

京都大学大学院 学生員 ○谷垣信吉
京都大学工学部 正員 杉浦邦征

京都大学工学部 正員 渡邊英一
京都大学工学部 正員 宇都宮智昭

1.はじめに

現在までの研究で、大規模弾性浮体の低次の固有振動数が入射波の振動数と重なるため、固有振動数および固有モードの把握が重要となることがわかっている。しかし境界要素法により生成される流体力マトリクス（付加質量および造波減衰）は非対称複素フルマトリクスとなり、また周波数依存性を有するため、従来の固有値解析手法をそのまま用いることはできず、若干の工夫を要する¹⁾²⁾。そこで本研究では、非対称複素フルマトリクスを含む固有値解析を行い、これを実験結果と比較することでその検証を行う。また浮体の剛性や水深が固有周期に与える影響や、モード解析手法の適用についても考える。

2.実験概要

想定する実機を、長さ5,000m、幅1,000m、高さ4.5mの鋼製箱形浮体とし³⁾、この短辺方向に対する断面2次元問題を考える。模型の呼称と寸法を表1に示す。模型の寸法は、想定実機の1/100スケールを基準に決定した。このうちBモデルが想定実機の断面剛性に相当する基準モデルである。模型はいずれも比重0.22、板幅0.5m、ヤング率103MPa（鋼材の約1/2000）のポリウレタン製の板を接合したものである。実験は、幅2.5m、長さ68mの2次元造波水路において実施し、設置水深はいずれも1.1mとした。A,B,Cそれぞれのモデルについて自由振動実験を行い、固有周期の計測ならびにモード形状の観察を行った。

表1 模型諸元

呼称	長さ (m)	板厚 (mm)	喫水 (mm)	比重	剛性比
A	10	76	16.72	0.22	8
B	10	38	8.36	0.22	1
C	10	19	4.18	0.22	1/8

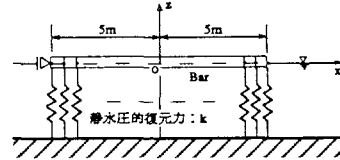


図1 2節点梁要素解析モデル

3.解析モデル及び方法

解析モデルの概要を図1に示す。浮体本体には2節点梁要素を使用し、静水圧的復元力は、浮体底面節点に鉛直方向に接続したバネ要素により、係留は端点の水平方向の自由度を拘束することによりモデル化する。断面2次元問題として扱うため、z方向とy軸回りの回転以外の自由度を拘束し解析を行う。解析はBモデルを中心に行っている。

固有値解析は、次の3種類についておこなった。

- 1) 流体力マトリクスを考慮しない場合（空中振動） $(-\omega^2 M + K)X = 0$
- 2) 付加質量マトリクスのみを考慮した場合（水中非減衰振動） $\{\lambda^2(M + M_a) + K\}Z = 0$
- 3) 流体力マトリクスを考慮した場合（水中減衰振動） $\{\mu^2(M + M_a) + \mu B + K\}Z = 0$

M: 質量マトリクス M_a : 付加質量マトリクス B: 造波減衰マトリクス K: 剛性マトリクス

X: 実固有ベクトル Z: 複素固有ベクトル ω^2 : 実固有値 λ, μ : 複素固有値

M, Kは対称マトリクスであるので、1)ではHouseholder法等の標準解法を使用できるが、 M_a, B は非対称フルマトリクスであるため、2), 3)では複素固有値解析を行う必要がある。本研究では、流体力マトリクスは流体域に境界要素法を適用し、これを算出した¹⁾。また固有値解析にはNASTRANを利用し、流体力マトリクスはDMIG命令によりファイルより読み込んだ。解析1)においてはHouseholder法を、解析2), 3)においてはHessenberg法を用い、また M_a 及びBは周波数依存性を有するため、周波数に関する収束計算を行い、固有値を算出した。

4.解析結果および考察

まずBモデルについて、空中振動、水中非減衰振動、水中減衰振動それぞれの解析値および実験値を表2に示す。ここで付加質量および造波減衰は、浮体底部のz方向成分のみを考慮している。表2において、空中振動の解析結果だけが実験値とかけ離れており、水中非減衰振動、水中減衰振動に関する解析結果は実験値と比較し

表2 Bモデルの固有周波数

モード 次数	実験値	空中振動	水中非減衰振動	水中減衰振動	
				固有周波数	減衰定数
1		5.451	0.158	0.143	0.77
2		5.451	0.277	0.288	0.30
3	0.344	5.458	0.425	0.398	0.29
4	0.398	5.501	0.526	0.509	0.18
5	0.500	5.639	0.649	0.595	0.17
6	0.752	5.950	0.765	0.701	0.13
7	0.870	6.512	0.995	0.848	0.10
8	1.190	7.379	1.183	1.171	0.05

Shinkichi TANIGAKI, Eiichi WATANABE, Kunitomo SUGIURA, Tomoaki UTSUNOMIYA

て、おおむね良好に一致している。すなわち付加質量が固有周波数に与える影響が大きいこと、固有振動数のみの評価であれば水中非減衰振動に関する解析で十分であることがわかる。また、水中減衰振動に関する解析値より、造波減衰の値は低次モードになる程小さくなっていることがわかる。空中振動及び、水中非減衰振動の1次から4次におけるモード図を図2に示す。際だった特徴としては、水中非減衰振動における両端での振幅が空中振動のそれと比較して小さくなっている。これは、両端での振幅が大きいと流体に与える運動エネルギーが増大してしまうためと考えられる。

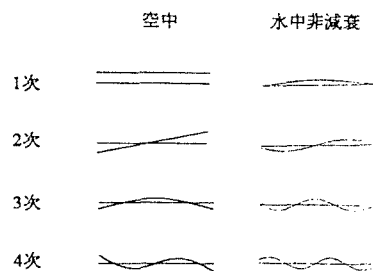


図2 振動モード図

次に各モデルでの解析値および実験値とモード次数の関係を図3に示す。なお以降では付加質量のみを考慮する水中非減衰振動で解析を行う。各モデルにおいて、実験値と解析値は低次では多少ずれているが高次になるにつれて近づいている。また、浮体の剛性が固有周波数に与える影響は低次モードでは比較的少なくなっている。これは、低次モードにおいては静水圧的復元力ならびに付加質量が固有周波数に与える影響が、浮体の剛性が固有周波数に与える影響と比較して大きいためと考えられる。

次に、Bモデルで水深を変化させてその影響を解析により検討する。解析を行った水深は、0.2m, 0.5m, 1.1m, 2.0mである。モード別の水深と固有周波数の関係を図4に示す。水深を変化させることにより固有周波数が大きく違っている。つまり、水深が変化すると付加質量が大きく変化し、固有周波数に影響していると考えられる。しかし水深1.1mと2.0mを比較すると低次モードで多少の差はあるが高次になると差は小さくなっている。これは水深2.0mの5次以上の高次モードでの周波数は深海波領域となり、付加質量の変化が小さくなるためと考えられる。

最後に固有値解析を利用し、波浪入力に対するモード応答解析への応用を考える。0.90Hzの規則波を想定し、非対称である付加質量マトリクスを対称マトリクスに変換し、モード減衰定数として水中減衰振動の結果を利用して、16次モードまでを考慮してモード応答解析を行った。また比較解析として同じ0.90Hzの規則波における直接周波数応答解析を行った。それらの解析結果を図5に示す。形状としては直接周波数応答解析の解析結果と似てはいるが、両端において振幅のずれが認められる。この結果は50次モードまで考慮しても同様であった。したがって、厳密な応答評価を行いたいときにはこのようなモード応答解析は不適切であると考えられる。

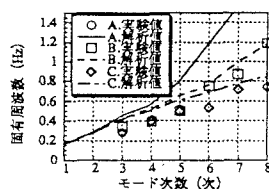


図3 各モデルの実験値と解析値の比較

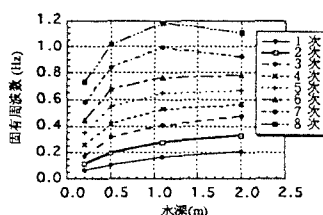


図4 水深と固有周波数の関係

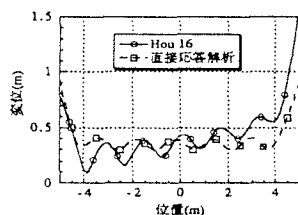


図5 モード応答解析と直接周波数応答解析の比較

5. 結論

- 1) 大型浮体の振動解析を行うには、必ず付加質量を考慮しなければならない。
- 2) 非減衰系で固有振動解析を行っても十分である。
- 3) 低次モードにおいて、梁の剛性が固有周波数に与える影響は、静水圧的復元力ならびに付加質量が固有周波数に与える影響と比較して小さい。
- 4) 水深により固有周波数は大きく変化する。特に浅い場合には影響が敏感に現れる。

最後に、貴重な実験データを提供して頂いた新日本製鐵（株）相模原技術センターに謝意を表します。

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浪応答解析,京都大学修士論文,1994
- 2) 清水哲志,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,第332号, pp55-65, 1983.4
- 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