

I-A 238

斜張橋の減衰解析と減衰の定量評価に関する2, 3の考察

埼玉大学工学部 正員 山口 宏樹
(株)長 大 高橋 雅裕

1. はじめに 斜張橋の動的耐風性照査に必要なモード減衰比について、著者らはこれまでに、既往の実橋振動実験データからの考察により減衰の連成モード依存性などを指摘するとともに、エネルギーに基づくモード減衰の理論的評価の可能性について検討を加えてきた¹⁾²⁾。本研究ではこれを受け、減衰性に特徴のある長大斜張橋の内、減衰解析を意識して振動実験が行われた鶴見つばさ橋、トラス桁のためか減衰性のかかなり高い横浜ベイブリッジ、複合桁を有する生口橋の3橋について、固有振動解析を基本としたモード減衰解析を行い、斜張橋の構造減衰の定量評価に関する考察を行った。

2. エネルギーに基づく減衰評価 斜張橋のモード減衰比 ξ_n を、ポテンシャルエネルギー U_n に対する減衰エネルギー D_n の比という減衰比のエネルギー的定義を用いて次式で表す。

$$\xi_n = D_n / (4\pi U_n) \quad (1)$$

斜張橋の場合、各構造部材に初期軸力が導入され、幾何剛性の寄与があるため、ポテンシャルエネルギーとしてはひずみエネルギー V_n だけでなく、初期軸力によるポテンシャルエネルギー U_n^0 をも加え、

$$U_n = U_n^0 + V_n \quad (2)$$

としてこれを固有振動解析からの固有ベクトルによって解析的に評価する。

一方、減衰エネルギーについては、種々の減衰要因によるものを足し合わせて評価することとし、

$$D_n = D_{g,n} + D_{t,n} + D_{c,n} + D_{aer,n} + D_{fric,n} + D_{dam,n} \quad (3)$$

とする。つまり、減衰の要因として、桁 (g)、タワー (t)、ケーブル (c) の内部減衰、桁の空力減衰 (aer)、支承摩擦減衰 ($fric$)、ケーブルダンパーのもたらす減衰 (dam) を考えるものとした。

3. 各減衰エネルギーの評価 内部減衰エネルギーについては、ロスファクター η を導入してひずみエネルギーから決定する。例えば、タワーについては、

$$D_{t,n} = 2\pi\eta_t V_{t,n} \quad (4)$$

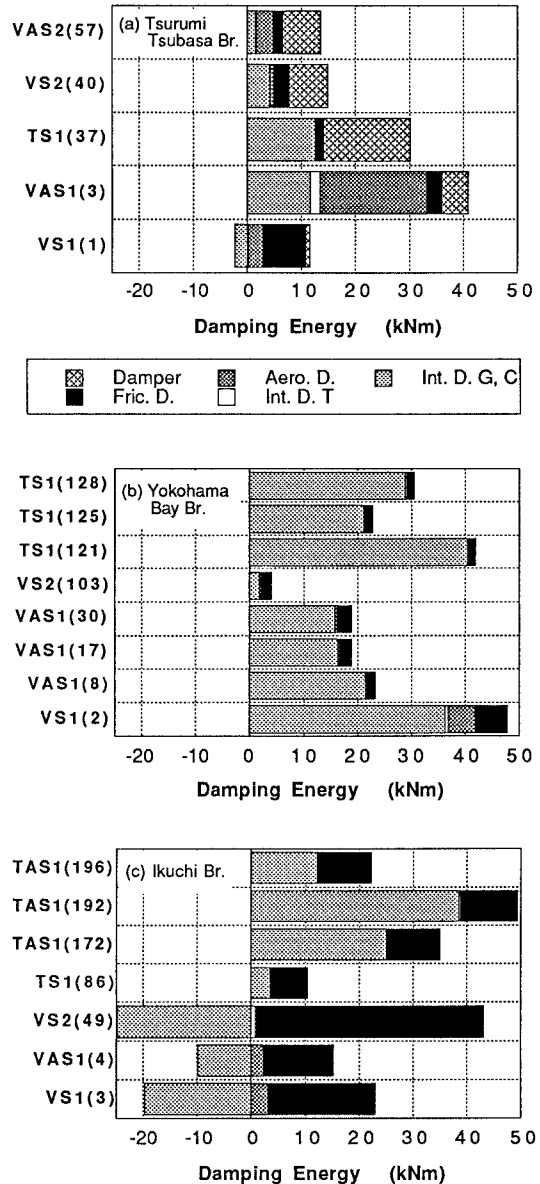


図-1 斜張橋のモード減衰に占める各種減衰エネルギーの割合（ケーブルダンパー、支承摩擦、空力減衰、塔内部減衰、桁・ケーブル内部減衰）：(a) 鶴見つばさ橋、(b) 横浜ベイブリッジ、(c) 生口橋。

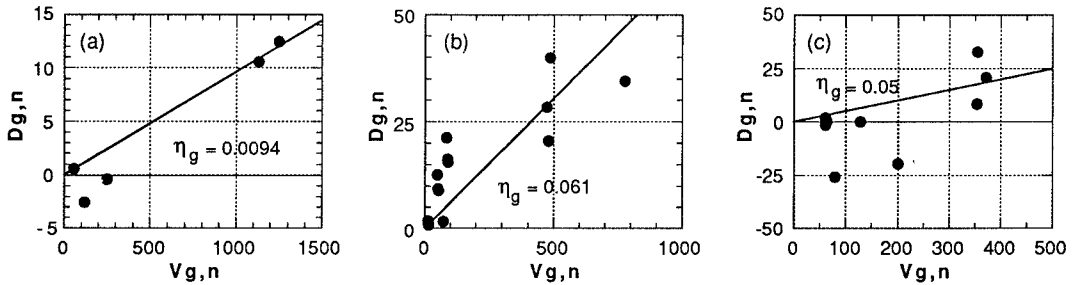


図-2 桁ロスファクターの同定（桁内部減衰エネルギー推定値とひずみエネルギー計算値の関係）：(a) 鶴見つばさ橋、(b) 横浜ベイブリッジ、(c) 生口橋。

桁空力減衰による減衰エネルギーについては揚力勾配を用いた準定常理論により、式(5)で評価する³⁾。また、鉛直支承摩擦による減衰エネルギーについては支承1箇当たりの鉛直荷重を W_i 、動摩擦係数を μ_i 、支承ずれ振幅を $A_{si,n}$ として、式(6)で表す。

$$D_{aer,n} = \frac{\pi}{2} \rho B U \frac{dC_L}{d\alpha} \omega_n A_n^2 \int \phi_n^2 dx, \quad D_{fri,n} = \sum 4 A_{si,n} \mu_i W_i \quad (5, 6)$$

さらに、鶴見つばさ橋ではケーブル制振用にダンパーが取り付けられており、それによる減衰エネルギーも各モードごとに評価した。

4. モード減衰に占める各減衰エネルギーの割合 上述の減衰エネルギー評価法に基づき、3橋について各モードごとに減衰エネルギーを計算した。その結果を図-1に示す。桁の内部減衰については桁単体の振動実験が行えないことからロスファクターが単独には求められないこと、またケーブルの内部減衰についてはロスファクターにばらつきが見られたことから、ともに直接的には評価せず、全減衰エネルギー（実橋実測値としてのモード減衰比 ξ_n と固有振動解析結果からのモードポテンシャルエネルギー U_n から、式(1)により算出）から他の減衰エネルギーを差し引いて求めたものを示した。生口橋では、支承摩擦の減衰エネルギーが過大評価されたため、桁・ケーブルの内部減衰が負になっている。生口橋は側径間がコンクリート桁であり、支承のずれ振幅の解析的評価が難しいためと思われる。ただし、支承ずれを実測した鶴見つばさ橋でそれを振動モードから解析的に評価したところ、ある程度の精度で求められている。

図-1で鶴見つばさ橋と横浜ベイブリッジとを比較すると、減衰エネルギー分布がかなり異なることがわかる。どちらも長大斜張橋としては平均減衰が大きいことで知られているが、鶴見つばさ橋では支点減衰や桁空力減衰、さらにはケーブルダンパーのもたらす減衰の全減衰エネルギーに占める割合が大きいのに対し、横浜ベイブリッジでは桁・ケーブルの内部減衰が支配的である。

5. モード減衰の定量評価法の妥当性 上述のモード減衰評価法の妥当性を調べるために、桁のロスファクターを同定することを試みた。つまり、式(3)で桁の内部減衰エネルギー以外を全て実験値と解析値から評価し、それらを全減衰エネルギーから差し引いて桁の内部減衰エネルギー $D_{g,n}$ を推定すると同時に、固有振動解析結果から桁のみのモードひずみエネルギー $V_{g,n}$ を求めて、両者の関係を全モードに対して見た。図-2がその結果である。生口橋の場合にばらつきが大きい、鶴見つばさ橋と横浜ベイブリッジでは両者は線形関係にあり、桁のロスファクターがその傾きとして同定できる。結果として箱桁の鶴見つばさ橋で0.01程度、トラス桁の横浜ベイブリッジで0.06程度と有意な差、かつ合理的な結果が得られた。

6. まとめ 斜張橋の減衰解析を行い、モード減衰の定量評価について考察を加えた。減衰エネルギー評価をいかに精度良く解析的に行うかがポイントであるが、そのための要因がある程度抽出された。

【参考文献】 1) 山口他：斜張橋のモードエネルギー特性とそれに基づく減衰解析，土木学会第49回年次学術講演会，1994年9月。 2) 高橋他：斜張橋におけるモード減衰解析とその妥当性に関する一検討，土木学会第50回年次学術講演会，1995年9月。 3) 山口他：斜張橋振動減衰のエネルギー的評価法と鶴見つばさ橋への適用，土木学会論文集，1996年（投稿中）。