船体運動力学課題 2-6

地球総合工学科　船舶海洋工学科目　08C23031　古賀光一朗

2025 年 11 月 26 日

提出期限：2025 年 11 月 26 日（水）10:30AM

(1)

ストリップ法の概念を、数式を使わずに簡潔に述べなさい。

ストリップ法（Strip Method）とは、細長い船体を長さ方向に多数の 2 次元断面（ストリップ）に分割し、各断面における 2 次元的な流体力を計算して、それらを船長方向に積分することで、船体全体に働く 3 次元的な流体力を近似的に求める手法である。

(2)

船速 U で前進している船体のある断面まわりの 3 次元速度ポテンシャルが次式で表せる。

$$\phi(x) = -\frac{ig\zeta_a}{\omega}\{\varphi_0(x) + \varphi_7(x)\} + \sum_{j=2}^{6} i\omega_e X_j \varphi_j(x)$$

ここで、$\varphi_0(x)$ は入射波ポテンシャル、$\varphi_7(x)$ はディフラクションポテンシャル、$\varphi_j(x)$ はラディエイションポテンシャルを表す。ただし、$j = 3$ は上下運動 (heave)、$j = 5$ は縦運動 (pitch) を表す。ζ_a は入射波振幅 (実数)、X_j は船体運動の複素振幅である。このとき、物体表面条件は次の通りに表せる。①〜③を埋めなさい。

- ディフラクションポテンシャルについて

$$\frac{\partial}{\partial n}(\varphi_0(x) + \boxed{\varphi_7(x)}) = 0$$

- ラディエイションポテンシャルについて

$$\text{Heave} \quad \frac{\partial \varphi_3(x)}{\partial n} = \boxed{n_3}$$

$$\text{Pitch} \quad \frac{\partial \varphi_5(x)}{\partial n} = -(\boxed{x_1} - \frac{U}{i\omega_e})n_3$$

(3)

ストリップ法では、船体の 2 次元断面に作用する 2 次元流体力を船長方向に積分すれば、船体全体に作用する流体力になると考える。ある断面に作用する流体圧力を $p(x)$ として、方向に作用する流体力を計算する式を示しなさい。

船体全体に作用する流体力 F は、各断面に作用する流体力（または圧力の断面積分値）$p(x)$ を船長 L にわたって積分することで得られる。

$$F = \int_L p(x)dx$$

(4)

(3) の考え方に従えば、船速 U で前進している船体に作用する上下方向のディフラクション力は

$$E_3^S = \frac{i\rho g\zeta_a}{\omega}\int_L dx \int_{S_H} n_3(i\omega_e - U\frac{\partial}{\partial x})\varphi_7(x)dl$$

で表される。この式を、入射波ポテンシャル $\varphi_0(x)$ とラディエイションポテンシャル $\varphi_3(x)$(上下運動) を用いて書き換えなさい。

問 (2) で確認した通り、物体表面上において以下の境界条件が成り立つ。

$$n_3 = \frac{\partial \varphi_3}{\partial n}, \quad \frac{\partial \varphi_7}{\partial n} = -\frac{\partial \varphi_0}{\partial n}$$

また、流体ポテンシャルの性質として、積分領域内での順序交換が可能である（$\int \varphi_A \frac{\partial \varphi_B}{\partial n} dl = \int \varphi_B \frac{\partial \varphi_A}{\partial n} dl$）。これらを用いて、式中の φ_7 と n_3 を入れ替えるように変形を行うと、以下のようになる。

$$E_3^S = -\frac{i\rho g\zeta_a}{\omega}\int_L dx \int_{S_H} (i\omega_e - U\frac{\partial}{\partial x})\varphi_3(x)\frac{\partial \varphi_0(x)}{\partial n}dl$$

このように変形することで、散乱波（φ_7）を直接求めなくとも、放射波（φ_3）と既知の入射波（φ_0）のみから波強制力を求めることができる。

(5)

次の図は、典型的な船体の上下運動 (heave) の特性 (周波数応答関数) である。この図の縦軸は何を表すか説明しなさい。また、$\lambda/L = 1.1$ 付近でピークが見られることの最大の要因は何か、$\lambda/L \to \infty$ のとき、縦軸の値はどうなるかを説明しなさい。

- **縦軸の意味**
  縦軸は「Heave Amplitude / ζ_a」であり、入射波振幅 ζ_a に対する船体の上下運動（Heave）の振幅の比（無次元化された振幅）を表している。
- **ピークの最大の要因**
  $\lambda/L = 1.1$ 付近で振幅が大きくなっているのは、波の出会い周期が、船体の上下運動の固有周期と一致するためである。固有周波数近傍では、慣性力（付加慣性力含む）と復原力が釣り合い、減衰力のみが運動を抑制するため、大きな運動振幅が生じる。
- **$\lambda/L \to \infty$ のときの値**
  $\lambda/L \to \infty$ は、波長が船長に対して極めて長い状態を意味する。このとき、船体は波の傾斜や高さの変化にそのまま追従して運動するため、船体の上下変位は波の変位とほぼ等しくなる。したがって、縦軸の値（振幅比）は 1.0 に近づく。