

I-585

レインボーブリッジ振動実験

首都高速道路公団 正員 ○荻原 充信、小田桐 直幸
 川崎重工業株式会社 正員 竹内 清、大垣 賀津雄
 三菱重工業株式会社 正員 広瀬 健一

1. まえがき

レインボーブリッジは、中央径間570m、側径間114mの3径間2ヒンジ補剛トラス吊橋（ダブルデッキ）である。本橋の設計に際して、風洞実験を実施し耐風安定性の確認を行っている。しかしながら、構造物の耐風挙動が構造減衰によって左右されるのは周知の通りであり、風洞実験の妥当性を検証するには実橋において固有振動数、振動モードおよび構造減衰を確認しておく必要がある。

なお、本実験で得られる対数減衰率等の動的諸量は、今後建設される長大橋の設計データに資するものとする。

2. 実験方法

(1) 常時微動測定

加振実験に先立ち、風などによる不規則微小振動を速度計を用いて計測した。測定データ処理としては、港内外に設置した速度計の和差演算を行

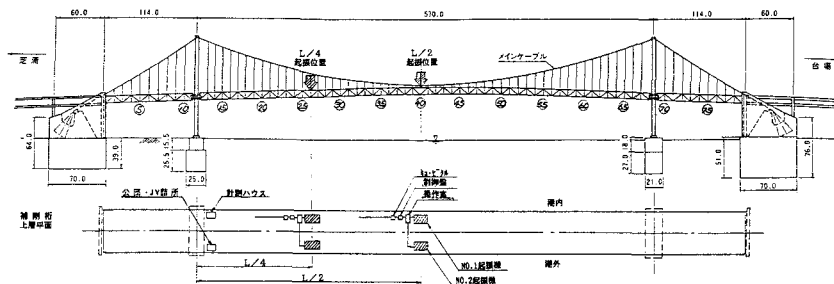


図-1 起振機配置

い、曲げ振動とねじれ振動に分解し、フーリエスペクトル解析（約30分アベレージング）を行い、卓越周波数を固有振動数と考え、スペクトル曲線ハーフパワー法により対数減衰率を求めた。また、各測点の基準点に対する伝達関数からモード図を描いた。

(2) 強制加振実験

中央径間 $L/2$ または $L/4$ の路面上に2台の起振機（本四公団所有）を設置し、鉛直方向に加振して橋体応答を測定した（図-1参照）。2台の起振機を同位相で起振することにより曲げ振動を、逆位相でねじれ振動を励起させた。計測データ処理は、各モードごとの共振曲線を描きその卓越周波数を固有振動数とし、共振曲線ハーフパワー法により対数減衰率を算出した。また、同時性のある加速度を変位に換算して振動モード図を作成した。

(3) 自由振動実験

強制加振実験により得られた共振周波数で加振し、振幅が定常になった後に、起振機を急停止させ自由振動応答を測定した。対数減衰率としては、振動波形5波平均値を採用し、振幅依存性の有無についても整理した。

3. 固有振動数測定結果

(1) 固有値解析

解析モデルは耐震・耐風設計に用いた立体魚骨モデルを使用し、橋端部の補剛桁と塔の結合条件を以下の2種類とした。

- ① モデル-1：補剛桁と塔をリンク部材によりピン結合し、相対変位をフリーとしたモデル。
- ② モデル-2：リンク部材を剛結合し、補剛桁と塔の相対変位を拘束したモデル。

(2) 固有振動数の比較

桁鉛直方向の加速度計のうち応答振幅ピーク付近の測点に着目し、振動数と変位換算した振幅による共振曲線を図-2に示す。最大振幅は、曲げ対称1次振動の場合に発生し、その値は±115mmであった。

固有振動数の計算値と実測値を表-1に比較して示す。同表より、各固有振動数のうち、リンク部ピンモデルの計算値が最も低く、ついでリンク部固定モデルの計算値、強制加振の実測値、常時微動の実測値の順に高振動数になっている。このように固有振動数に及ぼす要因として、次のものが考えられる。

① 仮定剛度より実剛度の方

が大きい。

② 補剛桁端部（リンク、道 路伸縮装置、ウインドウ） の摩擦の影響

③ 高速、臨港、新交通各床 組の摩擦の影響

表-1 固有振動数の比較

振動モード	計算値 Hz		計測値 Hz		計測値/計算値			
	①	②	③	④	強制加振		常時微動	
	モーダル-1	モーダル-2	加振実験	常時微動	③/①	③/②	④/①	④/②
曲げ対称1次	0.240	0.246	0.260	0.275	1.08	1.06	1.15	1.12
曲げ対称2次	0.356	0.395	0.411	0.482	1.15	1.04	1.35	1.22
曲げ対称3次	0.769	0.836	0.835	0.958	1.09	1.00	1.25	1.15
曲げ逆対称1次	0.176	0.242	* 0.255	判明せず	1.45	1.05	----	----
ねじれ対称1次	0.439	0.439	0.485	0.519	1.10	1.10	1.18	1.18
ねじれ逆対称1次	0.599	0.599	0.681	0.775	1.14	1.14	1.29	1.29

注）表中、*印は曲げ対称1次振動との連成波形を分離して求めた卓越振動数である。

4. 構造減衰測定結果

実験結果の対数減衰率を表-2に比較して示す。

同表から、以下のことが言える。

① 曲げ振動は振幅依存性が認められるが、ねじれ 振動は有為な依存性が認められない。

② 自由振動実験より求められた対数減衰率は、大 振幅域で $\delta=0.17$ 、小振幅域で $\delta=0.06$ 程度と推 測される。

表-2 対数減衰率の比較

振動モード	対数減衰率 δ			
	自由振動 実験結果	共振曲線		耐風設計 上部工
		ハ-7A'7-法	常時微動 ハ-7A'7-法	
曲げ対称1次	0.09 → 0.03	0.11	0.15	0.03
曲げ対称2次	0.25 → 0.07	0.24	0.11	
曲げ対称3次	0.20 → 0.05	0.23	0.05	
曲げ逆対称1次	0.26 → 0.05	0.28	----	
ねじれ対称1次	0.05 → 0.06	0.04	0.08	
ねじれ逆対称1次	0.16 → 0.10	0.11	0.08	
平均値	0.17 → 0.06	0.17	0.09	

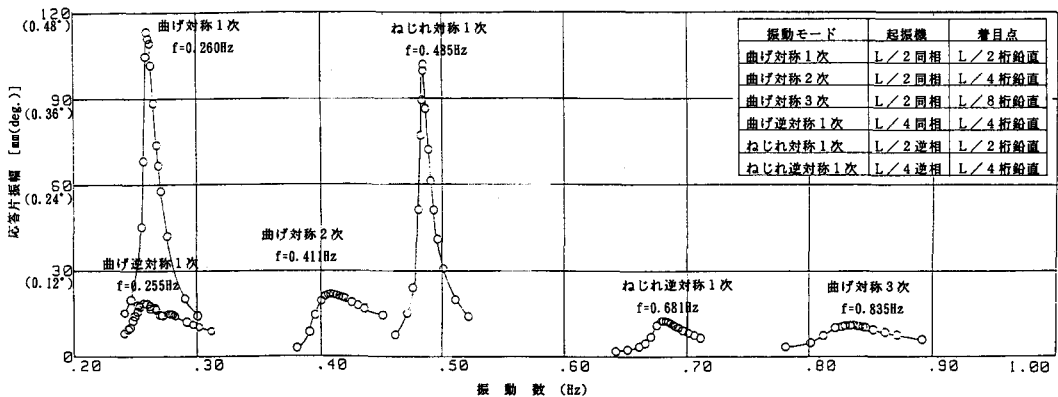


図-2 共振曲線

まとめ

固有振動数の測定値は、設計値に比べて高目の値ではあるが、補剛桁端部の摩擦による影響を考慮した計算値とほぼ一致した。また、本橋の構造減衰は上部工の耐風設計において仮定した $\delta=0.03$ を上回る結果が得られた。以上より、耐風設計時の妥当性が確認できたと考える。

最後に、耐風設計段階から種々ご指導頂いた東京大学藤野教授には、深く感謝の意を表します。

〔参考文献〕 和泉、小田桐、荻原、八部、落合、大垣、渡辺：ダブルデッキ2ヒンジ吊橋の振動実験、構造工学論文集、Vol. 40A、1994. 3