

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

埼玉大学大学院 学生員 ○堤 和彦
新日軽(株) 細金亮平
本四公団保全部 正会員 山口和範

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

1. はじめに

世界最大の斜張橋である多々羅大橋は、一般の斜張橋に比べ全体構造に占めるケーブル重量の割合が高くケーブル振動が橋梁全体に及ぼす影響が大きくなる。実際に、実橋振動実験¹⁾では多くの振動モードにおいてケーブルの連成振動の発生が認められ、減衰の低下が観察されている。そこで、西村ら²⁾はケーブルの低減衰性を陽に導入した減衰影響解析を行って多々羅大橋の減衰を推定した。本研究では、その減衰影響解析において部分構造ごとに桁・塔とケーブルを導入した減衰の影響をより詳しく見るために、複素固有ベクトルから位相差と振幅比を算出し、実橋振動実験の計測データとの比較、考察を行った。

2. 部分構造合成法に基づく斜張橋の減衰解析

西村らの減衰解析²⁾では部分構造合成法を適用してケーブル連成振動が減衰に与える影響を考慮している。式(1)は全体系非減衰固有値解析³⁾から得られた n 次固有ベクトルを桁・塔とケーブルの部分構造に分解し、モード解析法を適用して得た、桁・塔とケーブルに対応した 2 自由度系減衰自由振動方程式である。

$$\begin{bmatrix} m_n^{GG} & m_n^{GC} \\ m_n^{CG} & m_n^{CC} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{q}_n^G \\ \ddot{q}_n^C \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_n^{GG} & 0 \\ 0 & c_n^{CC} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{q}_n^G \\ \dot{q}_n^C \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_n^{GG} & k_n^{GC} \\ k_n^{CG} & k_n^{CC} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} q_n^G \\ q_n^C \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (1)$$

ここで m_n , k_n , c_n , q_n は桁・塔とケーブルに対応した n 次モードの質量, 剛性, 減衰係数, 及びモード座標であり, 添え字 G, C は桁・塔とケーブルを表している。モード減衰比については各部分構造ごとに評価している。式(1)について複素固有値解析を行えば, その複素固有値から, 部分構造の減衰性の違いが反映された全体モードの減衰比を評価することができる。図 1 にあるように解析値は実験データに見られる減衰のモード毎の傾向を示している。²⁾

3. 桁とケーブルの振幅比と位相差

式(1)に基づいた複素固有値解析⁴⁾からは, 複素固有ベクトルとして桁・塔とケーブルの q_n が 2 組求められるが, 桁・塔とケーブルの振幅比が 1 に近いもの(非減衰固有振動モードに対応)のみを物理的に意味があると考え, 考察対象とする。対象とした複素固有ベクトルについて振幅比と位相差を求め, 実験データからも桁とケーブルの振幅比と位相差を求めた。

図 2 は振幅比, 図 3 は位相差について, 固有振動数との関係を減衰影響解析と実験データについて示したものである。

振幅比について, 解析値はねじれ対称 1 次振動を除いて, ほぼ 1 であり減衰を考慮したことによる振幅比の変化は見られないが,

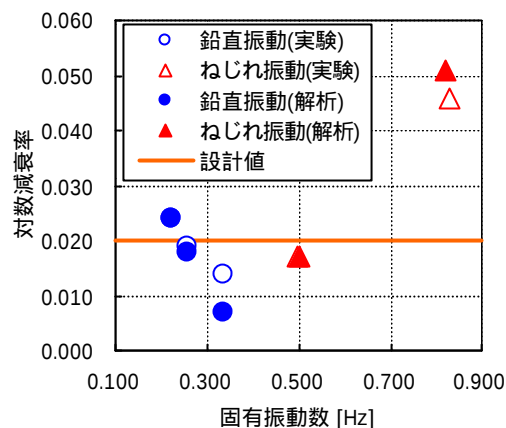


図 1 固有振動数と対数減衰率

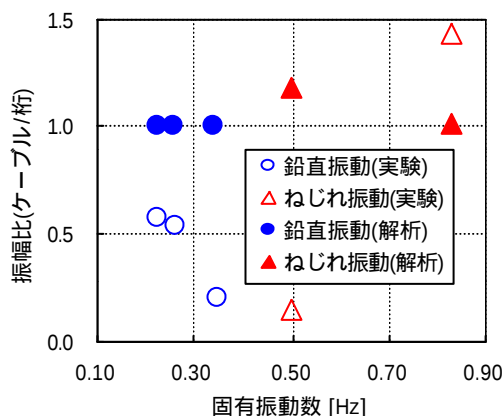


図 2 固有振動数と振幅比

キーワード：斜張橋, 減衰, ケーブル振動, 部分構造合成法, 実験データ

連絡先：〒338-8570 浦和市下大久保 255 TEL：048-858-3552 FAX：048-858-7374

実験値では全ての振幅比が1以下である。位相差については、ねじれ対称1次振動の解析値が他の振動モードに比べて大きく、3～12°の範囲にある実験値とも離れている。また、ねじれ逆対称1次振動においても解析値と実験値に差がある。鉛直振動の位相差は-3～7°の範囲にあり、それほど大きな差は見られない。

4. 実橋振動実験データと解析によるモード形状の比較

複素固有値解析で求められた振動モードと実験データによるモード形状を比較する。実験値については、桁が最大振幅となる計測点の桁の形状を対応させ、ケーブルの形状を求めた。図4から図6に鉛直振動モード、図7、図8にねじれ振動モードのモード形状についてケーブル振幅の大きい計測点を拡大して示した。

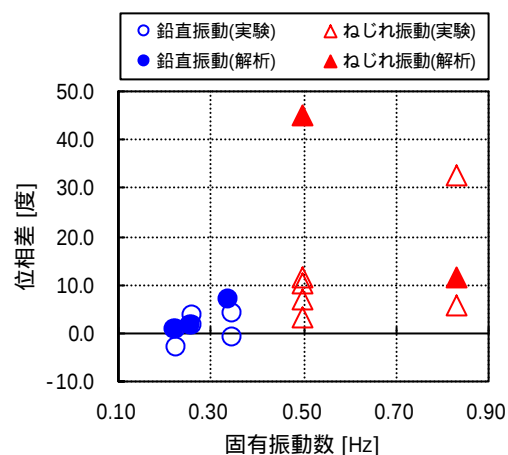


図3 固有振動数と位相差

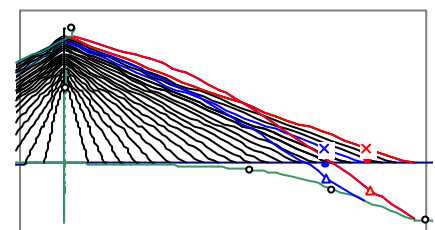


図4 鉛直対称1次振動（解析と実験）

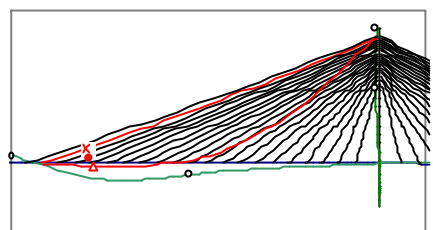


図5 鉛直逆対称1次振動（解析と実験）

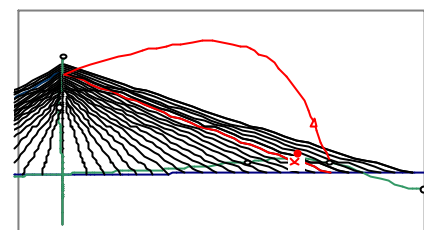


図6 鉛直対称2次振動（解析と実験）

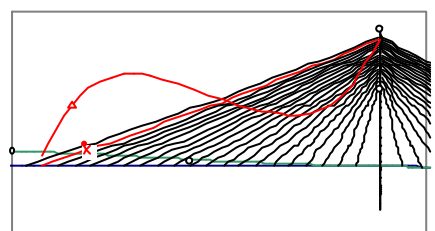


図7 ねじれ対称1次振動（解析と実験）

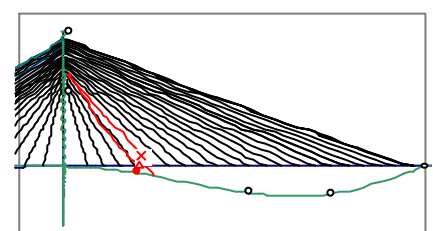
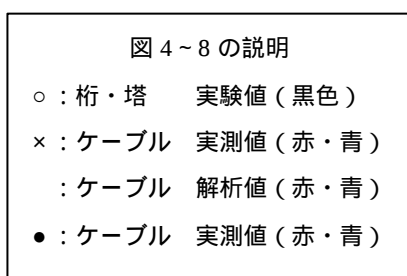


図8 ねじれ逆対称1次振動（解析と実験）



実験値と解析値を比較すると、桁・塔について実験値と解析値はほぼ一致しているが、ケーブルについては、ねじれ逆対称1次振動で実験値より解析値の方が大きく、他の振動モードでは実験値より解析値の方が小さくなっており、実験値と解析値はほとんど一致していない。その原因としては、ケーブルの局所モードの固有振動数がケーブルの初期導入張力に大きく依存し、張力の評価は必ずしも簡単ではないためであると考えられる。

5. まとめ

本研究では多々羅大橋について、実橋振動実験から得られた振動データを用いてケーブルの低減衰性を陽に導入した減衰の影響解析を検証した。減衰解析により、複素固有値に対応する対数減衰率の傾向を説明することができたが、複素固有値ベクトルに対応する桁とケーブルとの振幅比や位相差については定量的評価の難しさが明らかとなった。つまり、ケーブルの局所モード固有振動数はケーブルの初期導入張力に大きく依存するが、張力の評価は必ずしも簡単ではなく、線形内部共振としてのケーブルの連成振動を定量的に評価することの難しさを示している。

【参考文献】1) 真辺他：多々羅大橋の実橋振動実験，橋梁と基礎，pp27-30，1999.5 2) 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研究，第55回年次学術講演会概要集 I-B077，2000 3) 西村：多々羅大橋のケーブル連成振動と構造減衰に関する研究，埼玉大学卒業論文，1999.3 4) 山口：構造振動・制御，共立出版株式会社，1996.5