

京都大学工学部 正員 山田善一
 阪神高速道路公団 正員 江見 晋
 京都大学工学部 正員 河野健二

1. まえがき

最近スパンが 200m から数百m を有する橋梁形式として斜張橋が注目されている。しかしながら、山が國のような地震多発國で斜張橋を架設する場合、耐震設計に関する基礎的研究が必要になってくる。本研究は中央スパンが 350m 程度の斜張橋を対象として耐震解析の基礎となる振動特性を調べたものである。斜張橋は構造的にみると、塔と主桁が直線ケーブルによって連結され、平面的には塔の水平方向振動と主桁の鉛直方向振動にケーブルの振動が加わり連成したものとされている。したがって振動特性を調べる実験では、主塔、主桁およびケーブルから構成される二次元模型を製作することにした。斜張橋の構造形式としては、Radial (Fan), Harp, Multi type などが考えられているが、振動実験ではこれらの構造形式と振動性状の関係を調べることにケーブルの振動にも注目した。また斜張橋の耐震設計では、完成系ばかりでなく架設時においてもその振動性状を明らかにしておくことは大事なことだと思われるので、完成系と架設系の二つの模型を製作した。本研究では主に次のような点に注目して斜張橋の振動特性を調べることにした。

- (a) 斜張橋のケーブルの張り方の相違による構造形式と振動数、減衰の関係
- (b) ケーブルの振動が斜張橋の振動数、振動モード、および減衰に与える影響。
- (c) 架設時と完成時における斜張橋の振動特性の相違

2. 斜張橋の振動特性

模型の製作には主塔、主桁にメラマツリル酸樹脂を、付加重量には黄銅、スチール、鉛を用いた。またケーブルには鋼の細線ババラベルに乗せたものを、そしてケーブルの付加重量には鉛を使用した。ケーブルの断面はプロトタイプの振動数と模型の振動数が一致するように決めた。また架設時の振動特性を調べるため、Fig. 1 に示すように二つのタイプを考えた。この模型は幾何学的スケールが 1/80、質量スケールが 1/4 である。主塔の先端 A と主桁の左端 B の二点における共振曲線を (a) によって示したが Fig. 2 である。この図で共振線はケーブルに付加重量もとり付けた場合であり、破線はそれがない場合を示している。ケーブルの付加重量がない場合、共振曲線は滑らかな形をとり、1 次と 2 次のモードは独立している。ケーブルの付加重量がある場合、共振曲線は非常に複雑な形を呈しており、特に主桁でケーブルの振動の影響が大きいようである。1 次モードは主塔の振動として比較的はっきりと表われているが、2 次モードは明確でない。次に Fig. 1 に示されている架設系の (b)

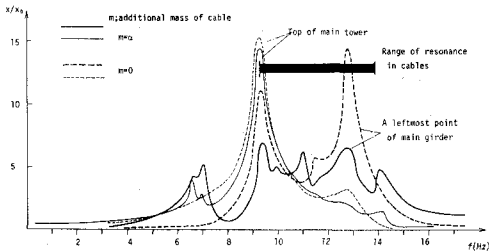


Fig. 2 Resonance Curve of system 1 under Construction (small tension)

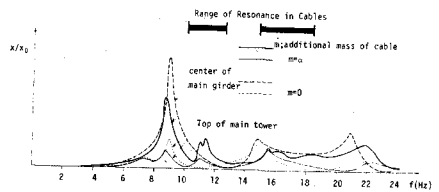


Fig. 5 Resonance Curve of a Complete System (Radial type)

cable tension	System 1 under construction		System 2 under construction	
	small	large	small	large
mode	1/√t method (s)	from response (s)	1/√t method (s)	from response (s)
1	2.4	3.4	4.6	6.5
2	4.3	8.6	-	8.6
3	-	-	-	-

Table 1 Damping Constant

についての共振曲線を示したのが Fig. 3 である。ケーブルの付加重量を付けないと 1 次モードは主塔および主桁と大きな応答を示すが、2 次モードでは主桁の振動が卓越した形を示している。一方ケーブルの付加重量を考慮すると、主桁の振動は 1 次モードよりも 2 次モードの方が大きな応答値を示している。また主桁ではケーブルの質量を考慮することにより逆に 1 次モードの方が 2 次モードの応答値よりも大きくなっていく。この架設系では 1 次と 2 次の振動数が非常に接近しており連成の状態になりやすい状態となっているが、ケーブルの振動により主桁と主塔の応答はともにケーブルに付加重量を付けなかった時よりも低く抑えられている。これはケーブルの振動により減衰効果が生じるためと推定される。そこでケーブルに付加重量を付けた場合の共振曲線の形は模擬であり $1/2$ 法で減衰定数をうまく求めることで生じるべき応答値から減衰定数を求めたこととした。Table 1 はこの減衰定数を比較したものである。次に完成時の模型として Fig. 4 に示されているような 3 つのタイプを考えた。この模型の幾何学的スケールは 200、タイムスケールは 16 である。Fig. 5 は一例として Radial type の共振曲線を示したものである。ケーブルの共振にともなう共振曲線の形はケーブルの付加重量を付けない場合と比べて変化しており、主桁の中央点ではケーブル振動の影響が 1 次モードと 2 次モードの間で特に明確に示されている。そしてケーブルの付加重量がある場合共振点の位置も変化している。またケーブルに付加重量を付けると応答値は一般に小さな値を示している。ケーブルの振動により主桁および主塔の振動は非線形なものになっているものと推定される。これを基に振動実験から次のような事がわかった。

- (a) Radial type と Multi type は固有振動数がほぼ減衰定数に関してよく類似した傾向を示している。またケーブルの付加重量の有無にかかわらず Radial type, Multi type の振動モードはよく類似しているが、主塔の振動モードには若干の注意が必要である。
- (b) 斜張橋の振動特性に及ぼすケーブルの振動の影響は構造形式の相違や架設系、完成系の状態にかかわらず非常に大きいことがわかる。ケーブルの付加重量の斜張橋全体に占める質量比はたかだか 4% 程度であるが、ケーブル振動の影響は固有振動数、減衰定数、応答倍率の中に明確に示されている。特にケーブルの振動による減衰効果は大きなものであることがわかる。
- (c) 斜張橋の架設系と完成系、振動特性の相違は主に振動モードに現れている。架設系では 1 次モードと 2 次モードがよく似ておりモード間の連成に注意する必要があると思われる。一方完成系では各次モードは主桁が卓越した形となり分離したモードを示している。またケーブルの付加重量の有無による振動モードの大きな相違はないようである。

なおこれらの結果は模型実験から得られたものであり、実橋への適用についてはさらに研究する必要がある。

3. おわりに

斜張橋の振動実験から明らかになった振動特性を解析面から明確にするための動的解析を行った。また実地震波入力による応答計算の結果等については当日発表する予定である。なお本実験を担当して下さった京都大学工学部大学院の竹内敬二、滝本純也の両君に深く感謝します。

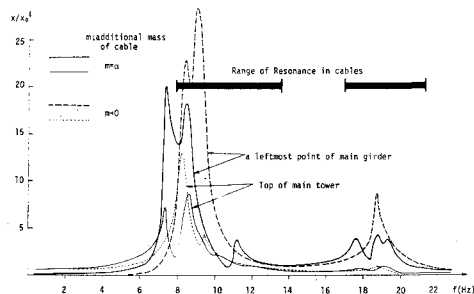


Fig. 3 Resonance Curve of System 2 under Construction (small tension)

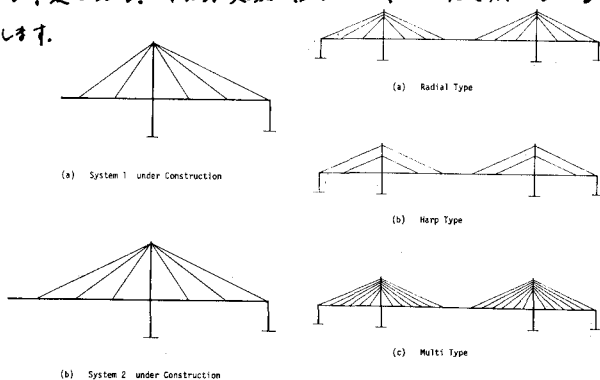


Fig. 1

Fig. 4 3 Types of a Complete System