

R C 浮体構造の設計方法に関する研究

名古屋大学 工学部 学生員 ○西村 政洋
 名古屋大学 工学部 正会員 二羽 淳一郎
 名古屋大学 工学部 正会員 田辺 忠顕

1. はじめに

浮遊式の空港、橋梁、発電所等大型構造物を高強度 R C 部材を用いて建造する提案は、10 年以上前からなされてきており、それ程目新しいものではない。しかし、近年比較的簡単に 1000 kgf/cm^2 程度のコンクリートが製造可能となり、これらの浮体構造の実現への期待が大きくなってきた。これらの構造物の設計にあたってのまず第一歩は、波浪など各種外力による断面力の算定である。現在、浮体に作用する波浪外力の解析には、浮体を剛体として扱い、一質点系の運動方程式を解く方法が一般的に用いられている。¹⁾ しかし、国際空港のような巨大な構造物を解析する際には、浮体の曲げ変形をも考慮する必要がある。

そこで、本研究では、有限要素法を用いた曲げ変形を伴う超大型浮体の規則波中の挙動の 2 次元解析について検討することとした。

2. 浮体モデル

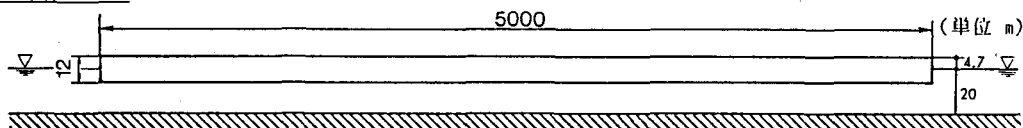


図1 浮上式海上空港縦断面図

「浮上式プレストレストコンクリート製海上空港に対する構想」²⁾で提案された図1のようなものを終局的なターゲットにしながら、一定水深海域においての浮体と波浪の連成解析の定式化を行う。

3. 有限要素法による定式化

(1) 浮体の波浪応答解析

浮体は、 $z = -z_0$ でたわみ $w = 0$ となる梁で近似し、鉛直方向変位のみを考え、振動は微小で周期的とすると、運動方程式は式(1)で与えられる。

$$EI \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} - \rho_H A \omega^2 w = \rho g(z_0 - w) + i \rho \omega \phi(x) \quad (1)$$

ただし、 A : 浮体の断面積、 ρ_H : 浮体の密度、 ρ : 水の密度、 E : 浮体のヤング率、 I : 浮体の断面 2 次モーメントを表す。

浮体を要素に分割し、要素ごとに両端のたわみ、たわみ角を未知量として、剛性マトリックス $[k]$ 、質量マトリックス $[m]$ 、静水圧による外力ベクトル $\{q\}$ 、たわみによる静水圧の変化に対応するマトリックス $[Q_0]$ 、波浪による外力に対応するマトリックス $[Q_1]$ を求め、全体系に合成することにより、各節点のたわみ、たわみ角、速度ポテンシャルに関する次のような連立方程式が得られる。

$$([K] + [M] - [Q_0])\{w\} + [Q_1]\{\phi\} = \{q\} \quad (2)$$

(2) 流れ場の解析

流体力の解析においては、一般に、固定浮体に入射波が作用する場合の解析である Diffraction 問題と、静水中で浮体が 6 成分の正弦運動をする場合の Radiation 問題とに分けて解析する方法が一般的に使われるが、本研究では、両者を一括して動揺浮体に入射波が作用する場合の解析を行う。

流体は、非粘性、非圧縮、非回転で、波は微小振幅波とし、速度ポテンシャル ϕ の存在を仮定すると、散乱波の速度ポテンシャル $\phi_{(x,z,t)}^S$ 、浮体のたわみ $w_{(x,t)}$ に関する基礎方程式は式(3)~(8)のようになる。

$$\frac{\partial^2 \phi^S}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi^S}{\partial z^2} = 0 \quad (\text{in } \Omega) \quad (3)$$

$$\frac{\partial \phi^S}{\partial z} = \frac{\omega^2}{g} \phi^S \quad (\text{on } S_F) \quad (4)$$

$$\frac{\partial \phi^S}{\partial z} = 0 \quad (\text{on } S_B) \quad (5)$$

$$\frac{\partial \phi^S}{\partial z} = -\frac{\partial \phi^I}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial t} \quad (\text{on } S_{H1}) \quad (6)$$

$$\frac{\partial \phi^S}{\partial x} = -\frac{\partial \phi^I}{\partial x} \quad (\text{on } S_{H2}) \quad (7)$$

$$\frac{\partial \bar{\phi}^S}{\partial x} \mp ik \bar{\phi}^S \sim 0 \quad (\text{as } kx \rightarrow \pm\infty) \quad (8)$$

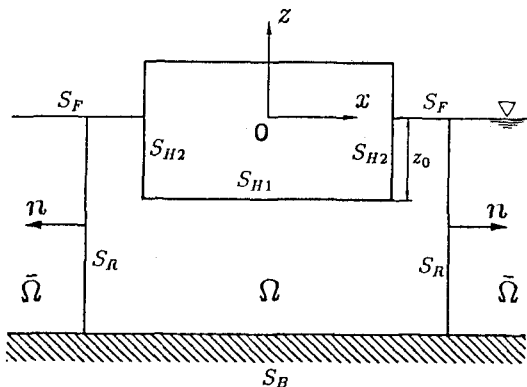


図2 記号の定義

ただし、 ϕ^I : 入射波の速度ポテンシャル、 k : 波数、 ω : 角周波数、 g : 重力加速度、 $\bar{\phi}^S$: 外部領域における散乱波の速度ポテンシャルを表す。

仮想境界 S_R の外部を直交正規関数系による解析表示³⁾、内部を有限要素近似し、 S_R 上において式(9)の連続条件を課す。

$$\phi^S = \bar{\phi}^S, \quad \frac{\partial \phi^S}{\partial n} = \frac{\partial \bar{\phi}^S}{\partial n} \quad (\text{on } S_R) \quad (9)$$

式(1)~(7)に対応し、汎関数は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} J(\phi, \bar{\phi}) = & \frac{1}{2} \int_{\Omega} (\nabla \phi)^2 dx dz - \int_{S_F} \frac{\omega^2}{2g} \phi^2 dx - \int_{S_{H1}} \left(\frac{\partial w}{\partial t} - \frac{\partial \phi^I}{\partial z} \right) \phi^S dx \\ & + \int_{S_{H2}} \frac{\partial \phi^I}{\partial x} \phi^S dz + \int_{S_R} \left[\left(\frac{1}{2} \bar{\phi}^S - \phi^S \right) \frac{\partial \bar{\phi}^S}{\partial n} - \frac{1}{2} \bar{\phi}^S \frac{\partial \phi^I}{\partial n} \right] dz \rightarrow \text{stationary} \end{aligned} \quad (10)$$

次に、要素内の未知量 ϕ^S を形状関数 N_i と、各節点上の未知パラメーター ϕ_i を用いて近似することにより定式化が行われ、各節点における速度ポテンシャルとたわみに関する次のような形の連立方程式がえられる。

$$[R]\{\phi\} + [V]\{w\} = \{f_i\} \quad (11)$$

ここで、 $\{\phi\}^T = [\phi_1 \ \phi_2 \ \phi_3 \ \dots]$ 、 $\{w\}^T = [w_1 \ w'_1 \ w_2 \ w'_2 \ \dots]$ 、 $\{f_i\}$ は入射波による外力ベクトルを表す。

式(2)および(11)から、各節点の速度ポテンシャル、たわみ、たわみ角が求まり、動揺量や外力を算定することができる。

実際の数値解析については、当日発表する予定である。

<参考文献>

- 1) 今井, 利穂: 浮体動揺解析の現況、鹿島建設技研年報第33号、pp.49-56、1985
- 2) 海洋構造物委員会: 浮上式プレストレストコンクリート製海上空港に対する構想、プレストレストコンクリート Vol 21, No 6, pp.23-43, 1979
- 3) C. C. Mei and H. S. Chen: A Hybrid Element Method for Steady Linearized Free-surface Flows, Int. J. Num. Meth. Eng. Vol 10, pp.1153-1175, 1976