

名古屋大学工学部 正員 足立 昭平
同 学生員 ○西塚 源司

1. まえがき

防波堤で遮蔽された港湾・泊地の波浪現象は、いわゆる sound shade の部分のみを扱えばよかったが、近年、港湾の拡大利用がなされてくると、防波堤よりも海側部分の海象を知ることが重要になってくる。さらに、泊地内においても、重ね合せにより波の波高分布を求めることが一般的なやり方であった。その場合にも、やはり、半無限防波堤を仮定し、その前面水域の波の挙動が問題となるが従来の回折図算ではその領域での波高の分布は求められていないように思われる。⁽¹⁾ 一般に、防波堤先端の海域を除いては、波の反射のみで議論できるが、その先端付近では波の回折波（散乱波）も加わって複雑な波高分布をなしているものと思われる。そこで、筆者らはこの海域について Sommerfeld の解を数値計算した結果を述べる。

2. Sommerfeld の解

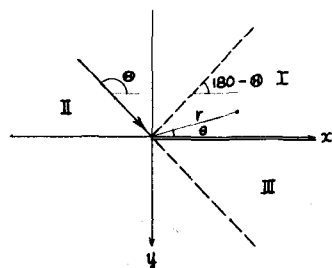


図-1 座標系

図-1のように座標軸ととり、 θ を波の入射角とする。時間因子とさらに関する項を落し速度ポテンシャル $\phi(x, y)$ は次の Helmholtz の方程式を満たす。

$$\Delta(x, y)\phi + k^2\phi = 0 \quad (1)$$

ここに、 $k = 2\pi/L$ で L は波長である。半無限防波堤に沿う流速は零として、無限遠で散乱波は消失する、という2つの境界条件で(1)を解く⁽²⁾と。

$$\phi = e^{ikr\cos(\theta-\theta_0)} \frac{1}{\sqrt{\pi}} e^{\frac{1}{2}i\pi} \int_{-\infty}^r e^{-is^2} ds + e^{ikr\cos(\theta+\theta_0)} \frac{1}{\sqrt{\pi}} e^{\frac{1}{2}i\pi} \int_{-\infty}^{\delta} e^{-is^2} ds \quad (2)$$

$$\text{ここに、 } r = \sqrt{2kr} \cos\left(\frac{\theta-\theta_0}{2}\right), \quad \delta = \sqrt{2kr} \cos\left(\frac{\theta+\theta_0}{2}\right) \quad (3)$$

これが回折に対する Sommerfeld の解であり、才1項が入射波とその散乱波を、才2項が反射波とその散乱波を表わす。さらに、回折係数 K （すなわち、入射波に対する合成波（回折波）の波高比）は

$$K = | \text{回折波の } \phi(x, y) | / | \text{入射波の } \phi(x, y) | = | \phi(x, y) | \quad (4)$$

であるから、 $\phi(x, y)$ の絶対値が回折係数 K を表わすことになる。

3. 数値計算例

図-1で示したように、領域をI（入射波反射波領域）、II（入射波回折波領域）、III（回折波領域）に分けて計算を行なう。計算方法は奥山、森平の方法⁽¹⁾に従いその結果のみ記す。

$$\begin{aligned} \text{I領域: } K &= \left\{ \left\{ (1-A(r))\cos\alpha + (1-A(\delta))\cos\beta + B(r)\sin\alpha + B(\delta)\sin\beta \right\}^2 \right. \\ &\quad \left. + \left\{ (1-A(r))\sin\alpha + (1-A(\delta))\sin\beta - B(r)\cos\alpha - B(\delta)\cos\beta \right\}^2 \right\}^{1/2} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{II領域: } K &= \left\{ \left\{ (1-A(r))\cos\alpha + A(\delta)\cos\beta + B(r)\sin\alpha - B(\delta)\sin\beta \right\}^2 \right. \\ &\quad \left. + \left\{ (1-A(r))\sin\alpha + A(\delta)\sin\beta - B(r)\cos\alpha + B(\delta)\cos\beta \right\}^2 \right\}^{1/2} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\text{III領域: } K = \left\{ \left\{ A(r)\cos\alpha - B(r)\sin\alpha + A(\delta)\cos\beta - B(\delta)\sin\beta \right\}^2 + \left\{ A(r)\sin\alpha + B(r)\cos\alpha + A(\delta)\sin\beta + B(\delta)\cos\beta \right\}^2 \right\}^{1/2} \quad (7)$$

ここに、 $\alpha = kr \cos(\theta - \theta_0)$ 、 $\beta = kr \cos(\theta + \theta_0)$ (8)

$$A(\xi) = \frac{1}{2} - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \left\{ \int_0^\xi \cos \zeta^2 d\zeta + \int_0^\xi \sin \zeta^2 d\zeta \right\}, B(\xi) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \left\{ \int_0^\xi \sin \zeta^2 d\zeta - \int_0^\xi \cos \zeta^2 d\zeta \right\} \quad (9)$$

一例として、波の入射角 $\theta = 60^\circ$ の場合について θ を 15° 間隔に、 r を $0.05L$ ごとく計算して回折図を描いたものが図-2である。ここに、最大波高線と最小波高線の生ずる位置は、それぞれ、防波堤より、 $\sqrt{n}L/3$ 、 $\sqrt{(2n+1)}L/6$ ⁽³⁾ ($n=1, 2, 3, \dots$)である。図-3にy軸に沿う波高分布を示した。

4. おわりに

現実の港湾構造物は単純方形状ではない。しかし、波を微小振幅波に仮定するならば重ね合せが適用できるので、種々の回折図や幾何学的作図によって波高分布を求めることができるはずである。現在、図-4に示すような凹の隅角部について、図-2のような回折図を用いて波高分布を求めることを検討中である。

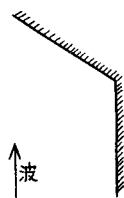


図-4 隅角部

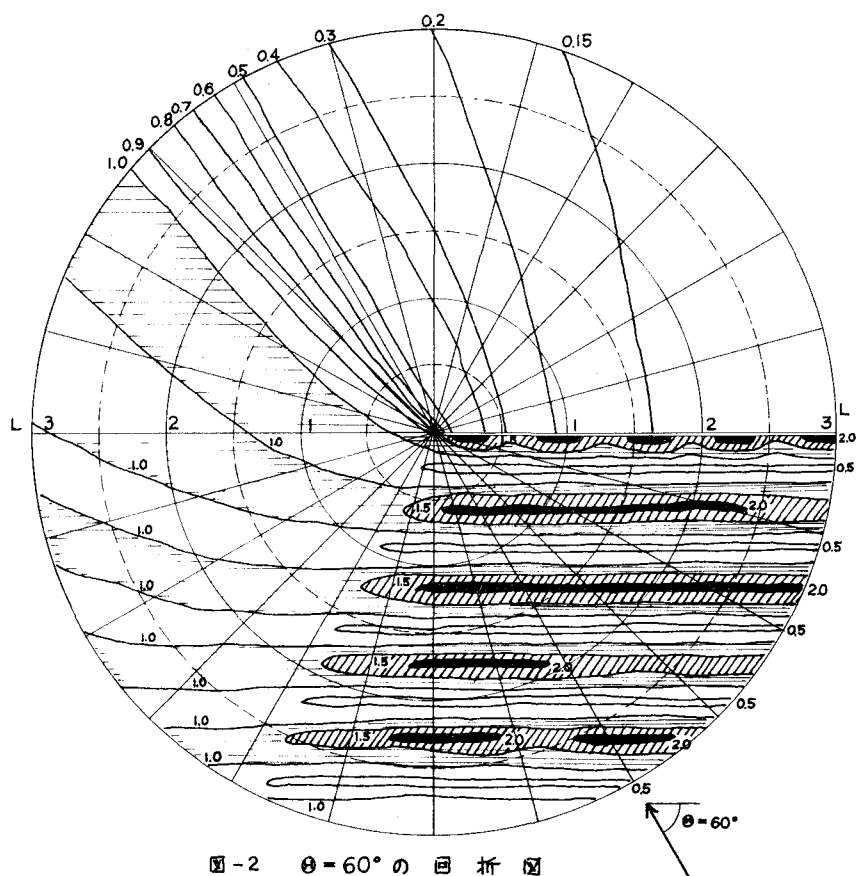


図-2 $\theta = 60^\circ$ の回折図

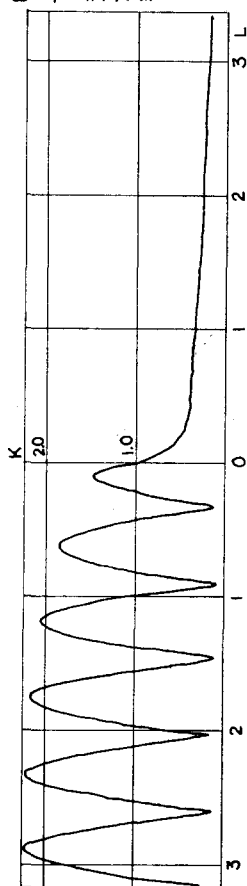


図-3 y軸に沿う波高分布

(1) 森平・奥山：海の波の回折計算法と回折図 港湾技研資料 NO. 21

(2) 石原・本間：応用水理学中Ⅱ p. 529

(3) 一般には、それぞれ $nL/2\sin\theta$ 、 $(2n+1)L/4\sin\theta$ で表わされる。