

モード解析に基づく多々羅大橋の振動特性の再同定

埼玉大学工学部 正会員 ○山 口 宏 樹
 埼玉大学工学部 正会員 松 本 泰 尚
 埼玉大学大学院（研究当時） 堤 和 彦

1. 目的

長大斜張橋ではケーブルが長尺化することにより、ケーブル振動が橋梁全体の振動に及ぼす影響が大きくなることが知られている。実際、世界最長斜張橋である多々羅大橋の振動実験において、多くの主要振動モードでケーブルが連成し、そのような振動モードの減衰が極めて小さくなる傾向が確認された。著者らはこの連成ケーブル振動がモード減衰に及ぼす影響を、ケーブルと桁・塔の二つの部分構造に異なる減衰を仮定した減衰解析を行って、定量的に解明した¹⁾。しかし、その際、ケーブル振動の連成度をいかに精度良く評価するかが問題として残った²⁾。そこで本研究では、振動実験データに対して実験モード解析法を適用することにより解析モデルの修正を行い、理論モード解析によって多々羅大橋の振動特性の再同定を行った。

2. ケーブル振動計測データからのケーブル張力同定

長大斜張橋でのケーブル振動連成は、ケーブルの固有振動数が斜張橋の固有振動数と一致する内部共振によるものが主であって、ケーブル振動の連成度はこれらの振動数の一致度に大きく依存することになる。ケーブルの固有振動数は、実橋におけるケーブル張力が必ずしも設計張力とはならないことから、その推定に誤差を含み得て、ここにケーブル振動の連成度評価の難しさがあると言える。多々羅大橋では、鉛直曲げ対称1, 2次, 逆対称1次, ねじれ対称1次, 逆対称1次, 水平曲げ対称1, 2次, 逆対称2次の計8種の振動モードに対して起振機による振動実験が行われ、それぞれに10本のケーブルの振動が加速度計または変位計により同時計測されている。本研究では、これらのケーブル振動データに Eigensystem Realization Algorithm (ERA) を適用し³⁾、各ケーブルの高次モードの固有振動数を同定することで、実橋でのケーブル実張力を同定した。解析結果の一例として、C37N ケーブルの変位計測データに対して ERA を適用し、同定された全ての固有振動数を ERA での採用次数に対してプロットしたものを図1に示す。図より、ケーブルの高次振動数の間隔が理論通り、ほぼ一定となっていることが解る。これよりその振動数間隔が0.64Hzとして同定され、ケーブル理論での高次振動数間隔と対応させることでケーブル張力を430kNと同定することができる。

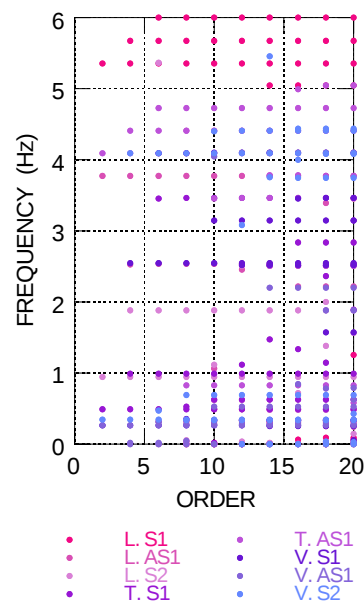


図1 ERAによるケーブル固有振動数同定（次数と振動数の関係）

表1 ケーブル張力の修正

Cable No.	設計張力	修正張力
1N	524 kN	500 kN
12N	302 kN	310 kN
26N	173 kN	170 kN
29S	272 kN	260 kN
37N	422 kN	430 kN
38N	425 kN	440 kN
42N	631 kN	620 kN
43N	633 kN	640 kN
44N	506 kN	500 kN
44S	506 kN	500 kN

3. 修正された解析モデルに基づく理論モード解析

実験において振動計測された10本のケーブル全てにつき張力を同定し、表1に示すように固有振動解析モデルの修正を行った。ただし、張力の修正量は最大でも5%である。この修正張力を用いて多々羅大橋の固有振動解析を再度行い、固有振動数と振動モードを再評価した。その結果を図2に、ケーブル振動連成が顕著でケーブル張力修正後に特性の変化した振動モード（鉛直曲げ、ねじれ）について、張力修正前後を比較して示した。

キーワード：斜張橋，ケーブル，モード解析，同定，減衰

連絡先：〒338-8570 さいたま市下大久保255 埼玉大学工学部建設工学科 TEL: 048-858-3552

図より，最大 5% 程度のケーブル張力調整によって生ずる固有振動数の変化は極めて小さいものの，振動モードにおけるケーブル振動の連成性は大きく異なる場合があって，ケーブル張力評価の重要性が伺われる．

4．修正モードに基づく減衰解析と減衰の再評価

再同定された振動モードを用い，桁・塔とケーブルとの二つの部分構造に異なる減衰を仮定した減衰解析を再度行った．ケーブルの減衰は局所モードの実測値を参考に対数減衰率で 0.001 を仮定し，桁・塔については鉛直曲げ，ねじれの各振動について対称 1 次モードの減衰実測値を合わせるべく設定している．解析結果を図 3 に示したが，ケーブル張力を修正したことにより，多々羅大橋の振動減衰のモード依存性が精度良く評価できることがわかる．なお，図中の実測値は前述の ERA 法を桁・塔の時系列データに適用して再同定したものであって，文献 1) とは異なる値となっている．

5．まとめ

多々羅大橋のケーブル振動連成とその減衰への影響につき，自由振動実験データに ERA を適用した実験モード解析，およびその結果を反映した修正解析モデルによる理論モード解析を行って，再同定を試みた．多点計測された実験データからの同定値のばらつきや評価振幅の違いによる減衰値のばらつきなど，多少の問題は残るものの，一連の研究により多々羅大橋の振動特性が解明できた．

参考文献

- 1) 西村他：多々羅大橋でのケーブル連成振動の減衰効果に関する解析的検討，土木学会第 55 回年次講演会，I-B77, 2000.
- 2) 堤他：多々羅大橋のケーブル振動を考慮した減衰影響解析と実験データによる検証，土木学会第 56 回年次学術講演会，I-A139, 2001.
- 3) 安田他：ERA を用いた構造物のモード特性同定とその部分構造同定への応用，第 57 回年講（予定）．

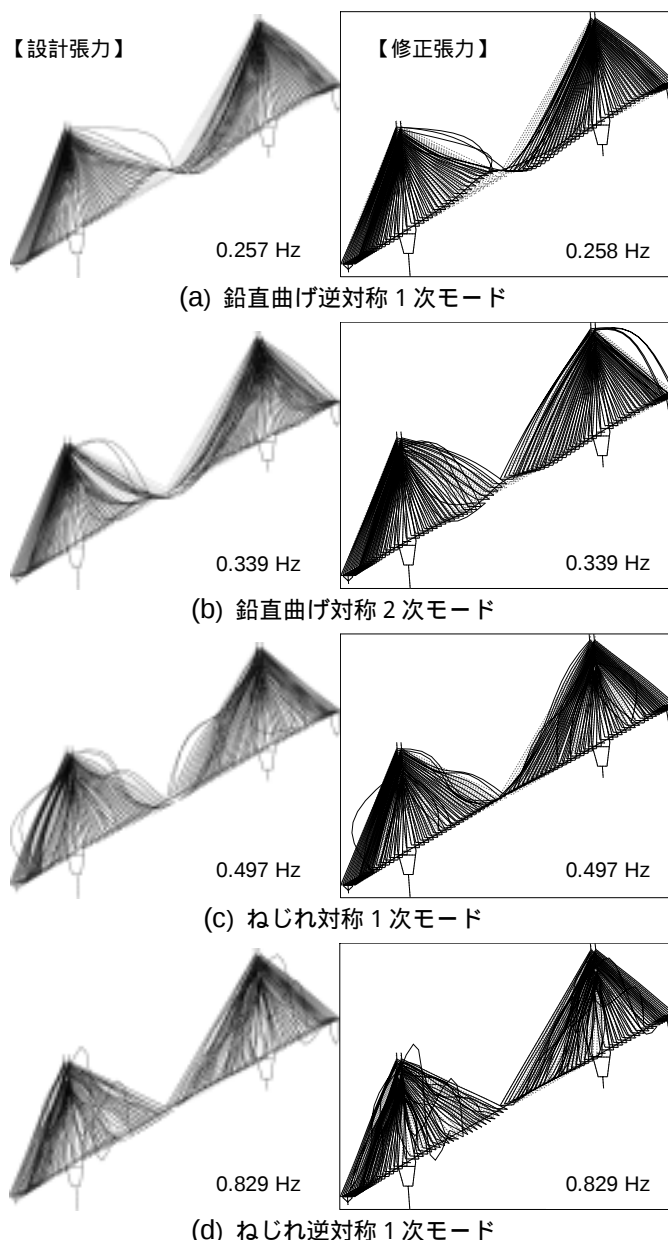
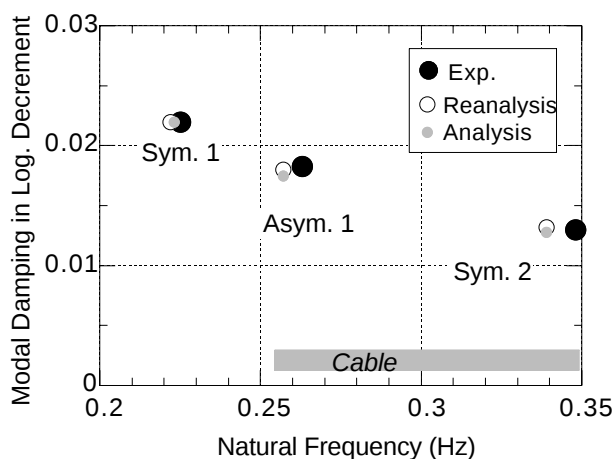
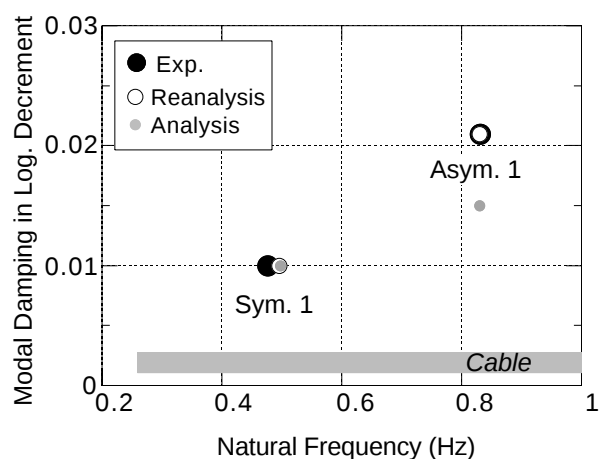


図2 張力の修正による固有振動の変化



(a) 鉛直曲げ振動モード



(b) ねじれ振動モード

図3 モード減衰（対数減衰率）と固有振動数の関係：実験値と減衰解析結果（設計張力，修正張力）の比較