

II - 353

流体・構造物系の動的相互作用を考慮した大型弾性浮体の波浪応答解析

清水建設（株） 正員○岡村 謙作 京都大学工学部 正員 渡邊 英一
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

現在、沿岸海洋空間の新しい利用手段の一つとして大型浮体式海洋構造物が注目を浴びている。その実用化のためには、この形式の構造物の波浪に対する応答特性を精度良く求めることができる解析法の確立が不可欠である。特に大型浮体では、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し、剛体運動に加えて構造物自体の弾性変形による影響が強く現れると考えられる¹⁾。そこで本研究では、断面2次元の任意形状に対応できる波浪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浮体自身の弾性変形を考慮した上で波浪応答解析を行い、この形式の構造物の応答特性（変位・断面力）を精度良く求めることを目的とする。また水深の応答に及ぼす影響についても論じる。

2.解析理論

浮体の波浪中動揺に対する問題は、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、浮体が受ける流体力は速度ポテンシャルから求められる。本研究では、線形回折波理論に基づく解析を行う。この時N自由度の独立した運動に対して全速度ポテンシャルは以下のように表される。

$$\Phi_{total} = \Phi_0 + \Phi_d + \sum_{j=1}^N \dot{s}_j \phi_j$$

ここに Φ_0 、 Φ_d はそれぞれ入射波及び回折波に対する速度ポテンシャルであり、また ϕ_j は、物体運動速度 $\dot{s}_j$ の単位速度振幅に対する造波ポテンシャルである。本研究では、浮体没水表面に作用する流体力を基本解を用いた境界要素法（BEM）により解析し、浮体部の応答解析には有限要素法（FEM）を用いることにより、流体・構造物系の動的相互作用（浮体の動揺により発生する造波抵抗力）を考慮して、波浪応答を解析する。この時浮体の弾性変形を考慮した造波ポテンシャルは各節点に単位速度振幅を与えたときに浮体没水表面に生じるポテンシャルを求めることに相当する。造波ポテンシャルが求められれば、線形化バルヌーイの適用により付加質量・造波減衰抵抗が剛体の動揺解析の場合と同様に求められる。結局、運動方程式が以下のように求められる。

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

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

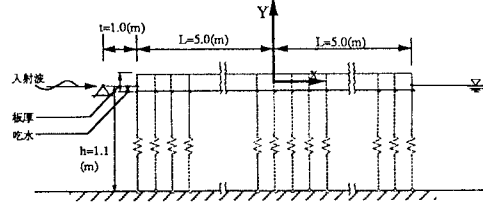


図1 解析に用いたモデルの諸元

呼称	長さ (m)	板厚 (mm)	喫水 (mm)	比重
A	10	76	16.72	0.22
B	10	38	8.36	0.22
C	10	19	4.18	0.22

ヤング率E=103MPa

解析ケース	周期 T(sec)	周波数 f(Hz)	波長 λ(m)	波長比 L/λ
T06	0.60	1.667	0.562	17.79
T07	0.70	1.429	0.765	13.07
T08	0.80	1.250	0.999	10.01
F09	1.111	0.90	1.923	5.20
F06	1.667	0.60	4.06	2.14
F35	2.86	0.35	8.53	1.172

要素分割数：浮体底面200分割
要素分割長：0.05m
無限境界までの距離：2.5m

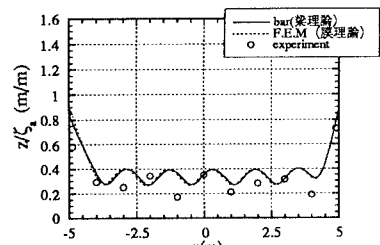


図2 応答変位振幅 (f=0.9Hz)

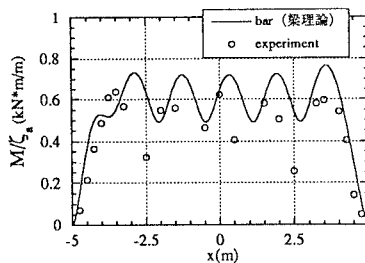


図3 応答曲げモーメント (f=0.9Hz)

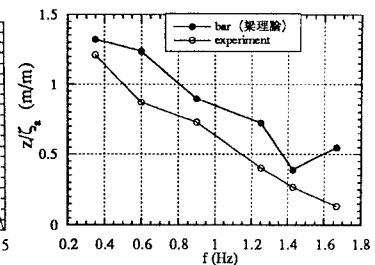


図4 最大応答変位

性マトリクス、 $\mathbf{F}_0$ は強制波力ベクトルで、 $\ddot{\mathbf{s}}, \dot{\mathbf{s}}, \mathbf{s}$ は物体運動の加速度・速度・変位である。これを周波数領域で解析し、浮体の応答変位 $\mathbf{s}$ が求められる。本手法によれば、浮体部にFEMを採用するために任意形状に対応でき、また流体力の解析に関しても基本解を用いたBEMを採用することで境界積分方程式の取り扱いが簡単となる。

3. 数値解析例

作成したプログラムによる解析結果を、新日本製鐵(株)鉄鋼海洋事業部で実施された実験の結果²⁾と比較する。想定実機は長さ5000m、幅1000m、高さ4.5mの鋼製箱形浮体とする³⁾。実験及び解析は想定実機の1/100スケールを基準にモデル寸法を決定した。実験模型の寸法、解析ケースを表1,表2に示す。また、解析モデルを図1に示す。解析においては、浮体の長さ方に200分割するものを基準とした。またBモデルに関して応答変位振幅の分布を図2に、応答曲げモーメント振幅の分布を図3に、最大応答変位の周波数による変化を図4に、最大応答曲げモーメントの周波数による変化を図5示す。いずれも、単位片振幅波高に対する振幅値である。これらの結果より、本解析が実験結果を精度よく再現していることがわかる。Aモデル、Cモデルに対しても同様に良好な結果が得られている。

さらに、水深の応答に及ぼす影響を解析により調べた。パラメータは水深 h であり、これを $h=2.0, 1.1, 0.5, 0.2(\text{m})$ に設定した。入射波の周波数 $f=0.9(\text{Hz})$ に対する応答変位を図6に、曲げモーメントを図7に、最大応答変位を図8に、最大曲げモーメントを図9に示す。図より、最大応答変位・最大曲げモーメントともに水深が浅くなるほど増大することがわかる。特に、曲げモーメントにおいて水深の影響が強く現れており、その原因は図6及び図7において見られる通り、応答のモード形状によるものと考えられる。

4. 結論

(1) 本研究で開発したプログラムは実験結果を精度良く再現した。従って、本プログラムは、大型弾性浮体の応答特性を知る上で非常に有効であると言える。
(2) 水深が浅くなるほど最大応答変位・最大曲げモーメントともに増大する傾向を示し、特に曲げモーメントにおいて水深影響が顕著である。

参考文献

- 1) 林伸幸：FEM-BEM結合解法による大型弾性浮体の波力応答解析, 京都大学修士論文, 1994
- 2) 太田英美, 関田欣治他：大規模浮体の波浪中弾性挙動の実験と解析, 第20回海洋開発シンポジウム, 1995.6
- 3) 太田英美：浮体式海上空港構想, 日本造船学会第12回海洋工学シンポジウム論文集75-81, 1994.1

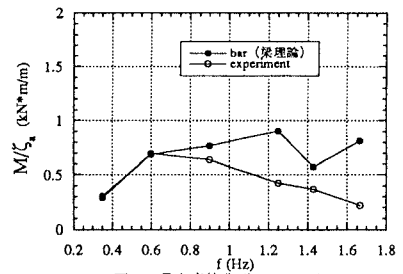


図5 最大応答曲げモーメント

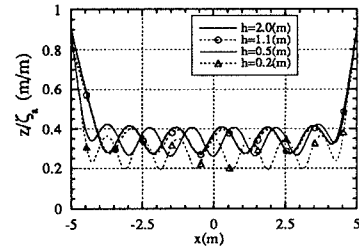


図6 水深による影響<変位>(f=0.9Hz)

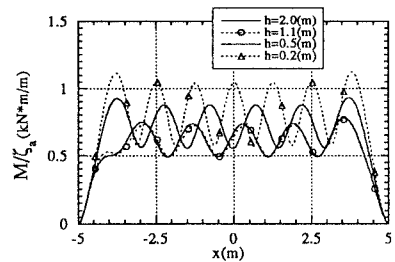


図7 水深による影響<曲げモーメント>(f=0.9Hz)

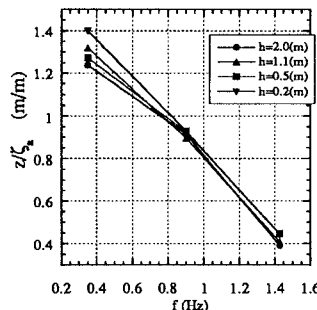


図8 水深による影響<最大応答変位>

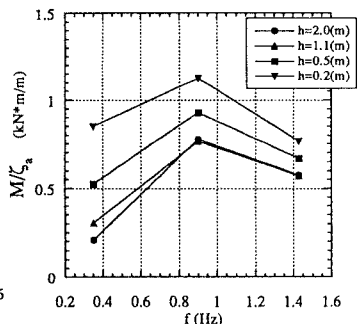


図9 水深による影響<最大応答曲げモーメント>