

日本大学 大学院 学生員 樋口 豊久
日本大学理工学部 正会員 久室 保

1. まえがき

海の波が沖合から海岸に進行する途中で、水域に単独に設置された島堤にぶつかると、その一部は反射されるが残りの大部分は回折波としてその背後に回り込み波高に変化を生ずる。この回折による波高変化の計算法としては、Sommerfeld の解の重ね合わせによる近似解や合田らが Mathieu の微分方程式を海の波に適用して求めた厳密解などがある。これらの解は、有効な解析解としてよく設計に用いられているが、いづれも島堤壁面で波が完全反射される条件のもとで導びかれたものである。本文は、この回折計算法として Lee²⁾ や井島³⁾ が示した、Green 関数による数値解法を用い、任意反射率を有する不透過な島堤と透過な島堤について数値計算を試みたものである。

2. 回折計算法²⁾

一定水深 R の水域に設置された島堤に沖合から波が直角に入射する場合、図-1 に示すように静水面内に x 軸をとリ、鉛直上方に z 軸をとると、一般に速度ポテンシャルは次式で表わされる。

$$\Phi(x, y, z; t) = \phi(x, y, z) \cdot e^{-i\omega t} \quad (1)$$

ここで、 ω は周波数 ($=2\pi/T$, T は周期)、 t は時間である。

式(1)を連続の式に適用すると、 $\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0$ となり、

$$\text{一般解は、}\phi(x, y, z) = \frac{g a_i}{\tau} \cdot f(x, y) \cdot \frac{\cosh k(z+R)}{\cosh kR} \quad (2)$$

である。ここで、 g は重力加速度、 a_i は入射波の振幅、 k は波数 ($=2\pi/L$, L は波長) である。また、 $f(x, y)$ は入射波および島堤による散乱波を表わす複素関数であり、この絶対値が回折係数 K を与えることになる。すなわち、

$$K = |f(x, y)| = |f_i(x, y) + f_s(x, y)| \quad (3)$$

ここで、 f_i 、 f_s はそれぞれ入射波と散乱波による関数である。入射波を図-1 に示すように、 x 軸に直角に進行する波として取り扱う場合、井島³⁾ が示した式において $\theta = 90^\circ$ とおくと、 $f_i = a_i \cdot \cos(ky + \omega t)$ と表わすことができ、この波形に対応する速度ポテンシャルを決定させる関数は、

$$f_i(x, y) = -i e^{-iky} \quad (4)$$

で与えられる。また、水域内の任意地点 (x, y) における散乱波による関数 $f_s(x, y)$ は、Green の定理より、

$$f_s(x, y) = -\frac{1}{2} \int_S [f_s(\xi, \eta) \cdot \frac{\partial}{\partial n} (-\frac{1}{2} H_0^{(1)}(kR)) - (-\frac{1}{2} H_0^{(1)}(kR)) \cdot \frac{\partial}{\partial n} f_s(\xi, \eta)] ds \quad (5)$$

で表わされ、水域内の点 (x, y) を境界上の任意点 (ξ, η) に近づけると $f_s(\xi, \eta)$ に関する積分方程式が得られる。

$$f_s(\xi, \eta) = - \int_S [f_s(\xi, \eta) \cdot \frac{\partial}{\partial n} (-\frac{1}{2} H_0^{(1)}(kR)) - (-\frac{1}{2} H_0^{(1)}(kR)) \cdot \frac{\partial}{\partial n} f_s(\xi, \eta)] ds \quad (6)$$

ここで、 (ξ, η) は境界線上の点の座標、 $\frac{\partial}{\partial n}$ は図-1 に示す法線方向への導関数、 $H_0^{(1)}(kR)$ は 0 次の第 1 種 Hankel 関数、また R は水域内の点 (x, y) と境界線上の点 (ξ, η) との距離である。

そこで、まず式(6)を数値的に解いて境界上の $f_s(\xi, \eta)$ の値を求め、これを式(5)に代入することにより、 $f_s(x, y)$ の値が得られる。この f_i の値と式(4)による f_i の値を式(3)に代入すれば水域内の任意地点 (x, y) における回折係数 K が求まることになる。ここで、不透過および透過な島堤壁面における境界条件をそれぞれ次のように与える。

a). 前面で任意反射率 n を有する不透過な島堤の場合

$$\left. \begin{array}{l} \text{前面の境界線上で、} \frac{\partial}{\partial n} f_s(\xi, \eta) = -n \frac{\partial}{\partial n} f_i(\xi, \eta) \\ \text{その他の境界線上で、} \frac{\partial}{\partial n} f_s(\xi, \eta) = - \frac{\partial}{\partial n} f_i(\xi, \eta) \end{array} \right\} \quad (7)$$

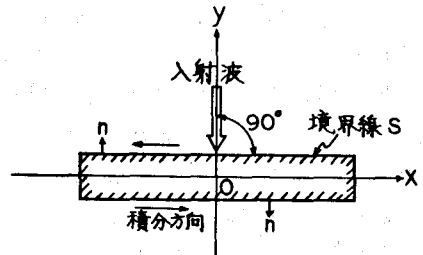


図-1. 島堤の座標系

b). 任意透過率 r_t を有する透過性の島堤の場合

$$\left. \begin{aligned} \text{前面の境界線上で、} \frac{\partial \phi}{\partial n}(\xi, \eta) &= -r_r \frac{\partial \phi}{\partial n}(\xi, \eta) \\ \text{背面の境界線上で、} \frac{\partial \phi}{\partial n}(\xi, \eta) &= -(1-r_t) \frac{\partial \phi}{\partial n}(\xi, \eta) \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

ここで、反射率 r_r と透過率 r_t との間に連続の条件より式(9)が成り立つものとする。

$$r_r + r_t = 1 \quad (9)$$

3. 計算結果とその考察

計算は、直角入射、堤長 $B/L=1.0$ 、堤幅 $W/L=0.1$ の不透過および透過性島堤の場合について行ない、座標については波長 λ により無次元化して取り扱っている。不透過性島堤前面における反射率 r_r を変化させた場合の島堤沿いの波高分布を示したものが図-2である。これによれば、島堤前面では当然のことながら小さくなるにしたがって波高も減少しているが、背面では $r_r=0$ となってもほとんど波高に変化が生じていない。また、図-3は島堤中心線 ($X/L=0$) 上の島堤背後の波高分布を示したものであるが、これからも反射率 r_r によって波高が変わることがわかる。したがって、消波工等の設置により島堤前面での反射率を減じても、それによる島堤背後の波高減衰効果はあまり期待できないと考えられる。

図-4は、任意透過率 r_t (反射率 $r_r=1-r_t$) を有する透過性の島堤沿いの波高分布を示したものである。前面の波高分布は透過率が増加 (反射率が減少) するにしたがって波高も小さくなり、不透過堤の場合とほとんど変わらない。一方、背面の波高分布は透過率が増加するにしたがって堤端付近では不透過堤の場合の波高より大きくなっているが、中心付近ではある程度の透過率まで逆になくなる傾向が見られる。さらに透過率が増加するとそれとともに波高も増加し、 $r_t=0.6$ 程度になると全範囲にわたって不透過堤の場合の波高より大きくなっている。また、島堤中心線 ($X/L=0$) 上の島堤背後の波高分布を示した図-5からも同様な傾向が見られるが、波高が減少する領域は小さな水域に限られ、ほとんどの背後水域で透過率の増加とともに波高も大きくなると考えられる。以上より、反射率および透過率の増減による島堤 ($B/L=1.0$) 前後の波高変化の特性が明らかになったように思われるが、定量的には今後さらに検討する必要がある。最後に、貴重な助言をいただいた本学 竹沢助教授に感謝の意を表します。

1). Lee, Jinn-Jen: Wave Induced Oscillations in Harbors of Arbitrary Shape, J. Fluid Mech., Vol. 45, 1971, PP 375~394
(参考文献) 2). 井島 他: 任意形状の透過および不透過防波堤による波の散乱と波力, 第20回海岸工学論文集, 1973, PP 79~87

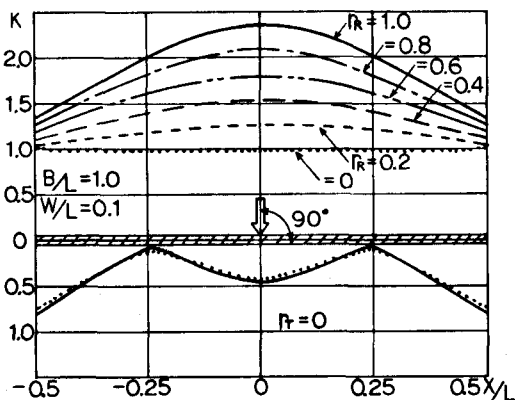


図-2. 島堤沿いの波高分布 (不透過堤)

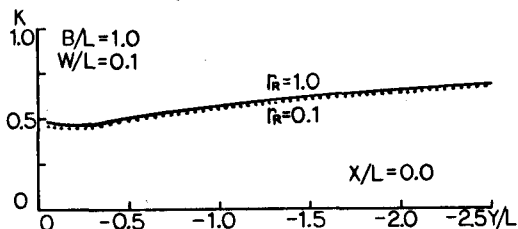


図-3. 島堤背後の波高分布 (不透過堤)

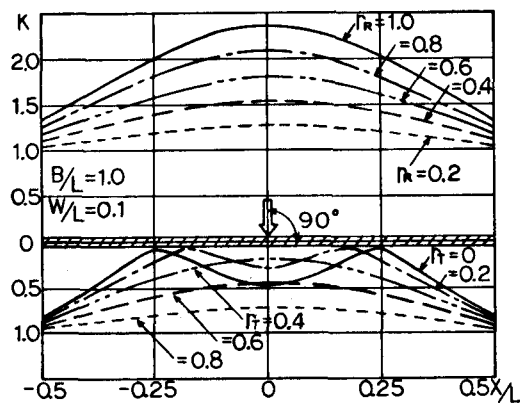


図-4. 島堤沿いの波高分布 (透過堤)

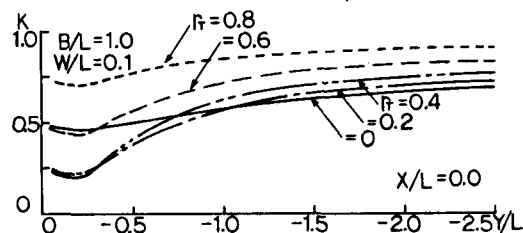


図-5. 島堤背後の波高分布 (透過堤)