

不規則波に対する鉛直消波岸壁の消波効果  
に関する一検討STUDY ON WAVE ABSORBING EFFECT OF VERTICAL  
BREAKWATER QUAY FOR IRREGULAR WAVES

榎木 亨\*\*・岩田 好一朗\*\*・富士川 洋 一\*\*\*

By Toru SAWARAGI, Koichiro IWATA and Yoichi HUZIKAWA

## 1. 結 言

本論で取り上げる鉛直消波岸壁は図-1に示すような前面の鉛直透過壁と後面の不透過壁間に遊水部を有する型の鉛直消波岸壁であり、1961年 Jarlan<sup>1)</sup>により提案された型に属する。この種の鉛直消波岸壁(あるいは護岸)は、近年、従来の異形ブロックで代表される傾斜型消波工法とは異なった新しい消波構造として注目を集め、この種の岸壁形状の開発とその消波特性について実験および理論の両面から検討が加えられてきている

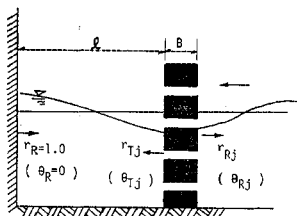


図-1 鉛直消波岸壁構造

が<sup>2)~5)</sup>、しかし、現在それほど多く構築されていないのが実状である。その大きな理由は、この構造物の安定性に対する不安と、現地の不規則波浪に対する消波効果が明らかになっていないことによるものと推定される。構造物の安定性については、透過壁面の重量を大きくするか、あるいはケーソン下部を厚くして重量を大きくすることによりある程度解決するはずである。一方、現地不規則波は多くの異なった短周期の波の集合であるから、こういった多成分波に対して、固定された遊水部長が単一の周期の規則波に対する消波特性と同様の特性を持つかどうか明らかにしなければならない。

本論では、不規則波のもっとも単純な形の2成分合成波と3成分合成波および不規則波に対する鉛直消波岸壁の消波特性を理論と実験の両面より明らかにし、規則波に対する消波特性との差異を明らかにして上記の新消波

構造に対する疑問点の解明の基礎資料を与えようとするものである。

## 2. 理論解析

不規則波は多くの異なった周期の波により構成されているため、構成成分波の消波特性の単純な重ね合わせとして取り扱おうるなら、不規則波に対する消波効果の推算是比較的容易である。そこで、本論では構成成分波の単純な重ね合わせとして、不規則波の消波岸壁前面水域の合成波  $\eta_c(x, t)$  と遊水部の不透過壁面 ( $x = -l$ ) での水位変動  $\eta_R(t)$  が表わされるものと仮定する。なお、 $l$  は図-1に示す遊水部長であり、透過壁の幅  $B$  は  $\theta_T$  の中に含めて考えるため、不透過壁面は  $x = -l$  となる。いま、岸壁に入射する不規則波、 $\eta_I(x, t)$  を式(1)で与えるものとする。

$$\eta_I(x, t) = \sum_{j=1}^{\infty} \frac{1}{2} H_{Ij} \cos(\sigma_j t + k_j x + \theta_j) \dots (1)$$

なお、上式で  $\sigma_j = 2\pi/T_j$ 、 $T_j$  は周期、 $k_j = 2\pi/L_j$ 、 $L_j$  は水深  $h$  における波長、 $\theta_j$  は位相、 $H_{Ij}$  は入射波高、 $x$  は透過壁前面を原点とし沖方向を正軸とする水平距離である。また、添字  $j$  は構成成分波を示し、2成分合成波の場合は  $j=1$  と 2、3成分合成波の場合は  $j=1, 2$  と 3まで採用すればよい。

構成成分波の個々の岸壁前面水域での重複波形  $\eta_{cj}(x, t)$  と遊水部内の不透過壁面での水位変動  $\eta_{Rj}(t)$  は著者のうち榎木・岩田がすでに明らかにした遊水部内での波の反復反射に基づいた関係式<sup>4)</sup>を用いるとおおの式(2)、(3)と式(4)、(5)で与えられる。

$$\left\{ \begin{aligned} \eta_{cj}(x, t) &= \frac{1}{2} H_{Ij} \cos(\sigma_j t + k_j x + \theta_j) \\ &\quad + \frac{1}{2} r_{Ri} H_{Ij} \cos(\sigma_j t - k_j x + \theta_j + \theta_{Rj}) \end{aligned} \right.$$

\* 正会員 工博 大阪大学教授工学部 土木工学教室

\*\* 正会員 工博 大阪大学助教授工学部 土木工学教室

\*\*\* 学生会員 大阪大学大学院工学研究科 土木工学専攻

\* 参考文献4)の式(2)、(3)、(6)、(7)を参照していただきたい。

$$\begin{aligned}
 & + \frac{1}{2} r_{Tj}^2 H_{Ij} \cos(\sigma_j t - k_j x + \theta_j) \\
 & + 2 \theta_{Tj} - \frac{4 \pi l}{L_j} \dots\dots\dots (2)
 \end{aligned}$$

( $1/2 r_{Tj}^2 r_{Rj} H_{Ij}$  以上の項を微小項として省略した有限反復反射の場合)

$$\begin{aligned}
 \eta_{cj}(x, t) &= \frac{1}{2} H_{Ij} \cos(\sigma_j t + k_j x + \theta_j) \\
 & + \frac{1}{2} r_{Rj} H_{Ij} \cos(\sigma_j t - k_j x + \theta_j + \theta_{Rj}) \\
 & + \frac{1}{2} \frac{r_{Tj}^2 H_{Ij}}{1 + r_{Rj}^2 - 2 r_{Rj} \cos\left(-\frac{4 \pi l}{L_j} + \theta_{Rj}\right)} \\
 & \cdot \cos\left(-k_j x + \sigma_j t + \theta_j + 2 \theta_{Tj} - \theta_{1j}^* - \frac{4 \pi l}{L_j}\right) \dots\dots\dots (3)
 \end{aligned}$$

ただし、

$$\theta_{1j}^* = \tan^{-1} \left\{ \frac{r_{Rj} \sin\left(-\frac{4 \pi l}{L_j} + \theta_{Rj}\right)}{r_{Rj} \cos\left(-\frac{4 \pi l}{L_j} + \theta_{Rj}\right) - 1} \right\}$$

(無限の反復反射の場合)

$$\begin{aligned}
 \eta_{Rj}(t) &= r_{Tj} H_{Ij} \cos\left(\theta_j + \theta_{Tj} - \frac{2 \pi l}{L_j} + \sigma_j t\right) \\
 & + r_{Tj} r_{Rj} H_{Ij} \cos\left(\theta_j + \theta_{Tj} + \theta_{Rj} - \frac{6 \pi l}{L_j} + \sigma_j t\right) \dots\dots\dots (4)
 \end{aligned}$$

( $r_{Tj} r_{Rj}^2 H_{Ij}$  以上の項を微小項として省略した有限反復反射の場合)

$$\begin{aligned}
 \eta_{Rj}(t) &= \frac{r_{Tj} H_{Ij}}{\sqrt{1 + r_{Rj}^2 - 2 r_{Rj} \cos\left(\frac{4 \pi l}{L_j} - \theta_{Rj}\right)}} \\
 & \cdot \cos\left(\theta_j + \theta_{Tj} - \frac{2 \pi l}{L_j} - \theta_{2j}^* + \sigma_j t\right) \dots\dots\dots (5)
 \end{aligned}$$

ただし、

$$\theta_{2j}^* = \tan^{-1} \left\{ \frac{r_{Rj} \sin\left(\theta_{Rj} - \frac{4 \pi l}{L_j}\right)}{r_{Rj} \cos\left(\theta_{Rj} - \frac{4 \pi l}{L_j}\right) - 1} \right\}$$

(無限の反復反射の場合)

上式で、 $r_{Tj}$  は透過壁での透過率、 $r_{Rj}$  は透過壁での反射率、 $\theta_{Rj}$  は透過壁での反射波の入射波に対する位相のずれ、 $\theta_{Tj}$  は透過壁での透過波の入射波に対する位相のずれである。そして、これらは反復反射においてもその値が変化しないものと仮定している。なお、式 (2) ~ (5) は透過壁と不透壁間の遊水部では摩擦や碎波による波高減衰はなく、かつ、不透壁では波は完全反射するものとして導かれている。

したがって、式 (1) で与えられる不規則波に対する岸壁前面水域の合成波形  $\eta_c(x, t)$  は式 (2) あるいは式 (3) の単純重ね合わせとして若干の計算の後に式 (6) あるいは式 (7) で与えられる。

$$\eta_c(x, t) = \sum_{j=1}^{\infty} \frac{1}{2} H_{Ij} \sqrt{1 + K_{1j}^2 + 2 K_{1j} \cos(2 k_j x - \theta_{3j}^*)} \cdot \cos(\sigma_j t + \theta_j - \theta_{1j}^*) \dots\dots\dots (6)$$

ただし、

$$K_{1j} = \sqrt{r_{Rj}^2 + r_{Tj}^4 + 2 r_{Rj} r_{Tj}^2 \cos\left(\frac{4 \pi l}{L_j} - 2 \theta_{Tj} + \theta_{Rj}\right)},$$

$$\theta_{3j}^* = \tan^{-1} \left\{ \frac{r_{Rj} \sin \theta_{Rj} - r_{Tj}^2 \sin\left(\frac{4 \pi l}{L_j} - 2 \theta_{Tj}\right)}{r_{Rj} \cos \theta_{Rj} + r_{Tj}^2 \cos\left(\frac{4 \pi l}{L_j} - 2 \theta_{Tj}\right)} \right\},$$

$$\theta_{4j}^* = \tan^{-1} \left\{ \frac{-\sin k_j x + r_{Rj} \sin(k_j x - \theta_{Rj}) + r_{Tj}^2 \sin\left(k_j x + \frac{4 \pi l}{L_j} - 2 \theta_{Tj}\right)}{\cos k_j x + r_{Rj} \cos(k_j x - \theta_{Rj}) + r_{Tj}^2 \cos\left(k_j x + \frac{4 \pi l}{L_j} - 2 \theta_{Tj}\right)} \right\},$$

( $1/2 r_{Tj}^2 r_{Rj} H_{Ij}$  以上の項を微小項として省略した有限反復反射の場合)

$$\eta_c(x, t) = \sum_{j=1}^{\infty} \frac{1}{2} H_{Ij} \sqrt{1 + K_{2j}^2 + 2 K_{2j} \cos(2 k_j x - \theta_{5j}^*)} \cdot \cos(\sigma_j t + \theta_j - \theta_{6j}^*) \dots\dots\dots (7)$$

ただし、

$$\begin{aligned}
 K_{2j} &= \sqrt{r_{Rj}^2 + \frac{r_{Tj}^4}{1 + r_{Rj}^2 - 2 r_{Rj} \cos\left(-\frac{4 \pi l}{L_j} + \theta_{Rj}\right)} + \frac{2 r_{Rj} r_{Tj}^2 \cos\left(2 \theta_{Tj} - \theta_{1j}^* - \frac{4 \pi l}{L_j} - \theta_{Rj}\right)}{\sqrt{1 + r_{Rj}^2 - 2 r_{Rj} \cos\left(-\frac{4 \pi l}{L_j} + \theta_{Rj}\right)}}}, \\
 \theta_{5j}^* &= \tan^{-1} \left\{ \frac{r_{Rj} \sin \theta_{Rj} + \frac{r_{Tj}^2}{\sqrt{1 + r_{Rj}^2 - 2 r_{Rj} \cos\left(\frac{4 \pi l}{L_j} - \theta_{Rj}\right)}} \cdot \sin\left(2 \theta_{Tj} - \theta_{1j}^* - \frac{4 \pi l}{L_j}\right)}{r_{Rj} \cos \theta_{Rj} + \frac{r_{Tj}^2}{\sqrt{1 + r_{Rj}^2 - 2 r_{Rj} \cos\left(\frac{4 \pi l}{L_j} - \theta_{Rj}\right)}} \cdot \cos\left(2 \theta_{Tj} - \theta_{1j}^* - \frac{4 \pi l}{L_j}\right)} \right\},
 \end{aligned}$$

$$\left. \begin{aligned} & \theta_{sj}^* = \tan^{-1} \\ & \left\{ \frac{-\sin k_j x + r_{Rj} \sin(k_j x - \theta_{Rj}) + \frac{r_{Tj}^2}{\sqrt{1+r_{Rj}^2-2r_{Rj}\cos\left(\frac{4\pi l}{L_j}-\theta_{Rj}\right)}} \cdot \sin\left(k_j x - 2\theta_{Tj} + \theta_{sj}^* + \frac{4\pi l}{L_j}\right)}{\cos k_j x + r_{Rj} \cos(k_j x - \theta_{Rj}) + \frac{r_{Tj}^2}{\sqrt{1+r_{Rj}^2-2r_{Rj}\cos\left(\frac{4\pi l}{L_j}-\theta_{Rj}\right)}} \cdot \cos\left(k_j x - 2\theta_{Tj} + \theta_{sj}^* + \frac{4\pi l}{L_j}\right)} \right\} \end{aligned} \right\} \text{(無限の反復反射の場合)}$$

また、不透過壁面での不規則波の水位変動  $\eta_R(t)$  は式 (4) あるいは式 (5) の単純重ね合わせとして式 (8) あるいは式 (9) で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} & \eta_R(t) = \sum_{j=1}^{\infty} r_{Tj} H_{Ij} \sqrt{1+r_{Rj}^2+2r_{Rj}\cos\left(\frac{4\pi l}{L_j}-\theta_{Rj}\right)} \cdot \cos(\sigma_j t + \theta_{sj}^*) \dots\dots\dots (8) \\ & \text{ただし,} \\ & \theta_{sj}^* = \tan^{-1} \left\{ \frac{\sin\left(\theta_j - \frac{2\pi l}{L_j} + \theta_{Tj}\right) + r_{Rj} \cos\left(\theta_j - \frac{6\pi l}{L_j} + \theta_{Tj} + \theta_{Rj}\right)}{\cos\left(\theta_j - \frac{2\pi l}{L_j} + \theta_{Tj}\right) + r_{Rj} \cos\left(\theta_j - \frac{6\pi l}{L_j} + \theta_{Tj} + \theta_{Rj}\right)} \right\} \\ & \text{(} r_{Tj} r_{Rj}^2 H_{Ij} \text{ 以上の項を微小項として省略した有限反復反射の場合)} \\ & \eta_R(t) = \sum_{j=1}^{\infty} \frac{r_{Tj} H_{Ij}}{\sqrt{1+r_{Rj}^2-2r_{Rj}\cos\left(\theta_{Rj}-\frac{4\pi l}{L_j}\right)}} \cdot \cos\left(\theta_{Tj} + \theta_j - \frac{2\pi l}{L_j} - \theta_{sj}^* + \sigma_j t\right) \dots\dots\dots (9) \\ & \text{(無限の反復反射の場合)} \end{aligned} \right\}$$

### 3 2成分合成波の3成分合成波に対する消波効果の検討

ここでは、多成分合成波のもっとも単純な形として2成分合成波と3成分合成波を取り上げて、上述の線形理論の妥当性について検討を加える。

#### (1) 実験装置と実験方法

実験は大阪大学工学部土木工学教室の片面ガラス張りの屋内鋼製造波水槽(長さ30m×幅0.75m×高さ1.0m)を用いて行われた。水槽の一端には動電型加振機を利用したフラップ型造波機が設置されている。水深は造波機の設置してある水槽端から約8m離れた地点より小段を設けて水深を浅くして22cmの一定水深とし、この水域に消波岸壁を設置している。なお、消波岸壁の模型の関係で水路を2分割し、幅の広い水路(40cm)に消波岸壁を設置している。実験波および水位変動の計測はすべて電気抵抗線式水位計で行ったが、その方法は2成分波、3成分波が完全に合成された状態になってから透過壁と不透過壁を同時に設置して計測し、その計測時間は消波岸壁からの反射波が再び入射しない範囲である。また、その記録はすべて磁気テープで行っている。消波岸壁前面水域の重複波形は原則として1cm間隔でほぼ一波長間にわたり計測したが、必要な場合にはさらに間隔を密にしている。実験に用いた透過壁は壁厚0.8cmで開口比0.186の亚克力製の多孔壁(円孔径は1.4cm)で

あり、後面の不透過壁と同様波により振動しないよう固定されている。

本研究で行った実験の種類は、表-1に示すように、106種目であり、そのうち2成分合成波についてはW-3、W-6、W-9の3種類の波に対し18種目、3成分合成波についてはW-13とW-17の2種類の波に対し13種目の実験を行っている。

#### (2) 実験波

実験波は合成すべき成分波(3成分波の場合は3つの成分波)とそれらを多成分波発振器で合成させた合成波を磁気テープにあらかじめ収録しておき、これを加振機の入力として与えて波を生起せしめる。

本実験で計測された(水深22cm)合成波のフーリエ成分素波と基本成分波を単独に生起させた場合の関係の数を示したのが図-2である。同図に示した成分波高スペクトルは、8秒間の時間波形を1/25秒間隔でサンプリングしてデータ数200個として調和解析<sup>6)</sup>して求めたものである。本実験で用いた合成波は、図-2(b)のW-9の波については周波数1.5Hzで波高0.45cmの非線形波の発生が認められたが、それ以外の波については非線形成分波は無視されるほど小さい。

2, 3成分合成波の波形は正弦波の波形とは異なり、図-3(W-3の進行波)に示すように複雑な波形である。このW-3の2成分合成波が鉛直不透過壁で反射する場合の重複波の時間波形を示したのが図-4である。同図によれば、 $x=0$ の壁面では複雑な波形を示すが、

表-1 実験の種類

RUN	WAVE	T (周期)	H (波高)	l (遊水部長)
RUN- 1~RUN- 5	W-1	1.00 sec	1.30 cm	0, 10 cm, 15.6 cm, 31.3 cm, 62.5 cm
RUN- 6~RUN- 10	W-2	0.64 sec	0.75 cm	0, 10 cm, 15.6 cm, 31.3 cm, 62.5 cm
RUN- 11~RUN- 15	W-3	W-1 と W-2 の波の合成波 $H_{l\max} = 2.05$ cm		0, 10 cm, 15.6 cm, 31.3 cm, 62.5 cm
RUN- 16~RUN- 21	W-4	1.00 sec	2.00 cm	0, 15.6 cm, 31.3 cm, 46.9 cm, 62.5 cm, 93.8 cm
RUN- 22~RUN- 27	W-5	0.64 sec	1.05 cm	0, 15.6 cm, 31.3 cm, 46.9 cm, 62.5 cm, 93.8 cm
RUN- 28~RUN- 33	W-6	W-4 と W-5 の波の合成波 $H_{l\max} = 2.26$ cm		0, 15.6 cm, 31.3 cm, 46.9 cm, 62.5 cm, 93.8 cm
RUN- 34~RUN- 40	W-7	1.00 sec	1.05 cm	0, 11.4 cm, 15.6 cm, 22.8 cm, 31.3 cm, 46.9 cm, 62.5 cm
RUN- 41~RUN- 47	W-8	0.80 sec	2.05 cm	0, 11.4 cm, 15.6 cm, 22.8 cm, 31.3 cm, 46.9 cm, 62.5 cm
RUN- 48~RUN- 54	W-9	W-7 と W-8 の波の合成波 $H_{l\max} = 2.28$ cm		0, 11.4 cm, 15.6 cm, 22.8 cm, 31.3 cm, 46.9 cm, 62.5 cm
RUN- 55~RUN- 60	W-10	1.25 sec	0.60 cm	0, 15.6 cm, 31.3 cm, 41.5 cm, 62.5 cm, 83.0 cm
RUN- 61~RUN- 66	W-11	1.00 sec	1.45 cm	0, 15.6 cm, 31.3 cm, 41.5 cm, 62.5 cm, 83.0 cm
RUN- 67~RUN- 72	W-12	0.64 sec	1.58 cm	0, 15.6 cm, 31.3 cm, 41.5 cm, 62.5 cm, 83.0 cm
RUN- 73~RUN- 78	W-13	W-10~W-12 の波の合成波 $H_{l\max} = 3.45$ cm		0, 15.6 cm, 31.3 cm, 41.5 cm, 62.5 cm, 83.0 cm
RUN- 79~RUN- 85	W-14	1.25 sec	1.02 cm	0, 22.8 cm, 31.3 cm, 41.5 cm, 65.0 cm, 81.0 cm, 105.0 cm
RUN- 86~RUN- 92	W-15	1.00 sec	0.87 cm	0, 22.8 cm, 31.3 cm, 41.5 cm, 65.0 cm, 81.0 cm, 105.0 cm
RUN- 93~RUN- 99	W-16	0.80 sec	1.19 cm	0, 22.8 cm, 31.3 cm, 41.5 cm, 65.0 cm, 81.0 cm, 105.0 cm
RUN-100~RUN-106	W-17	W-14~W-16 の波の合成波 $H_{l\max} = 2.96$ cm		0, 22.8 cm, 31.3 cm, 41.5 cm, 65.0 cm, 81.0 cm, 105.0 cm

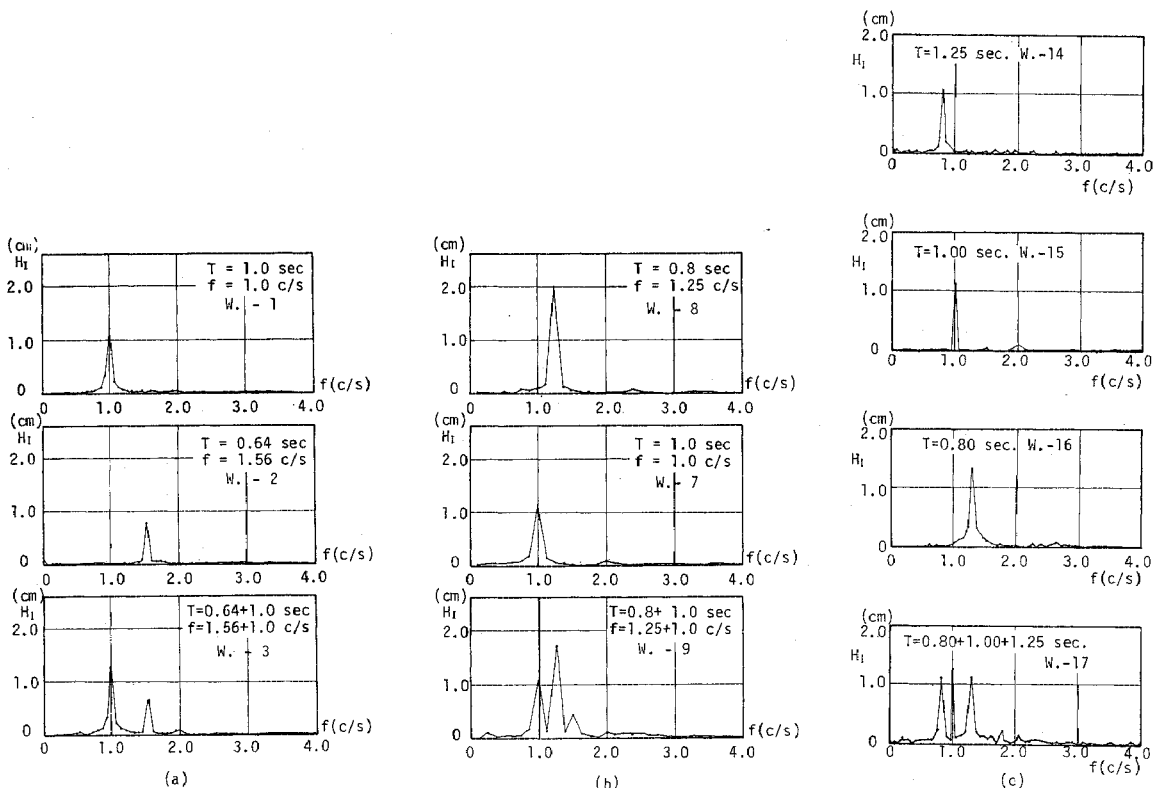


図-2 成分波高スペクトルの一例

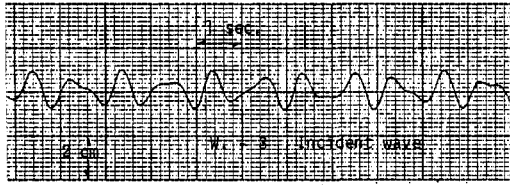
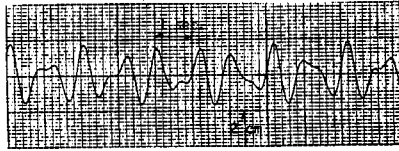
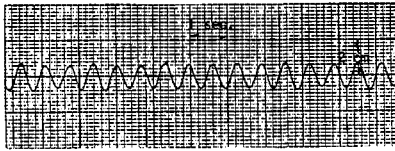


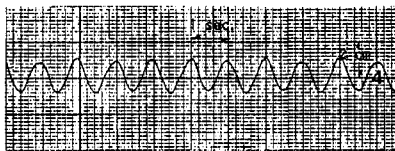
図-3 2成分合成波 (W-3)



(a)  $x = 0$



(b)  $x = 31.3$  cm



(c)  $x = 46.9$  cm

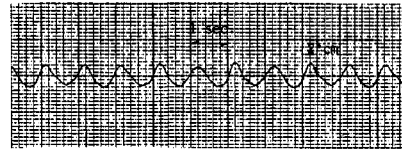
図-4 重複波の波形 (W-3 の波が鉛直不透壁で反射する場合)

壁面より沖方向へ  $x=31.3$  cm (0.64 秒の波に対して  $1/2$  波長, 1.0 秒の波に対して  $1/4$  波長に相当) の地点では周期がほぼ 0.64 秒の整正な波形となり, また, 壁面より  $x=46.9$  cm (0.64 秒の波に対して  $3/4$  波長, 1.0 秒の波に対して  $3/8$  波長に相当) の地点では周期がほぼ 1.0 秒の整正な波形となっている. これは,  $x=31.3$  cm の地点では 1.0 秒の波,  $x=46.9$  cm の地点では 0.64 秒の波の重複波がほぼ節の位置となり波高が極めて小さくなるため, それ以外の卓越成分波 ( $x=31.3$  cm で 0.64 秒の波,  $x=46.9$  cm では 1.0 秒の波) が出現していることを示している. このことより, 1.0 秒と 0.64 秒の波は自由波となっていることが確認できる.

(3) 実験結果とその検討

a) 水面波形 (重複波の波高分布)

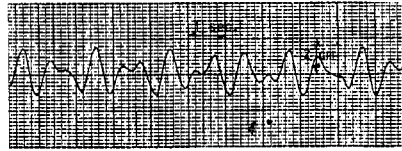
ここでは, まず実験結果を示し, ついで 2. の理論解析の妥当性について検討を加えていく. 図-5 に一例として示されているように, もっとも簡単な2成分合成波の場合でも, 鉛直消波岸壁前面水域での重複波の時間波形および遊水部内の不透壁面での水位の時間変化は単一成分波の場合とは著しく異なっている. このうち, 消波岸壁前面水域での重複波高の地点 ( $x$ ) 別の最大値を  $H_{max}$



(a)  $x = 50$  cm



(b)  $x = 35$  cm



(c)  $x = -31.3$  cm (Air chamber)

図-5 重複波の波形 (W-3 の波で,  $l=31.3$  cm の場合)

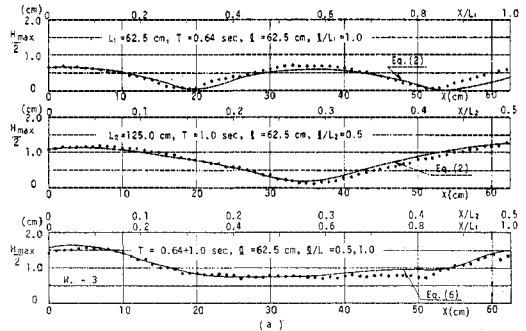


図-6 岸壁前面水域での重複波の波高分布 (W-3 の2成分合成波)

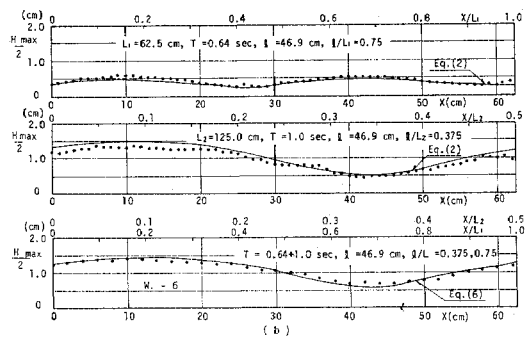


図-6 岸壁前面水域での重複波の波高分布 (W-6 の2成分合成波)

と記し (重複波の時間波形  $\eta_c(x, t)$  からゼロ・アップ・クロス法により求めた最大波高を  $H_{max}$  とする), この  $1/2 H_{max}$  の分布形状の数例を2成分合成波について示したのが 図-6 と 図-7 であり, 図中の上2つは単一成分波, 下の図は合成波に対するものである. なお, 図中の  $\bullet$  印は実験値, 曲線は計算値である. 実験に用いた透

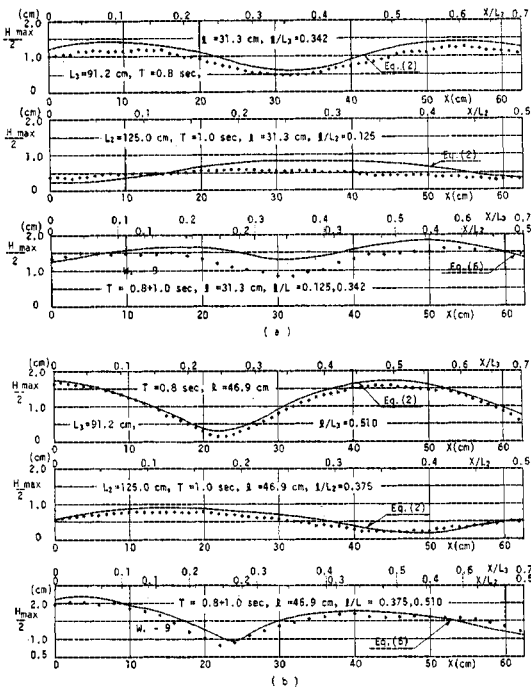


図-7 岸壁前面水域での重複波の波高分布 (W-9 の 2 成分合成波)

表-2

WAVE	T (sec)	r <sub>R</sub>	r <sub>T</sub>	θ <sub>j</sub> (rad.)
W- 3	0.64	0.29	0.71	0
	1.00	0.29	0.71	-0.263
W- 6	0.64	0.36	0.64	0
	1.00	0.32	0.68	-0.263
W- 9	0.80	0.30	0.70	0
	1.00	0.30	0.70	-0.184
W-13	0.64	0.27	0.73	0
	1.00	0.30	0.70	2.714
	1.25	0.24	0.76	-1.042
W-17	0.80	0.30	0.70	0
	1.00	0.23	0.81	0.299
	1.25	0.23	0.76	2.614

過壁では波の位相がほとんどずれないので、計算曲線は  $\theta_R = \theta_T = 0$  として計算式 (2) と式 (6) により算出している<sup>5)</sup>。この計算は波形の再現性が十分ある 30 秒間にわたり行い、その間 1/20 秒間隔で離散化し、600 個の時系列よりゼロアップ・クロス法で  $H_{max}$  を求めている。また、計算に用いた透過壁での  $r_T$  と  $r_R$  の値は表-2\* に示されており、同表の値はすべて単一成分波に対する実験で求めた値である。なお表-2 の  $\theta_j$  は透過壁に初めて波が入射するときの各成分波の位相のずれ ( $\theta_j$ ) を示したもので、このことは後述の表-4 についても同様である。

\* 3. における計算値はすべて表-2 に示す  $r_T$  と  $r_R$  の値を用いて計算されている。

図-8 (a), (b) に示す W-3 と W-6 の波については実験値と計算値がよく一致しており単成分波の単純な重ね合わせで現象が十分説明できると判断してさしつかえなからう。また、図-7 に示す W-9 の波については、周期 0.67 秒 (周波数 1.5 Hz) 波高 0.45 cm の非線形干渉波が生じるため、この干渉効果を考慮していない式 (6) の計算値は実験値と W-3, W-6 の波程度には一致しないが、それでも比較的よく一致しており、この程度の非線形干渉波が形成されても単成分波の単純重ね合わせでほぼ取り扱おうと考えられる。

一方、3 成分合成波についても図-8, 9 に示すように単成分波の単純な重ね合わせとして導かれた式 (6) により岸壁前面水域の波高分布がほぼ求まることが実証される。なお、本論では図示していないが、他のケースについても実験値と計算値は比較的よく一致していることを付記しておく。したがって、このことから、現地不規

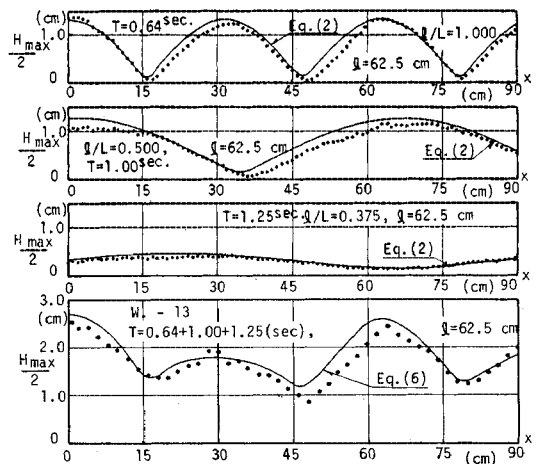


図-8 岸壁前面水域での重複波の波高分布 (W-13 の 3 成分合成波)

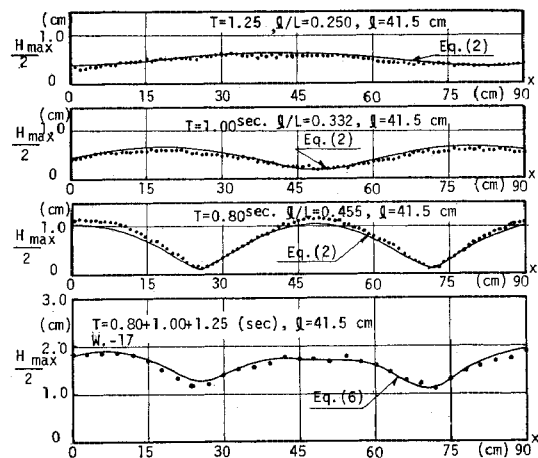


図-9 岸壁前面での重複波の波高分布 (W-17 の成分合成波)

則風浪が完全に式(1)のように表現されるならば、著者らの提案した算定式で不規則波に対する岸壁前面水域の重複波高は算定できると推測される。

なお、図-6~9によれば、計算値と実験値では波高の極値の出現地点に若干の差異が認められる。これは、計算では(i)微小振幅波理論による波長を用いていること、(ii)透過壁での波の位相のずれを完全に0としていること、(iii)不透壁で波が完全反射すると仮定していること、などに帰因するものと考えられる。

**b) 消波効果**

消波岸壁の消波効果を示す一指標として、岸壁前面水域での波の反射率が従来主に規則波に対して用いられてきている。入射波と反射波がともに微小振幅正弦波の場合は Healy の方法によれば、反射率  $r_R^*$  と重複波の無次元最大波高  $H_{cmax}/H_I$  ( $H_{cmax}$  は重複波の最大波高で図-6~9に示す単成分波の  $H_{max}$  の中の最大値、 $H_I$  は入射波高)は式(10)を満たしているはずである。

$$1+r_R^*=H_{cmax}/H_I \dots\dots\dots(10)$$

しかし、著者らの実験によれば(過去の実験も含む<sup>7),8)</sup>、図-10に示すように、 $1+r_R^* > H_{cmax}/H_I$  となる場合が多く、式(10)は成立していない場合が多いが、 $1+r_R^*$  が小さくなれば、 $H_{cmax}/H_I$  はそれに対応して小さくなっている。したがって、岸壁前面水域の消波効果を高めるには  $H_{cmax}/H_I$  を極力小さくするとよいわけであって、この  $H_{cmax}/H_I$  も消波効果を表わす一指標として考えられる。本論で取り扱っているような多成分波の反射率の算定法について、二の方法<sup>7),8)</sup>が提案されているが、著者らは上述の規則波に対する  $H_{cmax}/H_I$  の指標に着目し、岸壁前面水域での無次元最大波高  $H_m^*$  を式(11)、遊水部内の不透壁面での無次元最大水位変動  $R_m^*$  を式(12)で定義して、この  $H_m^*$  と  $R_m^*$  の特性について以降論議をすすめる。

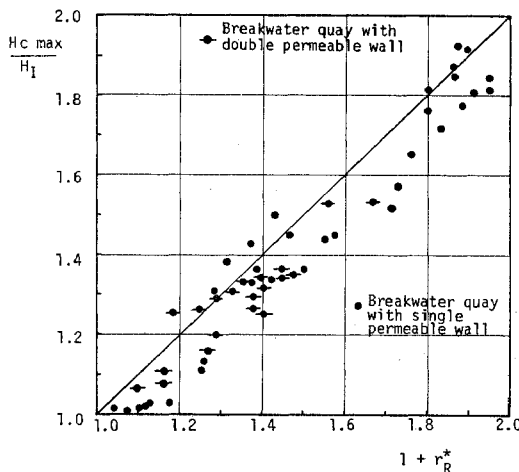


図-10  $H_{cmax}/H_I$  と  $1+r_R^*$  の関係

$$H_m^*=[H_{cmax}]/[H_I]_{max} \dots\dots\dots(11)$$

$$R_m^*=[R_{max}]/[H_I]_{max} \dots\dots\dots(12)$$

なお、 $H_{cmax}$  は重複波の最大波高、 $R_{max}$  は不透壁面での最大波高、 $[H_I]_{max}$  は入射波の最大波高であり、すべてゼロアップ・クロス法で求めたものである。

この  $H_m^*$  および  $R_m^*$  と遊水部長  $l$  との関係を W-9 の2成分合成波について示したのが図-11である。また、W-17 と W-13 の2つの3成分合成波とその基本成分波について示したのが図-12と図-13であって、図中の  $\bullet$ ,  $\circ$ ,  $\ominus$  印は実験値、曲線は計算値である。なお、計算値は、透過壁で波が通過する際、位相がほとんどずれないため、 $H_m^*$  については式(6)より求めた  $H_{cmax}$ 、 $R_m^*$  については式(8)より求めた  $R_{max}$  の値を用いている。また  $[H_I]_{max}$  は表-1に  $H_I$  の値として示してある。図-11~13の  $l=0$  の実験値は式(11)、(12)で  $l=0$  とした条件(不透壁に透過壁を張りつけた状態)に対する実験値である。

図-11, 12 と 13 に示すように、実験値と計算値の一致度合が比較的良好なことから、各卓越成分波の重ね合わせとして導かれた式(6)と式(11)および式(8)と式(12)で  $H_m^*$  と  $R_m^*$  を精度よく算定できることが判明した。

さて、2成分、3成分合成波に対する  $H_m^*$  と  $R_m^*$  の値は図-13に示すように  $l$  の増大にともなって変化するが、単一成分波の場合に比してその変化の度合は小さい。さらに、 $H_m^*$  と  $R_m^*$  の絶対値も単一成分波に比して小さくなる場合が多い。このことは、消波面で単一成分波よりも多成分合成波に対する方が良好であること

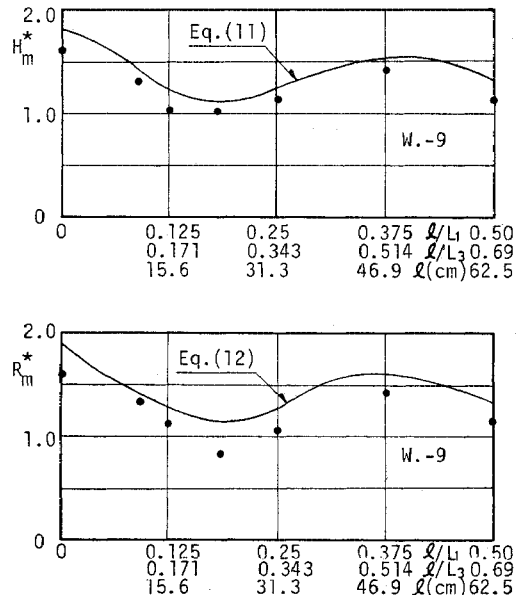


図-11  $H_m^*$  と  $R_m^*$  と  $l$  の関係(2成分波の場合)

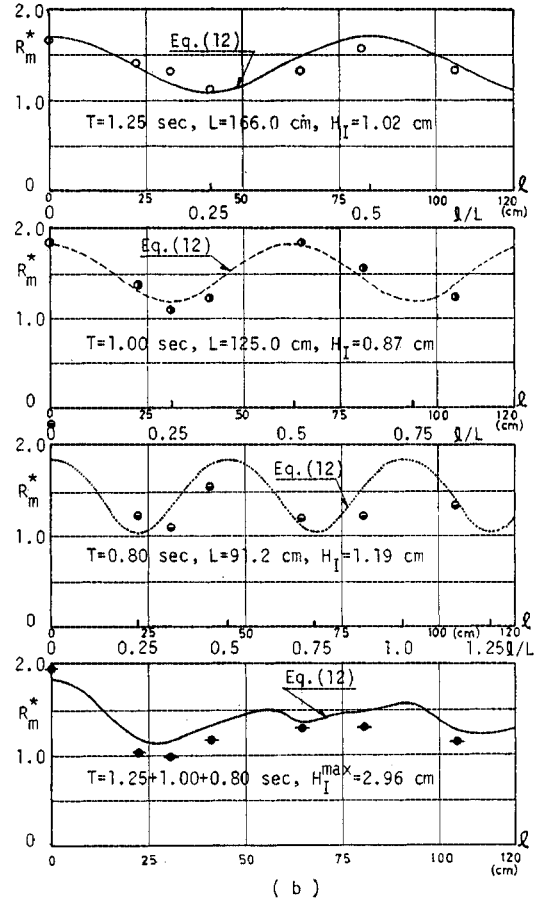
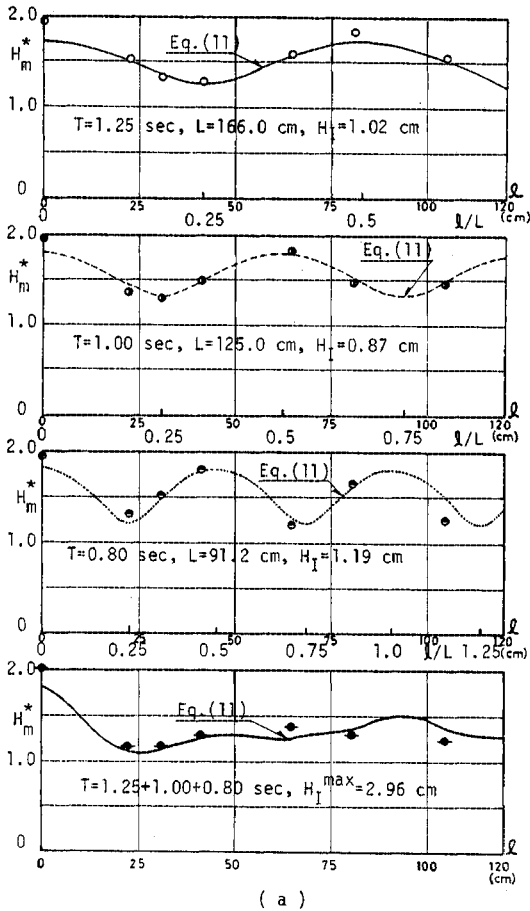


図-12  $H_m^*$  と  $R_m^*$  と  $l$  の関係 (W-17 の3成分合成波の場合)

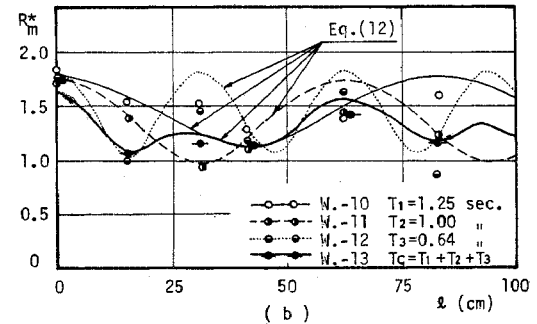
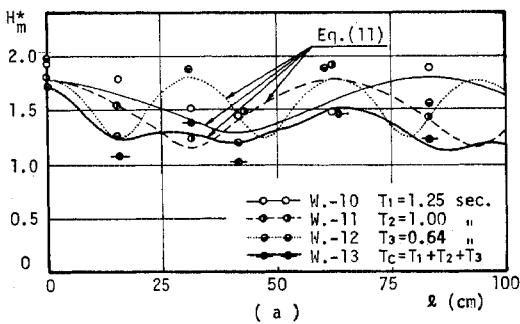


図-13  $H_m^*$  と  $R_m^*$  と  $l$  の関係 (W-13 の3成分合成波)

を示すものといえる。これは、消波効果の高い遊水部長と消波効果の悪い遊水部長が各成分波ごとに異なり、これらが線形的に重なりあうため消波効果が平均化されたことによるものと考えられる。

また、本論で用いた3成分合成波(各卓越成分波の波高が同程度の場合)に対して消波効果を高めるには、遊水部長  $l$  としてはもっとも短い周期の卓越成分波(W-13では0.64秒、W-17では0.80秒)の消波効果を

もっとも高める遊水部長  $l$  を採用すれば十分であることが認められる。

もちろん、成分波の波高が重要な要素となるので、最短周期の成分波が他の長い周期の成分波高に比して著しく小さいときは上述の著者らの結果と異なると推察されるので、この点についてさらに検討を要する。



### 4. 不規則波に対する消波効果の検討

#### (1) 実験装置と実験方法

実験装置および計測器と記録器は既述の2成分と3成分合成波の場合と同一のものをを用いている。不規則波は本学の不規則波発生装置<sup>9)</sup>により生起させる。不規則波に対する実験も、3.と同様、岸壁前面水域での重複波と不透過壁での水位変化を計測するが、透過壁前面水域では壁面より1.5cm間隔で沖方向に180cmの範囲にわたり各測点について100秒間の水位変動を計測した。なお、この180cmの測定範囲は表-3に示すW-18とW-19の実験波のパワー・スペクトルの最大値を示す周波数  $f_p$  の波に対しておのおの2.6波長と2.0波長の範囲に対応している。水位記録の解析は、消波岸壁による反射波が再入射しない範囲に対して行う必要がある。本論ではパワー・スペクトルのピーク周波数  $f_p$  の波を代表波として選んで規則波換算を行い、この波が再入射しない波数は50~60波(記録時間40秒)となること

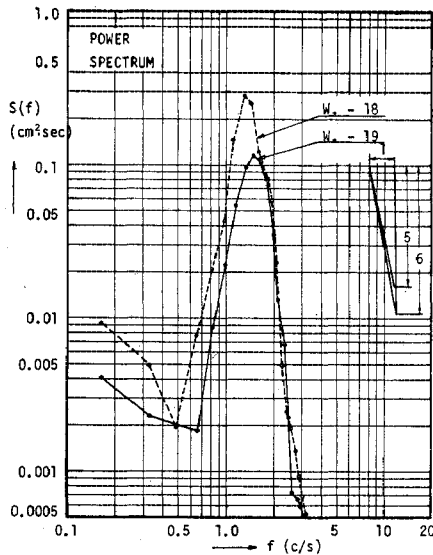


図-14 発生波のパワースペクトル

から、100秒間の記録より前半の40秒間の記録を原則として採用して解析を行っている。図-14に示すW-18とW-19の不規則波(入射波)のパワー・スペクトルもこの40秒間に対応する水位記録を1/25秒間隔でサンプリングしてデータ数1000個、自由度30でBlackman-Tukey法で求めている。なお、後述の図-18の遊水部内の水位変動のスペクトルも同様の方法で求められている。一方、有義波、1/10最大波、最大波の波高とそれに対応する周期はゼロアップ・クロス法で求め、その値は表-4に示している。実験の種類は表-3に示すように22種目である。なお、図-14に示すように本論で用いた不規則波のパワー・スペクトルの値がかなり小さい。これは岸壁の設置水深を22cmにしたことと、重複波が碎波しないようにしたことと大きく帰因する。また、透過壁としては、3.で用いた多孔壁以外に壁厚11.3cmの鉛直ブロック型透過モデル(空隙率50%)を用いている。

#### (2) 実験結果とその検討

##### a) 前面水域の波高分布

岸壁前面水域あるいは遊水部内の水位変動は2成分、3成分波の場合よりきわめて複雑であることはいうまで

表-4

WAVE	波の統計値	B (cm)	$H_I$ (cm)	T (sec)	$r_R$	$r_T$	$\theta_I$ (rad.)
W-18	$H_{I \max} = 3.24$ cm $T_{I \max} = 0.70$ sec	0.8	0.38	0.78	0.29	0.73	2.582
			0.35	0.73	0.29	0.77	-0.761
	$H_{I 1/10} = 2.68$ cm $T_{I 1/10} = 0.69$ sec	11.3	0.28	0.69	0.33	0.68	3.799
			0.30	0.65	0.33	0.73	-0.731
	$H_{I 1/3} = 2.05$ cm $T_{I 1/3} = 0.70$ sec	11.3	0.29	0.61	0.38	0.71	1.883
			0.30	0.65	0.41	0.57	-0.731
W-19	$H_{I \max} = 3.81$ cm $T_{I \max} = 0.70$ sec	11.3	0.49	1.00	0.31	0.76	3.475
			0.72	0.92	0.31	0.76	3.591
	$H_{I 1/10} = 3.41$ cm $T_{I 1/10} = 0.71$ sec	11.3	0.49	0.86	0.44	0.65	0.926
			0.94	0.77	0.42	0.67	1.065
	$H_{I 1/3} = 2.73$ cm $T_{I 1/3} = 0.78$ sec	11.3	0.72	0.73	0.38	0.71	0.112
			0.65	0.69	0.38	0.80	-0.358

$H_I$ : 波高,  $H_{I 1/10}$ : 1/10最大波高,  $T_{I 1/10}$ : 1/10最大波の周期, B: 透過壁厚

表-3 実験の種類(不規則波)

RUN	WAVE	B (透過壁厚)	l (遊水部長)
RUN-107~RUN-114	W-18	0.8cm	0, 10.2cm, 16.4cm, 20.5cm, 30.7cm, 41.0cm, 61.4cm, 82.0cm
RUN-115~RUN-121	W-18	11.3cm	2.8cm, 5.7cm, 8.5cm, 11.3cm, 14.1cm, 17.0cm, 22.6cm
RUN-122~RUN-128	W-19	11.3cm	2.8cm, 5.7cm, 8.5cm, 11.3cm, 14.1cm, 17.0cm, 22.6cm

WAVE	$\epsilon$	$f_p$	$Q_p$	$\sqrt{\beta_1}$	$\beta_2$	$\eta_{rms}$	$H_{I \max}$	$T_{I \max}$	$H_{I 1/3}$	$T_{I 1/3}$
W-18	0.918	1.50Hz	2.72	0.340	3.37	0.470	3.24cm	0.70sec	2.05cm	0.70sec
W-19	0.849	1.32Hz	2.89	0.470	2.93	0.643	3.81cm	0.70sec	2.73cm	0.78sec

$\epsilon$ : スペクトル幅,  $f_p$ : スペクトルのピーク周波数,  $Q_p$ : スペクトル尖鋭度パラメーター<sup>10)</sup>,  $\sqrt{\beta_1}$ : skewness,  $\beta_2$ : kurtosis,  $\eta_{rms}$ : 標準偏差,  $H_{I \max}$ : 最大波高,  $T_{I \max}$ : 最大波の周期,  $H_{I 1/3}$ : 有義波高,  $T_{I 1/3}$ : 有義波の周期

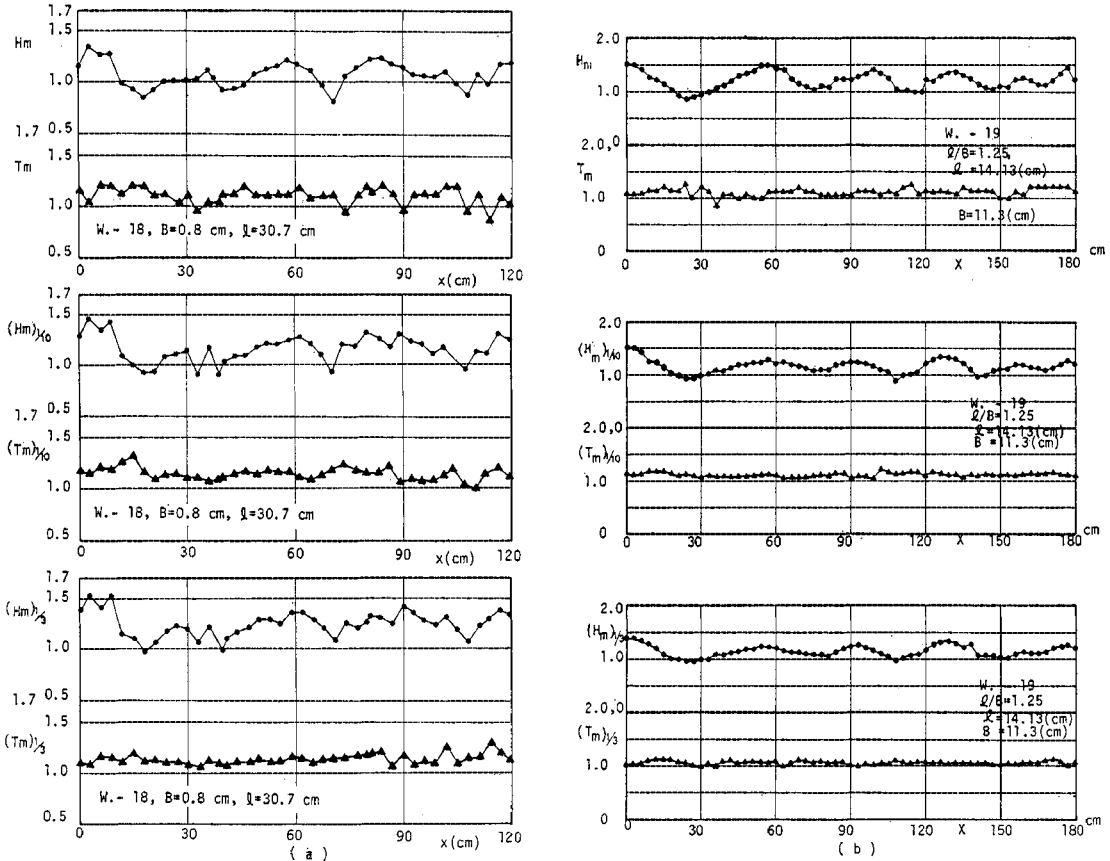


図-15 岸壁前面水域での重複波の波高比と周期比 (W-81 と W-19 の不規則波)

もないが、3. に対応して論議をすすめるため、まず、岸壁前面水域の重複波の波高分布特性について述べる。

重複波高として地点 (x) 別の最大重複波高  $H_{max}$  と  $1/10$  最大重複波高  $H_{1/10}$  と有義重複波高  $H_{1/3}$  を取り上げて、それぞれの入射波の波高で無次元化して示した例が図-15である。同図には無次元波高に対応する無次元周期も同時に示されている。なお、 $H_m = H_{max} / H_{I_{max}}$ ,  $(H_m)_{1/10} = H_{1/10} / H_{I_{1/10}}$ ,  $(H_m)_{1/3} = H_{1/3} / H_{I_{1/3}}$  であり、 $T_m$ ,  $(T_m)_{1/10}$ ,  $(T_m)_{1/3}$  はおのおの  $H_{max}$ ,  $H_{1/10}$ ,  $H_{1/3}$  に対応する周期をおのおの入射波に対する周期  $T_{I_{max}}$ ,  $T_{I_{1/10}}$ ,  $T_{I_{1/3}}$  で無次元化されたものである。

図-15 (a), (b) に示されているように、 $H_m$ ,  $(H_m)_{1/10}$ ,  $(H_m)_{1/3}$  は  $x$  の増大に伴い極大値と極小値を交互に示して変化している。そして、その絶対値に差異はあるものの、 $x$  の増大に伴う波高分布形状の概略は、 $H_m$ ,  $(H_m)_{1/10}$ ,  $(H_m)_{1/3}$  とも類似していることが認められる。一方、周期については、 $T_m$ ,  $(T_m)_{1/10}$ ,  $(T_m)_{1/3}$  ともに  $x$  の増大に伴う変化は小さく、その値はほとんど 1 より大きくなっており、この傾向は  $T_m$  より  $(T_m)_{1/3}$

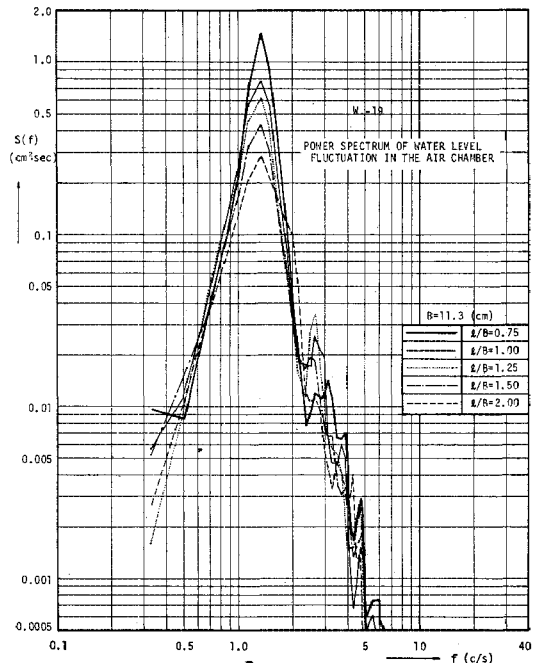


図-16 遊水部内不透過壁での水位変動のパワー・スペクトル (W-19 の不規則波)

の方が著しい。このことは、重複波の最大波高、1/10最大波高、有義波高の周期は入射波のそれぞれに対する周期より長くなることを示している。なお、 $H_m$ と $T_m$ 、 $(H_m)_{1/10}$ と $(T_m)_{1/10}$ 、 $(H_m)_{1/3}$ と $(T_m)_{1/3}$ の相関関係は明確ではない。

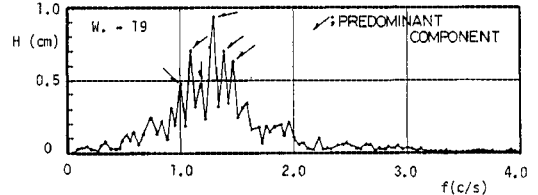
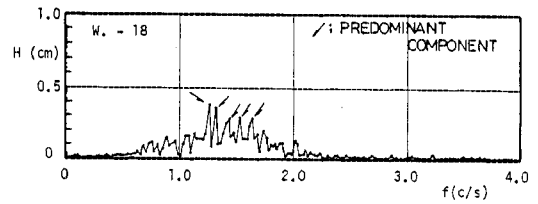
b) 遊水部内の水位変動

遊水部内の不透過壁面上での水位変動のパワー・スペクトル  $S(f)$  を  $B=11.3$  cm の場合について示した一例が図一16である。同図によれば、ピーク周波数  $f_p$  近傍の 1.2~1.5 Hz の波のパワーは無次元遊水部長  $l/B$  が大きくなるにつれてほぼ単調に減少している。これは、1.2~1.5 Hz の成分波の波長  $L_f$  と遊水部長  $l$  との比  $l/L_f$  が  $l/B=1.5\sim 2.00$  でほぼ 1/4 となるので、すでに規則波で明らかにしたように<sup>3)</sup>水位変動が極小値をとるためと考えられる。また、同図によれば、2.0~6.0 Hz 間の周波数の波のパワーが  $l/B$  の増大に伴い著しく変動している。これは 2.0~6.0 Hz の波の波長がピーク周波数  $f_c$  近傍の 1.2~1.5 Hz の波に比べてかなり短いので、 $l/B$  の増大に伴い遊水部間での反復反射の効果が著しいことによるものと推測される。また、パワー・スペクトル全体としては  $l/B$  増大に伴い逐次偏平になっていく傾向も認められる。

c) 消波効果

ここでは、2成分波および3成分波と同様に、岸壁前面水域および遊水部内不透過壁面上での水位変動の最大値  $H_m^*$  ( $H_m$  の中の最大値) と  $R_m^*$  を取り上げて、3.と同様の論議を行う。また、従来不規則波を有義波(規則波)に換算して論議される場合が多いのでその妥当性をこの消波岸壁について検討していく。

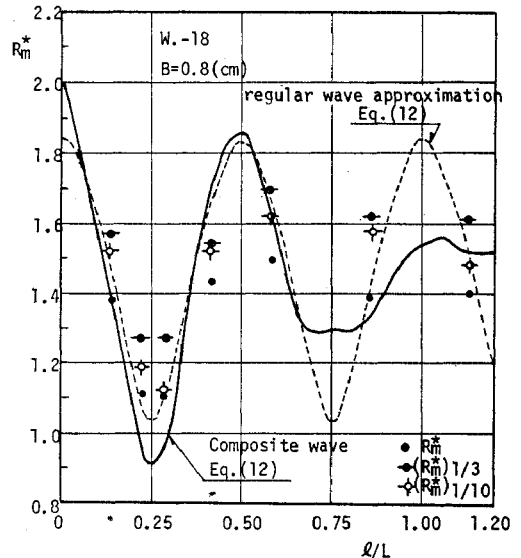
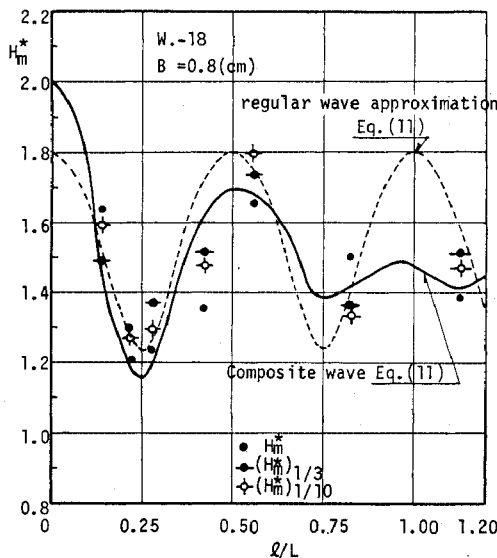
図一14 に示すパワー・スペクトルをフーリエ成分波



図一17 成分波高スペクトル

高表示にすると図一17をうる。なお、同図は図一14を求めた同一の時間波形を 1/25 秒間隔でサンプリングして調和解析して求めたものである。

$H_m^*$  と  $R_m^*$  を式 (11) と式 (12) を用いて図一14に示すパワー・スペクトルあるいは図一17の成分波高スペクトルに対して正確に計算することはきわめて煩雑であり困難である。 $H_m^*$  と  $R_m^*$  を支配するのは波高の大きい卓越成分波であるから、成分波高スペクトルより卓越成分波を抽出してこれらの多成分合成波として不規則波を近似することにより、不規則波に対する  $H_m^*$  と  $R_m^*$  の概略値が推定できるものと考えられる。本論では、既述の 2, 3 成分合成波に対する成果をも考慮して、卓越成分波として最大波高の成分波からこの最大波高の 1/3 以上の波高でかつ 0.25 cm より大きい波高を有する成分波までを抽出するものとする。ここで最低波高として 0.25 cm を採用したのはそれ以下の成分波高の寄与は



図一18  $H_m^*$  と  $R_m^*$  と  $l/L$  の関係 (W-18 の不規則波)

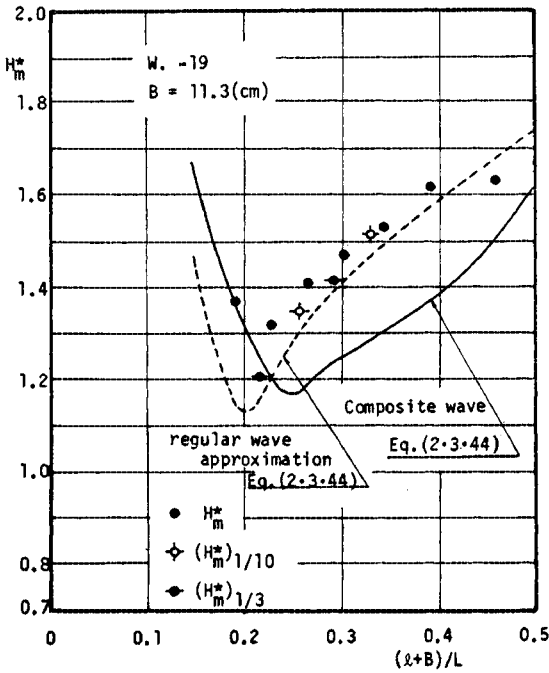


図-19  $H_m^*$  と  $R_m^*$  と  $(l+B)/L$  あるいは  $l/L$  の関係 (W-18 の不規則波)

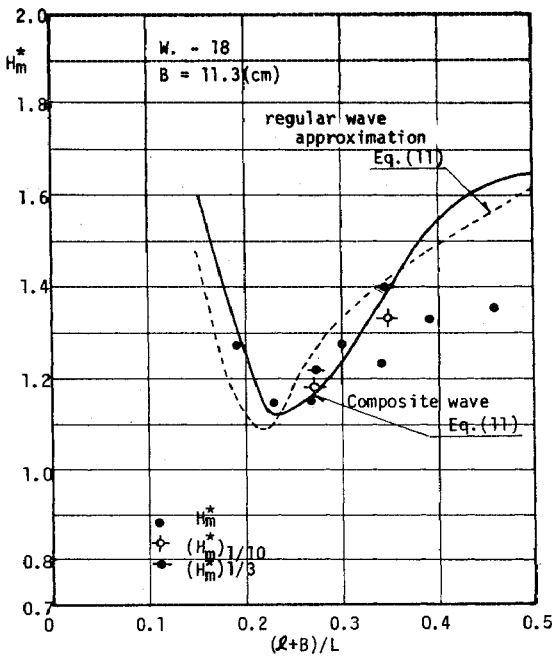
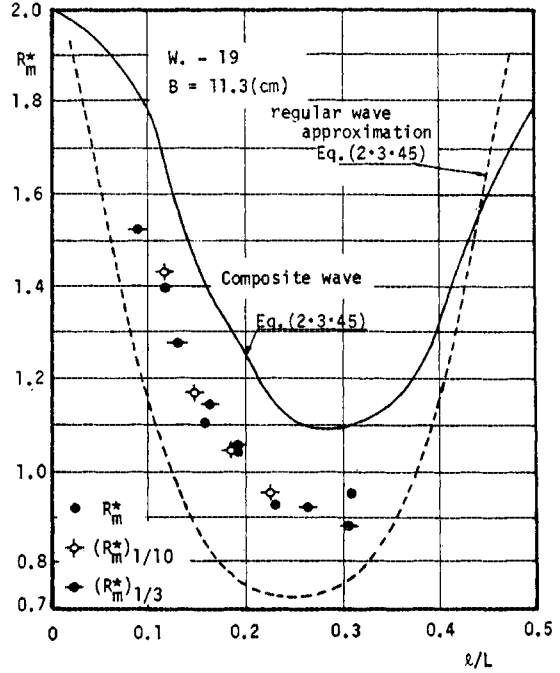
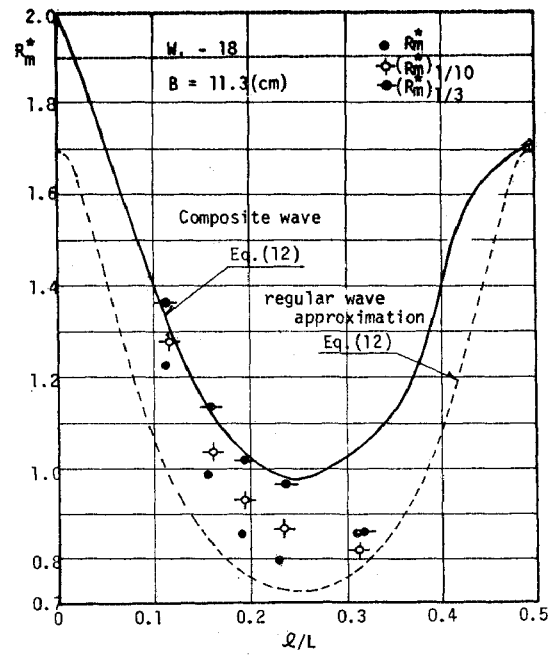


図-20  $H_m^*$  と  $R_m^*$  と  $l/L$  あるいは  $(l+B)/L$  の関係 (W-19 の不規則波)



小さいと判断したためである。この基準により、W-18の波については 1.28, 1.38, 1.45, 1.55, 1.65 Hz の5つの周波数成分波、W-19の波については 1.00, 1.08, 1.16, 1.30, 1.37, 1.45 Hz の6つの周波数成分波を卓越成分波として採用する。なお、2地点間の位相スペクトルより実験で求めた位相差と微小振幅波の波速<sup>11)</sup>を

用いて計算した位相差は比較的近い値を示したので卓越成分波を一応自由波とみなすことにする。したがって、W-18の波を5成分合成波、W-19の波を6成分合成波として近似して(これ以外の成分波はすべて無視する)、式(11)と式(12)により計算をすすめてみる。

図-18~20は  $H_m^*$  と  $R_m^*$  と  $l/L$  の関係を示した

もので、図中の●印は実験値、破線の曲線は有義波に対する計算値、実線の曲線は5, 6成分合成波に対する計算値である。なお、図中の波長  $L$  は有義波については  $T_{1/3}$ , 5, 6成分合成波については  $T_{max}$  より微小振幅波理論<sup>11)</sup>で求めたものである。また、すでに樺木・岩田が指摘したように<sup>5)</sup>、透過壁で波の位相がずれる場合は有限反復反射の近似式では実態の説明が十分つかないので、図-19と図-20に示す計算式(11)と(12)では無限反復反射に基づく式(3), (5), (7)と式(7)を用いている。一方、図-18に示す透過壁で位相のずれない  $B=0.8$  cm の場合は、3.と同様、有限反復反射による近似式で十分であるから、式(2), (4), (6), (8)を用いている。また、これらの計算値は表-4に示す実験値を用いて行われている。

図-18に示すW-18の不規則波に対する  $H_m^*$  と  $R_m^*$  の実験値は、ともに  $l/L \cong 0.25$  で極小値、 $l/L \cong 0.5$  前後で極大値を示し、規則波と同様の特性を示すが、 $l/L > 0.5$  の範囲の変化は規則波に比して小さいことが特徴的である。 $l/L \leq 0.5$  では計算値は有義波換算値と5成分合成近似値との差異がないため、両者の計算値はいずれも実験値と比較的よく一致している。なお、 $l/L > 0.6$  では  $l/L=0.75$  と  $l/L=1.0$  に対する実験値がないので計算値との完全な比較検討はできないが、3.で述べた2成分、3成分合成波に対する結果より判断すれば、 $l/L$  の増大に伴う実験値の変化は小さく有義波換算値(図中の破線曲線)より5成分合成波の値に近い値を示すものと推察される。図-19は  $B=11.3$  cm ( $B/L_{I_{max}} \cong 0.151$ ,  $L_{I_{max}}$  は  $T_{I_{max}}$  に対応する波長)の透過壁での波の位相がずれる場合について示したものである。この場合の波の位相のずれは予備実験ですでに著者らが求めた、 $\theta_{R_j}=0$ ,  $\theta_{T_j}=-2\pi(B)/L_j$  の関係式を用いており、図-20についても同様である。 $H_m^*$  と  $R_m^*$  の実験値と計算値には若干の差異はあるものの、両者の傾向は比較的よく一致しており、 $(l+B)/L < 0.5$  の範囲については、計算により  $H_m^*$  と  $R_m^*$  の概略値は十分推算できるといえる。図-20は  $B=11.3$  cm ( $B/L_{I_{max}} \cong 0.151$ ) の場合で、W-19の波に対する値を示したものである。6成分合成波で近似した計算値は、図-19に示したW-18の波の場合ほど実験値と一致しないが、 $H_m^*$  と  $R_m^*$  の概略値は十分推算していると考えてよからう。有義波換算で得られた  $R_m^*$  は6成分合成波近似の値より小さいが、実験値との差異は6成分合成波の場合と大差がない。一方、 $H_m^*$  については実験値との一致は  $(l+B)/L \leq 0.4$  の範囲で良好である。このように、不規則波を多成分波合成、あるいは有義波に近似することにより、不規則波に対する  $H_m^*$  と  $R_m^*$  の概略値が、 $l/L < 0.4$  の限定された範囲である

が、推定できることが指摘できよう。5, 6成分波近似の妥当性については、上述の卓越波抽出時の基準がほぼ妥当であったことによるものである。なお、成分波高スペクトルの値が本実験の場合とかなり異なるときは、卓越波採用時の基準が変わるとも考えられるので、この点については検討の余地が残されている。一方、有義波近似の妥当性についてはおそらく次の理由によるものと思われる。本実験の有義波の周期  $T_{1/3}$  はパワー・スペクトルのピーク周波数の逆数  $T_p$  にほぼ等しい。したがって、図-14に示す単頭型のパワー・スペクトルのピーク周波数近傍(波高が大きい)を中心にして、波高の小さい低周波数成分波と高周波数成分波の消波効果が  $l/L < 0.4$  の範囲で互いに相殺されたため波高の大きいピーク周波数近傍の成分波がとくに卓越したものと考えられる。現地の風浪では、 $T_{1/3}=(0.8\sim 1.1)T_p$  の関係が認められており<sup>10)</sup>、本論の結果は現地風浪に対して十分適用できるものと推察される。

また、図-18, 19, 20には比較のため、 $(H_m^*)_{1/10}$ ,  $(R_m^*)_{1/10}$  の実験値(図中○印)と  $(H_m^*)_{1/3}$ ,  $(R_m^*)_{1/3}$  の実験値(図中●印)が示されている。なお、 $(H_m^*)_{1/10}$  は  $(H_m)_{1/10}$  の中の最大値、 $(H_m^*)_{1/3}$  は  $(H_m)_{1/3}$  の中の最大値、 $(R_m^*)_{1/10}$  と  $(R_m^*)_{1/3}$  は不透過壁面での重複波の中の1/10最大波高と有義波高をおのおの入射波の1/10最大波高と有義波高で無次元化した値である。また、実験値は無次元化するとき用いた1/10最大波および有義波の波長を用いて、 $l/L$ ,  $(l+B)/L$  の値に対して示されている。

同図によれば、 $l/L$  あるいは  $(l+B)/L$  の変化に伴う  $(H_m^*)_{1/10}$ ,  $(H_m^*)_{1/3}$ ,  $(R_m^*)_{1/10}$  と  $(R_m^*)_{1/3}$  といった平均量の挙動は最大波高一波のみをとりあげた  $H_m^*$  と  $R_m^*$  とほとんど一致しており、絶対値も  $H_m^*$  と  $R_m^*$  とあまり大差がないことが認められる。これは、表-4に示すように最大波、1/10最大波と有義波の周期がほぼ等しい( $T_{I_{max}} \cong T_{1/10} \cong T_{1/3}$ : この関係は現地実測風浪で認められている<sup>10)</sup>) ことによるところが大きいと判断される。この  $(H_m^*)_{1/10}$ ,  $(H_m^*)_{1/3}$ ,  $(R_m^*)_{1/10}$  と  $(R_m^*)_{1/3}$  の特性をも考慮して上述したことを総合すれば、次のことが明らかになったと考えられる。つまり、工学上特に有意義な  $l/L \leq 0.30$  の範囲の消波特性  $H_m^*$ ,  $R_m^*$  ( $(H_m^*)_{1/10}$ ,  $(H_m^*)_{1/3}$ ,  $(R_m^*)_{1/10}$ ,  $(R_m^*)_{1/3}$  を含むと考えるとよい)の概略値は(i)不規則波を有義波(規則波)に置き換える、あるいは(ii)成分波高スペクトルから卓越成分波を抽出して多成分合成波近似とする、ことにより著者らの提案した算定式(式(2)~(9)、式(11)~(12))で十分算定できる。しかし、この  $l/L \leq 0.30$  の範囲では、計算の簡便さと  $H_m^*$  (および  $(H_m^*)_{1/3}$ ,  $(H_m^*)_{1/10}$ ) の実験値との一致度合を考える

と、不規則波を有義波（規則波）に置換して近似することにより不規則波に対する消波特性の概略値を推算して十分であると考えられる。したがって、この種の遊水部を有する鉛直消波岸壁を現地海岸へ施工する場合の重要な一つの基礎資料が得られたといえよう。

## 5. 結 言

以上、本論では遊水部を有する鉛直消波岸壁を取り上げて、2成分、3成分合成波と不規則波に対する消波効果を岸壁前面水域での重複波の最大波高と遊水部内の不透過壁面での最大重複波高の面よりとらえて、実験的・理論的に検討を加えた。得られた主な結論を要約すると次のとおりである。

(1) 2成分、3成分合成波については、卓越成分波を線形に重ね合わせて、式(6)～(9)で消波特性を算定することができる。

(2) 不規則波に対してもっとも消波効果を高める遊水部長 $l$ とそのときの消波特性、また、 $l/L \leq 0.3$  ( $L$ は有義波の波長)の範囲の消波特性の概略値は、不規則波を有義波に置換して、著者らの提案した反復反射の考えに基づく式(2)～(5)、式(11)と式(12)で十分精度高く推算できる。

(3) 不規則波の成分波高スペクトルよりその卓越成分波を抽出して、その成分波の線型重ね合わせにより、式(6)～(9)、式(11)と式(12)で不規則波に対する消波特性の概略値の推算は可能である。なお、本論で採用した卓越波を抽出する際の基準は図-17に示すような成分波高のかなり小さい場合に対するものであるから、成分波高の大きい場合には検討を要するものと考えられる。

なお、本論で用いた算定式は、透過壁の水理特性が各

成分波に対して適正に与えられていることが前提とされていることを付け加えておく。

本研究は文部省科学研究費・自然災害特別研究(1)「海岸における波の制御に関する研究」(京都大学工学部・岩垣雄一教授代表)により行われたことを記し、この研究費の研究グループの諸氏からいただいた有意義なコメントに対して謝意を表する次第である。

最後に、本研究の実験に協力を賜った本学4年生京谷光高君に謝意を表する次第である。

## 参 考 文 献

- 1) Jarlan, G.E.: A Perforated Vertical Wall Breakwater, The Dock & Harbour Authority, Vol. XII, No. 486, April, 1961.
- 2) 井島武士・奥園英明・湯村やす・坂井久雄：遊水部を持つ直立消波防波堤と護岸，第19回海岸工学講演会論文集，1972.
- 3) 樫木 亨・岩田好一朗：透過性構造物による波の変形について，第19回海岸工学講演会論文集，1972.
- 4) 樫木 亨・岩田好一朗：多孔壁式鉛直消波岸壁の水理特性に関する二・三の考察，土木学会論文報告集，220号，1973.
- 5) 樫木 亨・岩田好一朗：二重透過壁を有する鉛直消波岸壁の消波効果について，土木学会論文報告集，262号，1977.
- 6) 谷口 修：改訂振動工学，コロナ社，pp. 9～13，昭和49年.
- 7) 鹿島遼一：不規則な波の入射および反射エネルギースペクトルの測定法について，第15回海岸工学講演会講演集，1968.
- 8) 合田良実・鈴木康正：不規則波に対する反射波の分離法について，土木学会関東支部年次学術講演会講演概要，昭和50年.
- 9) 樫木 亨・岩田好一朗・田端竹千穂：造波機の性能について，土木学会論文報告集，第189号，1971.
- 10) 合田良実：波浪の統計的性質とその応用，水工学シリーズ 75-B-1，土木学会水理委員会，1975年.
- 11) 土木学会編：水理公式集，46年度改訂版，pp. 493～495. 昭和46年.

(1976. 5. 24 受付)