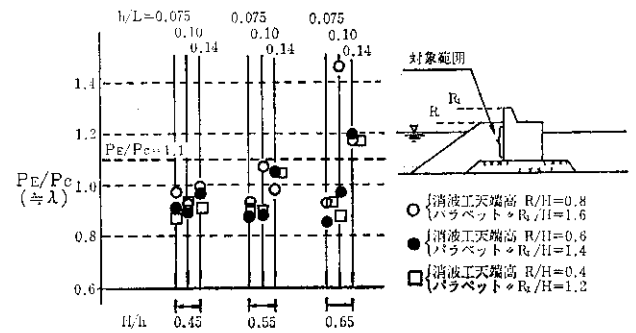


図-1.12 消波ブロック被覆部の実験波力と計算波力の比 (消波工天端とパラペット天端の差 0.8 H)

を検討する。

### 1) 消波ブロック被覆部の波圧

図-1.11, 1.12は、消波ブロック被覆部について実験による全波力  $P_E$  と 1.2(1)の式(2)の合田準用式において  $\lambda=1.0$  として求めた計算波力  $P_C$  の比を示したものである。図-1.11はパラペット高がやや低いケース、図-1.12は高いケースである。

図-1.11, 1-12によれば、消波工天端高の大きいもの(○印)が若干、他の天端高のものより  $\lambda$  の値が大きい傾向にあるが、それらの間にそれほど明瞭な差はみられない。

また、全体的に  $\lambda$  の値は、波高・水深比  $H/h$  が 0.65 と大きい、衝撃的な波が作用しているとみられる数例を除き、ほぼ 0.85~1.1 の範囲内にある。前述した図-1.8の通常タイプの消波ブロック被覆堤では、 $\lambda$  は 0.7~1.0 となっている。したがって、パラペット突出型消波ブロック被覆堤の消波ブロック被覆部には、通常の消波ブロック被覆堤より大きな波圧が作用している。

なお、波高・水深比  $H/h$  が 0.65 付近の  $\lambda$  の値につい

ては、谷本らが既応の規則波実験の結果を中心にまとめた報告<sup>2)</sup>においても、他の波高・水深比に比べて値が大きくなるのが指摘されている。

### 2) パラペット部の波圧

パラペット部については、ランダムに設置された消波ブロックによる波の乱れなどが生じるため、波の作用状況が複雑となる。今回は、その点を考慮し、面的な荷重計による測定法を採用し、パラペット部全体の波圧を取得した。ここでは、便宜的にパラペット天端まで消波ブロックで被覆されているとして合田準用式で計算した値と、実験値との比較を前述 1.2.(2).1)の方法で行う。

$\lambda$  の値を計算した図-1.13, 1.14によれば、ほぼ消波工天端高の低いもの(□印)が、それより天端高の大きいもの(●印, ○印)より  $\lambda$  の値が大きい。この理由は、消波ブロックの上に波が遡上し、パラペットに直接衝突したためとみられる。また、全体的にみたパラペット部の  $\lambda$  は、パラペット天端がやや低い場合 1.2, 高い場合 1.0 程度となる。したがって、図-1.8の突出パラペットのない場合の  $\lambda$  の値よりはやや大きい。なお、図中、数例、異常

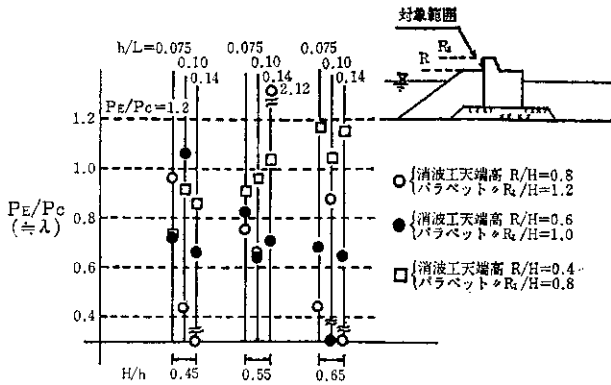


図-1.13 パラペット部の実験波力と計算波力の比 (消波工天端とパラペット天端の差0.4H)

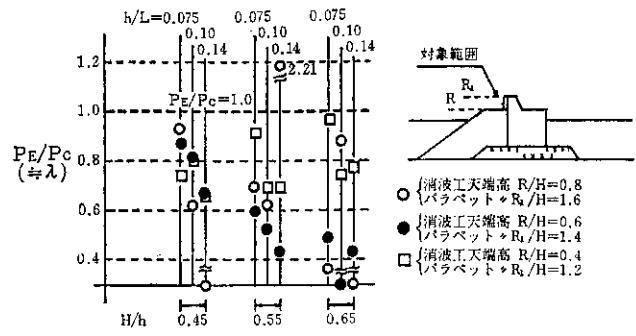


図-1.14 パラペット部の実験波力と計算波力の比 (消波工天端とパラペット天端の差0.8H)

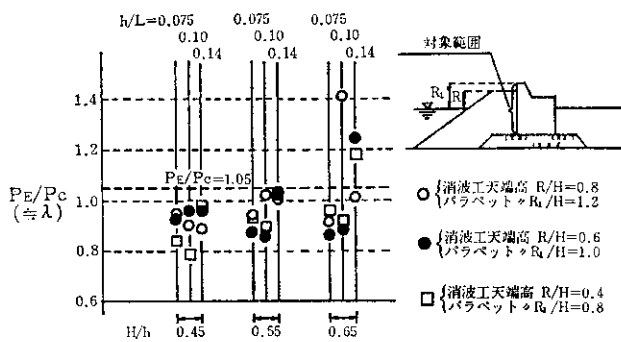


図-1.15 堤体全体の実験波力と計算波力の比 (消波工天端とパラペット天端の差0.4H)

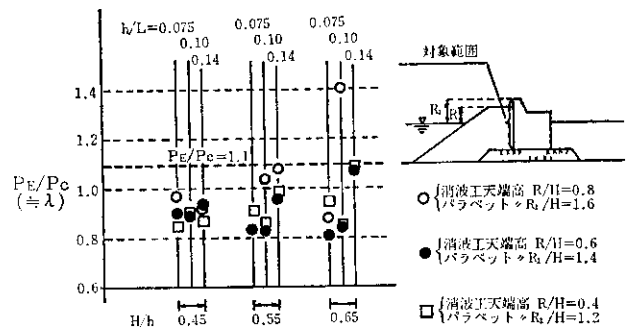


図-1.16 堤体全体の実験波力と計算波力の比 (消波工天端とパラペット天端の差0.8H)

に $\lambda$ の値の低いケースが見受けられるが、これらは、消波ブロックによる波の乱れなどの影響によるとみられる。

### 3) 全体波圧

消波ブロック被覆部とパラペット部を合わせた全体の波圧を検討するため、堤体が全面消波被覆されているとして、前述1.2.(2).1の計算方法により、 $\lambda$ の計算を行うと図-1.15, 1.16のようになる。

図-1.15, 1.16によれば、消波工天端高の大きいもの(○印)が小さいものより、やや $\lambda$ の値が大きいが、それらの差は大きくない。また、前述したようにパラペット部の $\lambda$ の値に、かなり小さいものがあるにもかかわらず、全体波圧がそれほど小さくなっていない理由は、波圧全体に占めるパラペット部波圧の割合が10数%と小さいことによる。

全体的に $\lambda$ は、波高・水深比  $H/h$  が0.65のケースで一部値が大きいものがあるが、パラペット天端の低い場合では $\lambda=0.8\sim 1.05$ 、高い場合で $0.8\sim 1.1$ となっている。これらの値は天端がやや異なるが、図-1.8の通常の消波ブロック被覆堤の $0.7\sim 1.0$ よりやや大きい。

## 2. 越波量に関する検討

パラペット突出型消波ブロック被覆堤に波が作用した場合の越波量を把握するために、模型実験を行った。また、通常タイプの直立堤と消波ブロック被覆堤についても、現行設計法における天端高の関係を確認するために、合わせて越波量実験を行った。

### 2.1 実験内容および実験ケース

実験内容およびケースについては、“1. 波圧に関する検討”で述べた内容とほぼ同様である。直立堤については、以下の27ケースとした。

$$\left( \begin{matrix} h/L=0.075 \\ 0.10 \\ 0.14 \end{matrix} \right) \times \left( \begin{matrix} R/H=0.8 \\ 1.2 \\ 1.5 \end{matrix} \right) \times \left( \begin{matrix} H/h=0.45 \\ 0.55 \\ 0.65 \end{matrix} \right) = 27 \text{ ケース}$$

ここに、 $h$ : 水深、 $L$ : 波長、 $R$ : 天端高、 $H$ : 波高

ただし、今回の実験は規則波で行ったものである。越波現象の検討は、本来、不規則波で行うべきであるが、実験設備の都合から規則波で行っているため、結果についてはおおよその傾向をみるにとどめる。

### 2.2 実験結果

#### (1) 通常タイプの直立堤と消波ブロック被覆堤

現在、設計において堤体の天端高の決定は、表-2.1の“堤体天端と越波の状況表”を参考とし、さらに当該港

湾の水域面積，利用船舶の規模などを考慮の上決定することになっている。

ここでは，この“堤体天端と越波状況表”の直立堤と消波ブロック被覆堤の天端高の関係を検討する。

直立堤と消波ブロック被覆堤のさまざまな天端高に対応する越波量を図示すると，図-2.1のようになる。ここに，横軸は波高・水深比  $H/h$ ，縦軸は越波量  $q$  を  $\sqrt{2gH^3}$  で除した無次元量である。図-2.1から，おおむね表-2.1の対応に相当する直立堤天端高  $1.20 H$  (□印) と消波ブロック被覆堤  $0.8 H$  (■印)，および直立堤天端高  $0.8 H$  (○印) と消波ブロック被覆堤  $0.6 H$  (●印) とを比較すると，いずれも消波ブロック被覆堤の方がやや越波量が多いという結果になった。前述したように，今回の実験は規則波で行ったものである。実際の越波状況に近い不規則波が作用する場合は，越波量は今回のケースよりかなり減少するとみられるので，今後，不規則波実験でこれらの関係について，さらに検討を行っていく必要がある。

(2) パラペット突出型消波ブロック被覆堤

図-2.2に，パラペット突出型消波ブロック被覆堤の越波量を示す。この図では，参考として通常タイプの消波ブロック被覆堤(天端高  $0.6 H$ ， $0.8 H$ )の越波量もあわ

表-2.1 堤体天端と越波状況

越波の状況	HWL上の天端の高さ	
	直立堤	消波ブロック被覆堤
ほとんど防止する場合	$1.25 H_{1/3}$	$0.8 H_{1/3}$
多少越波を許す場合	$0.8 H_{1/3}$	$0.6 H_{1/3}$

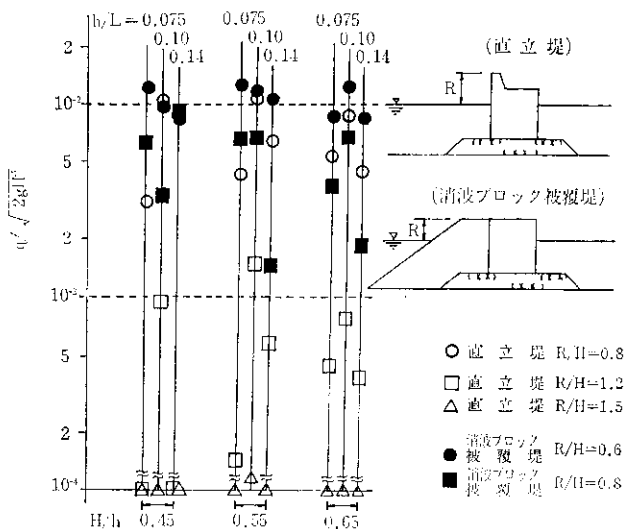


図-2.1 直立堤と消波ブロック被覆堤の越波量の比較

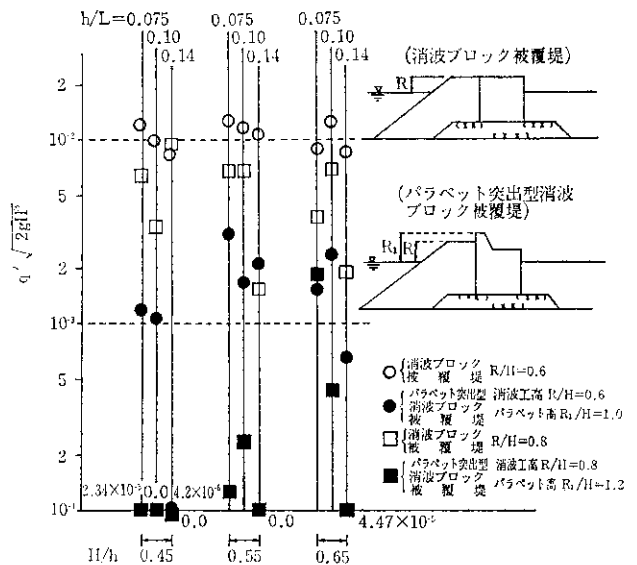


図-2.2 消波ブロック被覆堤とパラペット突出型消波ブロック被覆堤の越波量の比較

せて示している。

図-2.2によれば，天端高  $0.6 H$  の通常タイプの消波ブロック被覆堤の越波量 (○印) は  $8.6 \times 10^{-3} \sim 1.2 \times 10^{-2}$  である。これに対し，この消波ブロック被覆堤にパラペットを  $0.4 H$  かさ上げした場合 (●印) と，消波ブロックとパラペットを同時に  $0.2 H$  かさ上げした場合 (□印) の越波量は，それぞれ  $4.2 \times 10^{-6} \sim 3.0 \times 10^{-3}$ ， $1.5 \times 10^{-3} \sim 9.4 \times 10^{-3}$  で，前者の方が越波量が少ない。表-2.1では，直立堤と消波ブロック被覆堤の天端高の対応について，ほぼ直立堤の天端高を  $0.4 H$  かさ上げする場合が，消波ブロック被覆堤を  $0.2 H$  かさ上げする場合に相当するとみなしているが，この結果から，パラペットを  $0.4 H$  かさ上げするパラペット突出型の方が，消波ブロックおよびパラペットを同時に  $0.2 H$  かさ上げする方式よりも越波量軽減の点で有利と考えられる。

3. まとめ

今回の消波ブロック被覆堤に関する実験より得られた結果を列記すると次のとおりである。

- ① 碎波帯内の条件における通常タイプの消波ブロック被覆堤の波圧を合田準用式で表わすと， $\lambda$  の値はほぼ  $0.7 \sim 1.0$  となる。
- ② パラペット突出型の消波ブロック被覆堤の波圧については，以下のことがいえる。
  - i) 消波ブロック被覆部の  $\lambda$  の値は  $0.85 \sim 1.1$  の範囲であり，通常タイプの消波ブロック被覆堤の  $\lambda$  の値  $0.7 \sim 1.0$  よりやや大きい。
  - ii) パラペット部の  $\lambda$  は，ほぼ  $1.2$  以下となる。ただ

し、一部極端に値の小さいものがみられた。

- iii) 消波被覆部とパラペット部を合わせた全体波圧は、おおむね0.8~1.1の範囲にある。
- ③ 表-2.1の天端高の関係により、直立堤と通常タイプの消波ブロック被覆堤の越波量を比較したところ、消波ブロック被覆堤の方がやや越波量が多いという結果が得られた。
- ④  $0.6H$ の天端高の消波ブロック被覆堤に対し、パラペットのみを $0.4H$ かさ上げする場合と、消波工とパラペットを同時に $0.2H$ かさ上げする場合の越波の減少量を比較したところ、パラペットのみの方式の方が効果があることが判明した。

#### おわりに

消波ブロック被覆堤は、現在、反射波防止という点では波の周期や入射角などの影響が他工法に比べ少ないため、最も確実な工法といえる。しかし、港内静穏度を確保するため、高天端とする場合や大水深の条件の下では、現行設計法では、消波ブロック量が大幅に増大することが難点である。

本研究では、経済性の観点から消波ブロック量を削減すべく、パラペット突出型消波ブロック被覆堤の検討を行い、波圧が通常タイプのものよりやや大きくなるものの、越波量減少の点からはかなり効果があることを確認した。今後は実験条件の範囲や実験手法の検討も含め、さらに研究を進めていきたいと考えている。

最後に、本研究の実施にあたって、種々御助言、御協力をいただいた港湾部港湾建設課、農業水産部水産課の方々に対し、厚く感謝の意を表す次第である。

#### 参 考 文 献

- 1) 合田良実・岸良安治ほか；不規則波による防波護岸の越波流量に関する実験的研究，港湾技術研究所報告，Vol. 14.4, 1975.
- 2) 谷本勝利・本 浩司ほか；防波堤の設計波力算定式についての検討，第23回海岸工学講演会論文集，1976.
- 3) 鴻上雄三・時川和夫；施工段階における消波工の波圧減殺効果に関する実験的研究，土木試験所報告，No. 53, 1970.
- 4) 合田良実；港湾構造物の耐波設計，鹿島出版会.

\*

\*

\*