I-292　斜張橋のケーブル、桁鉛直曲げ、ねじれ１次振動数比に関する考察

長岡技術科学大学　学生員　○川畑　治
長岡技術科学大学　正員　　長井正嗣
駒井鉄工（株）　正員　　有村英樹

１．まえがき

斜張橋は、ケーブル、桁、塔と特性の異なる主要要素で構成される橋梁形式で、その振動性状も複雑になることが知られている。とくにケーブル要素が多くの固有振動数を有しており、桁、塔の振動との線形連成、また非線形の連成による内部共振がしばしば話題となる。しかしながら、一般的な斜張橋において、それぞれの振動数がどのような関係にあるか、果して共振の可能性があるかといった点を明解に説明した報告は、設計パラメータが多いこともあってか見あたらない。

本文では、３径間連続のマルチケーブル斜張橋の１次振動数のみに着目した検討であるが、それぞれの振動数の関係を検討してみる。具体的には、ケーブルの振動数と桁鉛直曲げ、ねじれ振動数の関係、桁の曲げとねじれ振動数比について、主に桁断面形式、塔形式、支間長をパラメータとして検討を行う。

２．ケーブルの曲げ振動数の予測

ケーブルの１次固有振動数（サグを無視）は以下のように与えられる。

$$f_c = (1/2\ell_c)\sqrt{N_c/(w_c/g)} \qquad (1)$$

ここで、ℓ_c はケーブル長、N_c はケーブル張力、w_c はケーブル重量（単位長さあたり）、g は重力加速度である。

さて、ケーブル張力を次のように仮定する。ケーブルはその最大応力が $0.9\sigma_a$（σ_a = 64000 tf/m²：許容応力）となるよう設計されるものとする。そして、一般部ケーブルは死荷重状態で全張力の 80 %程度が、アンカーケーブルでは 60 %程度が導入されているものとする。このとき、f_c に ℓ_c を乗じた値を 7 mm ϕ（直径）の素線を用いたノングラウトタイプケーブルの各サイズの許容張力を用いて計算すると一定値になることがわかる。したがって、ケーブルの振動数は、サイズに関係なく長さ（具体的には取り付け位置）のみに依存すると仮定できる。次に、最大の周期をもつ中央径間内の最上段ケーブル（n_h：中央径間長／塔高 = 5.0、取り付け位置は中央径間中央と仮定）について、またアンカーケーブル（長さは最上段ケーブルと同じと仮定）について固有周期を予測する。その結果を図－１、２に示す。

３．桁鉛直曲げ、ねじれとケーブルの一次振動数の関係

桁の鉛直曲げ１次振動数、またねじれの１次振動数の桁形式、塔形状、支間長の変化の伴う変化の予測は文献 1)、2) で行っている。これらと、２．で求めた中央径間最上段ケーブル、アンカーケーブルの振動数を比較した結果を図－１、２に示す。

図－１には、大和川橋梁（逆台形箱桁）と六甲大橋（ダブルデッキトラス）の死荷重強度、桁断面２次モーメントを参照し、n_h=5.0、n_{cs}：中央径間長／側径間長＝2.3、として周期を予測[1)]した結果を示す。箱桁の場合、桁の１次周期がケーブル中の最大周期より長く、本文で採用した諸元の仮定を前提として両者が一致することはまずないと言える。一方、桁断面２次モーメントの大きいトラス桁の場合にのみ、両者が近くなる可能性がある。

図－２には、文献２）で予測したねじれ周期との比較結果を示す。H形塔と開断面を採用したタイプでは、支間が短い場合、両者が一致する可能性は少ないと言えるが、長大橋（400～600m）にこのタイプを採用すると可能性が生じる。また、A形塔と開断面を採用したタイプでは、支間長の増加に伴い、上段ケーブルから下段ケーブルにむかって固有周期が一致する可能性がある。しかしながら、このタイプのねじれ１次振動は中央径間中央部のみでモード値を有するため、長大橋での共振の可能性は小さいと言える。

箱桁の場合、Ｈ形塔では塔位置から中央径間長の 1/4 ～ 1/5 あたりに配置されたケーブルについて両者が一致する可能性があるが、Ａ形塔では塔位置にごく近いケーブルを除いて可能性は小さいと言える。

４．桁鉛直曲げとねじれ振動数の比

桁鉛直曲げとねじれ（Ａ形塔）の１次固有周期の予測式[1),3)]を用いて、両者の振動数比（ω_t / ω_b）を計算すると以下の式を得る。その際、n_h= 5.0、n_{cs} = 2.3、ω：活荷重強度／死荷重強度= 0.2 と仮定する。

$$\omega_t / \omega_b \doteqdot 2.1 \cdot \sqrt{(1+5.6\alpha)/\eta_A} \qquad (2)$$

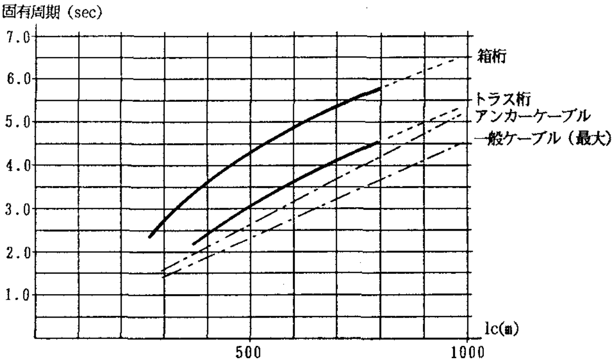
ここで、ω_t、ω_b はねじれと曲げ１次の固有円振動数、α、η_A は文献１）３）で定義されるが、α は側径間最上段ケーブルの設計張力のうち活荷重の占める割合（<1.0）、また η_A は単位の等分布トルク荷重が中央径間に満載されたときの最上段ケーブルの伸びを表わすパラメータである。

箱桁を対象に試算を行うと、Ａ形塔の場合、幅員に応じて 6 から 2 車線で 4～5 程度となり、また、Ｈ形塔では 3～5 程度となる。箱桁を前提とすれば斜張橋の１次の振動数比がかなり大きいことがわかる。ちなみに、我国の吊橋（>500 m）では、この値は 1.6～2.1 である。

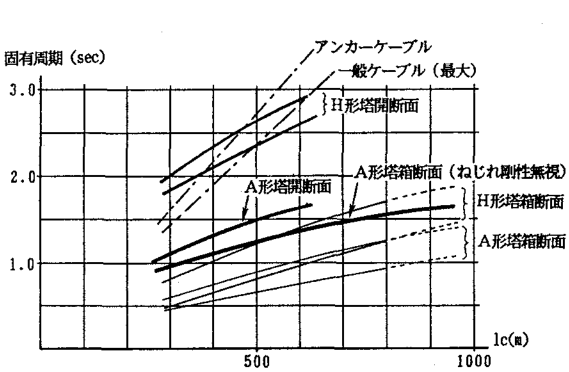
開断面の場合、この値はＡ形塔 （η_A=1.1、α= 0.2～0.4 と仮定）で 3 前後～3.5 程度、Ｈ形塔では、1.5～2.0 程度と概略予測される。

５．まとめ

３径間連続のマルチケーブルの斜張橋について、桁鉛直曲げ、ねじれまたケーブルの１次振動数の関係を、本文に示す条件付きではあるが、概略予測した。斜張橋は建設の機会が多く長大化の傾向が著しいとはいえ、支間 400m以上の実績は限られており、以上の概略予測資料が今後の計画に役立てばと考える。なお、支間が 700～800 mを越える形式（Ａ形塔、箱断面を前提として）では、著者らが指摘しているように、側径間の橋脚追加が欠かせないと考える（とくに、側径間桁の応力問題に着目して）。その場合、ねじれ振動数の変化は小さいものの、鉛直曲げ振動数の変化が予想され、したがって振動数比も低下することになる。また、長大橋での幾何学的非線形の影響も明らかにしていないため、今後の検討課題となった。



図－１　鉛直曲げ１次固有周期の比較



図－２　ねじれ１次固有周期の比較

参考文献

１）長井ら：斜張橋の曲げ１次固有周期の算定とその性状に関する検討構造工学論文集、VOL.36A（1990）、２）有村ら：斜張橋のねじれ１次固有周期の支間をパラメータとした予測Ｈ．３土木学会全国大会講演概要集（1991）、３）長井ら：斜張橋のねじれ１次固有周期の算定とその性状に関する一検討、構造工学論文集、VOL.37A（1991）