

京都大学工学部 学生員 ○松村 卓
京都大学工学研究科 正会員 宇都宮智昭

京都大学工学研究科 フェロー 渡邊 英一
日立造船 (株) 正会員 田中 洋
大阪市建設局 正会員 丸山 忠明

1. 研究目的

本研究では、わが国初の浮体橋梁として計画されている大阪湾夢洲舞洲連絡橋(Fig.1)を採り上げ、三次元詳細解析モデル(Fig.2)に対する波浪応答解析について検討する。本橋梁は独立ポンツーン方式による浮体橋梁であり、ゴム製のフェンダーにより係留されている。また浮体橋梁のように長大なものにおいては弾性モードが周期数秒の領域において現れることが予想される。そのため波浪応答解析においてはフェンダー反力の非線形特性 (特にヒステリシス特性) のみならず橋梁上部工の弾性変形の影響も考慮する必要がある。本研究ではこのような浮体橋梁の波浪応答解析への汎用FEMプログラム (NASTRAN、MARC) の適用性について検討したものである。

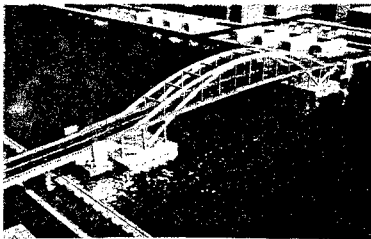


Fig.1 大阪湾夢洲舞洲連絡橋イメージ図

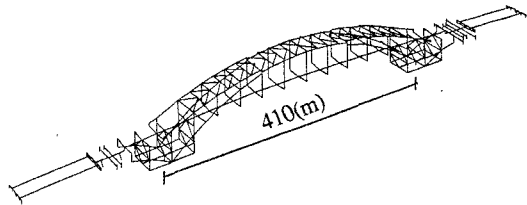


Fig.2 解析モデル

2. 解析手法

本解析では浮体橋梁を浮体基礎部と橋梁上部工とに分け解析を行う。

浮体基礎部(Fig.3)に対する解析では、浮体基礎に作用する強制波力、6自由度剛体運動に対するラディエーション流体力を三次元特異点分布法により算出し、また静水復元力を算出する。なお、浮体基礎間ならびに陸域との相互干渉については考慮せず、浮体基礎単体が無限海域上にあるものとする。

橋梁上部工(Fig.2)に対する解析では強制波力、ラディエーション流体力、非線形バネ等必要なものをモデル化したうえで動的解析を行う。フェンダーを線形バネとした線形モデルにおいてNASTRANを用い固有値解析ならびに周波数応答解析を行うことにより弾性変形の影響を、フェンダーを非線形バネとした非線形モデルにおいてMARCを用い時刻歴応答解析を行うことにより、フェンダー反力の非線形特性の影響を検討する。なお、フェンダー特性はユーザー定義の非線形バネとしてモデル化した。

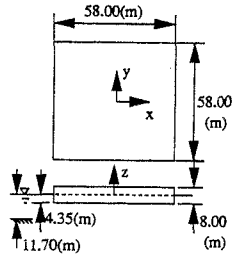


Fig.3 浮体基礎

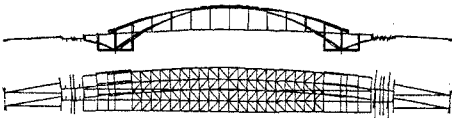


Fig.4 第5次モード変形図

3. 解析結果及び考察

3.1 固有値解析結果

固有値解析結果をTable 1 に示す。第4次モードまでは剛体運動による固有モードであり、第5次モードにおいて初めて弾性変形による固有モード(Fig.4)が現れている。本橋梁の設計有義波周期は約6秒であり弾性固有モードの応答が十分有意に現れることが考えられる。

Table 1 固有値解析結果

モード次数 (No)	周期 (sec)	角周波数 (rad/s)
1	11.88	0.529
2	11.67	0.538
3	11.23	0.560
4	5.85	1.073
5	4.62	1.360
6	3.94	1.595

3.2 周波数応答解析結果

ここでは、入射波浪の入射角度の影響ならびにラディエーション流体力マトリクスの非対角成分の有無の影響を調べるため、4つのケースに対して解析を行った。その解析結果をFig.5に示す。横軸は入射波の角周波数、縦軸は単位片振幅波高に対する橋梁の最大応答振幅を示す。これによれば $\omega=0.5(\text{rad/sec})$ では剛体運動のモードに対するピークが、 $\omega=1.35(\text{rad/sec})$ では弾性変形のモードに対するピークが生じていることがわかる。また、入射角度が 107.3° では 90.0° （橋軸直角方向入射）に比べ応答が低減していることが分かる。一方、ラディエーション流体力マトリクスの非対角成分を無視したものではこれを考慮したものに比べ最大50%以上の応答低減がみられるため設計上注意を要する。

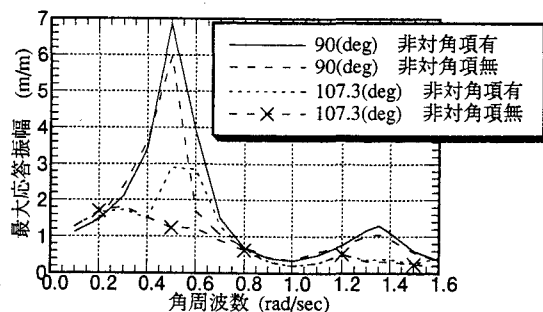


Fig.5 周波数応答解析結果

3.3 時刻歴応答解析結果

ここでは、フェンダー反力の非線形特性が浮体橋梁の波浪応答にどのような影響を及ぼすかについて調べる。解析結果をFig.6～Fig.9に示す。入射波高が高くなるに従いフェンダー反力の非線形特性の現れる様子が確認できる。 $\omega=1.0(\text{rad/sec})$ では波高が高くなるに従い非線形モデルでは線形モデルに比べ応答が大きくなるが、 $\omega=1.4(\text{rad/sec})$ では逆に波高が高くなるに従い応答が小さくなっている。これは $\omega=1.4(\text{rad/sec})$ ではフェンダーの変形が大きくヒステリシス特性によるエネルギー減衰の効果が大きく現れていること、及びフェンダー剛性の変化によるモデルの固有値の変化も原因として挙げられる。

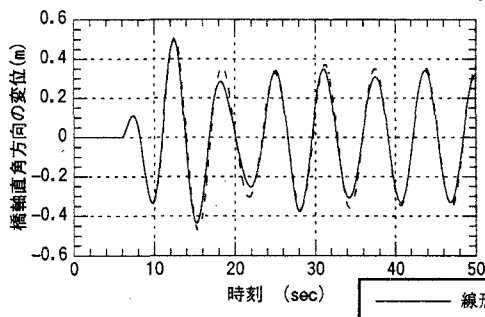


Fig.6 角周波数1.0(rad/sec)両振幅波高2.2(m)

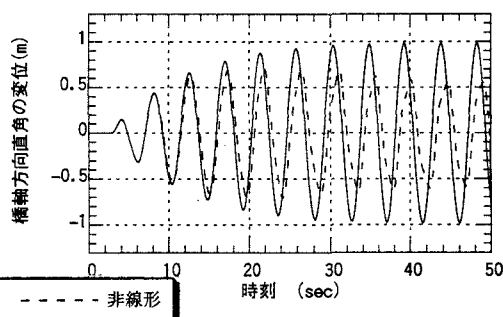


Fig.8 角周波数1.4(rad/sec)両振幅波高2.2(m)

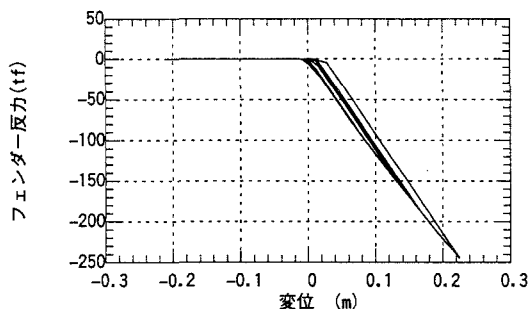


Fig.7 変位-フェンダー反力曲線
角周波数1.0(rad/sec)両振幅波高2.2(m)

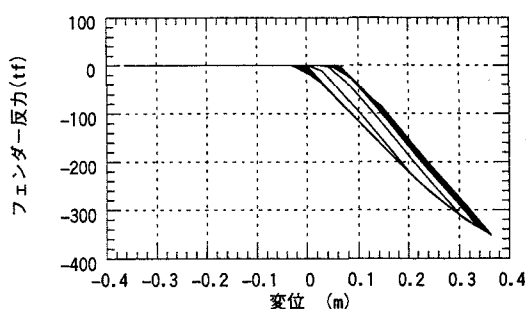


Fig.9 変位-フェンダー反力曲線
角周波数1.4(rad/sec)両振幅波高2.2(m)

4. 研究結果

本研究で行った一連の解析より、汎用FEMプログラムを用いることにより橋梁上部工の弾性変形、フェンダー反力の非線形特性の影響を考慮した浮体橋梁の波浪応答解析を行うことができることが確認でき、本研究で行った手法による浮体橋梁の波浪応答解析は、実設計においても十分適用可能であると考えられる。