

長大斜張橋における減衰特性の実験的アプローチによる評価

—試験対応解析—

エム・エムブリッジ(株)正会員 ○野口 敏広, 正会員 平井 潤
正会員 新地 洋明, 正会員 渡邊 俊輔
三菱重工マシナリーテクノロジー(株)正会員 山本 利弘, 加能 勲

1. はじめに

斜張橋は、吊橋に次いで長支間を有する橋梁形式であり、剛性が低い構造物である。そのため、風による振動問題が顕在化しやすく、耐風安定性の検討に資する構造物のモーダル特性を把握することが重要である。著者らは、供用前の「国道45号 気仙沼湾横断橋」を対象に起振機を用いた加振試験を行い、前報ではそれによって得られたモーダル特性について述べた。

本報ではその結果に解析的考察を加えるべく、対象橋梁の3次元モデルを用いて、試験で得られた固有振動数・減衰自由振動・モード比・モーダルマスの妥当性の検証を行った。なお、解析にはCONDSLIPを使用した。

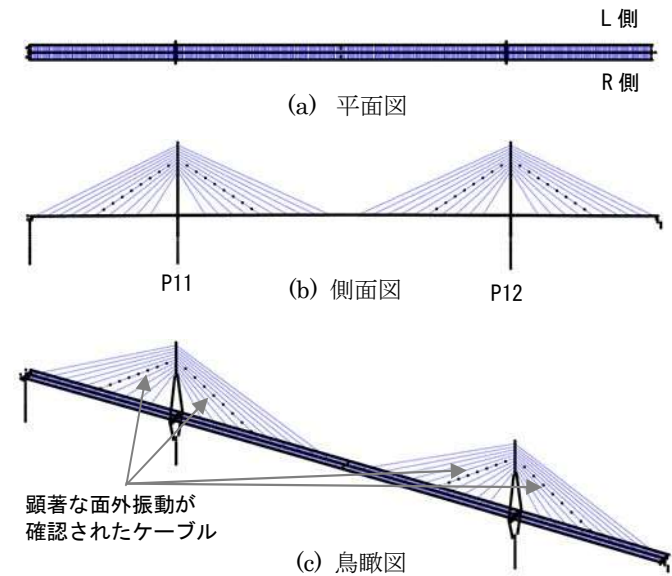


図-1 モデル図

2. 対象橋梁・モデル概要

試験および解析で対象としたのは、鉛直曲げ対称1次、ねじれ対称1次の2モードである。解析に用いたモデルでは、主塔は部材軸心を骨組線とし、主桁断面は中央の1本棒に集約して、平均的な図心位置を軸心とみなして骨組線としている。なお、加振試験においては、ねじれ対称1次モード励振時に、図-1に示す4本のケーブルに顕著な面外振動が確認された。解析でもこの現象が再現されるかを確認するために、当該ケーブルについては、他のケーブルと同様、主塔側・主桁側の定着点に1点ずつ節点を設けるのに加えて、両者を結ぶ直線上に等間隔でさらに8点を設けてケーブル質量を分布させることとした。

表-1 固有振動数

モード	試験	解析	比率(解析/試験)
鉛直曲げ対称1次	0.330	0.325	-1.6%
鉛直曲げ逆対称1次	0.473	0.432	-8.7%
鉛直曲げ対称2次	0.723	0.670	-7.3%
鉛直曲げ逆対称2次	0.879	0.828	-5.8%
ねじり対称1次	1.059	1.031	-2.6%

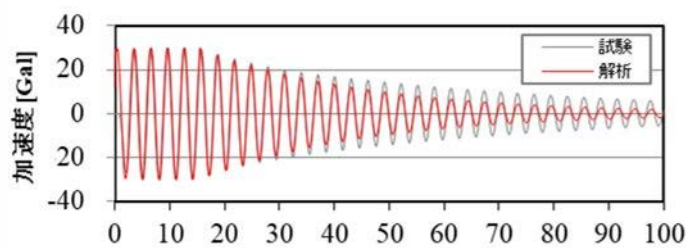
P12支点部には、機能分離型水平支承と鉛直支承が2基ずつ設置されており、水平支承部には橋軸方向に並進剛性を、鉛直支承部には橋軸直角方向まわりの回転剛性を入力した。

3. モーダル特性（試験/解析）の比較・評価

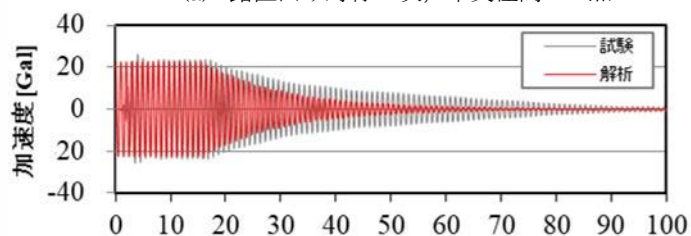
表-1に、今回対象とした2モードを含む主要な低次5モードについて、試験および解析で得られた固有振動数の比較結果を示す。いずれのモードも固有振動数の差異は±10%以内となっており、試験による実測値の妥当性が認められた。図-2(a)には、鉛直曲げ対称1次モードについて、中央径間1/2点(L側)における減衰自由振動波形の、試験と解析の比較結果を示す。ここで解析に用いた入力値は、実測された起振機マスの鉛直加速度振幅をもつ正弦波を、試験時の加振停止時間に合わせて波形を調整したものとしている。これによると、加振停止直後は試験と

キーワード 橋梁, 試験対応解析, 加振試験, モーダル特性, 減衰自由振動, モード比

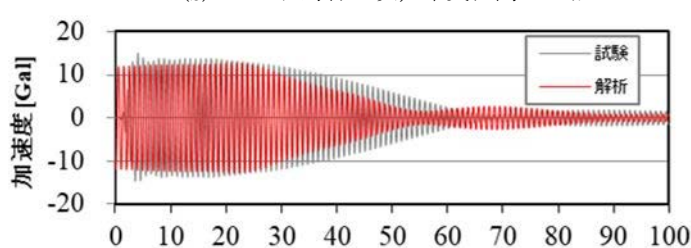
連絡先 〒733-0036 広島県広島市西区観音新町一丁目20番24号 エム・エムブリッジ(株) TEL 082-292-1111



(a) 鉛直曲げ対称 1 次, 中央径間 1/2 点

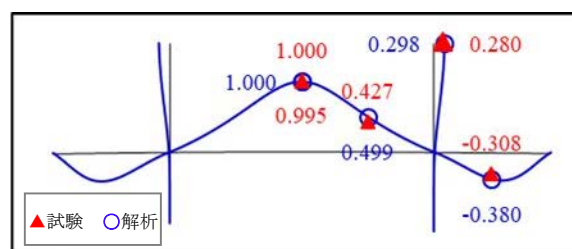


(b) ねじれ対称 1 次, 中央径間 1/2 点

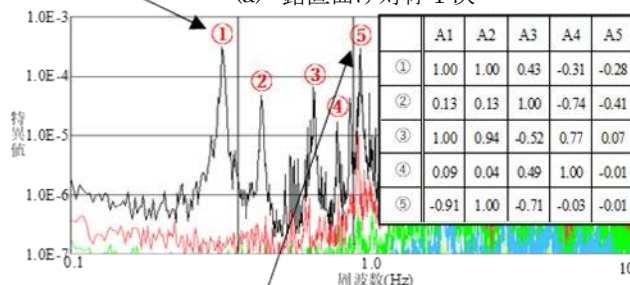


(c) ねじれ対称 1 次, 中央径間側ケーブル

図-2 減衰自由振動波形



(a) 鉛直曲げ対称 1 次



(b) ねじれ対称 1 次

図-3 モード比

解析の両方とも概ね同様に減衰していくことが分かる。なお 35(s)前後からは実測値の方が大きくなっているのは、実際の応答には風による強制振動成分が含まれているためと考えられ、これにより、減衰率は実測値で $\delta=0.057$ 程度であるのに対して、解析では $\delta=0.096$ と、解析の方で高めの値となった。ねじれ対称 1 次モードの減衰自由振動波形についても、同様に試験と解析の比較を図-2(b)に示しており、こちらも鉛直曲げ対称 1 次モードと同じことがいえる。

図-2(c)は、ねじれ対称 1 次モード励振時における、P12 中央径間側ケーブルの減衰自由振動波形を、試験と解析で比較した結果を示す。なお、この時の顕著なケーブル面外振動は、当該ケーブルの固有振動数が 1.040~1.075(Hz) 程度と、ねじれ対称 1 次モードの固有振動数 1.065(Hz)に近接していることにより、ケーブルが自身の固有値に近い振動数で、桁あるいは主塔から加振されたことによるものと考えられる。(このとき両者の位相差は 70° 程度。) よって、起振機停止後も、桁あるいは主塔の減衰自由振動により、ケーブルには強制加振が続いたといえる。試験と解析のいずれにおいても、図-2(b)と比べてケーブルの方は減衰が始まるのが比較的遅いのはそのためである。

図-3は、前報にて行った FDD 法によるモード比の分析結果と、解析により得られたモード比を示しており、両者は概ね一致していることが認められる。また、加振位置で基準化したモーダルマスについて、試験でのアクセラランス実測値、および共振時応答倍率の関係式より算出した結果は、鉛直曲げ対称 1 次モードで 2,400(t)、ねじれ対称 1 次モードで 2,000(t)であった。それに対して解析ではそれぞれ 1,998(t)、2058(t)であり、ここでも試験で得られた結果の妥当性が示されたといえる。

4. おわりに

気仙沼湾横断橋を対象として、実橋での加振試験に対応する解析的検討を行った。その結果、試験と解析で概ね同様のモーダル特性が得られ、また、ねじれ対称 1 次モードの固有振動数に近い固有値をもつケーブルの、同モード励振時における強制振動を再現できた。