

任意形状の構造物に作用する波力の解析

東海大学大学院 学生員 〇戸嶋 誠一

東海大学海洋学部 正員 川上哲太郎

同 上 正員 北原 道弘

同 上 正員 長崎 作治

1. 諸言

本研究は、有限水深域における任意形状の構造物に作用する波力および波高を、積分方程式法により算定するものである。本研究で用いた解析手法は、流体に関する境界値問題を積分方程式に変換して解くものであり、井島らは同種の解析法を用いて、波の散乱問題、波圧の算定、浮体の運動解析等、数多くの応用計算を行ない、その有用性を示している。

本研究では特に数値計算例として、近年、注目されている代替自然エネルギーの一つである波エネルギーの利用を考え、遊水部を有する波力発電ケーソンについて計算を行ない、効率よく波エネルギーを封入するため、ケーソンの形状と入射波との関係について検討を行なった。

2. 基礎式および境界条件

領域をFig. 1のように定義する。(I)は無限遠を含む一定水深域、(II)は構造物による波の散乱が顕著な領域、(III)は不透過、固定の構造物である。

領域(I)、(II)の流体については、非圧縮性完全流体であり無渦運動と仮定すると、速度ベクトル $\mathbf{V}$ および基礎式は速度ポテンシャル Φ を用いて次のように表わされる。

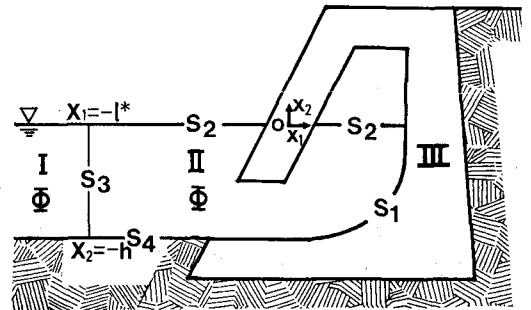


Fig. 1 Definition of region.

$$\mathbf{V} = \nabla \Phi \quad (1) \quad \Delta \Phi = 0 \quad (2) \quad \text{但し、} \bar{\Phi}(x, t) = \text{Re} \{ \Phi(x) e^{-i\omega t} \} \text{ なる定常状態を考える。}$$

流体の自由表面(S_2)および構造物表面(S_1)、海底面(S_4)での境界条件は次のようになる。

$$\frac{\partial \Phi}{\partial x_2} = \frac{\omega^2}{g} \Phi \quad (\text{on } S_2) \quad (3) \quad \frac{\partial \Phi}{\partial n} = 0 \quad (\text{on } S_1, S_4) \quad (4) \quad \text{但し、} n \text{ は外向法線。}$$

領域(I)における速度ポテンシャル Φ^I は次のように表わされる。

$$\begin{aligned} \Phi^I &= \Phi^I + \Phi^r + \Phi^{SI} \quad (\Phi^I: \text{入射}, \Phi^r: \text{反射}, \Phi^{SI}: \text{散乱波ポテンシャルである。}) \\ &= -(a l e^{ik(x_1+l^*)} + a r e^{-ik(x_1+l^*)}) \frac{ig}{\omega} \frac{\cosh k(x_2+h)}{\cosh kh} - \sum_{m=1}^{\infty} a_m^{SI} \frac{ig}{\omega} \frac{\cos k_m(x_2+h)}{\cos k_m h} \cdot e^{k_m(x_1+l^*)} \end{aligned} \quad (5)$$

但し、 ω および k, k_m は次式を満足しなければならない。

$$\omega^2 = g k \tanh kh = -g k_m \tan k_m h \quad (6)$$

また、仮想境界(S_3)上で各領域の速度ポテンシャルは、次の連続条件を満足する。

$$\Phi^I = \Phi^{II}, \quad \frac{\partial \Phi^I}{\partial n} = \frac{\partial \Phi^{II}}{\partial n} \quad (\text{on } S_3) \quad (7)$$

3. 積分方程式による定式化

流体の境界上における速度ポテンシャルの積分表現は次のようになる。

$$C_d \Phi(x) = \int_S \left(G(x, y) \frac{\partial \Phi(y)}{\partial n} - \frac{\partial G(x, y)}{\partial n_y} \Phi(y) \right) dS_y = (G\tilde{\Phi})(x) - (H\Phi)(x) \quad (8)$$

但し、 $\Phi = \Phi^{\pi}$

基本解 G は次のようである。 $G = \frac{1}{2\pi} \log \frac{1}{r} \quad (r = |x - y|) \quad (9)$

また、 C_d は二重層ポテンシャルの外部極限としての自由項であり、境界がなめらかであれば、 $C_d = 1/2$ である。さらに(8)式の積分表現を離散化し、 Φ についてまとめてマトリックス表現すれば次のようになる。

$$\begin{pmatrix} G_1 & G_2 & G_3 & G_4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \tilde{\Phi}_1 \\ \tilde{\Phi}_2 \\ \tilde{\Phi}_3 \\ \tilde{\Phi}_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} H_1 & H_2 & H_3 & H_4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Phi_1 \\ \Phi_2 \\ \Phi_3 \\ \Phi_4 \end{pmatrix} \quad (10)$$

(ここで添字 1~4 は、境界 $S_1 \sim S_4$ の値に対応している。)

(10)式に境界条件(3)、(4)式、連続条件(7)式を導入しまとめれば、問題は次の連立一次方程式を解くことに帰着される。

$$\begin{pmatrix} -H_1 & \frac{\omega^2}{g} G_2 - H_2 & G_3 N_1 - H_3 N_2 & -H_4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Phi_1 \\ \Phi_2 \\ \Phi_3 \\ \Phi_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -G_3 N_3 + H_3 N_4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_3^i \end{pmatrix} \quad (11)$$

4. 数値計算例

まず、計算結果の確認のため、Fig.-2に示すようなモデルについて、反射波および透過波を計算し、Black & Meiの研究結果と比較し、そのFig.-3である。本解析法による結果とBlack & Meiの結果とよく一致していることが判る。次にFig.-4に示すような波力発電ケーソンのモデルについて、遊水部の最大振幅($a^{\max}$)と入射波振幅(a^i)との比 $a^{\max}/a^i$ およびA点におけるモーメント(M)を計算した結果をFig.-5に示す。遊水部において共振が生じているのが判る。なお、数値計算についての詳細は当日会場にて発表する。

