

I - 472

FEM-BEM結合解法による大型弾性浮体の波力応答解析

新日本製鐵（株） 正員 林 伸幸 京都大学工学部 正員 渡邊 英一
 関西大学総合情報学部 正員 古田 均 京都大学工学部 正員 杉浦 邦征
 京都大学工学部 正員 宇都宮智昭

1.はじめに

浮体式海洋構造物は、海上空港のような大型のものが実現に向けて検討を重ねられ、研究されつつある。これらの構造物は、海洋の特定の場所に長期間係留され、常に波浪や風による厳しい自然外力を受けるため施設としての機能性や安全性を検討する上で、特に波浪による応答特性を推定することは極めて重要である。さらに、大規模な浮体になると構造物の高さに比べ、水平面内の寸法が大きくなるため相対的な剛性が低下する。そのため大型浮体では剛体運動に加えて、構造物自体の弾性変形による影響も重畳される。一般的に波浪中の浮体動揺解析では、物体を剛体とみなして解析を行っているが、大型浮体ではこの弾性変形の影響を無視することができないと思われる。そこで本研究では、二次元の任意形状に対応できる波力応答解析プログラムを開発し、ポンツーン型浮体を対象として弾性変形を考慮したうえで波力応答を解析し、応答及び断面力(曲げモーメント、せん断力)に及ぼす剛性の影響を調べた。

2.解析理論

浮体の波浪中動揺における研究は、理論的には速度ポテンシャルに関する境界値問題として定式化され、算定が複雑なものは浮体の動揺により発生する造波抵抗力(付加質量力、造波減衰抵抗力)となる造波ポテンシャルである。剛体に対する造波ポテンシャルは、ある運動自由度方向に単位速度振幅を有する強制振動を与えたとき没水浮体表面に生じるポテンシャルである。これを弾性体に応用すると、個々の節点に単位速度振幅を与えたとき没水浮体表面に生じるポテンシャルをそれぞれ求めることに相当する。N自由度の独立した運動に対して全速度ポテンシャル Φ は以下のように表される。

$$\Phi = \Phi_0 + \Phi_d + \sum_{q=1}^N \dot{s}_q \phi_q$$

ここに Φ_0 、 Φ_d 、 ϕ_q はそれぞれ入射波、回折波および造波ポテンシャル、また $\dot{s}_q$ は物体運動の速度である。本研究では、没水浮体境界にグリーンの定理及びグリーン関数を用いた境界要素法(BEM)⁽¹⁾⁽²⁾により造波ポテンシャルを求め、浮体に有限要素法(FEM)を用い、流体-構造物系の相互作用(造波抵抗力)を考慮して、波力応答を解析している。ここで、FEM-BEMの両者に線形要素を用いれば、節点間の速度分布は一義的に決定され、適合条件における整合性を満足する。なお、運動方程式は以下のようなになる。

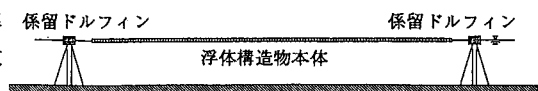


図1 浮体全体図

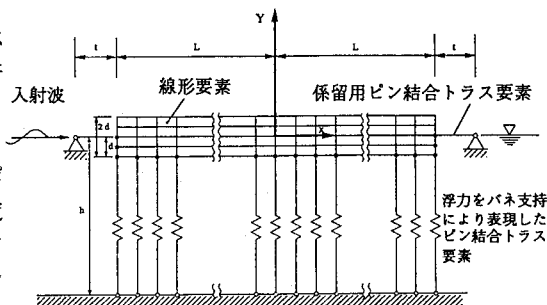


図2 解析モデルとその要素分割

(●は没水浮体部のFEM・BEM共通接点)

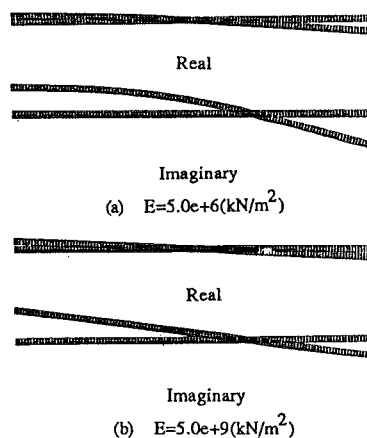


図3 変形図(kh=1.0)

$$(\mathbf{M} + \mathbf{M}_a)\ddot{\mathbf{s}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{s}} + \mathbf{K}\mathbf{s} = \mathbf{F}_0$$

ここに、 $\mathbf{M}$, $\mathbf{M}_a$, $\mathbf{C}$, $\mathbf{K}$ はそれぞれ質量、付加質量、造波減衰抵抗、剛性マトリクス、 $\mathbf{F}_0$ は強制波力ベクトルで、 $\dot{\mathbf{s}}$, $\ddot{\mathbf{s}}$, $\mathbf{s}$ は物体運動の加速度、速度、変位である。本手法によれば弾性浮体の解析にFEMを採用するため、剛体変位モードが自然に取り込まれ、かつ任意形状に対応できる。また流体域も解析にグリーン関数を用いるBEM手法を採用するため、流体域までの要素分割が不要である。

3. 数値解析例

図1に浮体の概略図、図2に解析モデルの要素分割を示す。浮力変動はバネ支持により表現する。浮体モデルの寸法は全長300m、厚さ5m(喫水2.5m)、水深 h は20mである。弾性浮体は480の線形要素(4×120)に分割した。解析は水深 h により無次元化して行う。入射波は定常な微小振幅波とする。図3に無次元化波数 $kh=1.0$ (k :波数)の時の変形図(最大変位で正規化して表示)を示す。(a)は実際の断面を想定した標準のヤング率 E に対するもので、(b)は剛体とみなせるものである。図4に kh の変化による重心の鉛直応答変位を示す。図5に $kh=1.0$ の時の曲げモーメント分布の絶対値を示す。剛体として扱った場合は過大評価(差は約13%)をしているのがわかる。図6に kh の変化による最大曲げモーメントの絶対値を示す。 $kh=1.5$ より高周波側では、剛体解析は危険側の評価を与えている。また図7には浮体長900mのモデルによる曲げモーメント分布の絶対値($kh=1.0$)を示す。分布の様子は剛性により大きく異なり、その最大値は剛体によるものが弾性体 비해約44%の過大評価をしているのがわかる。

4. 結論

- (1)剛体に対する理論の自然な拡張により弾性浮体の二次元任意形状波力応答解析プログラムを作成した。
- (2)全長300m及び900mのポンツーン型浮体の波力応答解析において、弾性変形の影響を生じることが確認された。
- (3)浮体が大規模になる程、剛性の影響が相対的に大きくなるため、弾性変形を考慮した解析は不可欠であると考えられる。

参考文献

- 1) 清川哲志, 大山巧, 小林浩: グリーン関数法による任意形状浮体の動揺解析, 土木学会論文報告集332号, pp.55-65, 1983.4.
- 2) Laitone, E.V. and Wehausen, J.V.: Surface waves, Encyclopedia of Physics, ed. S.Flugge, Fluid Dynamics 3, Springer-Verlag, pp.446-778, 1960.
- 3) Clauss, G. Lehmann, E. and Ostergaard, C.: OFFSHORE STRUCTURES VOLUME I, Conceptual Design and Hydromechanics, Springer-Verlag, 1992.

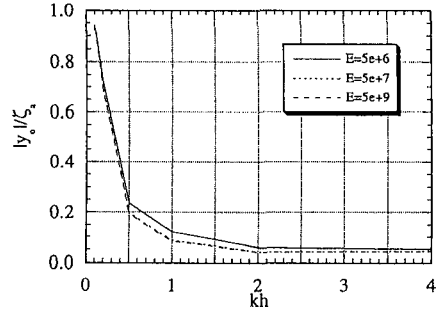


図4 重心の鉛直変位

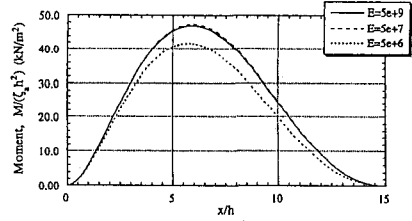


図5 曲げモーメント分布の絶対値($kh=1.0$)

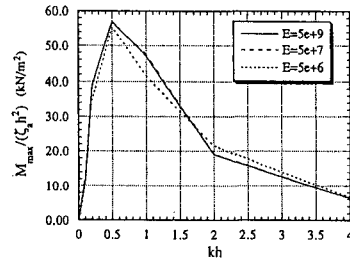


図6 最大曲げモーメントの絶対値

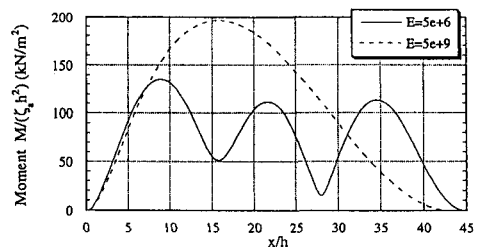


図7 曲げモーメント分布の絶対値($kh=1.0$)