

大阪市立大学工学部 正員 角野昇八
大分工業大学工学部 正員 〇樋田 操
大阪市立大学工学部 正員 小田一紀

1. 緒言 これまで、スリット型防波堤あるいは防波護岸の消波機構について、その反射率、波圧および越波の各特性の面から、実験的あるいは理論的に種々の検討を加えてきた¹⁾。しかしながら、それらはいずれも現象を2次元的に取り扱った場合であった。本研究は、直角入射の場合の反射率の理論解析と同様の考え方にに基づき、斜め入射波に対する箱型消波工の反射率に関して理論的に検討を加えたものであり、本稿では、特にその誘導過程について記述することにする。

2. 斜め入射の場合の反射率の理論解析

図-1に示す

ように、入射波 η_i が消波工の法線方向に対して入射角 β で侵入する場合を考える。消波工による波の反射の機構を、直角入射の場合と同様に考えれば、入射波は前面板までの反射率 η_R で反射されて反射波 η_R が生じ、また一部は透過率 η_T で透過して透過波 η_T となる。消波室内に透過した η_T は、背面不透過壁において完全反射されて η_{R1} となり、さらにそれは前面板を透過して消波工前面への透過波 η_{T1} となる¹⁾。ただしこのとき、 η_i あるいは η_{R1} は前面板を透過する際に屈折することなく直進するものとし、また η_R あるいは η_{R1} は入射角と等しい角度で反射するものとする。

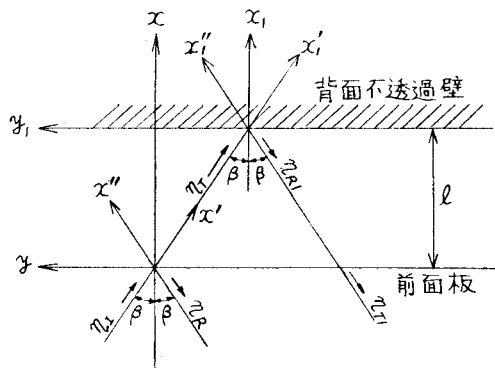


図-1. 斜め入射波の反射機構と座標系

ここで図-1に示すように、 $x-y$, x_1-y_1 , x' , x'' および x'_1 の各座標軸を定める。 x' (x'') 軸は x 軸を $-\beta$ ($+\beta$) 回転させた座標軸であり、 x'_1 軸は x_1 軸を $+\beta$ 回転させた座標軸である。これらの座標系間には、以下の関係が存在する。

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= x - l, & y_1 &= y + l \cdot \tan \beta, & x' &= x \cdot \cos \beta - y \cdot \sin \beta, \\ x'' &= x \cdot \cos \beta + y \cdot \sin \beta, & x'_1 &= x_1 \cdot \cos \beta - y_1 \cdot \sin \beta, & x'_1 &= x_1 \cdot \cos \beta + y_1 \cdot \sin \beta. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式(1)の関係をを用いれば、 η_i , η_R , η_T , η_{R1} および η_{T1} は以下のように表わされる。

$$\left. \begin{aligned} \eta_i &= a \cdot \sin(kx' - \sigma t), & \eta_R &= -\eta_T \cdot a \cdot \sin(kx'' + \sigma t), & \eta_T &= \eta_T \cdot a \cdot \sin(kx' - \sigma t), \\ \eta_{R1} &= -\eta_T \cdot a \cdot \sin(kx'_1 + \sigma t - k l / \cos \beta) = -\eta_T \cdot a \cdot \sin(kx'' + \sigma t - 2kl \cdot \cos \beta), \\ \eta_{T1} &= \eta_T \cdot \eta_{R1} = -\eta_T^2 \cdot a \cdot \sin(kx'' + \sigma t - 2kl \cdot \cos \beta). \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

ここに、 a : 入射波の振幅, $k = 2\pi/L$, $\sigma = 2\pi/T$, l : 消波室幅 であり、 η_T あるいは η_R は直角入射の場合とは異なり、入射角度の関数と考えられるべきものである。

消波工前面の沖側においては、このうちの η_i , η_R および η_{T1} によって合成波が形成されるものと考え、その波形を $\eta_c = a \cdot \sqrt{A} \cdot \sin(\sigma t + \delta)$ の形に表わせば、振幅 $a\sqrt{A}$ の最大値 $a\sqrt{A_0}$ より、消波工の反射率 K_R は次式のように求められる¹⁾。

$$K_R = \sqrt{A_0} - 1 = \left[\eta_T^2 + (1 - \eta_T)^2 + 2 \cdot \eta_T^2 (1 - \eta_T) \cdot \cos \{ 2kl(l + \Delta l) \cdot \cos \beta \} \right]^{1/2} \quad (3)$$

ただし、式(2)から式(3)の誘導過程においては、見掛けの消波室幅の増分 Δl ¹⁾が考慮されており、また斜め入射の場合にも質量保存則 $\eta_R + \eta_T = 1$ の関係が成立するものと考えている。式(3)は、直角入射の場合の反射率を表わす式¹⁾と比べて、結局その余弦項の位相に $\cos \beta$ が乗せられた形となっている。

3. 反射率と入射角との関係

既述のように、式(3)中の透過率 T は入射角によって変化し、直角入射の場合の透過率 T_0 とは異なることが考えられるが、箱型消波工の透過部の透過率の入射角による変化の程度はまだ明らかでない。一方、服部²⁾は、透過性鋼管防波堤に波が斜めに入射する場合の透過率と入射角との関係を実験的および理論的に求めている。その結果を整理し直して T/T_0 と β との関係を示したのが図-2である。同図より、 T/T_0 は余弦曲線とほぼ一致することが明らかである。したがって、ここでは、式(3)中の T の値として $T = T_0 \cdot \cos \beta$ の関係を仮定して計算をすすめる。

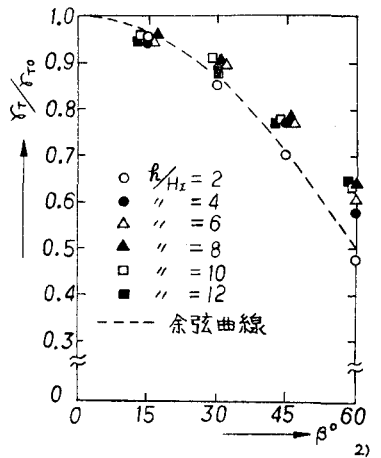


図-2 透過性鋼管防波堤の透過率

図-3は、直角入射の場合の箱型消波工の反射率の理論曲線を求めた場合と同様に、 $T_0 = 0.7$ および $l/L = 0.10$ の値を用い、さらに l/L を $0.05 \sim 0.35$ に変化させた場合の斜め入射の反射率と入射角との関係を示す。同図より明らかなように、これらの T_0 および l/L の値の場合には、一般に K_R は β によって大きく変化する。 $l/L \leq 0.10$ の場合には、 K_R は β とともに大きくなるが、 $l/L \geq 0.15$ になれば、 K_R は、 β の増大とともに直角入射の場合よりも減少し、ある β の値で極小値をとり、それから再び K_R は増す。この K_R の極小値は、 l/L が小さい値であるほど小さな角度で生じ、値も小さい。このように斜め入射の場合には、反射率は直角入射の場合よりも小さくなりうるという結果は、著者の研究³⁾において既に予想されていた結果と一致する。

次に、 T_0 の値を 0.2 から 0.8 まで 0.2 毎に変化させ、 T_0 の K_R に与える影響を検討した。図-4は、その一例として $T_0 = 0.4$ の場合を示す。 $T_0 = 0.2$ および 0.4 の場合には、 K_R は図-4に示すように l/L および β の変化にかかわらず、直角入射の場合の K_R の値から余り変化しない。しかし、 $T_0 = 0.6$ および 0.8 の場合には、 K_R は図-3に示すように l/L および β によって大きく変化する。斜め入射の場合の K_R は、直角入射の場合のそれよりも著しく小さくなる現象が現われるようになる。

ここで展開した、斜め入射の場合の反射率の算定手法による計算結果と、他の形式の直立型消波工の反射率の実験結果^{4),5)}とを比較した。詳細は別の論文⁶⁾に譲るが、 T_0 の値を仮定すれば理論曲線は実験値とほぼ一致する。今後、 T_0 の値および T と β との関係についてさらに検討をすすめたい。

参考文献

- 1) 例えは、永井角野：スリット型防波堤に関する研究、第23回海議論文集。
- 2) 服部：透過性鋼管防波堤の水理特性に関する研究、東大学位請求論文、1970。
- 3) 角野、権田：陽角部を有する防波堤前面および沖合の波浪分布、第25回海議論文集
- 4) 井島他：遊水部をもつ護岸に作用する斜め入射波の反射率について、九大工学部集報、51-3
- 5) 松本他：各種の防波堤陽角部の波浪特性に関する研究、第22回海議論文集
- 6) 角野、権田：箱型消波工の斜め入射波に対する反射率、昭54年関西交年講

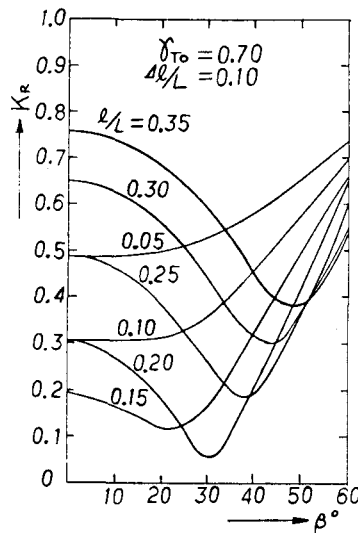


図-3 箱型消波工の反射率

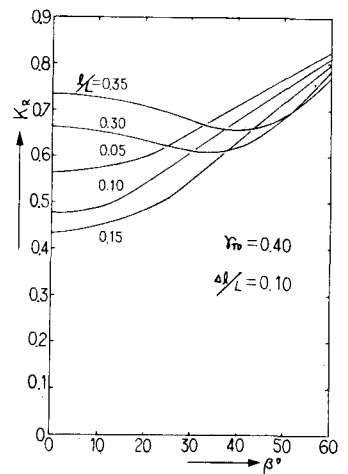


図-4 箱型消波工の反射率