土木学会第45回年次学術講演会（平成２年９月）

II-279　F.E.M.による浮体構造の曲げ振動解析

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ＲＣ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1000kgf/cm^{2}程度のコンクリートが製造可能となり、これらの浮体構造への適用の可能性が大きくなってきた。浮遊式構造物の設計にあたっての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、６自由度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、国際空港のように水平方向に大きな広がりを持つ構造物の解析には、浮体を単に剛体として扱うのではなく、曲げ変形をも含めたより実際に即した動揺を考える必要がある。

そこで、本研究では曲げ変形を伴う超大型浮体の有限要素法を用いた２次元解析法を提案する。

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、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，水底面および浮体表面S_{H1}，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[2]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により次のような変分方程式を得た。

$$-\int\int_{\Omega}\left(\frac{\partial\phi}{\partial x}\cdot\frac{\partial\delta\phi}{\partial x}+\frac{\partial\phi}{\partial z}\cdot\frac{\partial\delta\phi}{\partial z}\right)d\Omega+\frac{\omega^2}{g}\int_{S_F}\phi\cdot\delta\phi dS+\int_{S_{H1}}\left(-\frac{\partial\phi^I}{\partial n}+\frac{\partial w}{\partial t}\right)\delta\phi dS-\int_{S_{H2}}\frac{\partial\phi^I}{\partial n}\delta\phi dS+\int_{S_R}\frac{\partial\bar{\phi}}{\partial n}\delta\phi dS=0 \tag{1}$$

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

ただし、ｘ軸は水平方向，ｚ軸は鉛直方向にとり、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。

次に、要素内の未知量ϕを形状関数と各節点での未知速度ポテンシャルを用いて近似することにより、各節点における速度ポテンシャルとたわみ，たわみ角に関する連立方程式が得られる。

（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。

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

ただし、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。

つぎに浮体を要素に分割し、たわみ曲線を各要素の両端におけるたわみ，たわみ角および形状関数を用いて近似することにより定式化が行われ、各節点でのたわみ，たわみ角，散乱波の速度ポテンシャルに関する連立方程式が流れ場の解析同様に得られるので、両者を連成させて解けば未知量を求めることができる。

３．数値計算例

（１）鉛直方向動揺量

本解析法の妥当性を検討するため、浮体の曲げ剛性を大きくして計算を行い、浮~~体を剛体として~~扱った井島らによる領域分割法[3]との重心の鉛直方向動揺量の比較を行った。図１に結果を示したが、両者は大体において一致している。

つぎに、図２に示すような浮遊式構造物の曲げ振動を考慮した場合の鉛直方向動揺量を計算した。図３は３種類の曲げ剛性についての計算結果である。これによると、波長の短い波に対しては曲げ剛性を低くすると動揺量が大きくなるので正しく曲げ剛性を評価せずに剛体として計算を行えば動揺量を過小評価することになり注意が必要である。

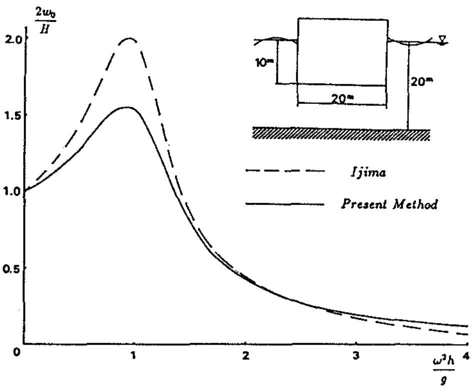

図１　鉛直方向動揺量

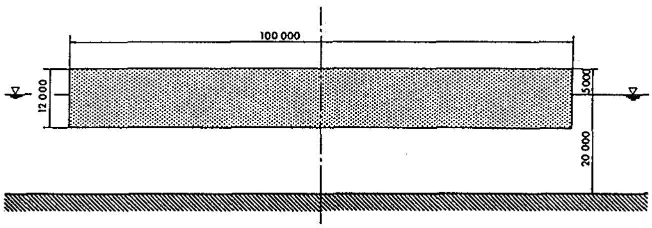

図２　曲げ振動解析モデル

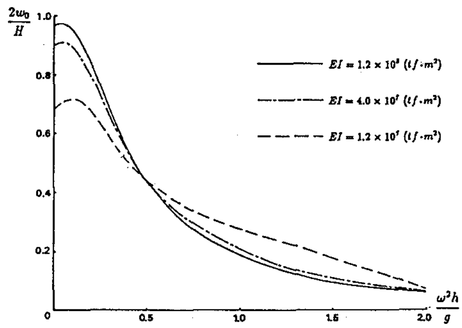

図３　鉛直方向動揺量

（２）断面力

図２のモデルの各断面に作用する曲げモーメントおよびせん断力の最大値を３通りの波長について計算した結果を図４および図５に示す。横軸は浮体中央を原点とする水平距離である。

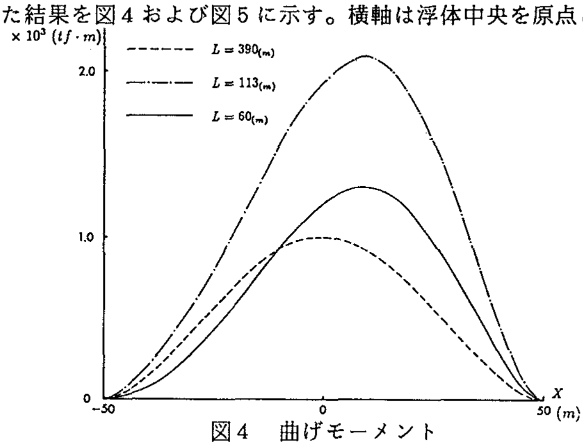

図４　曲げモーメント

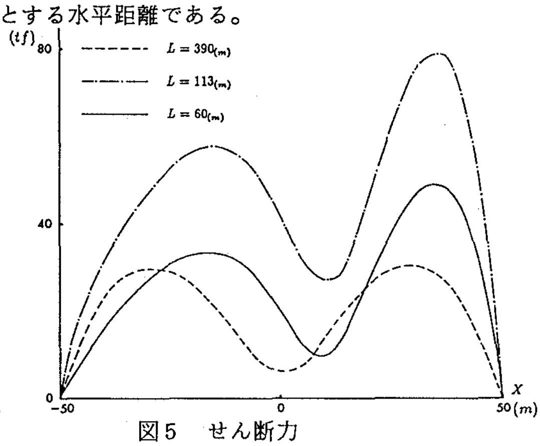

図５　せん断力

<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)C.C.Mei and H.S.Chen:A Hybrid Element Method for Steady Linearlized Free-surface Flows、Int. J. Num. Meth. Eng. Vol 10、pp.1153-1175、1976

3)井島，田淵，湯村：有限水深の波による矩形断面物体の運動と波の変形、土木学会論文報告集第202号、pp33-48、1972