

大型浮体構造物の連成振動解析

名古屋大学 工学部 学生会員 ○田中 小百合
 名古屋大学 工学部 正 会員 田辺 忠顕

1. はじめに

近年、土地収用問題の打破と良質な生活環境の演出のため、新空港の立地場所として、海上立地もかなり有力な案になりつつある。海上空港の構造形式として埋立式と浮体式が考案されているが、大型浮体構造物の解析手法が確立されていないため、実際には埋立式に頼らざるおえないのが現状である。今までに、西村ら¹⁾は、有限要素法を用いた浮体構造物の流体浮体連成曲げ振動解析を行い、より実際に近い解を出しているが、その手法は、計算時間の問題から、大型構造物への適用は不可能と思われる。そこで、本研究では、浮体構造を2次元問題として扱い、自由度を減らすことを主眼として、同一節点における流体と浮体の節点量が異なることを利用した新たな有限要素法の定式化を行い、大型構造物への適用について検討する。

2. 有限要素法による定式化

(1) 流れ場の解析

流体は、非粘性、非圧縮、非回転で、波は微小振幅波とし、速度ポテンシャルの存在を仮定すると、散乱波の速度ポテンシャル ϕ に関する問題は Laplace方程式の境界値問題に帰着される。境界条件として、水表面 S_f における運動学的・力学的条件、水底面および浮体底面 S_{H1} 、浮体側面 S_{H2} における不透過条件、無限遠方における放射条件が課せられる。本研究では、MeiらによるHybrid法を用いて定式化を行い、浮体近傍に設けた鉛直な仮想境界 S_R の内部領域 Ω での有限要素近似解と放射条件を満たす外部解とを仮想境界上で接続することより次の変分方程式が得られる。

$$-\int \int_{\Omega} \left(\frac{\partial \phi}{\partial x} \cdot \frac{\partial \delta \phi}{\partial x} + \frac{\partial \phi}{\partial z} \cdot \frac{\partial \delta \phi}{\partial z} \right) d\Omega + \frac{\omega^2}{g} \int_{S_f} \phi \cdot \delta \phi dS + \int_{S_{H1}} \left(-\frac{\partial \phi^I}{\partial n} + \frac{\partial w}{\partial t} \right) \delta \phi dS \quad (1)$$

$$-\int_{S_{H2}} \frac{\partial \phi^I}{\partial n} \delta \phi dS + \int_{S_R} \frac{\partial \bar{\phi}}{\partial n} \delta \phi dS = 0$$

$$\int_{S_R} (\phi - \bar{\phi}) \frac{\partial \bar{\phi}}{\partial n} dS = 0 \quad (2)$$

ただし、X軸は水平方向（右向きを正）、Y軸は鉛直方向（上向きを正）にとる。ここで、 ϕ^I ：入射波の速度ポテンシャル、 ω ：角周波数、 g ：重力加速度、 $\bar{\phi}$ ：外部領域における散乱波の速度ポテンシャルを表す。

(2) 浮体の波浪応答解析

矩形浮体を扱い、これを鉛直方向変位のみを伴う水平な梁で近似し、振動は微小で周期的とすると、運動方程式は式(3)で与えられる。

$$EI \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} - \rho_H A \omega^2 w = \rho g (z_0 - w) + i \rho \omega \phi(x) \quad (3)$$

ここで、 E ：浮体のヤング率、 I ：浮体の断面2次モーメント、 w ：鉛直方向のたわみ、 A ：浮体の断面積、 ρ_H ：浮体の密度、 ρ ：水の密度、 z_0 ：浮体の喫水を表す。

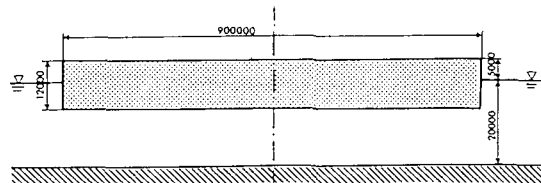


図-1 解析対象モデル

(3) 離散化手法

流体要素内の未知量 ϕ を形状関数と各節点での速度ポテンシャルで近似し、浮体要素内の未知量 w は形状関数と各要素の両端におけるたわみ、たわみ角で近似することにより、式(1)～(3)から速度ポテンシャルとたわみ、たわみ角の連立方程式を得ることができる。

ここで、(1)式の $\int_{S_{H1}} (-\partial\phi^I/\partial n + \partial w/\partial t) \delta\phi dS$ の項と、(3)式の右辺 $i\rho w\phi(x)$ の項の離散化を行う時に、 ϕ と w が互いに独立なのを利用して自由度を減らす工夫をしている。

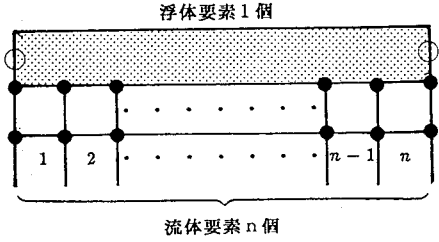


図-2 要素分割図

表-1 要素分割方法

	流体要素数	浮体要素数	浮体要素長(mm)	n
Case 1	368	60	15000	1
Case 2	368	20	45000	3
Case 3	368	12	75000	5

3. 数値解析例

(1) 解析モデル

浮体と流体との境界面 S_{H1} においては、浮体側の自由度は鉛直方向変位 w であり、流体側の自由度は速度ポテンシャル ϕ であるから、その境界において同一位置に自由度を取る必要は理論上全くない。そこで本研究では、図-1に示す長さ900mの浮遊式構造物に対して、流体の要素分割を一定にした状態で、浮体の要素分割を表-1に示す3通りの方法で行い浮体の要素分割方法が浮体部分の断面力(曲げモーメント)に対して及ぼす影響について解析した。

(2) 解析結果

図-1に示す解析モデルに、波高 1m で、波長を3通り($L=105m, 344m, 582m$)に変えた微小振幅波をx軸の正の方向から入射させたときに、浮体の断面に作用する曲げモーメントの解析結果を図-3a～3cに示す。この図からあきらかにCase 1からCase 3の要素分割方法において、どの波長においても解析結果に大きな差異はみられなかった。よって、波長に関係なく、浮体部分においてある程度の要素数を確保すれば、浮体部分の要素分割方法が解析結果に与える影響を抑えることができると考えられる。本研究では、1節点にたわみとたわみ角の2個の変量を定義しているため、Case 2とCase 3はCase 1より自由度をそれぞれ80度と96度減らすことができる。それにもかかわらず、曲げモーメントに与える影響がほとんどないことから、大型構造物にこの手法を適用することは、有用であると思われる。また、今後この解析手法を3次元問題へ適用するときに、よりこの手法の利点が発揮されるであろう。

<参考文献>

1) 西村 政洋：規則波による浮体構造の曲げ振動に関する研究、1990年度名古屋大学卒業論文

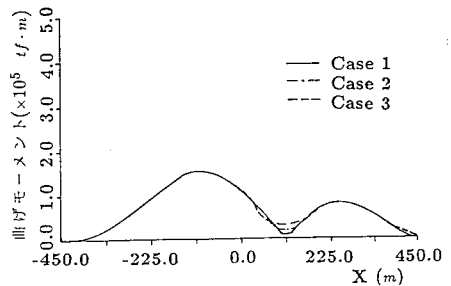


図-3 a 曲げモーメント図 ($L = 105m$)

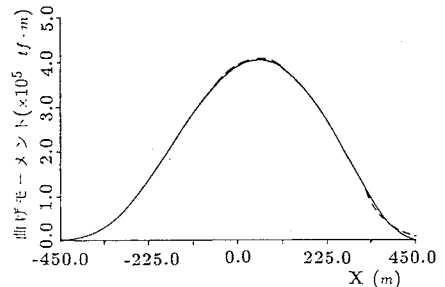


図-3 b 曲げモーメント図 ($L = 344m$)

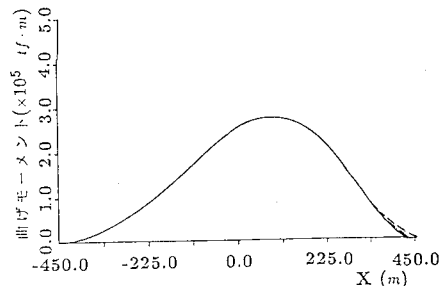


図-3 c 曲げモーメント図 ($L = 582m$)