

川田工業 ㈱ 正員 ○米田 昌弘
 東京大学 正員 伊藤 学

1. まえがき 最近実施された連続桁形式橋梁の振動実験結果^{1), 2)}によれば、可動支承部のクーロン減衰に起因する比較的大きな構造減衰が報告されている。そこで、ここでは、可動支承部のクーロン減衰に着目して、まず、桁橋モデルに対して複素固有振動解析を実施し、クーロン減衰の基本的な特性を把握した後、斜張橋におけるクーロン減衰の寄与についても言及する。なお、複素固有振動解析にあたっては、耐風安定性の見地から、最低次である対称1次振動を対象とする。

2. クーロン減衰の基本的特性 工学の分野でクーロン減衰を考慮する場合、一般には振動速度と無関係な定数として取り扱うことが多い。また、減衰力が小さい場合、振動は $x = a \cos \omega t$ なる調和振動と見なせることから、クーロン減衰は以下に示す等価粘性減衰係数 C_e を用いて、見かけ上の粘性減衰力 $C_e \dot{x}$ に置き換えることができることも知られている。

$$C_e = \frac{4}{\pi} \frac{F}{a\omega} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 a は支承部における可動方向の振動振幅、 ω は固有円振動数である。また、 F は摩擦力であり、摩擦係数を μ 、接触面に働く垂直力を N とすると $F = \mu N$ で表わされる。したがって、クーロン減衰を考慮した多自由度系の振動も従来の運動方程式で表現でき、複素固有振動解析を実施すれば、クーロン減衰に起因した構造対数減衰率を計算できる。

まず、図-1のように、可動支承部の水平方向に等価粘性減衰係数 C_{e1} を有するダンパーを設置した単径間モデルを考え、複素固有振動解析を実施した。解析の結果得られた構造対数減衰率と相対変位モード（橋桁の最大上下変位に対する可動支承部の水平滑り量の比率）をそれぞれ図-2、-3に示す。これらの図と式(1)から、水平移動量が小さい領域（等価粘性減衰係数が大きい領域に相当する）から徐々に大きくなる（特価粘性減衰係数が小さくなる）にしたがって構造対数減衰率は増加していくが、ある水平移動量で最大の構造対数減衰率に達した後は、逆に水平移動量の増加に伴って構造対数減衰率が低下するという振幅依存性を示すことが判る。このようなクーロン減衰特有の振幅依存性は文献1), 2)でも報告されて

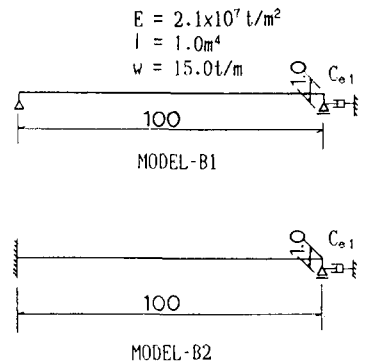


図-1 桁橋モデル

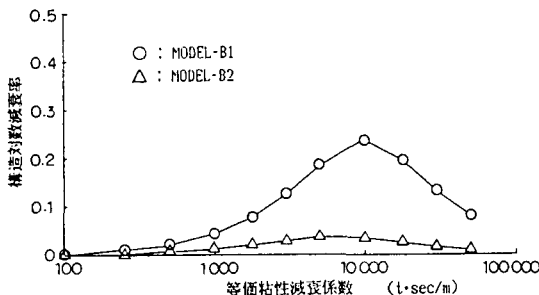


図-2 クーロン減衰に起因した構造対数減衰率（桁橋モデル）

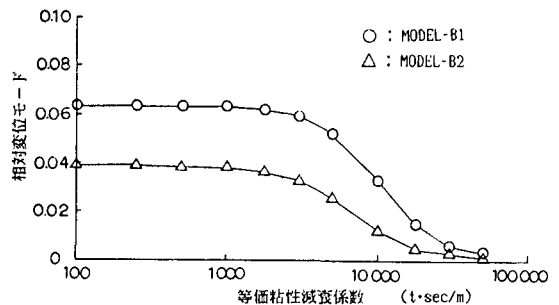


図-3 桁橋モデルの相対変位モード

おり、また、文献2)では若干の解析的な補足説明が加えられている。なお、MODEL-B1に比べ、MODEL-B2における構造対数減衰率の最大値や振幅依存性が小さいのは、図-3から判るように主として相対変位モードの差異に起因する。

具体的な数値は省略するが、クローン減衰以外の要因に起因した減衰が C_{Ezy} なる鉛直方向の粘性減衰力で置換できるような場合には、クローン減衰はそれによる構造対数減衰率を単純に加えることでその付加効果を評価できる。さらに、断面の中立軸から可動支承部までの高さが大きくなるに従って、また、3径間連続桁では支間長比が大きくなるに従って、クローン減衰に起因した構造対数減衰率の最大値や振幅依存性は増加する。

3. 斜張橋におけるクローン減衰の寄与 斜張橋はタワーを介して、ケーブルで桁を支持した構造であることから、クローン減衰の基本的な特性は桁橋モデルの場合とはほぼ同様である。したしながら、ケーブルが存在することにより、クローン減衰に起因した構造対数減衰率の最大値や振幅依存性の程度は、支間長が同じ桁橋と比較して若干相違した挙動を示すと予想される。

計算で対象とした斜張橋を図-4に示す。なお、この斜張橋モデルでは、断面の中立軸から可動支承部までの高さ h を1.0mに設定している。また、 P_3 可動支承部における支点反力は P_1, P_4 の支点反力に比べ非常に大きいことから、複素固有振動解析にあたっては P_3 可動支承部におけるクローン減衰のみを考慮した。ケーブル断面積 A_c を変化させた場合に得られた構造対数減衰率と相対変位モードをそれぞれ図-5、-6に示す。なお、これらの図には、通常の実橋における支間割りとして若干異なるが、MODEL-C1(60m+150m+60m, $I=2.5m^4$, $w=15.0t/m$, $h=3m$)なる3径間連続桁の結果も対比の目的で付記してある。図-5、-6より、 $A_c=0.02m^2$ /本なるケースでは、クローン減衰に起因した構造対数減衰率の影響はほとんどないことが判る。また、ケーブル断面積が小さくなるに従い、構造対数減衰の最大値は若干大きくなっているが、これはケーブルによる拘束力が低下して相対変位モードが増加したこととに起因する。なお、ケーブルによる拘束力が非常に小さい $A_c=0.0001m^2$ /本なるケースの構造対数減衰率は、MODEL-C1なる3径間連続桁の値に比べかなり小さい結果になっているが、これは主として断面の中立軸から可動支承部までの高さ h の差異に起因したものと考えられる。

4. あとがき 以上の検討結果より、斜張橋におけるクローン減衰の寄与は、同じ支間長を有する3径間連続桁の場合に比べ、非常に小さいことが判った。なお、これは、主として、断面の中立軸から可動支承部までの高さ h とケーブルによる拘束力の差異に起因する。

参考文献 1) 日本道路公団東京第二建設局沼田工事事務所 他：関越自動車道片品川橋(鋼上部工)工事上部工振動試験報告書 2) 阪本 他：泊大橋建設工事の概要と風に対する検討、土木学会論文集、第373号/VI-5 1986年9月

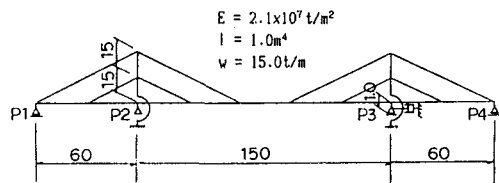


図-4 斜張橋モデル

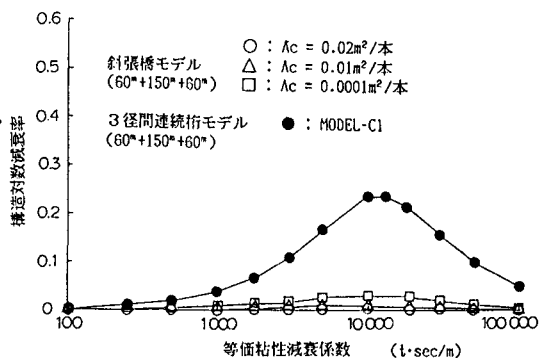


図-5 クローン減衰に起因した構造対数減衰率 (斜張橋モデル)

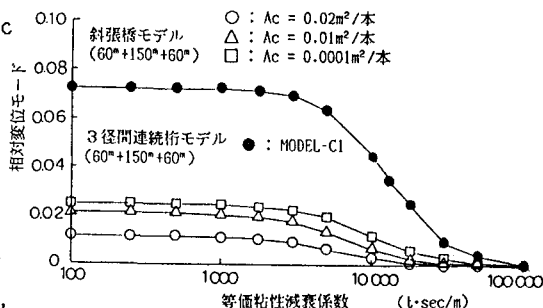


図-6 斜張橋モデルの相対変位モード