

(株) 日水コン 正会員 ○清水康生
鳥取大学 正会員 野田英明

1. 緒言 汀線形状変形モデルである One-line model は現在、実用モデルとして使用されている。しかしながら、モデルの適用にあたっては未だ幾つかの課題を有している。その一つに、離岸堤背後におけるトンボロの形成過程をどのように計算するか、またそれが One-line model で可能であるかといった問題がある。本研究では、この点について従来の離岸堤背後における水深を一定と仮定した回折波理論にかわり Mei¹⁾らの提案した斜面上における波の屈折・回折組合せ理論を適用し、離岸堤背後における漂砂量と海浜変形の算出法を提示するものである。

2. 波の屈折・回折組合せ理論の概要 図-1 に示すように汀線に沿って Y 軸、汀線と直角方向に X 軸を取り、波は微小振幅波とし、点 (x, y) における波の入射角を θ 、局部波数ベクトルを k とすると、速度ポテンシャル Φ は Mei¹⁾らによって次のように与えられている。

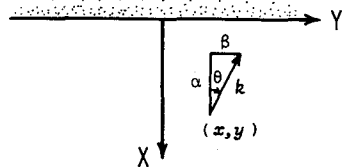


図-1 座標系の説明図

$$\Phi = \phi(\tilde{x}, z) \exp(i(\varepsilon^{-1} \int \tilde{x} \alpha d\tilde{x} + \beta y - \omega t)) \quad (1)$$

ここに、 $\tilde{x} = \varepsilon x$, $\varepsilon = 0(hx/kh) \ll 1$ なる微小量であり、 ω : 周波数, α, β : 波数ベクトル k の X および Y 方向成分である。また、 $\alpha(x) = k \cos \theta$, $\beta = k \sin \theta = k_0 \sin \theta_0$, $k^2 = \alpha^2 + \beta^2$ (2)

$$\text{与えられ、さらに、} \omega^2 = gk \tanh kh \quad (3)$$

である。 k_0 : 深海波の波数, θ_0 : 深海波の入射角である。次に、屈折・回折組合せ理論を説明するために図-2 に示すように $x = L$ に長さ B ($y = -B/2 \sim y = B/2$) の離岸堤を設置し、次式で示される座標変換を行なう。

$$\begin{aligned} \xi &= y - y_0 + \int_{x_0}^x \beta (k^2 - \beta^2)^{-1/2} dx \\ \zeta &= y - y_0 - \int_{x_0}^x \beta^{-1} (k^2 - \beta^2)^{1/2} dx \end{aligned} \quad (4)$$

ここに、 $\xi = \text{const}$ は波峰線を、 $\zeta = \text{const}$ は波向線を与えることになる。

この変換によって式 (1) の Φ は

$$\Phi = D(\xi, \zeta) \phi' \exp(i(\beta \zeta - \omega t)) \quad (5)$$

と変換される。ここに、 ϕ' は屈折に関する速度ポテンシャルである。

一方、離岸堤の影の部分②の回折領域を含む遷移領域では

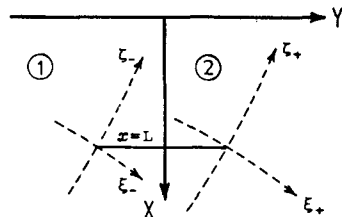


図-2 離岸堤の配置と新座標系

$$D_{\pm} = ((1/2 \pm C(\sigma_{\pm})) + i(1/2 \pm S(\sigma_{\pm}))) \exp(-i\pi/4) / \sqrt{2} \quad (6)$$

$$\text{となり、これより、水面変動 } \eta \text{ は } \eta = A_{\pm} \cos(\beta \zeta_{\pm} - \omega t - \Theta_{\pm}) \quad (7)$$

$$A_{\pm} = a |D_{\pm}| = a (1/2 (1/2 \pm C(\sigma_{\pm}))^2 + 1/2 (1/2 \pm S(\sigma_{\pm}))^2)^{1/2} \quad (8)$$

$$\Theta_{\pm} = (\pi/4) - \tan^{-1} ((1/2 \pm S(\sigma_{\pm})) / (1/2 \pm C(\sigma_{\pm}))) \quad (9)$$

$$\sigma_{\pm} = \xi_{\pm} / (\pi \nu_{\pm})^{1/2}, \nu_{\pm} = \beta^{-1} \int_0^{\xi} \tan^2 \theta d\zeta$$

$$\text{ここに、} S(\sigma) = \int_0^{\sigma} \sin \pi \tau^2 / 2 d\tau, C(\sigma) = \int_0^{\sigma} \cos \pi \tau^2 / 2 d\tau \quad (10)$$

である。ただし、 a : 深海波の振幅, A : 対象点の振幅である。

以上の屈折・回折組合せ理論の実験による検証の結果はすでに報告²⁾したが、理論値と実験値とで良好な一致が認められた。

3. 汀線形状変化モデル 汀線形状の変化を計算するためのモデルは、計算の手順(図-3参照)に従って大きく3つのルーチンに分けることができる。

(1). 屈折計算, 屈折・回折組合せ計算 屈折計算にあたっては、波向線方程式および波向線間隔方程式を用い、水深は計算点周辺の格子点水深より2次曲面を仮定した内挿により求める。屈折・回折組合せ計算は、屈折・回折組合せ理論の仮定に従い一定勾配の断面として取り扱う。以上のような計算を沖側境界より波向線に沿って順次行い、孤立波理論の碎波条件式 $H_b/h_b=0.78$ (H_b : 碎波波高, h_b : 碎波水深) を満足した地点で碎波すると考える。

(2). 沿岸漂砂量の計算 漂砂量式としては次式を用いる。

$$Q = m / (\rho g) \cdot E_b \cdot C_b \cdot \sin \theta_b \cdot \cos \theta_b \quad (11)$$

ここに、 $E_b = \rho g H_b^2 / 8$, $C_b = \sqrt{g h_b}$, $\theta_b = \delta b - \tan^{-1}(\partial x_b / \partial y)$ δb はY軸と入射方向のなす角度である。式中のパラメータmは無次元係数であり本研究では Komar の提案する $m=0.77$ を使用している。上式で与えられる漂砂量Qは一方向からの単一波の場合であるが、離岸堤背後におけるような二方向からの波が重なる場において沿岸漂砂量をどのように算出するかが問題となる。そこで、図-4に示すよう、二方向からの回折波による沿岸漂砂量を重ね合わせることで、計算地点の沿岸漂砂量を算出するものとする。この方法では直角入射波の場合、離岸堤背後中央部において $Q = 0$ となる。

(3). 地形変形計算 地形変形の計算は、次式に示す漂砂の連続式を用いている。

$$\partial x_b / \partial t + 1 / (h_i(1 + \lambda)) \partial Q_y / \partial y \quad (12)$$

ここに、 $Q_y = \int_{x_0}^{x_0+B} Q dx$ h_i : 移動限界水深, B : 漂砂帯幅, λ : 砂の空隙率である。

4. 計算結果 図-5に本研究で作成した汀線形状変化モデルによる計算結果を、図-6に離岸堤背後の水深を一定と仮定し、中央部で $Q = 0$ という境界条件を設けた場合の結果を示す。

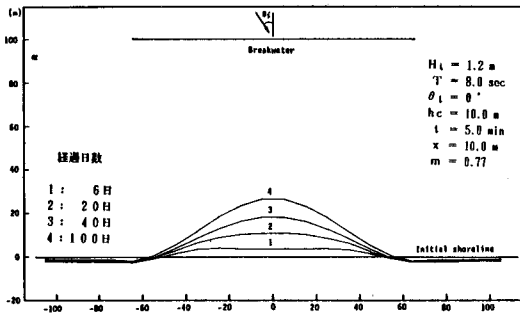


図-5 離岸堤背後の水深勾配が一定

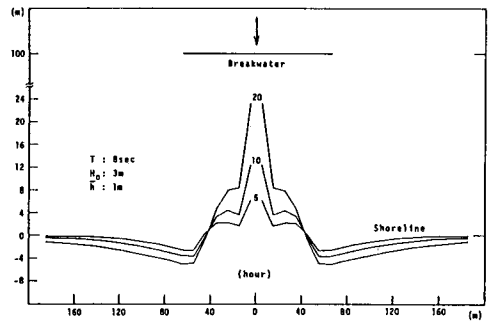


図-6 離岸堤背後の水深が一定

5. 結 語 斜面上における波の屈折・回折組合せ理論を One-line model に適用し、さらに、離岸堤背後における沿岸漂砂量の算出法を工夫することにより、従来のモデルの適用範囲が広まる見通しがついた。今後、本モデルを実験によって検証する必要がある。

- 1) Liu, P.L.F. and Mei, C.C.: Water Motion on a Beach in the Presence of a Breakwater 1. Waves, JGR, Vol. 81, 1976, pp. 3079-3084
- 2) 谷口洋二, 清水康生, 野田英明: 斜面上の波の回折に関する研究, 第35回土木学会中国四国支部研究発表会講演概要集, pp. 190-191

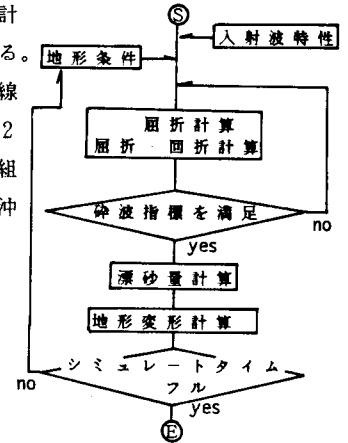


図-3 計算手順

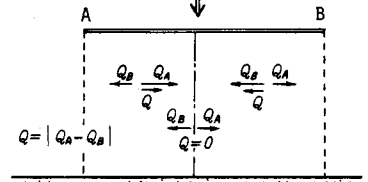


図-4 離岸堤背後の漂砂量計算