

I-168

ケーブル架設時における吊橋主塔の振動特性
—首都高速12号線吊橋における振動実験—

首都高速道路公団 正員 並川賢治, 正員 佐藤栄作, 正員 富永博夫
横河ブリッジ 正員 清田鍊次, 正員 横尾正幸
新日本製鉄 正員 今野信一

1. 実験目的

斜張橋や吊橋の主塔は、独立時設計風速内において渦励振等が発生することがある。本橋の主塔に関する風洞実験によればキャットウォークやケーブルが架設された時点においてもこうした振動が予測された。本実験は、ケーブル架設時における実際の吊橋主塔がどのような振動特性を有するか主塔独立時からケーブルストランド架設に至る構造系について自由振動実験を実施し、その振動特性を検証した。

2. 実験方法

起振機および加速度計の配置を図-1に示す。芝浦側主塔の塔頂の両側に設置した起振機によって繰り返し力を与え主塔の面外、面内およびねじれ振動を発生させた。自由振動は、振動が定常振動に達したあと起振機を急速停止することによって得られる。振動測定は塔頂およびキャットウォーク(またはケーブル)に設置した加速度計によった。実験ケースはつぎのとおりである。

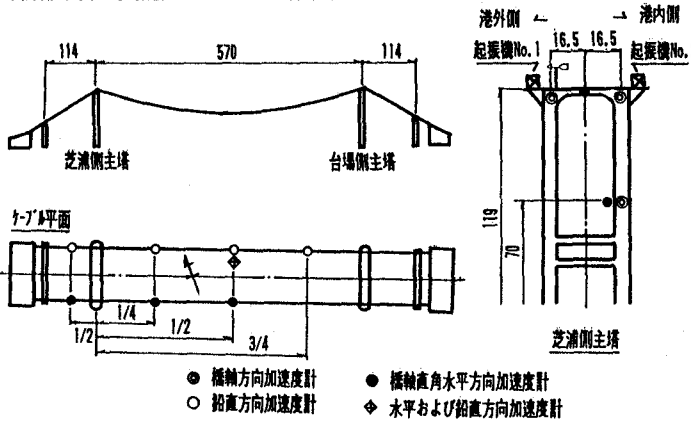


図-1 起振機と計測点の設置箇所

- (1) 主塔独立系
- (2) キャットウォーク架設系 (ストームロープ設置前)
- (3) キャットウォーク完成系 (ストームロープ設置後)
- (4) ケーブル系 (ストランド架設完了時)

実験は、架設作業の間に実施したもので、キャットウォークやケーブルの形状が定量的には必ずしも明確でない。

3. 実験結果

キャットウォーク完成系の低次振動モードを図-2に、固有振動数および構造減衰率を表-1に示す。

モード形状は、低次モードにおいてはおよそ計算結果と一致する。しかし、高次モードや他の系においては計算との差がみられるモードもある。固有振動数は計算に対して塔独立系で4~7%、キャ

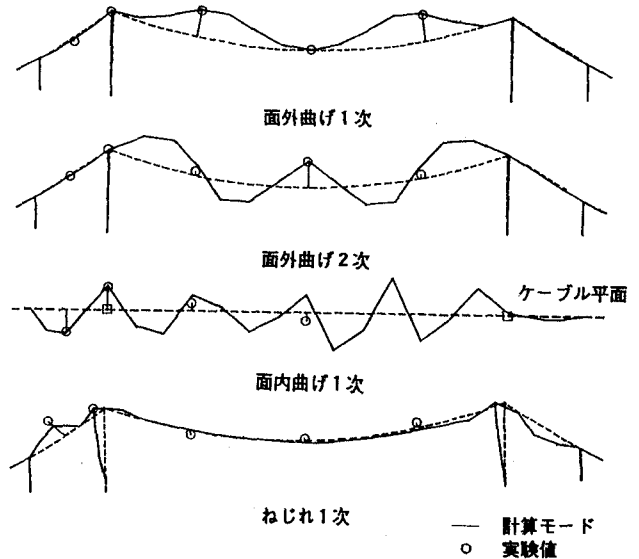


図-2 キャットウォーク完成系の低次振動モード

トワーク系で7~12%、ケーブル系では5~14%であった。これらの差は、主塔剛性の誤差や構造系の形状把握誤差および起振位置が振幅の小さい塔頂にあるため精度のよい共振状態が得られていないためと推測される。

構造減衰率は、主塔独立系については従来報告されている0.01をやや下回る程度であったが、キャットワーク系およびケーブル系になると増加する。キャットワーク系では面外モードの減衰率は大きくなるが、面内モードの増加は小さい。ケーブル系ではいずれのモードの減衰も増加する。独立系およびキャットワーク系においては、面外モードにおいて、風による空力減衰の増加が観測された(図-3)。ケーブル系は十分なデータがなく明らかでない。

表-2は塔頂の振動に着目し、構造系を1自由度系に置き換えたときの一般化質量や共振応答振幅を示したものである。キャットワーク系やケーブル系の振動モードはキャットワークやケーブルの振動が卓越し、それらの質量効果は塔の質量効果に比較してかなり大きい。実測された共振応答振幅はモードの影響を考慮した場合に相当する。

実測期間内の風の状態は風洞実験での予測条件と異なるが、振動の予測された風速域において塔の面外、面内およびねじれの渦励振は観測されなかった。

4. まとめ

構造系の振動モード、固有振動数は計算結果とおおよそ一致する。主塔独立時の構造減衰率は0.009~0.01でほぼ想定値と変わらなかったが、キャットワーク系やケーブル系では面内モード0.015~0.04、面外モード0.015~0.10、ねじれモード0.02~0.06とかなり大きい。主塔独立系およびキャットワーク系においては空力減衰の増加が認められた。さらにキャットワーク系やケーブル系の共振応答振幅は振動モードを評価した一般化質量を用いた1自由度系のモデルに対する計算結果に相当した。

表-1 固有振動数と構造減衰率

架設系	振動モード	固有振動数(Hz)		主塔 対数減衰率[評価mm]
		計算値	実測値	
主塔独立系	曲げ面外1次	0.260	0.270	0.009-0.015[85-200]
	曲げ面内1次	0.610	0.650	0.009-0.010[25-30]
	ねじれ1次	0.950	1.013	0.008-0.010[20]
キャットワーク架設系	曲げ面外1次	0.297	0.293	0.060-0.100[2-20]
	2次	0.361	0.334	0.070[15-20]
	3次	0.634	0.645	0.05[4-5]
	4次	0.662	0.740	0.04[4]
	曲げ面内1次	0.611	0.601	0.015-0.020[3-15]
キャットワーク完成系	曲げ面外1次	0.324	0.364	0.030-0.035[10]
	2次	0.428	0.449	0.025-0.030[4-6]
	3次	0.516	0.518	0.020-0.025[8-10]
	4次	0.555	0.527	0.015-0.020[2-3.5]
	面内1次	0.612	0.603	0.015[10]
ケーブル系	曲げ面外1次	0.258	0.288	0.045[1.5]
	2次	0.288	0.327	0.040[2.0]
	面内1次	0.503	0.528	0.040[5]
	2次	0.517	0.558	0.085-0.090[5]
	ねじれ1次	0.297	0.324	0.055[2]
	2次	0.341	0.367	0.055-0.060[2-2.5]

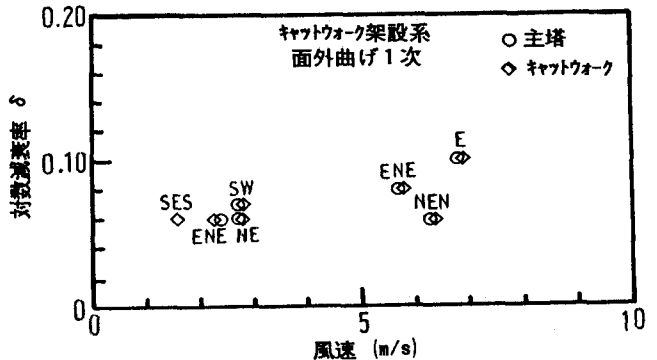


図-3 風速変動と主塔の減衰率

表-2 キャットワーク、ケーブル系の共振応答

架設系	振動モード	一般化質量		振幅比率 塔頂/最大振幅	塔頂加速度 実測値/計算値
		全体 (t·s/m)	芝浦主塔 (%)		
キャットワーク架設系	曲げ面外1次	1120	14	0.10	1.1
	2次	518	28	0.14	0.75
	面内1次	202	88	0.79	0.43
	ねじれ1次	351	57	0.42	0.83
キャットワーク完成系	曲げ面外1次	3240	4.8	0.10	1.3
	2次	7870	2.0	0.04	1.5
	面内1次	224	80	0.21	0.99
	ねじれ1次	362	55	0.18	0.82
ケーブル系	曲げ面外1次	12980	1.3	0.12	1.1
	2次	9900	1.7	0.11	0.73
	面内1次	1950	9.7	0.36	2.0
	ねじれ1次	12810	1.3	0.02	0.68

注. 計算値における減衰率は実測値を用いた。