

1. はじめに 斜張橋あるいは斜張橋ケーブルは一般に剛性が低くフレキシブルで、風による振動が問題となる。その動的安全性照査に必要なモード減衰比は設計段階において経験的に仮定されるが、最近では仮定された値の妥当性を検証するための振動実験を行うことが多くなりつつあり、理論的な扱いの困難な減衰に関する貴重なデータが蓄積されつつある。しかし、それらデータを横並びに整理し、減衰特性を理論的な考察と共に解釈する努力は今のところあまりなされていない。本研究は、斜張橋の振動減衰能の理論的評価法を提案すると同時に、斜張橋減衰データを分析してその振動減衰性状を定量的に把握することを最終目的とする。本報告はその第一報ともいえるものである。

2. 斜張橋の振動減衰 文献調査により、既存の斜張橋（約30橋）の現地実験減衰データをその構造特性パラメータ、振動モード等の情報と共にデータベース化した。構築したデータベースを基に、モード減衰比と各パラメータとの相関を調べたものが図1～4である。図1は全データについてモード減衰と固有振動数との関係を見たものである。固有振動数の増加とともに減衰が大きくなる傾向が若干認められるものの、相関はほとんどないともいえる。そこでやや強引ではあるが、各橋梁ごとにたわみ、ねじれの関係なく、モード減衰の平均値をとって最大径間長に対してプロットしてみた。図2である。最大径間長の増加とともに斜張橋の平均減衰は小さくなる傾向が認められる。特に興味深いのは、トラス斜張橋の減衰が他に比べて大きいことであり、桁の減衰性が斜張橋の平均減衰には支配的であると理解される。このことを別の観点から見たのが図3で、平均減衰と桁剛性の関係を示している。桁剛性としては鉛直曲げ剛性で代表させているが、桁剛性の高い斜張橋ほど平均的な減衰は大きくなる傾向があるように見える。

平均減衰についてはこのように理解できそうであるが、設計で必要なのは平均ではなく、各モードごとの減衰である。モード減衰値は本来、モードの特性に大きく依存するはずであり、モード特性と減衰値との関連を詳しく調べた。図4はその一例で、3橋の鉛直たわみ振動のモード減衰を対称、逆対称1次モードについて比較したものである。いずれの斜張橋も逆対称モード減衰のほうが有意に大きくなっているが、これは図に示したように、対称モードではタワーの連成が少ない（横浜ベイブリッジ）か全くない（豊後橋、青雲橋）のに対し、逆対称モードではタワーが大きく連成するためと予想される。桁に連成したタワーの減衰

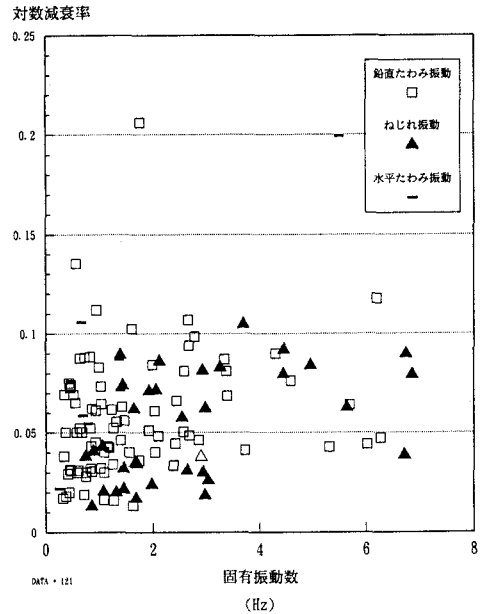


図1 固有振動数とモード減衰との関係

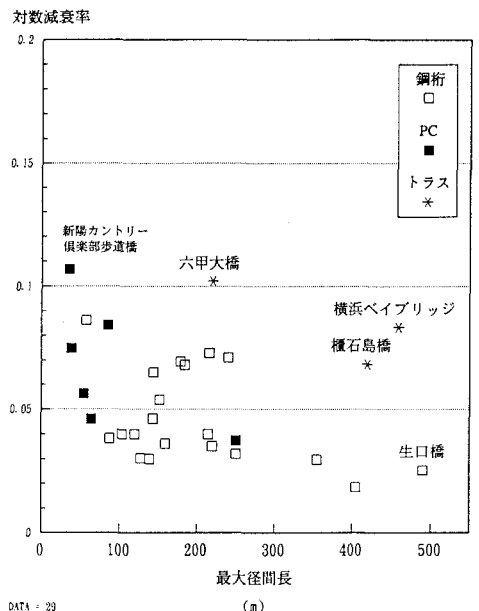


図2 最大径間長と各橋梁別平均減衰との関係

性がモード減衰にプラスに影響したと考えられる。桁以外の部材が連成したときのモード減衰への影響は必ずしもプラスに作用するわけではなく、減衰性の小さいケーブルが連成した生口橋では連成によってモード減衰が小さくなるという報告は記憶に新しい。

3. エネルギーに基づく減衰評価の可能性 以上のように、モード特性の把握がモード減衰評価の鍵となりそうであることが確認された。また、桁、タワー、ケーブルの各部材の減衰性がモード減衰に明確に寄与することもわかった。そこで、各部材の減衰性をロスファクター η で与えられるものと仮定し、散逸エネルギーのポテンシャルエネルギーに対する比というモード減衰比の定義を用いて、斜張橋のモード減衰の評価式を求めると、以下ようになる。

$$\xi = \eta_g \frac{V_g}{U} + \eta_t \frac{V_t}{U} + \eta_c \frac{V_c}{U}$$

ここで V/U はモードの全ポテンシャルエネルギー U に対する各部材でのひずみエネルギー V の比である。この減衰評価式の形は、上述の減衰データからの考察をうまく説明できそうである。

4. 斜張橋ケーブルの振動減衰 斜張橋ケーブルそのものの減衰は大変小さく、対数減衰率で0.005程度とされている。この理由は、ケーブルの剛性が主として初期張力によるものであり、これによるポテンシャルエネルギー U_0 が振動中のひずみエネルギー V_c に比べて極めて小さいことによる。しかし、ここで注意しなくてはならないことは、このエネルギー特性もモードに依存し、ケーブルのモード特性はサグ比の変化に対して大きく変化することである。ちなみに、多々羅大橋の最長ケーブル（約430m）についてひずみエネルギー比 V_c/U_0 を試算したところ、逆対称1次、対称2次では0.024、0.075と小さいのに対し、対称1次では0.64と1オーダー大きい。既往のケーブルの減衰性に関する実験的研究によればケーブルのロスファクター η_c は0.06程度と推定され、これによって対数減衰率を算出すれば、逆対称1次モード減衰が0.0045、対称2次が0.014となるのに対して対称1次では0.12にもなる。解析上の減衰評価振幅などの問題があるため定量的な結論は下せないが、1次モード減衰が他に比べて大きくなることもありそうである。

5. まとめ 斜張橋および斜張橋ケーブルの振動減衰について、既往の実橋振動実験データから考察を加え、エネルギーに基づくモード減衰の理論的推定法の可能性について推論した。今後、減衰データの得られている斜張橋について、固有値解析からモードエネルギー比を評価し、実データとのつき合わせを行うことによって、推定法そのものをつめると同時に、斜張橋および斜張橋ケーブルの振動減衰特性の定量的把握を試みたいと考えている。なお、データベース構築には坂本邦宏氏（埼玉大学）によるところが大であり、ここに深謝の意を表する。

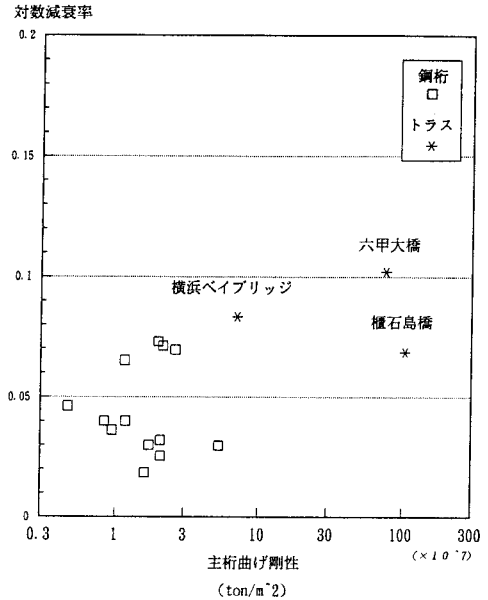


図3 主塔曲げ剛性と各橋梁別の平均減衰（対数減衰率）との関係

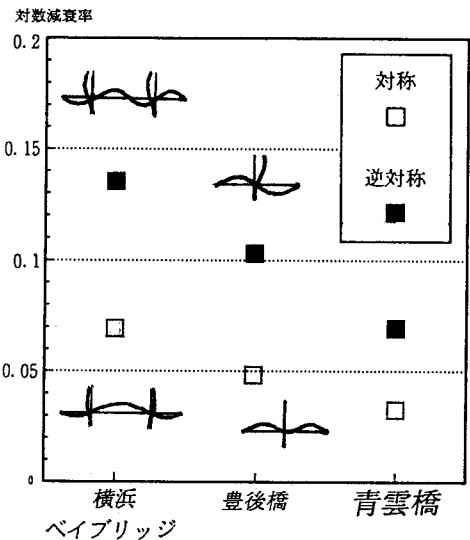


図4 鉛直たわみ振動におけるタワーの連成性とモード減衰への影響