

屈折・散乱を考慮した場合の埋立護岸からの反射波高の簡単な推定法

四国建設コンサルタント	正会員 〇川村 勇二
徳島大学工学部	正会員 三井 宏
徳島大学工学部	正会員 越智 裕

1. まえがき: 埋立護岸からの反射波は幾何光学的反射波と散乱波から構成されており, 著者らは一様水深のもとで, それらの波を重ね合わせた近似解により反射波高を求めてきた。しかし, 現地の海岸では水深変化のために波は屈折し, 波高分布も一様水深の場合とかなり違った様相を呈する。従来, 水深変化の影響を考慮した数値計算法が2, 3発表されているが, これらの方法では計算に非常に労力と時間を要するものと思われる。そこで, 本研究では水深変化がある場合にも比較的容易に波高を求めることができるように波を幾何光学的波と散乱波に分離し, それらの波を個々に屈折させた後に重ね合わせて波高を求めようとする。このような考え方に基づいた場合, 散乱波の算定が問題となるのでここでは散乱波の屈折を取り上げその計算法について述べる。

2 散乱波の屈折：こゝでの屈折計算では、隣り合う波向線間のエネルギーフラックスを一定とする基本的な仮定を設け、また計算の簡略化のために、散乱波を決定するのは散乱波発生原点における入射波であるという重要な仮定をする。このような仮定の基で、以下に最も基本的な形状である半無限防波堤を取り上げ、2種類の散乱波の屈折計算法を述べる。

(1) 屈折と散乱を同時に解く方法——波向線間でエネルギーフラックスは一定であることから、一樣水深の海域では防波堤先端を点源とする回折・散乱波の波向線は図-1に示すように発散する。すなわち、第1次極大波高発生地点を示す放物線外部で波向線は直線であるが、その内部では曲線となる。また、入射・反射境界線付近の波向線はほぼ平行であり平面波の性質を示しているが、境界線から離れるにしたがい波向線間隔は放射状に広がり円筒波の性質となる。ところが、このように曲線と直線から成っている波向線を計算するのは困難であるから、基準地点に定める始点 ($r_1/L=3$) と終点 ($r_2/L=100$) を直線で結ぶ。このように、一樣水深における散乱波の波向線を直線と見なせば、平面波の場合と同様な波向線間隔係数方程式が成立する。波向線方向 α および波向線間隔係数 B に関する微分方程式¹⁾は次式のように示される。

$$\begin{aligned}
 \frac{d\alpha}{dt} &= \sin\alpha \frac{dC}{dx} - \cos\alpha \frac{dC}{dy} \quad \text{-----(1)} & \frac{d^2\beta}{dt^2} + p_t \frac{d\beta}{dt} + q_t \beta &= 0 \quad \text{-----(2)} \\
 p_t &= -2 \left(\cos\alpha \frac{\partial C}{\partial x} + \sin\alpha \frac{\partial C}{\partial y} \right) \quad \text{-----(3)} & q_t &= C \left(\sin^2\alpha \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - 2 \sin\alpha \cos\alpha \frac{\partial^2 C}{\partial x \partial y} + \cos^2\alpha \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \right) \quad \text{-----(4)}
 \end{aligned}$$

ここに、 C は座標 (x, y) における波速である。式(2)は2階の常微分方程式であるから、 β を差分法で求めるには β_1, β_2 の2つの初期値を必要とし、言い換えば始点における渡向間隔の広がりも決定しなければならぬ。ただし、 β_1, β_2 は屈折の影響がない地点で求め、 β_2 は $\beta_1=1$ とした場合の此後の伝播位置における渡向線間隔係数である。以下に β_2 の求め方を述べる。 β_2 は図-2に示すように渡向線方向により変化するが、ここでは一例として θ_0 方向の渡向線に対し求める。始点 $r_1/L=3$ における β_1 および散乱波高比 K' と終点 $r_2/L=100$ の散乱波高比 K_0' から終点の β_2 を求めると次式で与えられる。



$$\beta_p' = (K_1'/K_e')^2 \cdot \beta_1 \quad \text{-----} (5)$$

つぎに、始点付近の波速を C_1 とすれば、此後の位置は始点から $C_1 t$ 進み、その位置 x_2 は、 $x_2/L = 3 + C_1 t/L$ となる。ところで、散乱波の波向線は一樣水深の場合、直線と見なしているから、 x_2 地点の B_2 は B_1 と B_0 を比例配分することにより次式で与えられる。

$$\beta_2 = \beta_1 + (\beta_e - \beta_1) \cdot \Delta S / (r_e - r_i) \text{-----} (6) \quad \Delta S = C_1 \cdot \Delta t \text{-----} (7)$$

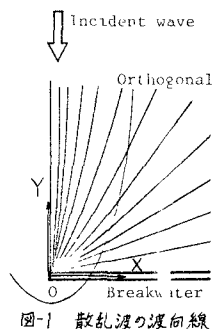


図-1 散乱波の波向線

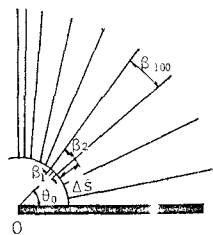


圖-2 初期波向線間隔

また、始点の位相 ω_1 は防波堤先端部に入射した波の位相を ω_0 とすれば次式となる。

$$\omega_1 = \omega_0 + \hat{\alpha}(p, \theta) \text{-----} (8)$$

ここに、 $p_i = r_i r_i$ であり、 $\hat{\alpha}(p, \theta)$ は半無限防波堤に対する散乱項の偏角を表わす。なお、防波堤先端から始点 r_1 までは一様水深と仮定し、また終点 r_n は求める海域の底寸により選定しなければならぬ。このようにして求めた β_1, β_2 を初期値とし、式(2)の差分から求まる β_n より図-3 に示す n 地点の散乱波高比 K'_n および位相は次式で表わされる。

$$K'_n = \sqrt{\frac{C_{g1}}{C_{gn}}} \cdot \sqrt{\frac{\beta_1}{\beta_n}} \cdot K'_1 \text{-----} (9) \quad \omega_n = \omega_1 + \frac{2\pi}{T} \cdot (n-1) \cdot \Delta t \text{-----} (10)$$

(2) 屈折と散乱を別々に解く方法 — 散乱波は一様水深ならば、防波堤先端からの距離 p と防波堤に対する角度 θ により求められる。このことから屈折の場合にも同様に考えると、図-3 のように散乱波の波向線が進行した時、 p は

$$p = \sum_{k=1}^n \frac{2\pi}{L_k} \Delta r_k \text{-----} (11) \quad \Delta r_k = \sqrt{(x_k - x_{k-1})^2 + (y_k - y_{k-1})^2} \text{-----} (12)$$

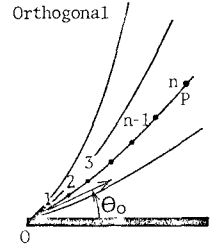


図-3 散乱波の計算位置

で表わされる。ここで求めた p と防波堤先端部における波向線方向 θ_0 を半無限防波堤の散乱波の近似式に代入し、散乱波高比 K'_d を求める。つぎに、散乱波の波向線間隔係数の初期値を $\beta_1 = \beta_2 = 1$ とし、 P 点の β_n を求めると、屈折係数 K'_r は

$$K'_r = \sqrt{\beta_1 / \beta_n} \text{-----} (13)$$

で表わされる。したがって、屈折を考慮した散乱波高比 K' は次式で与えられる。

$$K' = K'_d \cdot K'_r \text{-----} (14)$$

3. 計算結果: 上述の(1)の計算方法の近似精度を検討するため、一様水深における半無限防波堤に対する散乱波高比 K' を計算し、その計算結果を示したのが図-4 で破線は(1)の方法、実線は(2)の方法で求めたものである。ここでは一様水深における散乱波高比であるから屈折係数 K'_r は1となり、(2)の方法で求めた計算結果は半無限防波堤に対する修正近似解²⁾(回折理論)と一致するはずである。図-4 からわかるように、放物線付近およびその内部で両者の値に0.01~0.02程度の相違が見られ、その他の地点ではほぼ一致している。また、その傾向は r/L が変わっても変化しない。このように、(1)の方法は波向線を放物線内部で直線と仮定し計算したにもかかわらず回折理論とよく一致している。

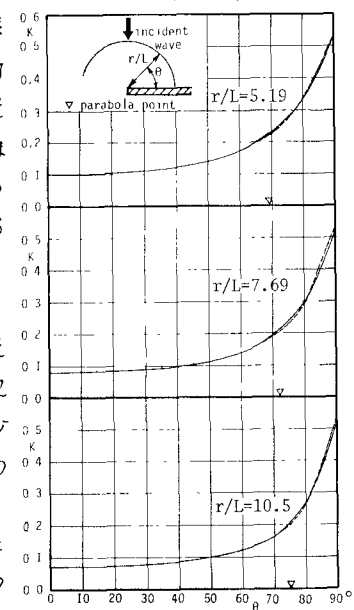


図-4 散乱波高比

4. おさび:

隅角点や防波堤先端などのただ1つの点源から回折・散乱波が発生し、それが屈折して対象地点で幾何光学的波(平面波として屈折)と重なると仮定した場合の波高は、上述した散乱波の計算法を用いれば計算時間が非常に少なくすむものと思われる。ところが厳密には、対象地点での波は入射波のほか、構造物境界を線源(数値計算では点源の集まりに変換)として発生した無数の Green 関数の波が屈折して重なったものと考えてべきである。したがって、このような厳密な計算結果と比較していただくため、以上の計算法の近似精度を明確にすることはできなかった。

参考文献

- 1) Skovgaard, O., I.G. Jonsson and J.A. Bertelson: Computation of wave height due to refraction and friction, ASCE, 1975.
- 2) 三井 宏・川村 勇二: 海岸構造物不連続部の波高分布について(第6報), 第22回海岸工学講演会論文集, pp. 103~107, 1975.
- 3) Baraille, L. and P. Gaillard: Evolution recents des modeles mathematiques d'agitation due a la houle: Calcul de la diffraction en profondeur non uniforme, La Houille Blanche, Vol. 22, No. 8, pp. 861~869, 1967.