

透過性構造物による波の変形について

榎 木 亨*・岩 田 好 一 朗**

1. 緒 言

捨石、各種の異形ブロック、あるいは、杭、パイル、多孔壁などで構成された透過性構造物による波の変形・減衰機構およびそれにとまう水理学的諸現象を論議する場合、透過性構造物の機能は波の反射率、伝達率をとともに小さくし、エネルギー損失を大きくすることにあるため、波と透過性構造物の共存場での (i) 摩擦、(ii) 噴流混合、(iii) 碎波、(iv) 波の位相差、(v) 水粒子軌跡の崩壊、などによるエネルギー損失を正確に把握しておくことが必要とされる。しかしこういった効果が非常に複雑な形で結びついているため、従来主として実験的に検討がなされてきたが、近年理論的な考察が加えられるようになってきた^{1),2),3)}。

こういった透過性構造物はその背後へ伝達波を許容することはいうまでもないが、その伝達波が大きい場合にはさらに透過性構造物を設置して伝達波の低減をもたらす工法がとられる場合があるが、このような複合された状態の透過性構造物による波の変形・減衰についてはあまり論議されていないようである。したがって、本論では、波の進行方向と直角に透過性構造物が何基も近接して並列に設置された複合状態の構造物をとりあげて、構造物間での波の反復効果 (既述の (iv) の位相差の効果) が波の変形・減衰にいかなる寄与をするかまず明らかにし、ついで、その具体的な適用例として、多列パイル群構造物と多孔式鉛直消波岸壁をとりあげて、その水理特性とそれにとまう波の変形・減衰について検討するものである。

2. 透過性構造物による反射率とエネルギー損失量

(1) 反射率と透過率

図-1 に示すように、透過性構造物が波の入射方向に直角に2基近接して設置されている複合構造物の透過率と反射率を Méhauté⁴⁾ の考え方を拡張して求める。なお、以下用いる記号は式 (1) に示すごとくであって、記号上の $-$ は複素ベクトル表示を示し、 $i = \sqrt{-1}$ で虚数、 ϕ は位相差、 x は複合透過構造物の設置間隔、 k :

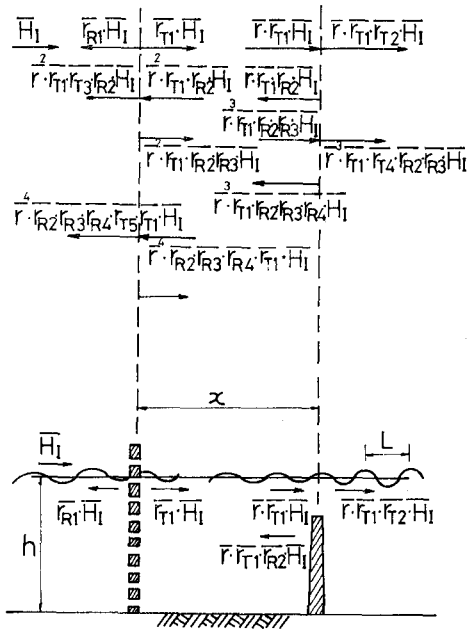


図-1 構造物間での波の反復状況

減衰係数、 L は入射波の波長である。

$$\left. \begin{aligned} \text{入射波: } \bar{H}_I &= H_I \exp(i\bar{H}_I) \\ \text{反射率: } \bar{r}_{Bi} &= \gamma_{Bi} \exp(i\bar{r}_{Bi}) \\ &\quad (i=1,2,3,\dots) \\ \text{透過率: } \bar{t}_{Ti} &= \gamma_{Ti} \exp(i\bar{t}_{Ti}) \\ &\quad (i=1,2,3,\dots) \\ \text{減衰率: } \bar{\gamma} &= \gamma \exp(-i2\pi x/L) \\ &\quad \gamma = e^{-kx/L} \end{aligned} \right\} \dots (1)$$

構造物間での波の反復現象を次のように考える。入射波 $\bar{H}_I$ が前面の構造物で一部反射し、残りの部分は透過していくが、その時の反射率を $\bar{r}_{B1}$ 透過率を $\bar{t}_{T1}$ とすると反射波と透過波はおのの $\bar{r}_{B1} \cdot \bar{H}_I$ と $\bar{t}_{T1} \cdot \bar{H}_I$ となる。透過波 $\bar{t}_{T1} \cdot \bar{H}_I$ は後面の構造物へ伝播していくが、その間の波高低下係数を $\bar{\gamma}$ とすると後面の構造物への伝達波は $\bar{\gamma}(\bar{t}_{T1} \cdot \bar{H}_I)$ となる。この伝達波は一部反射率 $\bar{r}_{B2}$ で反射し、残りの部分は透過率 $\bar{t}_{T2}$ で透過していくとすると、反射波と透過波は $\bar{r}_{B2}(\bar{\gamma} \cdot \bar{t}_{T1} \cdot \bar{H}_I)$ と $\bar{t}_{T2}(\bar{\gamma} \cdot \bar{t}_{T1} \cdot \bar{H}_I)$ となるが、反射波 $\bar{r}_{B2}(\bar{\gamma} \cdot \bar{t}_{T1} \cdot \bar{H}_I)$ は再び前面の構造物へ低下係数 $\bar{\gamma}$ で減衰しながら伝播して、 $\bar{\gamma}(\bar{r}_{B2} \cdot \bar{\gamma} \cdot \bar{t}_{T1} \cdot \bar{H}_I)$ の伝達波となる。この前面の構造物により再び反

* 正会員 工博 大阪大学教授 工学部土木工学科

** 正会員 工修 大阪大学講師 工学部土木工学科

射・透過が起こり、以下同様の過程で反射と透過が繰り返されるものとする、複合構造物による合成波は図—1 に示すような繰り返により生じる波が合成されたものと考えられる。本論ではこういった波が単純に重ね合わされて合成波が構成されるものとするが、この場合の複合構造物前面での合成波 $\bar{H}_0^*$ 、反射波 $\bar{H}_R^*$ 、および、複合構造物後面への伝達波 $\bar{H}_T^*$ はおのの式 (2)、式 (3)、式 (4) で与えられる。

$$\bar{H}_0^* = \bar{H}_I + \bar{H}_R^* \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\begin{aligned} \bar{H}_R^* = & \bar{H}_I \cdot (\bar{\gamma}_{R1} + \bar{\gamma}^2 \cdot \bar{\gamma}_{T1} \cdot \bar{\gamma}_{R2} \\ & + \bar{\gamma}^4 \cdot \bar{\gamma}_{R2} \cdot \bar{\gamma}_{R3} \cdot \bar{\gamma}_{R4} \cdot \bar{\gamma}_{T1} \cdot \bar{\gamma}_{T5} \\ & + \bar{\gamma}^6 \cdot \bar{\gamma}_{R2} \cdot \bar{\gamma}_{R3} \cdot \bar{\gamma}_{R4} \cdot \bar{\gamma}_{R5} \cdot \bar{\gamma}_{R6} \cdot \bar{\gamma}_{T1} \cdot \bar{\gamma}_{T7} + \dots) \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\begin{aligned} \bar{H}_T^* = & \bar{H}_I \cdot (\bar{\gamma} \cdot \bar{\gamma}_{T1} \cdot \bar{\gamma}_{T2} + \bar{\gamma}^3 \cdot \bar{\gamma}_{T1} \cdot \bar{\gamma}_{T4} \cdot \bar{\gamma}_{R2} \cdot \bar{\gamma}_{R3} \\ & + \bar{\gamma}^5 \cdot \bar{\gamma}_{R2} \cdot \bar{\gamma}_{R3} \cdot \bar{\gamma}_{R4} \cdot \bar{\gamma}_{R5} \cdot \bar{\gamma}_{T1} \cdot \bar{\gamma}_{T6} + \bar{\gamma}^7 \cdot \bar{\gamma}_{R2} \\ & \cdot \bar{\gamma}_{R3} \cdot \bar{\gamma}_{R4} \cdot \bar{\gamma}_{R5} \cdot \bar{\gamma}_{R6} \cdot \bar{\gamma}_{T1} \cdot \bar{\gamma}_{T8} + \dots) \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (4)$$

したがって、複合構造物による反射率 γ_R^* 、透過率 γ_T^* は構造物間での波の反射・透過を無限に考えると式 (3)、式 (4) からおのの式 (5)、式 (6) で与えられる。

$$\gamma_R^* = \frac{|\bar{H}_R^*|}{|\bar{H}_I|} = |\bar{\gamma}_{R1} + \bar{\gamma}^2 \bar{\gamma}_{T1} \bar{\gamma}_{R2} \bar{\gamma}_{R3} + \bar{\gamma}^4 \bar{\gamma}_{R2} \bar{\gamma}_{R3} \bar{\gamma}_{R4} \bar{\gamma}_{T1} \bar{\gamma}_{T5} + \bar{\gamma}^6 \bar{\gamma}_{R2} \bar{\gamma}_{R3} \bar{\gamma}_{R4} \bar{\gamma}_{R5} \bar{\gamma}_{R6} \bar{\gamma}_{T1} \bar{\gamma}_{T7} + \dots| \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$\gamma_T^* = \frac{|\bar{H}_T^*|}{|\bar{H}_I|} = |\bar{\gamma} \bar{\gamma}_{T1} \bar{\gamma}_{T2} + \bar{\gamma}^3 \bar{\gamma}_{T1} \bar{\gamma}_{T2} \bar{\gamma}_{R2} \bar{\gamma}_{R3} + \bar{\gamma}^5 \bar{\gamma}_{R2} \bar{\gamma}_{R3} \bar{\gamma}_{R4} \bar{\gamma}_{R5} \bar{\gamma}_{T1} \bar{\gamma}_{T6} + \dots| \quad \dots\dots\dots (6)$$

または $|\gamma| \leq 1$, $|\gamma_{Ti}| \leq 1$, $|\gamma_{Ri}| \leq 1$, $|\bar{\gamma}_{Ti} \bar{\gamma}_{Ri}| \ll 1$ であるから $\bar{\gamma}^5 \bar{\gamma}_{R2} \bar{\gamma}_{R3} \bar{\gamma}_{R4} \bar{\gamma}_{R5} \bar{\gamma}_{T1} \bar{\gamma}_{T6}$ 以上の高次項は微小項として省略すると、反射率 γ_R^* 、透過率 γ_T^* はおのの式 (7)、式 (8) で与えられる。

$$\gamma_R^* = |\bar{\gamma}_{R1} + \bar{\gamma}^2 \bar{\gamma}_{T1} \bar{\gamma}_{R2} + \bar{\gamma}^4 \bar{\gamma}_{R2} \bar{\gamma}_{R3} \bar{\gamma}_{R4} \bar{\gamma}_{T1} \bar{\gamma}_{T5}| \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$\gamma_T^* = |\bar{\gamma} \bar{\gamma}_{T1} \bar{\gamma}_{T2} + \bar{\gamma}^3 \bar{\gamma}_{T1} \bar{\gamma}_{T4} \bar{\gamma}_{R2} \bar{\gamma}_{R3} + \bar{\gamma}^5 \bar{\gamma}_{R2} \bar{\gamma}_{R3} \bar{\gamma}_{R4} \bar{\gamma}_{R5} \bar{\gamma}_{T1} \bar{\gamma}_{T6}| \quad \dots\dots\dots (8)$$

したがって、反射率 $\bar{\gamma}_{Ri}$ と透過率 $\bar{\gamma}_{Ti}$ と減衰係数 $\bar{\gamma}$ が求まると、複合透過構造物による反射率 γ_R^* は式 (1) を式 (5) および式 (7) に代入して計算すると求まり、透過率 γ_T^* は式 (1) を式 (6) および式 (8) に代入すると算出することができる。

いま、

$$\left. \begin{aligned} \gamma_{R1} = \gamma_{R2} = \dots = \gamma_{Rn} (\equiv \gamma_R) \\ \gamma_{T1} = \gamma_{T2} = \dots = \gamma_{Tn} (\equiv \gamma_T) \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (9)$$

と仮定すると、反射率 γ_R^* と透過率 γ_T^* は式 (5)～式 (8) に対応する式としておのの式 (10)～式 (13) を得る。なお式 (10)～式 (13) は式 (1) の $\hat{\gamma}_{Ri} = 0$, $\hat{\gamma}_{Ti} = 0$, $\hat{H}_I = 0$ の条件の下で導かれたものである。

$$\gamma_R^* = \gamma_R \sqrt{\frac{1 + 2\gamma^2(\gamma_T^2 - \gamma_R^2) \cos 4\pi x/L + \gamma^4(\gamma_T^2 - \gamma_R^2)^2}{1 - 2\gamma^2\gamma_R^2 \cos 4\pi x/L + \gamma^4\gamma_R^4}} \quad \dots\dots\dots (10)$$

(無限のくり返しを考える)

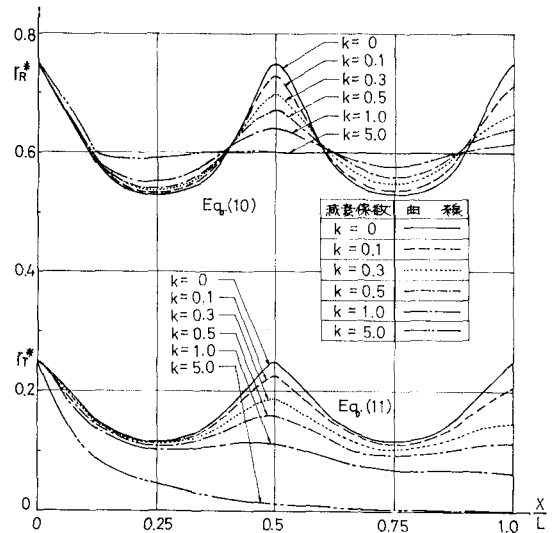
$$\gamma_T^* = \frac{\gamma\gamma_T^2}{\sqrt{1 - 2\gamma^2\gamma_R^2 \cos 4\pi x/L + \gamma^4\gamma_R^4}} \quad \dots\dots\dots (11)$$

(無限のくり返しを考える)

$$\gamma_R^* = \gamma_R \left[(1 + \gamma^4\gamma_T^4 + \gamma^8\gamma_R^4\gamma_T^2) + 2(\gamma^6\gamma_T^4\gamma_R^2 + \gamma^2\gamma_T^2) \cos \frac{4\pi x}{L} + 2\gamma^4\gamma_R^2\gamma_T^2 \cdot \cos \frac{8\pi x}{L} \right]^{1/2} \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$\gamma_T^* = \gamma\gamma_T^2 \cdot \sqrt{1 + 2\gamma^2\gamma_R^2 \cos \frac{4\pi x}{L} + \gamma^4\gamma_R^4} \quad \dots\dots\dots (3)$$

図—2 は $\gamma_R = 0.6$, $\gamma_T = 0.4$ の場合の式 (10) で与えられる反射率 γ_R^* と式 (11) で与えられる透過率 γ_T^* と設置間隔 x/L の関係を減衰係数 k をパラメーターに求めたものである。同図より γ_R^* と γ_T^* は x/L の増大にともなって極小値と極大値を 1/4 間隔ごとに交互に与えることが認められ、



図—2 γ_R^* と γ_T^* におよぼす x/L の効果 ($\gamma_R = 0.6$, $\gamma_T = 0.4$ の場合)

$$x/L = \frac{1}{4}(2n-1), \quad (n=1, 2, 3, 4, \dots) \quad \dots\dots\dots (14)$$

を満たすとき、つまり繰り返し波の位相が π ずれるときは、 γ_R^* と γ_T^* は極小値をとるが、

$$x/L = \frac{1}{4}(2n), \quad (n=1, 2, 3, 4, \dots) \quad \dots\dots\dots (15)$$

を満たすとき、つまり繰り返し波の間で波の位相がずれないときは γ_R^* と γ_T^* は極大値をとることが認められて、複合透過構造物では設置間隔 x/L がきわめて重要な要素となっている。また、波の減衰が大きくなるにしたがって (すなわち k が大きくなるにしたがって) γ_R^* および γ_T^* とも極大値と極小値の差が少なくなる。特に γ_T^* については $k=5$ の場合、減衰効果が大きく一様な減衰状況を示すようになる。このように、複合透過構造物における波の変形については設置間隔 x/L が重要な

要素となるため、消波効果を高めるには設置間隔を $x/L = 1/4(2n-1)$, $n=1,2,3,\dots$ となるように設置しなければならない。

以上透過構造物が2基設置されている場合の反射率と透過率を求めてきたが、この考え方を拡張すれば透過構造物が n 基並列に設置されている場合の複合透過構造物

$$\gamma_{R(n)}^* = \frac{\sqrt{\gamma_R^2 + 2\gamma^2 \gamma_R \gamma_{R(n-1)}^* (\gamma_T^2 - \gamma_R^2) \cos \frac{4\pi x}{L} + \gamma^4 \gamma_{R(n-1)}^{*2} (\gamma_T^2 - \gamma_R^2)^2}}{\sqrt{1 - 2\gamma^2 \gamma_R \gamma_{R(n-1)}^* \cos \frac{4\pi x}{L} + \gamma^4 \gamma_R^2 \gamma_{R(n-1)}^{*2}}} \quad (16)$$

$$\gamma_{T(n)}^* = \frac{\gamma \gamma_T \gamma_{T(n-1)}^*}{\sqrt{1 - 2\gamma^2 \gamma_R \gamma_{R(n-1)}^* \cos \frac{4\pi x}{L} + \gamma^4 \gamma_R^2 \gamma_{R(n-1)}^{*2}}} \quad (17)$$

また複合透過構造物を構成するおのおのの構造物による反射率 γ_{Ri} と透過率 γ_{Ti} は、質量保存則より次の式 (18) を満たしている。

$$\gamma_{Ri} + \gamma_{Ti} = 1 \quad (i=1,2,3,\dots,n,\dots) \quad (18)$$

(2) エネルギー損失量

波が複合構造物を通過するとき失うエネルギー E_L はエネルギー保存則より次の式 (19) で与えられる。ただ

$$E_L/E_I = \left\{ 1 - \frac{\gamma_R^2 + 2\gamma^2 \gamma_R \gamma_{R(n-1)}^* (\gamma_T^2 - \gamma_R^2) \cos \frac{4\pi x}{L} + \gamma^4 \gamma_{R(n-1)}^{*2} (\gamma_T^2 - \gamma_R^2)^2}{1 - 2\gamma^2 \gamma_R \gamma_{R(n-1)}^* \cos \frac{4\pi x}{L} + \gamma^4 \gamma_R^2 \gamma_{R(n-1)}^{*2}} \right\} \quad (20)$$

図-3 は、図-2 で示した、 $\gamma_R=0.6$, $\sigma_T=0.4$ の場合で式 (20) で $n=2$ とした場合のエネルギー損失の設置間隔 x/L による変化を示したものであるが、 γ_R^* と γ_T^* がともに小さくなる $x/L=1/4(2n-1)$, ($n=1,2,3,\dots$) でエネルギー損失が極大となり、 γ_R^* と γ_T^* がともに大きくなる $x/L=1/4(2n-1)$, ($n=1,2,3,\dots$) でエネルギー損失が極小となっている。このことから、

による反射率と透過率を算定することができる。いま式 (9) の仮定が成立する場合で、構造物の設置間隔がすべて等しい場合をとりあげると反射率 $\gamma_{R(n)}^*$ と透過率 $\gamma_{T(n)}^*$ はおのおの式 (16), 式 (17) で与えられる。なお同式で $\gamma_{R(n-1)}^*$, $\gamma_{T(n-1)}^*$ は透過構造物が $n-1$ 基設置されている複合構造物の反射率と透過率である。

し E_I は入射波1波長当たりのエネルギーである。

$$E_L/E_I = (1 - \gamma_R^{*2} - \gamma_T^{*2}) \quad (19)$$

したがって、式 (19) に複合構造物による反射率 γ_R^* と透過率 γ_T^* を代入するとエネルギー損失を求めることができるが、たとえば同じ構造物が等間隔に n 列配置されている場合は、式 (19) に式 (16) と式 (17) を代入すると式 (20) で与えられることになる。

設置距離 x/L は $1/4(2n-1)$, ($n=1,2,3,\dots$) にするのが好ましいといえる。

3. 円筒型多列パイル構造物による波の変形

(1) 単列パイル構造物における反射率と透過率

図-4 に示す多列パイル構造物は波の進行方向に直角な単列パイル構造物が多列に設置された複合透過構造物として取り扱うことができるものとし、便宜上、式 (9) の仮定が成立し、さらに構造物通過時の波の位相差が無視されるものとする、この構造物による反射率 γ_R^* と透過率 γ_T^* はおのおの式 (16) と式 (17) で与えられる。以下この式の適合性について実験によって検討していくが、その際、単列パイル構造物による反射率 γ_R と透過率 γ_T を算定しておく必要がある。この単列円筒パイル

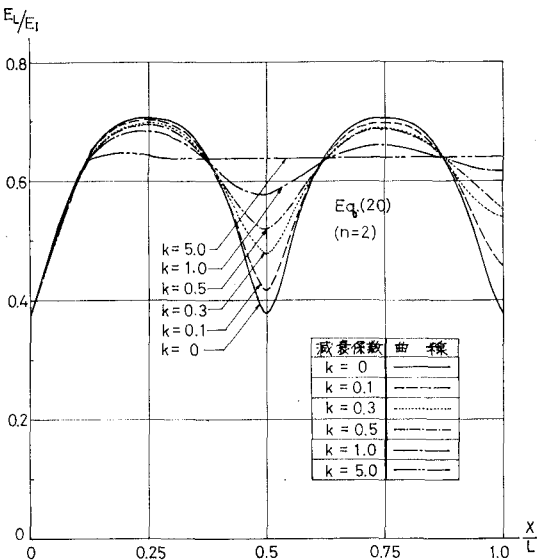


図-3 E_L/E_I におよぼす x/L の効果について ($n=2$, $\gamma_R=0.6$, $\gamma_T=0.4$ の場合)

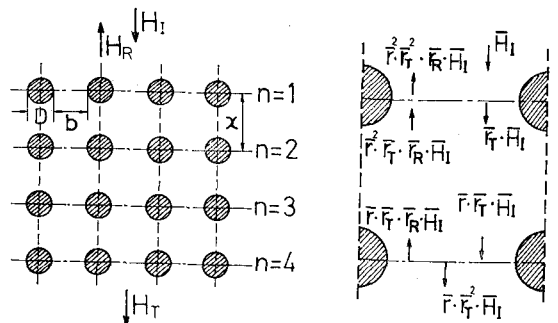


図-4 多列パイル構造物

構造物については古くは Wiegel⁶⁾, また近年では林・服部⁶⁾の詳細な研究, あるいは筆者ら⁷⁾の若干の解析もあり, こういった研究で得られた γ_R と γ_T の理論式を用いるとよい。しかし, こういった式は $0.067 < b/(b+D) < 0.756$ (なお, b は 図-4 に示すようにパイルとパイルの間隔, D はパイル径である) では実験値と一致しない個所があり, さらに, 本論では波の繰り返しの効果を検討するため, 単列円筒パイル構造物の γ_R と γ_T としては実験で得られた値を用いるものとする。

(2) 実験結果による考察

実験水槽は $0.7\text{m} \times 0.95\text{m} \times 30.0\text{m}$ の片面ガラス張りの鋼製水槽で, 発生波は flap 型造波機で生起せしめ, 反射率は Healy の方法で求める。なお実験諸元は 表-1 に示すとおりである。図-5 は 2 列円筒パイル構造物の γ_R^* と γ_T^* におよぼす x/L の効果を示した一例であるが, 同図より γ_R^* は x/L が, 0.25, 0.75 のとき, つまり式 (14) を満たすとき極小値に, 0.5,

D/H_0	0.7 ~ 2.15
H_0/L_0	0.008, ~ 0.06
h/H_0	2.5 ~ 7.5
X/L	0.116 ~ 1.00
$b/(b+D)$	0.190 ~ 0.756
D	4.2 cm

表-1 実験諸元

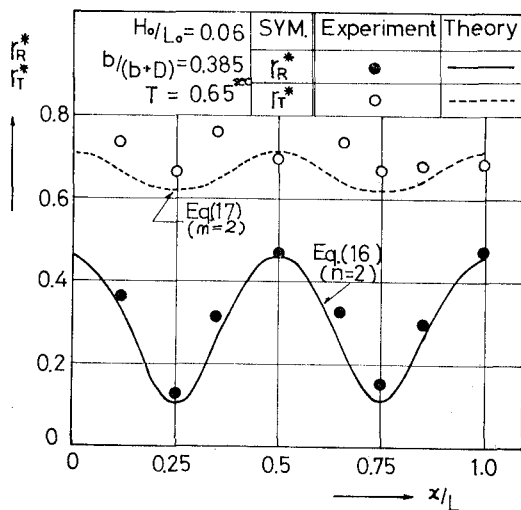


図-5 γ_R^* と γ_T^* におよぼす x/L の効果 (2 列円筒パイル群)

1.0 のとき, つまり式 (15) を満たすとき極大値をとることが認められ, さらに理論値と実験値がよく一致しており式 (16) の妥当性が確認される。一方, γ_T^* は γ_R^* と同様の傾向を示すものの, γ_R^* のように明確ではなく値そのものも理論値より実験値の方が大きくなっている。このため, 図-6 に示すように, エネルギー損失量 E_L/E_I は式 (20) の理論値より実験値の方が小さくなっていく。これは式 (9) の仮定も問題があると考えられるが, γ_T^* は γ_R^* より高次の微小項を含むため, 実際

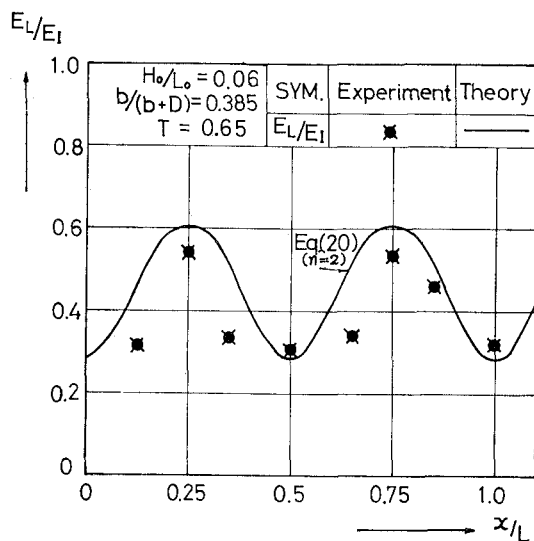


図-6 E_L/E_I におよぼす x/L の効果 (2 列円筒パイル群)

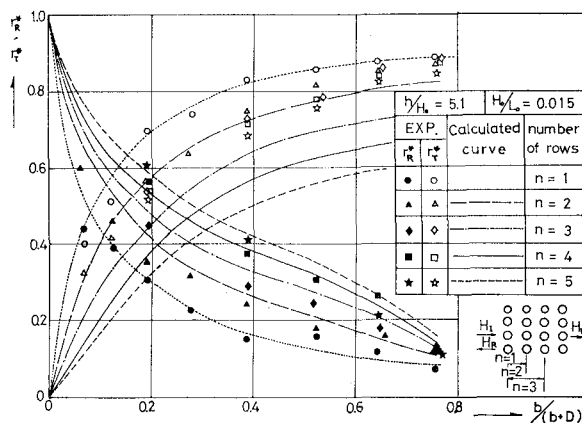


図-7 多列円筒パイル群の γ_R^* と γ_T^* ($\gamma=1$ の場合)

の現象では高次微小項が有効に作用しないことを示すものと推測される。図-7 は, 2 列以上の多列パイル構造物 (図-4 で $n \geq 2$ の場合) の γ_R^* と γ_T^* を示したものである。同図には γ_R^* と γ_T^* の理論式 (16) と式 (17) の値も同時に示してある (なお理論値は $\gamma=1$ に対して示してある)。同図よりパイル列数が増すにつれて, γ_R^* が大きくなり, γ_T^* は減少してくることが認められて式 (16), 式 (17) の傾向と一致するが γ_T^* については 3 列以上になると実験値と理論値は 20% 以上も異なり, 式 (17) によっては γ_T^* は算定することができなくなっていく。一方, 反射率 γ_R^* は 4 列まで比較的一致しているが, 5 列以上になると 15% も理論値と実験値が異なってくる。これは式 (9) の仮定の妥当性が原

因の一つとして考えられるが、観測波に高周波数成分が含まれていることを考えると、構造物と波との非線型干渉の効果が作用するためと考えられ、単純重ね合せで得られた式 (16) の適用は限界があることを示すものといえよう。したがって以上の実験結果から式 (16) は5列パイル群、式 (17) は3列パイル群まで適用可能と判断せざるを得ない。

4. 多孔式鉛直消波岸壁による波の変形

(1) 多孔壁による反射率と透過率

前面が透過性の多孔壁、後面が不透過壁よりなる多孔式鉛直消波岸壁による反射率 γ_R^* は後面が不透過であるため式 (5) で $\gamma_{T2i}=0$, $\gamma_{R2i}=1$ ($i=1, 2, 3, \dots$) とすることによって与えられる。いまさらに、 $\gamma_{R2i-1}=\gamma_R$ ($=\cos t$), $\gamma_{T2i-1}=\gamma_T$ (const) と考え、式 (10) を誘導した同じ手法によると次の式 (21) を得る。

$$\gamma_R^* = \sqrt{\frac{\gamma_R^2 + 2\gamma_R\gamma_T(\gamma_T^2 - \gamma_R^2)\cos 4\pi x/L + \gamma_T^4(\gamma_T^2 - \gamma_R^2)^2}{1 - 2\gamma_R\gamma_T\cos 4\pi x/L + \gamma_T^4\gamma_R^2}} \quad \dots\dots\dots (21)$$

なお式 (21) で x は 図-8 に示すように、多孔壁と不透過壁間の距離である。式 (21) で反射率 γ_R^* を算定するには、多孔壁による反射率 γ_R と透過率 γ_T を算定する必要があるが、これは次の式 (22) と式 (23) で与えられる⁸⁾。

$$\gamma_R = 1 - \frac{2}{a} \{ -m^2 C_m^2 \varepsilon_0^2 K + \sqrt{m^4 C_n^4 \varepsilon_0^4 K^2 + a \cdot m^2 C_m^2 \varepsilon_0^2 K} \} \quad \dots\dots\dots (22)$$

$$\gamma_T = \frac{2}{a} \{ -m^2 C_m^2 \varepsilon_0^2 K + \sqrt{m^4 C_m^4 \varepsilon_0^4 K^2 + a \cdot m^2 C_m^2 \varepsilon_0^2 K} \} \quad \dots\dots\dots (23)$$

ただし、

$$\varepsilon_0 = 1 / \sqrt{\zeta_w + \zeta_c + \frac{f}{4} \left(\frac{b}{D} \right)} \quad \dots\dots\dots (24)$$

$$K = \left(\frac{kh}{\sigma} \right)^2 \left\{ g + \frac{\sigma^2}{R} \frac{1}{\sinh kh} + \frac{\sigma^2 k^2 h^2}{R} \frac{1}{\sinh kh} \right\} \dots\dots\dots (25)$$

表-2 実験諸元

H_0/L_0	0.01, 0.02, 0.03
x/L	0.05 ~ 0.75
h/H_0	9.32
D/H	0.335 ~ 0.70
m	0.1 ~ 0.45
h	20.5 cm
b/D	0.57, 1.14

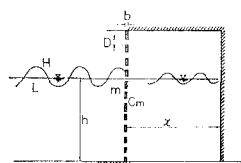


図-8 多孔壁鉛直消波岸壁

ζ_w : 断面拡大係数, ζ_c : 断面急縮係数, f : 摩擦係数, $k=2\pi/L$, $\sigma=2\pi/T$, g : 重力加速度, m : 多孔壁の空き率, C_m : 流量係数, h : 静水深, a : 入射波の半波高である。したがって式 (22) と式 (23) を式 (21) に代入すると γ_R^* が決定されることになる。

(2) 実験結果による検討

実験水槽は前述の 0.7m×0.95m×30.0m の片面ガラス張りの鋼製水槽であり、実験諸元は表-2 に示してある。また反射率は Healy の方法で求める。図-9 は、 γ_R^* におよぼす x/L の効果を示した一例であるが、同図より実験値と理論値はよく一致していることが認められ、 $x/L=0.25, 0.75$ つまり式 (14) を満たすとき γ_R^* は極小値をとり、 $x/L=0.50$ つまり式 (15) を満たすとき γ_R^* は極大値をとることが認められて、式 (21) の妥当性が確かめられる (なお 図-9 の理論値は、 $\gamma=1$, $\zeta_w=1.0$, $\zeta_c=0.5$, $m=0.186$, $C_m=0.5$, $f=0.04$ の値を用いて計算してある)。したがって、多孔壁鉛直消波岸壁の消波効果を高めるには、 $x/L=(2n-1)/4$ となるように多孔壁と不透過壁の間隔 x を決めるとよい。

5. 結 論

以上複合状態の透過性構造物をとりあげて、構造物間での波の反射・透過による繰返し波を単純に重ね合わせることににより反射率 γ_R^* と透過率 γ_T^* の算定式を誘導しその妥当性を多列パイル構造物と多孔壁鉛直消波岸壁により検討してきたが、得られた結論を要約すれば以下のとおりである。

(1) 透過構造物が2つ並列して設置されている場合の γ_R^* と γ_T^* は一般的には式 (5) と式 (6) で与えられるが、その設置間隔 x/L により γ_R^* と γ_T^* は著しく異なり、 x/L が式 (14) を満たすときは γ_R^* と γ_T^* は小さくなり消波効

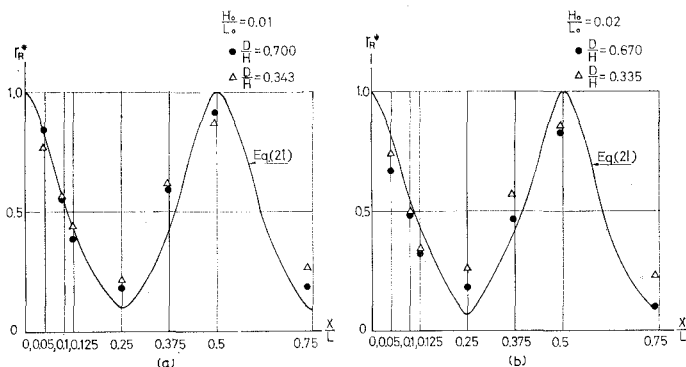


図-9 多孔壁鉛直消波岸壁の γ_R^* と x/L の関係

果が高いが、逆に式(15)を満たすときは γ_R^* と γ_T^* は大きくなり消波効果が低く、 x/L が波の反射・透過に重要な寄与をする。

(2) 多列パイル構造物によると、単純重ね合せの考えは反射率 γ_R^* については4列まで、透過率については2列まで適用されて式(16)、式(17)によりおのおの反射率 γ_R^* と透過率 γ_T^* の算定ができる。

参 考 文 献

- 1) 林 泰造・服部昌太郎・白井増次郎：透過性鋼管防波堤の水理，第13回海岸工学講演会講演集，1966.
- 2) 富永正照・坂本忠彦：透過性構造物による波の変

形に関する研究(I)，第16回海岸工学講演会講演集，1969.

- 3) 近藤俊郎・藤間 聡：透過性防波構造の水理特性，第17回海岸工学講演会論文集，1970.
- 4) Le Méhauté: Estuary and Coastlines Hydrodynamics by Ippen, McGraw-Hill, p. 299~303, 1966.
- 5) Wiegel: Oceanographical Engineering, Prentice-Hall, 1965.
- 6) 林 泰造・服部昌太郎：透過性鋼管防波堤とその基部洗掘，第15回海岸工学講演会講演集，1968.
- 7) 榎木 亨・岩田好一朗：多列パイル構築物による波の遡上および減衰効果について，土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集.
- 8) 榎木 亨・岩田好一朗：多孔式鉛直消波岸壁の水理特性について，土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集，昭 47.