

海岸堤防前面波高に及ぼす離岸堤の設置距離の効果について (2次元モデルの場合)

——離岸堤の効果に関する研究 第2報——

榎 木 亨*・岩田好一朗**・森永勝登***

1. 緒 言

近年海岸堤防越波量の低減をもたらし、さらに沿岸漂砂をその背後に堆積させてトンボロ地形を形成する機能をもつ離岸堤が特に侵蝕の激しい海岸の防災工法として広く施工されてきていることはよく知られている。また、この離岸堤工法は自然環境回復の一環としての人工養浜による砂浜の造成工法の附帯工法としてよく用いられていることも周知の事実である。

この離岸堤の合理的配置計画について、従来主にトンボロ地形の形成の有無の観点から堆砂効果の高い設置条件について検討が加えられているが、これについても経験的・試行的な面に依拠して構築されているのが現状であり、離岸堤の効果に関して解明すべき問題点が多い。著者らのうち榎木・岩田¹⁾は第18回海岸工学講演会で、トンボロ地形の形成に伴い堤防越波量が急増する場合のあることを指摘したが、この越波量は離岸堤の設置距離と開口幅(離岸堤群の場合)により変化することも考えられる。本論文は、離岸堤設置距離の効果を海岸堤防前面波高変化の面よりとらえて、その波高低減に関する離岸堤の配置条件について検討を加えたものである。

2. 理論解析

この理論解析においては、異常潮位で離岸堤が潜堤となり、この潜堤を通過した波が海岸堤防への卓越来襲波となる二次元モデルを想定して、図-1に示すような人工養浜工と離岸堤が海岸堤防前面に存在する場合の海岸堤防前面波高 $|\bar{H}_s^*|$ 、離岸堤前面反射波高 $|\bar{H}_r^*|$ を求める。なお、離岸堤が潜堤とならず、回折の効果をもつ三次元モデルに対する検討結果については後日報告するつもりである。いま、離岸堤を越えて海岸堤防に入射した波が離岸堤と堤防内で無限に反復反射を繰り返すものと仮定すると、式(1)に示す複素ベクトル表示の波を用いれば、

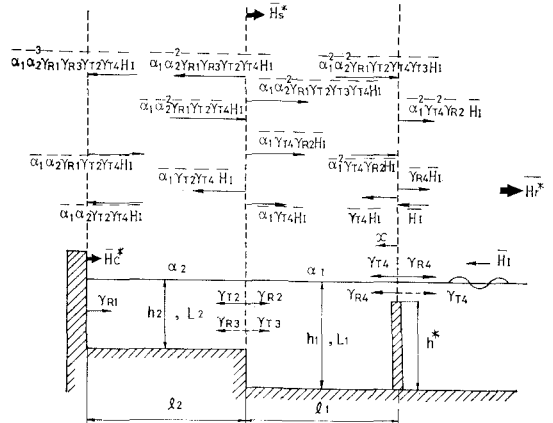


図-1 反復反射説明図

$$\left. \begin{aligned}
 \text{入射波: } & \bar{H}_I = H_I \exp(i\theta_I) \\
 \text{反射率: } & \bar{\gamma}_{Rj} = \gamma_{Rj} \exp(i\epsilon_{Rj}) \\
 & (j=1, 2, 3, 4) \\
 \text{透過率: } & \bar{\gamma}_{Tj} = \gamma_{Tj} \exp(i\epsilon_{Tj}) \\
 & (j=1, 2, 3, 4) \\
 \text{減衰率: } & \bar{\alpha}_j = \alpha_j \exp(2\pi x/L_j) \\
 & (j=1, 2) \\
 & \alpha_j = (-\xi_j x/L_j) \quad (j=1, 2) \\
 & \dots\dots\dots (1)
 \end{aligned} \right\}$$

$|\bar{H}_s^*|$ は式(2)、 $|\bar{H}_r^*|$ は式(3)で、養浜工前面の水深急変部での反射波高 $|\bar{H}_s^*|$ は式(4)で与えられる。

$$\begin{aligned}
 |\bar{H}_s^*| = & \left| \bar{\alpha}_1 \bar{\alpha}_2 \bar{\gamma}_{T2} \bar{\gamma}_{T4} (1 + \bar{\gamma}_{R1}) \sum_{n=1}^{\infty} (\bar{\alpha}_2^2 \bar{\gamma}_{R1} \bar{\gamma}_{R3})^{n-1} \right. \\
 & \times \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \bar{\alpha}_1^2 \bar{\alpha}_2^2 \bar{\gamma}_{R1} \bar{\gamma}_{R4} \bar{\gamma}_{T2} \bar{\gamma}_{T3} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} (\bar{\alpha}_2^2 \bar{\gamma}_{R3} \bar{\gamma}_{R1})^{n-1} \right. \\
 & \left. \left. \times \sum_{n=1}^{\infty} (\bar{\alpha}_1^2 \bar{\gamma}_{R2} \bar{\gamma}_{R4})^{n-1} \right\}^{n-1} \right| \cdot |\bar{H}_I| \quad \dots\dots (2)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 |\bar{H}_r^*| = & \left| \bar{\gamma}_{R4} + \bar{\alpha}_1^2 \bar{\gamma}_{R2} \bar{\gamma}_{T4} \sum_{n=1}^{\infty} (\bar{\alpha}_1^2 \bar{\gamma}_{R2} \bar{\gamma}_{R4})^{n-1} \right. \\
 & \left. + \bar{\alpha}_1^2 \bar{\alpha}_2^2 \bar{\gamma}_{R1} \bar{\gamma}_{T2} \bar{\gamma}_{T3} \bar{\gamma}_{T4}^2 \cdot \sum_{n=1}^{\infty} (\bar{\alpha}_2^2 \bar{\gamma}_{R1} \bar{\gamma}_{R3})^{n-1} \right. \\
 & \left. \times \left\{ \sum_{n=1}^{\infty} (\bar{\alpha}_1^2 \bar{\gamma}_{R2} \bar{\gamma}_{R4})^{n-1} \right\}^2 \right|
 \end{aligned}$$

* 正会員 大阪大学教授 工学部土木工学教室
 ** 正会員 大阪大学講師 工学部土木工学教室
 *** 正会員 大成建設(株) 土木設計部

$$\times \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \bar{\alpha}_1^2 \bar{\alpha}_2^2 \bar{\gamma}_{R1} \bar{\gamma}_{R2} \bar{\gamma}_{T2} \bar{\gamma}_{T3} \sum_{n=1}^{\infty} (\bar{\alpha}_3^2 \bar{\gamma}_{R1} \bar{\gamma}_{R3})^{n-1} \right. \\ \left. \times \sum_{n=1}^{\infty} (\bar{\alpha}_1^2 \bar{\gamma}_{R2} \bar{\gamma}_{R4})^{n-1} \right\}^{n-1} \cdot |\bar{H}_I| \dots (3)$$

$$|\bar{H}_I^*| = \left| \bar{\alpha}_1 \bar{\gamma}_{T4} \bar{\gamma}_{R2} \sum_{n=1}^{\infty} (\bar{\alpha}_1^2 \bar{\gamma}_{R2} \bar{\gamma}_{R4})^{n-1} \right. \\ \left. + \bar{\alpha}_1 \bar{\alpha}_2^2 \bar{\gamma}_{R1} \bar{\gamma}_{T2} \bar{\gamma}_{T3} \bar{\gamma}_{T4} \sum_{n=1}^{\infty} (\bar{\alpha}_2^2 \bar{\gamma}_{R1} \bar{\gamma}_{R3})^{n-1} \right. \\ \left. \times \left\{ 1 + \bar{\alpha}_2^2 \bar{\gamma}_{R4} \bar{\gamma}_{R2} \sum_{n=2}^{\infty} (\bar{\alpha}_1^2 \bar{\gamma}_{R2} \bar{\gamma}_{R4})^{n-1} \right\} \right. \\ \left. \times \sum_{n=1}^{\infty} (\bar{\alpha}_1^2 \bar{\gamma}_{R2} \bar{\gamma}_{R4})^{n-1} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \bar{\alpha}_1^2 \bar{\alpha}_2^2 \bar{\gamma}_{R1} \bar{\gamma}_{R4} \right. \right. \\ \left. \left. \times \sum_{n=1}^{\infty} (\bar{\alpha}_2^2 \bar{\gamma}_{R1} \bar{\gamma}_{R3})^{n-1} \right. \right. \\ \left. \left. \times \sum_{n=1}^{\infty} (\bar{\alpha}_1^2 \bar{\gamma}_{R2} \bar{\gamma}_{R4})^{n-1} \right\}^{n-1} \right| \cdot |\bar{H}_I| \dots (4)$$

なお、式(1)~式(4)で、 $i = \sqrt{-1}$ の虚数、 $\xi_j =$ 減衰係数($j=1, 2$)、 $x =$ 離岸堤からの距離、 $L_j =$ 水深 h_j ($j=1, 2$)における波長、 $h_1 =$ 離岸堤設置水深、 $h_2 =$ 養浜工の天端水深、 $\epsilon_{Rj}, \epsilon_{Tj}, \theta_I =$ 位相差、 $\alpha_1 =$ 離岸堤と人工養浜工先端の水深 h_1 での減衰率(= $\exp(-\xi_1 x/L_1)$)、 $\alpha_2 =$ 人工養浜と海岸堤間的水深 h_2 での減衰率(= $\exp(-\xi_2 x/L_2)$)、添字 T_j は透過、 R_j は反射に関する量を示し、この場合の j は図-1に示すように、 $j=1$ は海岸堤防、 $j=2, 3$ は人工養浜先端部、 $j=4$ は離岸堤の部分での値を示し、したがって γ_{T4} は離岸堤での透過率を示す。また $l_2 =$ 養浜工長、 $l_2 + l_1 =$ 離岸堤の設置距離である。

したがって、水深急変にともなう $\bar{\gamma}_{Rj}, \bar{\gamma}_{Tj}$ が与えられると、養浜工長 l_2 、離岸堤の設置距離($l_1 + l_2$)の変化に伴う $|\bar{H}_I^*|, |\bar{H}_I^*|, |\bar{H}_I^*|$ などの諸量の特性が判明することになる。以後、主に式(2)、式(3)の妥当性について論議を進めていく。

3. 水理実験

3.1 規則波の実験

(1) 実験装置と実験方法

実験は2次元鋼製造波水槽(長さ30m×高さ1.0m×幅0.8m片面ガラス張り)を用いて行った。海岸模型は図-1に示すように水底勾配0のモデル海浜を想定し、水位変動は電気抵抗線式波高計で計測した。なお、反射率は水深急変部より3/4波長間の合成波高を計測してHealyの方法で求め、透過率は水深急変部より1/4波長離れた地点の波高をもって算定し

た。一方、海岸堤防前面波高の計測は堤防前面より波高計の受感部を5mm離して行った。用いた実験諸元を表-1に示す。同表に示すように、本実験では離岸堤の高さ h^* を一種類に固定している。

表-1 実験諸元

T	0.8 sec, 1.0 sec
h_1	40 cm, 35 cm~15.0 cm
h_2/h_1	0 ~ 0.8
h^*/h_1	0.82
h_1/L_1	0.183 ~ 0.358
H_1/L_1	0.045~0.020, 0.0037~0.0050
H_2/L_2	0.040~0.020
l_2/L_2	0~1.75
l_1/L_1	0.50, 0.75

(2) 堤防前面波高 $|\bar{H}_I^*|$ と養浜工前面反射率 $|\bar{H}_I^*/\bar{H}_I|$ に及ぼす養浜工の長さ l_2 の効果

離岸堤の設置距離($l_2 + l_1$)の効果を検討する前に、まず離岸堤が存在しない場合の養浜工の長さ l_2 の効果について検討する。式(2)、式(4)を用いてその効果を論議するには、養浜工前端部の階段状に水深が急変する場合の $\gamma_{T2}, \gamma_{T3}, \gamma_{R2}, \gamma_{R3}, \epsilon_{R2}, \epsilon_{R3}, \epsilon_{T2}, \epsilon_{T3}$ を精度高く算定しなければならない。このうち γ_{Tj}, γ_{Rj} ($j=2, 3$)については比較的良好に検討は加えられている^{2)~10)}。しかし、位相差 $\epsilon_{Tj}, \epsilon_{Rj}$ ($j=2, 3$)については従来あまり論議されていなく実験的な検討を加えた例は著者らの知見では見当たらないため、本論で、図-2に示す著者らの実験値に基づき若干の考察を加える。なお、図-2に示した $\epsilon_{Rj}, \epsilon_{Tj}$ ($j=2, 3$)は全てラジアン表示であり、 ϵ_{R2} と ϵ_{Tj} は次のようにして求めたものである。まず ϵ_{R2} ,

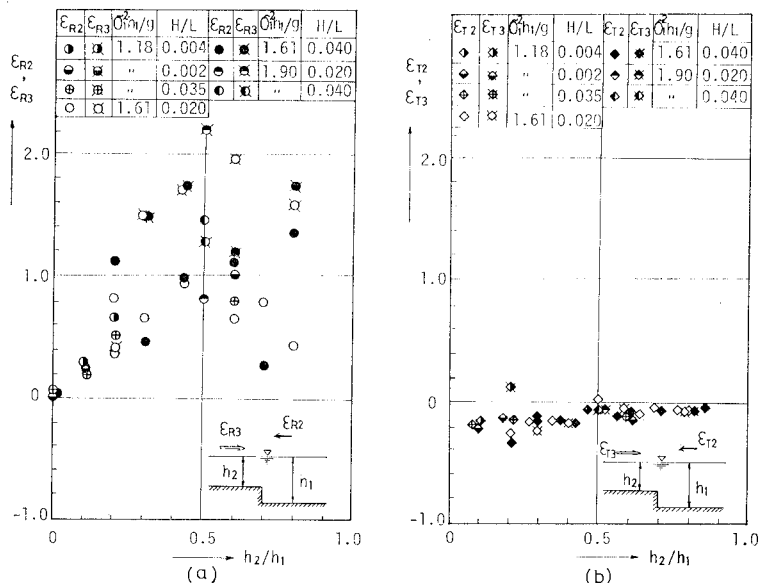


図-2 水深急変に伴う位相のずれ

ϵ_{R3} の算定は、部分重複波を

$$\frac{1}{2} H_I \cos(k_p x - \sigma_1 t) + \frac{1}{2} \gamma_{Rj} H_I \cos(k_p x + \sigma_1 t + \epsilon_{Rj}), \quad (j=2, 3)$$

と表示して、この式の最大値と最小値を与える地点 x が実験値と一致するようにして求めた。ここで、 $k_p = 2\pi/L_p$ 、 $L_p =$ 水深 h_p での波長、 $p = j-1$ 、 $\sigma_1 = 2\pi/T$ 、 $T =$ 波の周期 (sec)、 $t =$ 時間、 $x =$ 水深急変部を座標軸原点にもつ水平距離である。一方 ϵ_{T2} 、 ϵ_{T3} は座標軸原点での波面の連続条件、つまり

$$\epsilon_{Tj} = \sin^{-1}\{(-\gamma_{Rj}/\gamma_{Tj}) \sin(\epsilon_{Rj})\}, \quad (j=2, 3)$$

より求めたものである。ただし、透過波は

$$\frac{1}{2} \gamma_{Tj} H_I \cos(k_m x - \sigma_1 t + \epsilon_{Tj}), \quad (j=2, 3), \quad k_m = 2\pi/L_m,$$

で表示しており、添字 m は $j=2$ のとき $m=2$ 、 $j=3$ のとき $m=1$ となる。なお、 ϵ_{R2} 、 ϵ_{R3} 、 ϵ_{T2} 、 ϵ_{T3} の算定に際しては γ_{Tj} と γ_{Rj} 、 $(j=2, 3)$ は全て実験値を用いている。

図-2 より ϵ_{T2} 、 ϵ_{T3} はほとんど 0 として無視してさしつかえないが、 ϵ_{R2} 、 ϵ_{R3} は著者らの実験範囲 ($0.2 < h_2/h_1 < 0.8$) では $0.3(\text{rad.}) \leq \epsilon_{R2}$ 、 $\epsilon_{R3} \leq 2.2(\text{rad.})$ の比較的大きな値をとり、この位相差は無視できない。またこの ϵ_{R2} 、 ϵ_{R3} は $\sigma_1^2 h_1/g$ と H/L の値により若干変動するものの、 h_2/h_1 による変動が支配的であり、 $h_2/h_1 = 0.5$ 近傍で極大値を示す曲線として与えられるようである。この事実は Dean⁶⁾ の ϵ_{R2} 、 $\epsilon_{R3} = \pi$ の仮定は成立していないことを示している。一方、 γ_{R2} 、 γ_{R3} 、 γ_{T2} 、 γ_{T3} 、につい

ては本論で図示していないが、実験値はほぼ井島⁹⁾ の解析値と一致することが認められた。しかし深海から浅海へ波が伝播する場合の透過率 γ_{T2} は、 $h_2/h_1 \rightarrow 0$ につれて大きくなるが $h_2/h_1 < 0.2$ の範囲で碎波するため、 $h_2/h_1 \rightarrow 0$ 、 $\gamma_{T2} \rightarrow 2$ になることを実験的に検証することはできなかった。

次に、 $|\bar{H}_c^*|$ と $|\bar{H}_s^*|$ におよぼす養浜工長 l_2 の効果について検討する。図-3 は $|\bar{H}_c^*|/|\bar{H}_I|$ および $|\bar{H}_s^*|/|\bar{H}_I|$ と l_2/L_2 の関係を示した一例であり、図中の点線は式(2)と式(4)で $\bar{\gamma}_{R4} = 0$ 、 $\bar{\gamma}_{T4} = 1.0$ 、 $\bar{a}_1 = 1.0$ 、 $\gamma_{R1} = 0.85$ 、 $\theta_I = 0$ 、 $\alpha_1 = 1$ 、 $\alpha_2 = 1$ と置き γ_{Tj} 、 γ_{Rj} 、 ϵ_{Tj} 、 ϵ_{Rj} 、 $(j=2, 3)$

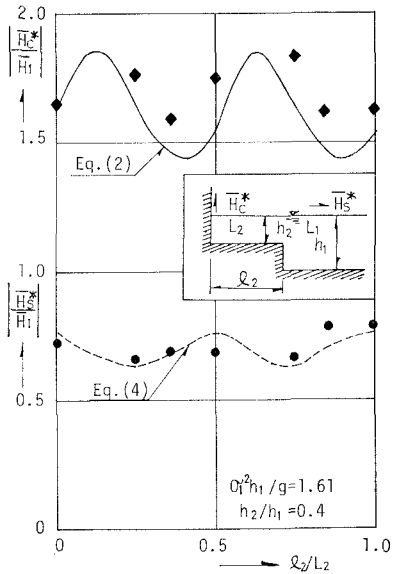


図-3 $|\frac{\bar{H}_c^*}{\bar{H}_I}|$ と $|\frac{\bar{H}_s^*}{\bar{H}_I}|$ におよぼす l_2/L_2 の効果

表-2

SYM. Figs	H/L	h ₂ /h ₁	γ_{R2}	γ_{R3}	γ_{R4}	γ_{T2}	γ_{T3}	γ_{T4}	ϵ_{R2}	ϵ_{R3}	ϵ_{R4}	ϵ_{T2}	ϵ_{T3}	ϵ_{T4}
Fig. -3	0.04	0.4	0.12	0.16	/	5.87	0.91	/	+1.21	+1.59	/	0.14	0.17	/
	0.04	0.4	0.12	0.16	/	0.87	0.91	/	+1.21	+1.59	/	0.14	0.17	/
Fig. -4	"/	0.6	0.13	0.07	/	0.96	29.0	/	+1.03	+1.17	/	0.12	0.13	/
	0.02	0.8	0.05	0.06	/	0.96	1.01	/	+0.35	+1.64	/	0.05	0.06	/
Fig. -5	0.02	0.4	0.15	0.15	0.37	0.94	0.86	0.78	+1.12	+1.18	-1.12	0.15	0.17	0.43
Fig. -6	"/	"/	"/	"/	"/	"/	"/	"/	"/	"/	"/	"/	"/	"/
Fig. -7	0.04	4.0	0.12	0.16	0.37	0.87	0.91	0.78	+1.21	+1.59	-1.12	0.14	0.17	0.43
	"/	0.6	0.07	0.13	"/	0.96	0.92	"/	+1.03	+1.17	"/	0.12	0.13	"/
	0.02	0.8	0.06	0.05	"/	0.97	0.99	"/	+0.35	+1.64	"/	0.02	0.06	"/

(ϵ_{T4} 、 $i=2, 3, 4$ の値は (2)~(4) 式では、時間軸の正方向の取り方が図-2 と逆になるため符号が逆転する。)

は表-2に示す実験値を用いて計算した値である。図-3によれば、 $|\bar{H}_c^*|/|\bar{H}_I|$ と $|\bar{H}_R^*|/|\bar{H}_I|$ の実験値は l_2/L_2 により規則的に増減し、その値はほぼ理論値と一致しているようである、このことから、式(2)、式(4)の妥当性、つまり海岸堤防と人工養浜工先端の間で波の復反射を考慮することにより $|\bar{H}_R^*|$ と $|\bar{H}_c^*|$ を算定しなければならないことが明らかである。なお $|\bar{H}_c^*|$ の実験値は堤防前面の波の打ち上げ高さを計測しているため理論値よりやや大きくなっているものと思われる。ここでさらに表-2に示す実験値を用いて式(2)に基づいて堤防前面波高 $|\bar{H}_c^*|/|\bar{H}_I|$ と h_2/h_1 と l_2/L_2 の関係を求めた一例が図-4である。 $(\gamma_{R1}=1, \alpha_1=\alpha_2=1)$ として計算している。 h_2/h_1 の値によりその振幅の大小はあるが、 $|\bar{H}_c^*|/|\bar{H}_I|$ は l_2/L_2 により規則的に増減し、 $\sigma_1^2 h_1/g=1.61$ の場合著者らの実験範囲では、

$$\frac{l_2}{L_2} = \frac{1}{8} + \frac{1}{2} N, \quad (N=0, 1, 2)$$

でほぼ極大値を、

$$\frac{l_2}{L_2} = \frac{3}{8} + \frac{1}{2} N, \quad (N=0, 1, 2, \dots)$$

でほぼ極小値をとっていることがわかる。なお $\sigma_1^2 h_1/g=1.61$ 以外の $1.18 \leq \sigma_1^2 h_1/g \leq 2.0$ 条件に対して、著者らの実験によれば極値を与える l_2/L_2 の値がほとんど変化しないことを付加しておきたい。

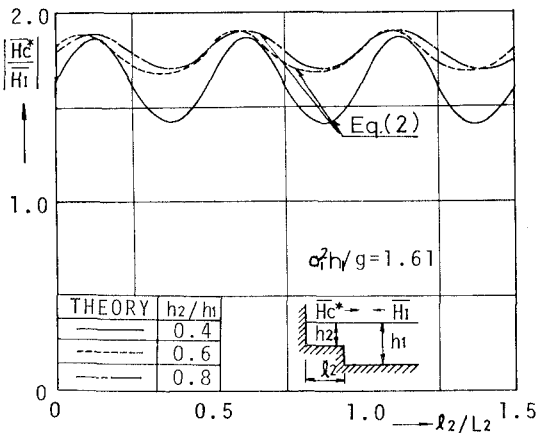


図-4 $|\frac{\bar{H}_c^*}{\bar{H}_I}|$ におよぼす h_2/h_1 と l_2/L_2 の効果

(3) 堤防前面波高 $|\bar{H}_c^*|$ と離岸堤前面反射率 $|\bar{H}_R^*|/|\bar{H}_I|$ に及ぼす離岸堤設置距離 (l_1+l_2) の効果

次に上述した養浜工の沖側に離岸堤が設置されている場合の、 $|\bar{H}_c^*|$ と $\gamma_{R1}^* = |\bar{H}_R^*|/|\bar{H}_I|$ におよぼす (l_1+l_2) の効果について検討を加えよう。図-5、図-6はその一例を示したものであり、図-5は $l_1/L_1=0.5$ として l_2/L_2 を変化させ、図-6は $l_1/L_1=0.75$ として l_2/L_2 を変化

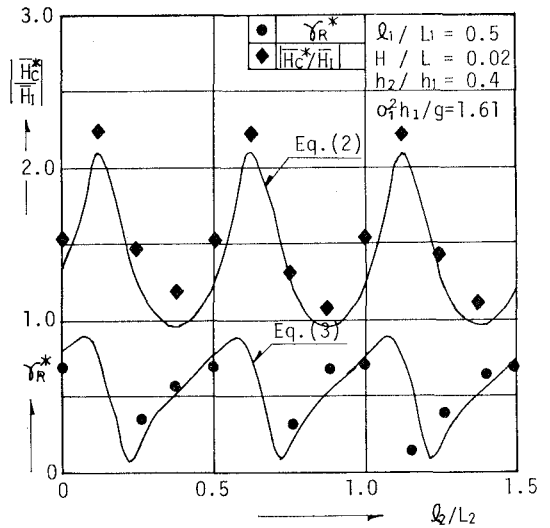


図-5 $|\frac{\bar{H}_c^*}{\bar{H}_I}|$ と γ_{R1}^* におよぼす l_2/L_2 の効果 ($l_1/L_1=0.5$ の場合)

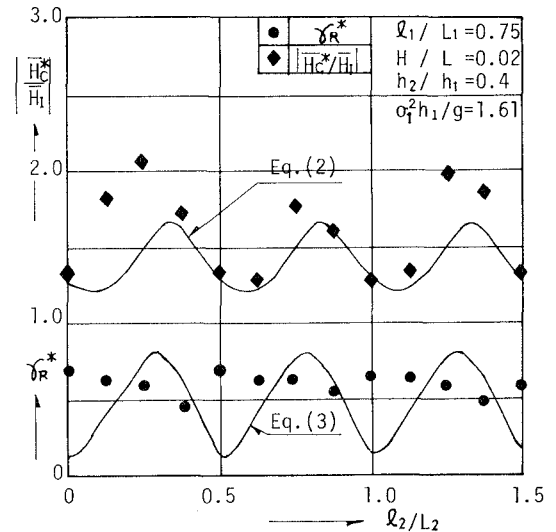


図-6 $|\frac{\bar{H}_c^*}{\bar{H}_I}|$ と γ_{R1}^* におよぼす l_2/L_2 の効果 ($l_1/L_1=0.75$ の場合)

させて離岸堤の設置距離 (l_1+l_2) を変えたものである。また同図には式(2)、式(3)の理論値も同時に示してあるが、これは表-2に示す実験値を用い、さらに $\gamma_{R1}=0.85, \alpha_1=\alpha_2=1$ として計算したものである。 $|\bar{H}_c^*|/|\bar{H}_I|$ の実験値は理論値より若干大きく差異が認められるが、これは(2)で記したように $|\bar{H}_c^*|$ の実験値は堤防への波の打ち上げ高さを含んでいるため大きくなったものと思われる。しかし、 l_2/L_2 の変化にともなう $|\bar{H}_c^*|/|\bar{H}_I|$ の変動特性、つまり極大、極小をとる l_2/L_2 は実験値と理論値は極めてよく一致している。また γ_{R1}^* については $l_1/L_1=$

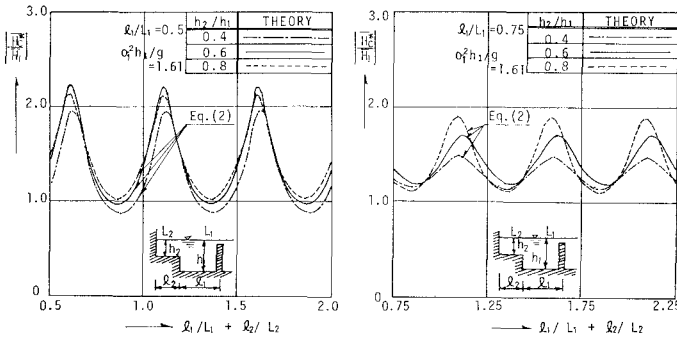


図-7 $\left| \frac{\bar{H}_e^*}{\bar{H}_I} \right|$ におよぼす離岸堤の設置距離 ($l_1/L_1 + l_2/L_2$) の効果 (計算例)

0.75 の場合、極大・極小をとる l_2/L_2 の値が実験値と理論値ではずれが、 $l_1/L_1=0.50$ の場合は両者の一致度は極めて良好であり、 γ_N の値そのものも実験値は理論値と近い値を示している。したがって、この場合でも、波の反復反射が生じており、この反復反射に基づく式 (2)、式 (3) で \bar{H}_e^* と γ_N の算定がほぼできると考えてよからう。さらに、 $\sigma_a^2 h_1 g = 1.61$ の場合の $|\bar{H}_e^*|/|\bar{H}_I|$ に及ぼす ($l_1/L_1 + l_2/L_2$) と h_2/h_1 の効果の一例を式 (2) と表-2 より計算して示すと 図-7 となる ($\gamma_{R1}=0.85$, $\alpha_1=\alpha_2=1$ としている)。同図によれば、本計算の対象とした $0.4 \leq h_2/h_1 \leq 0.8$ の範囲に対して $|\bar{H}_e^*|/|\bar{H}_I|$ を小さくするには

$$\left(\frac{l_1}{L_1} + \frac{l_2}{L_2} \right) \cong 0.85 + \frac{1}{2} N, \quad (N=0, 1, 2, \dots)$$

となるように l_1 と l_2 を決めるとよい事が判明すると同時に、 h_2/h_1 の値により若干変化するものの、

$$\left(\frac{l_1}{L_1} + \frac{l_2}{L_2} \right) \cong 0.6 + \frac{1}{2} N, \quad (N=0, 1, 2, \dots)$$

にすると逆に $|\bar{H}_e^*|/|\bar{H}_I|$ がきわめて大きくなることに充分注意しなければならない。

3.2 不規則波の実験

以上、規則波を対象として論議をすすめてきたが、実際の現地波浪は不規則な波である。したがってここでは不規則波に対する水理実験を行い、前面波高 $|\bar{H}_e^*|$ に及ぼす離岸堤の設置距離 ($l_1 + l_2$) の効果を明らかにし、上述の規則波に対する結果との関連性について論議を進める。

(1) 実験装置と実験方法

実験は規則波の実験を行った同一水槽で行い、実験波はホワイトノイズを狭帯域フィルターを通して発生波高がレーリー分布を示すよう設計された不規則波発生装置¹⁴⁾を用いて生起させた。実験は 図-1 に示すような海岸堤防、養浜工と離岸堤が共存する場合だけをとりあげて行い、 $h_1=40$ cm, $h_2/h_1=0.4$ の条件を規則波実験より代表的なものとして抽出し、これに対して $l_1/L_{p1} =$

0.5, 0.75 (2 種類), $l_2/L_{p2}=0 \sim 1.5$ (13 種類) 変えて実験を行った。なお、 L_{p1} , L_{p2} はパワー・スペクトルのピーク周波数 f_p の波の水深 h_1, h_2 での波長であり、全て微小振幅波理論より算定した。また、水位変動は全て電気抵抗線式波高計で計測し、解析の都合上、記録は全て磁気テープで行った。パワー・スペクトルは記録波形を 1/12.5 sec 間隔でサンプリングし、自由度 30、データ数 750 個として Blackman-Tukey 法で求めた。また、有義波高はゼロアップ・クロス法

で求めたものである。

(2) 実験結果とその検討

本論では、 図-8 に示すような $f_p=1.25$ Hz のパワー・スペクトルを有する不規則波に対する実験結果について論述していく。 図-9 に示すように、海岸堤防前面の水位変動および離岸堤前面の水位変動のパワー・スペクトル形状とピーク周波数は、養浜工長 l_2/L_2 と離岸堤の設置距離 ($l_1/L_1 + l_2/L_2$) により著しく異なることが認められる。そしてその変化は l_2/L_2 についてほぼ周期的であることから、規則波と同様、不規則波の場合にも離岸堤と海岸堤防間での波の反復反射の効果がかなり卓越しているものと推察される。この反復反射の効果を海岸堤防前面の 1/3 と 1/10 有義波高と入射波のピーク周波数 $f_p=1.25$ Hz の波高の変化の面より検討してみる。 図-10 は

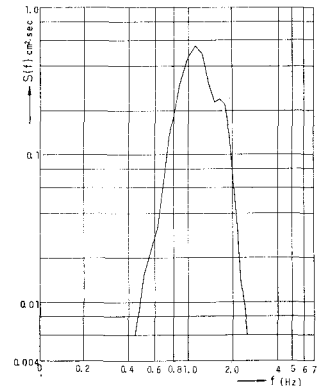


図-8 入射波のパワー・スペクトル

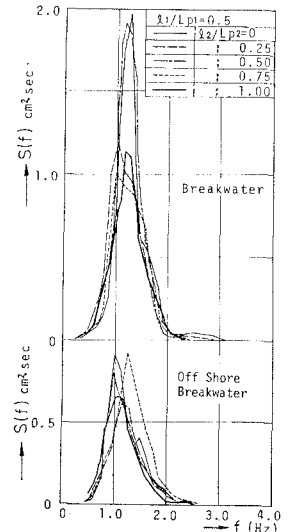


図-9 海岸堤防と離岸堤前面での水位変動のパワー・スペクトルにおよぼす l_2/L_2 の効果

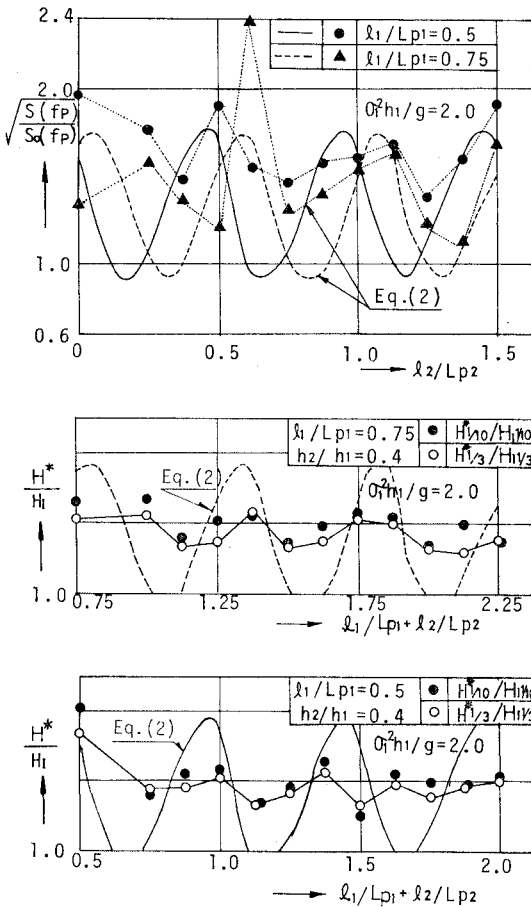


図-10 海岸堤防前面波高におよぼす離岸堤の設置距離 $(l_1/L_1 + l_2/L_2)$ の効果 (不規則波の場合)

化に伴う $\sqrt{S(f_p)/S_0(f_p)}$, $H_{1/3}^*/H_{1/3}$, $H_{1/10}^*/H_{1/10}$ の値を示したもので、 $S_0(f_p)$ は図-8に示すピーク周波数 $f_p=1.25$ Hz のパワー・スペクトル値、 $S(f_p)$ は堤防前面の $f_p=1.25$ Hz のパワー・スペクトル値、 $H_{1/3}^*/H_{1/3}$, $H_{1/10}^*/H_{1/10}$ はおのおの堤防前面の $1/3$ 有義波高と $1/10$ 有義波高 $H_{1/10}^*$ をおのおのの入射波の値で無次元化した量である。また、同図には式 (2) の計算値も同時に示してあるが、これは図-8に示す $f_p=1.25$ Hz の波を規則波に置換して 3.1 の実験値より補間法で求めた値である。同図によれば、 $\sqrt{S(f_p)/S_0(f_p)}$, $H_{1/3}^*/H_{1/3}$, $H_{1/10}^*/H_{1/10}$ の実験値は l_2/L_{p2} の値によりほぼ周期的に増減することが認められ、その極大値と極小値を与える l_2/L_{p2} は、 $0.25 \leq l_2/L_{p2}$ の範囲で実験値と計算値との差異は比較的小さい。このことは不規則波についても離岸堤と海岸堤防間で反復反射が生じることを示し、さらに入射波のパワー・スペクトルの最大値を与える周波数 f_p の波を規則波に置換することにより、式 (2) で堤防前面の合成波高を小さくする離岸堤の設置距離がほぼ推定できることを示すものといえよう。

4. 結 論

以上、本論では海岸堤防と人工養浜工と離岸堤が共存する場合の海岸堤防前面波高におよぼす離岸堤の設置距離の効果について、2次元モデルを用いて考察を加えてきた。それによれば、来襲波は離岸堤と海岸堤防間で反復反射し、水深急変に伴う反射率、透過率と反射波と透過波の入射波に対する位相差が判明すると、式 (2) により海岸堤防前面波高を小さくする離岸堤の設置距離が精度高く求まることを規則波と不規則波に対する水理実験より明らかにした。

なお、先に述べたように本論で示した2次元モデルは現地海岸では特殊な場合と考えられ、むしろ一般には、離岸堤開口からの回折波も同時に考慮した3次元の面から論議しなければならない。著者らはこの点についてもすでに検討を加えており、この3次元の面からの検討結果については別の機会に報告するが、この場合にも反復反射の効果が顕著に認められることを付記しておきたい。

なお、本研究の一部は49年度文部省科学研究費、試験研究(2)(研究代表者: 阪大工・榎木 亨)によるものであり、同時に本研究に協力を賜った坪内稚和氏(兵庫県庁)に謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 榎木 亨・岩田好一朗: 堤防越波量に及ぼす離岸堤背後地形の効果に関する実験的研究—離岸堤の効果に関する研究第1報—, 第18回海岸工学講演会論文集, 1971.
- 2) Lamb, H.: Hydrodynamics (6th ed.), §176, Cambridge Univ. Press, 1932.
- 3) Bartholomeusz, F.F.: The reflection of long waves at a step, Proc. Camb. Phil. Soc. 54, 106, 1958.
- 4) Newman, J.N.: Propagation of water waves over an infinite step, J. of Fluid Mech., 23, 2., 1965.
- 5) Miles, J.W.: Surface-wave scattering matrix for a shelf, J. of Fluid Mech. 28, 4, 1967.
- 6) Dean, R.G.: Estuary and Coastlines Hydrodynamics (by Ippen), New York, McGraw-Hill., pp. 71~77, 1966.
- 7) Johnson-Fuck-Morison: Damping Action of Submerged Breakwaters, Trans. AGU., Vol. 32, No. 5, 1951.
- 8) 井島武士: 最近の波浪理論における境界値問題の解法とその応用, 水工学夏期研修会講義集, B-1-13~B-1-15, 1971.
- 9) 伊藤喜行・谷本勝利: 波向線交差領域での波の屈折, 第19回海岸工学講演会論文集, 1972.
- 10) 榎木 亨・岩田好一朗: 水深急変部での波の変形について—堤防越波量に及ぼす前面海浜地形の効果について—, 昭和48年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要.
- 11) 榎木 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, 189, 1971.