

II-352

透過性構造物周辺の波浪変形に対する
放物型方程式の適用性

(株)開発計算センター 正員 定森良夫, 香山真裕
佐藤工業(株) 正員 金子典由, 正員 歌川紀之

1. はじめに

放物型方程式はLiu and Mei(1976) およびRadder(1979)が示して以来, 幾つかの変形されたモデルが提案されている。構造物背後の回折域の計算については, 波向線直交座標系によるものが高い精度を持つことが報告されているが¹⁾, 数値計算には固定座標系を用いる方が便利である。本研究では, 固定座標系について入射角の許容範囲を広げた平口・丸山のモデル²⁾を用いて回折域における適用性について検討した。

検討対象として, 一様水深場に任意の透過率を有する半無限防波堤を設置した場合について数値計算を実施し, Sommerfeldの理論解およびこれを用いた近似解と比較した結果, 一定の条件下では適用可能であること, また, 数値計算法を改良することにより, 構造物背後域を安定して計算できることを示した。

2. 数値計算の方法

(1) 放物型方程式

平口・丸山の示した放物型方程式は x を沖から岸方向, y を汀線平行方向にとると次の通りである。

$$\frac{\partial \phi}{\partial x} = P \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + Q \frac{\partial \phi}{\partial y} + R \phi \quad (1)$$

$$P = \frac{i}{2k_x}, \quad Q = \frac{i}{2k_x} \frac{\partial C C_g}{\partial y} - \frac{k_{y0}}{k_x}, \quad R = i(k_x - k_{x0}) - \frac{1}{2k_x} \frac{\partial k_x}{\partial x} + \frac{i}{2k_x} (k_y^2 - k_{y0}^2) + \frac{1}{2k_x} \frac{\partial C C_g}{\partial x} (k_x \frac{\partial C C_g}{\partial x} + k_{y0} \frac{\partial C C_g}{\partial y}) - f_D \quad (2)$$

$$\phi = \phi e^{-is_0}, \quad s_0 = k_0 (\cos \theta_0 x + \sin \theta_0 y) \quad (3)$$

ここに, ϕ : 速度ポテンシャル, ϕ : 一様水深進行波からの変化分, k : 波数, C : 波速, C_g : 群速度, f_D : 碎波減衰係数, 添字 x, y : 方向成分, 添字 0 : 沖側境界での値である。

(2) 回折域における適用性の検討

回折現象にのみ着目し水深一様場について考えると, 構造物による回折に関する項は式(1)中の P の項のみになる。従って, P に関する項の離散化方法について検討する。離散化格子点 $(i+1/2, j)$ を中心としたときの P 項の差分方程式は, 未知の離散化格子 $i+1$ に対する重みを w とすると以下の様になる。

$$P \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = \frac{P_{i+1/2, j}}{\Delta y^2} \{w (\phi_{i+1, j+1/2} 2\phi_{i+1, j} + \phi_{i+1, j-1/2}) + (1-w)(\phi_{i, j+1/2} 2\phi_{i, j} + \phi_{i, j-1/2})\} \quad (4)$$

ここでは, w を $0.5 \sim 1.0$ の範囲で変化させた場合の差について検討する。計算モデルを図-1に, 計算結果およびSommerfeldの半無限堤回折波理論解の沖側の反射率を 0 としたものを図-2, 3に示す。

重み係数 w を 0.5 としたケースでは解のばらつきが見られ, w が大きくなるにつれて解は安定した。防波堤先端では速度ポテンシャルの曲率が無限大となり, 離散化された式(4)の $\{ \}$ 内右辺第2項が非常に大きな値となるため, この影響度の大きいケースで解のばらつきが見られるものと考えられる。

また, 数値計算では x 方向に差分格子1回進む毎に y 方向に1格子分だけ情報が伝播するので, 防波堤先端で発生した摂動は 45° の範囲内のみに影響を与え, 範囲内では比較的良く理論解に一致している。但し, 回折波が y 方向境界に達すると回折波に対する反射波が発生する。

(3) 透過性構造物に対する適用性の検討

透過性構造物に対する取扱いとして次の2つの方法について検討する。

- ① 構造物への入射波ポテンシャル ϕ に透過率 K_T を乗じたもの ϕ' が透過すると考える方法。

$$\phi' = K_T \phi, \quad \therefore \phi' = K_T \phi \quad (5)$$

- ② 碎波モデルと同様に方程式中に透過率に相当する透過減衰係数 f_T を導入する方法。

碎波減衰係数 f_D の類推から透過減衰係数 f_T を式(2)のRに関する式の右辺から減じる。式(5)と等価な f_T は次式で与えられる。

$$f_T = 2 / \Delta x \cdot (1 - K_T) / (1 + K_T) \quad (6)$$

図-1の半無限防波堤の透過率を0.25, 0.5, 0.75とした時の結果を図-4に示す。重み関数 w は1とした。図中にはSommerfeldの解を用いた近似解³⁾を示したが、両者は回折域の検討と同様に45°の範囲内で良く一致している。また、ここで示した透過率を表現する2種類の方法の結果は完全に一致する。

3. まとめ

固定座標系放物型方程式を、一様水深場に任意の透過率を有する半無限防波堤を設置した場合に適用し、理論解および近似解と比較した。この結果、回折による散乱波の計算が可能な防波堤先端から45°の範囲内では良く一致しており、この範囲外では散乱波成分の影響自体が小さいことを考えると、散乱波の影響が小さい領域では適用可能と考えられる。また、数値計算においてy方向の2階微分項の差分位置を未知数側にとることにより、構造物背後域を安定して計算できることを示した。

本研究の実施に当たり、筑波大学構造工学系西村仁嗣教授に貴重な助言を頂きました。ここに、謝意を表します。

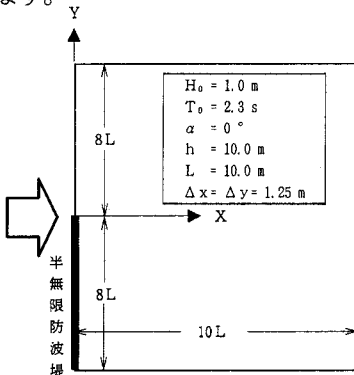


図-1 検討モデル

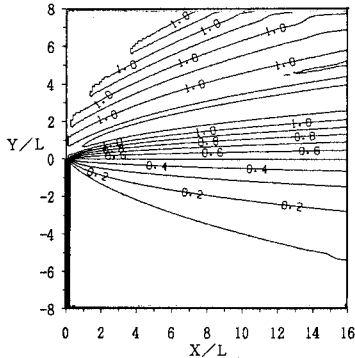


図-2 回折計算結果 (W=1.0)

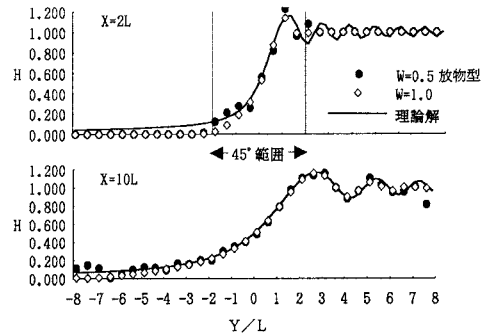


図-3 回折計算結果

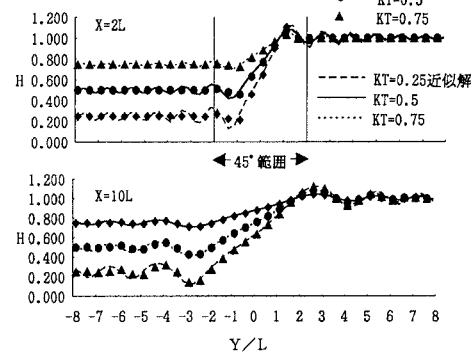


図-4 透過性構造物計算結果

（参考文献）

- (1) 磯部：波向線座標系における放物型方程式を用いた屈折・回折の計算法，海講，1985。
- (2) 平口・丸山：斜め入射に対する放物型方程式の適用性の拡張，海講，1986。
- (3) 酒井・佐藤・他：任意反射率・任意透過率の防波堤による平面的な波浪変形の数値計算，海講，1978。