

福島高専 正員 官野 一彦
 学生員 〇島 俊秀
 学生員 渡部 庄平

1. 緒言

防波堤などに遮へいされた湾内の静穏度を調べるためにコンピューターによって回折図が作成され、検討されてきた。これまでは半無限防波堤、開口部を持つ防波堤について任意の条件で数十ケース作成されてきたが、二重回折領域を生ずる防波堤の回折図は、まだ任意の条件で検討された例が少ない。

二重回折領域を生ずる防波堤の回折は、壁面で完全反射する直立防波堤と仮定して重ね合わせの方法を適用できるのでこの防波堤の回折図を58ケース作成し、その結果を検討した。尚、作成においてラインプリンターとX-Yプロッターを使用する二通りの方法を用いた。

計算には本校のコンピューター OKITAC 4500 を使用した。

2. 理論式および計算方法

この理論式は、規則波が一樣水深中において、壁面で完全反射する直立防波堤の場合を考える。

一樣水深を伝わる小振幅の平面波の速度ポテンシャル ϕ は、複素数表示により、(1)式の形と仮定する。ただし、 x, y 軸を水平面上に、 z 軸は鉛直上向きにとり、 $\psi(x, y)$ は、平面的な波高分布を表わす関数とする。

$$\phi = \frac{H}{2} e^{ikct} \cosh(kz) \psi(x, y) \quad \text{-----}(1)$$

又、水位変動 η は、(1)式より(2)式で与えられる。

$$\eta = \frac{1}{g} \frac{\partial \phi}{\partial t} \Big|_{z=0} = \frac{H i k c t}{2g} \cosh(kz) e^{ikct} \psi(x, y) \quad \text{-----}(2)$$

ここに、 $k = 2\pi/L$, L = 波長, C = 波速, g = 重力加速度, H = 波高である。

水の運動が非回転であり、速度ポテンシャル ϕ が、Laplace の方程式を満足するとすれば、(1)式より(3)式が導びかれ、それを極座標表示すると、(4)式が得られる。

$$\frac{\partial^2 \psi(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi(x, y)}{\partial y^2} + k^2 \psi(x, y) = 0 \quad \text{-----}(3)$$

$$\frac{\partial^2 \psi(r, \theta)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \psi(r, \theta)}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \psi(r, \theta)}{\partial \theta^2} + k^2 \psi(r, \theta) = 0 \quad \text{-----}(4)$$

これを図-1において、防波堤に沿う境界面で壁面に垂直な流れは0であり、又 $\theta_j = 180^\circ$ で、 r_j が無限に大きいところでは、 $\psi(r_j, \theta_j) = e^{-ikr_j \cos(\theta_j - \theta_1)}$, ($j=1, 2$)であるという2つの境界条件のもとに、(4)式を解くと Penny と Price によって解かれた半無限防波堤に関する回折式が次のように得られる。

$$\text{防波堤1については、} \psi_1(r_1, \theta_1) = f(u_{11}) e^{-ikr_1 \cos(\theta_1 - \theta_1)} + g(u_{21}) e^{-ikr_1 \cos(\theta_1 + \theta_1)} \quad \text{-----}(5)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{ここに、} \quad u_{11} &= 2\sqrt{k r_1} / \pi \sin \frac{\theta_1 - \theta_1}{2} \\ f(u_{11}) &= \frac{1}{\sqrt{2}} e^{i\pi/4} \int_{-\infty}^{u_{11}} e^{-i\pi w^2/2} dw \\ u_{21} &= -2\sqrt{k r_1} / \pi \sin \frac{\theta_1 + \theta_1}{2} \\ g(u_{21}) &= \frac{1}{\sqrt{2}} e^{i\pi/4} \int_{-\infty}^{u_{21}} e^{-i\pi w^2/2} dw \end{aligned} \right\} \quad \text{-----}(6)$$

同様に、防波堤2については、

$$\begin{aligned} \psi_2(r_2, \theta_2) &= f(u_{12}) e^{-ikr_2 \cos(\theta_2 - \theta_2)} \\ &+ g(u_{22}) e^{-ikr_2 \cos(\theta_2 + \theta_2)} \end{aligned} \quad \text{-----}(7)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{ここに、} \quad u_{12} &= 2\sqrt{k r_2} / \pi \sin \frac{\theta_2 - \theta_2}{2} \\ f(u_{12}) &= \frac{1}{\sqrt{2}} e^{i\pi/4} \int_{-\infty}^{u_{12}} e^{-i\pi w^2/2} dw \\ u_{22} &= -2\sqrt{k r_2} / \pi \sin \frac{\theta_2 + \theta_2}{2} \end{aligned} \right\} \quad \text{-----}(8)$$

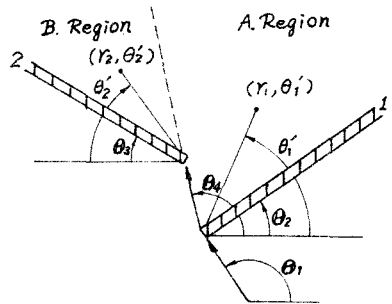


図-1

$$g(u_{22}) = \frac{1}{\sqrt{2}} e^{i\pi/4} \int_{-\infty}^{u_{22}} e^{-i\pi\omega^2/2} d\omega \quad \text{----- (8)}$$

ここで、 $\theta_1 = \theta'_1 - \theta_2$, $\theta_2 = \theta'_2 - \theta_3$, $\delta_1 = \theta_1 - \theta_2$, $\delta_2 = \pi - \theta_4 - \theta_3$ として、防波堤2への入射波は、防波堤2の先端における防波堤1の回折効果 ψ^* を用い、その入射角は両堤端を結んだ直線方向とする。このように考えると、図-1に示す、A領域、B領域は次のように説明でき、(5)、(7)両式を使って、重ね合わせを適用すると次の(9)式、(10)式が得られる。

(i) A領域 — 防波堤1の回折波領域であり、防波堤2の入射波領域である。

$$\begin{aligned} \psi_A(r, \theta) &= f(-u_{11})e^{-ikr_1 \cos(\theta_1 - \delta_1)} + g(-u_{21})e^{-ikr_1 \cos(\theta_1 + \delta_1)} \\ &\quad + \psi^* \{ f(u_{12})e^{-ikr_2 \cos(\theta_2 - \delta_2)} \\ &\quad + g(-u_{22})e^{-ikr_2 \cos(\theta_2 + \delta_2)} - e^{-ikr_2 \cos(\theta_2 - \delta_2)} \} \\ &= R(A) + iI(A) \quad \text{----- (9)} \end{aligned}$$

(ii) B領域 — 防波堤2の回折波領域である。

$$\begin{aligned} \psi_B(r, \theta) &= \psi^* \{ f(-u_{12})e^{-ikr_2 \cos(\theta_2 - \delta_2)} \\ &\quad + g(-u_{22})e^{-ikr_2 \cos(\theta_2 + \delta_2)} \} \\ &= R(B) + iI(B) \quad \text{----- (10)} \end{aligned}$$

ここで、 $\psi^* \{ \}$ は、防波堤1の回折波を元にした防波堤2の入射波、回折波を表す。

以上の結果より、回折波の回折係数 K は、入射波の波高が、 $|\psi(r, \theta)| = |e^{-ikr_2 \cos(\theta_2 - \delta_2)}| = 1$ であるから

$$K = \text{回折波の} |\psi(r, \theta)| = \sqrt{R_\alpha^2 + I_\alpha^2} \quad \text{----- (11)} \quad \alpha: \text{領域を示す添字 (A, B)}$$

によって表わされる。

電算機による計算においては、(9)~(11)の各式を使って、プログラムを組み、X-Yプロッター、及びラインプリンターにより出力させた。尚X-Yプロッターによって書かせた回折係数に、等高線を描いた回折図の一例を写真-1、2に示す。

3. 結果の検討

海の波が半無限防波堤、又は、防波堤開口部に入射した時、湾内の静穏度は入射角が最も大きく影響していた。二重回折領域を生ずる防波堤でも、やはり湾内の静穏度には大きく影響しているのがわかった。しかし、それと並んで両堤端のなす角度の変化が、湾内の静穏度に大きく影響することがわかった。写真-1、2は、両堤端のなす角度が60°と90°の場合について他の条件を同じにして求めた回折図であるが、これから静穏度の変化は、一挙瞭然であると思う。

又、入射角が変化した場合、他の条件を同じにして回折図を作ると前にも述べた通り、静穏度は高まるが、基本的に分布の状態は変わらず、回折図は似たような形となる。ところが、両堤端のなす角度あるいは開口幅が変った場合、回折図(特にA領域)の形は全く違ったものとなる。特に両堤端のなす角度が変った場合、回折図の形の変化に対する影響は大きく、二重回折領域を生ずる防波堤においてこの角度は、湾内の回折現象の最も大きな特徴と考えられる。

4. 参考文献

- ①石原、本間：応用水理学 中II
- ②森平、奥山：“海の波の回折計算法と回折図” 港研資料 NO.21, 1966
- ③高井俊郎：“防波堤開口部に斜めに入射する波の回折図” 港研資料 NO.66, 1969

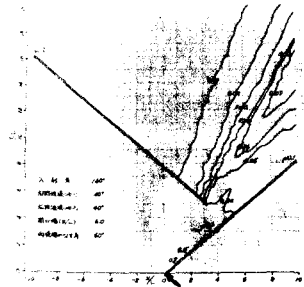


写真-1

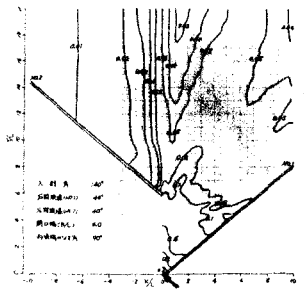


写真-2