

本州四国連絡橋公団

金沢克義

本州四国連絡橋公団

佐藤昭光

川田工業㈱

正員○磯 光夫

川田工業㈱

正員 前田研一

1. まえがき

櫃石島橋は、本州四国連絡橋児島～坂出ルートに属し、図-1に示すように全長790m、中央径間が420mで、鋼床版を主構上弦材と一体化した合成鋼床版ダブルデッキ形式の鋼3径間連続トラス桁斜張橋である。上路部を自動車専用道路、下路部を鉄道在来線、および、将来には新幹線が走る、道路鉄道併用橋としては岩黒島橋とともに世界最大級の斜張橋である。本文は、代表的な架設段階における共振振動数と対数減衰率の実測値を求め、理論計算結果、あるいは、既往の試験結果と対比させて、主に主構トラスの耐風安定性について検討することを目的に実施した試験結果について報告するものである。

2. 試験概要

本振動試験は、図-2に示す代表的な5架設段階を対象としたが、精度管理システム^{1)~3)}におけるケーブル張力測定用センサー（加速度計）を併用したことにより測定チャンネル数が限定され、また、通常の架設作業と精度管理計測の間隙を縫って測定を行わなければならないなどの種々の制約下で実施されたものである。さらに、加振方法についても、自然風その他、各種現場架設用クレーン、運搬移動台車、トラック、および、作業員40名による飛びはねなどにより行い、起振機などの特別な機器を使用していない簡易的な試験である。

測定方法およびデータ解析方法は、前述した加振方法で加振して、発生した振動加速度を図-2に同時に示した位置の加速計で測定し、その加速度記録にスペクトル解析法を適用することによって、各モードに対応する共振振動数および、対数減衰率の実測値を求めた。

3. 試験結果とその考察

(1) 測定結果と理論値との比較

各架設段階での共振振動数と対数減衰率の測定結果をまとめたものを、立体骨組モデルの固有振動解析により得られた振動数の計算値とともに表-1に示す。各モードの共振振動は、どの架設段階をとっても測定値のパラツキが非常に少なく安定していた。

この表から固有振動数の測定値と計算値を比較すると、計算値を下回る測定値が若干見受けられるものの、大きな差異はなくほぼ妥当な値が得られたと考えられる。

対数減衰率については、パワースペクトルのピーク形状の良好なもののみ採用したことから、測定値のパラツキも大きくなく、微小振幅におけるものではあるが、同一モー

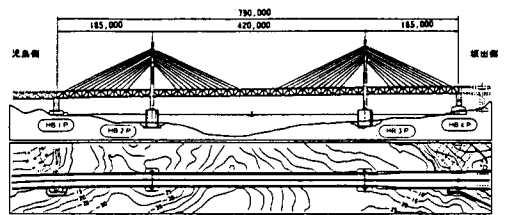


図-1 一般図

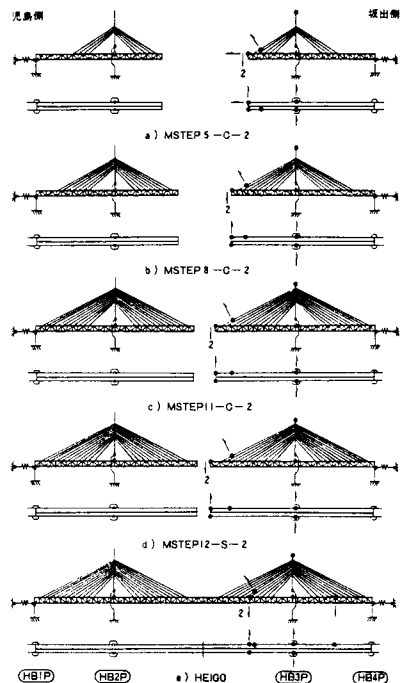


図-2 試験対象架設段階および振動加速度測定位置

ドの値が各段階で類似しているなどの傾向がみられる。

また、今回の測定の特徴としては、ケーブル振動の主桁や塔への連成が見受けられたことである。この影響の一例を図-3に示すが、特にねじれ1次振動に対応するピーク付近に生じる数個のピーク量の相対的な大小は、加振方法の異なった3種類の場合の測定では微妙に変化している。そこで、鎖状ケーブル計算モデルを用いて主桁のねじれ1次振動と最上段より2段目のケーブルの2次（逆対称1次）振動の連成に着目し、固有振動解析により求めた振動数の計算結果を示したのが表-2であり、固有振動モードの図化結果の一例が図-4である。これらの結果より、ケーブル振動と主桁、塔の振動が連成する場合には、その影響を配慮して対数減衰率を求める必要があることがわかった。

(2) 主構トラスの耐風安定性について

今回測定された共振振動数をもとに、本橋の耐風安定性について検討した結果を示せば、表-3のとおりである。この推定結果からは、風洞実験は一樣流状態であること、実橋と模型との差異あるいは両者の断面状態（架設設備等）の若干の差異等から直接対比はできないものの、HEIGO段階を始めとして各段階におけるたわみやねじれの限定振動発振風速、ねじれ発散振動発振風速は、事前に実施された風洞模型実験⁴⁾から得られていた予測値と大差がなかった。また、結果を示していないがたわみ振動、および、ねじれ振動の振幅についても、風洞実験の風速-振幅-減衰曲線と今回測定の対数減衰率との比較より同様のことがいえる。

4. あとがき

最初にも述べたように本試験は、簡易測定の域を脱していないが、以上に示した試験結果、および、種々の考察からは、当初の目的を十分満足する成果が得られたとしてもよいと思われる。長大斜張橋の架設時における試験結果の蓄積が望まれている現在、本試験結果は今後の貴重なデータのひとつになり得るものと思われる。

〔参考文献〕 1) 金沢・佐藤・武山：覆石島橋の形状管理，本四技報，1987。 2) 金沢・佐藤・清水・中村・町田：本四斜張橋・覆石島橋における面材架設時の施工管理（その1）-架設精度管理システムの開発-，土木学会第42回年次学術講演会講演要集，1987。 3) 金沢・武山・伊藤・甲斐・西岡・片山：本四斜張橋・覆石島橋における面材架設時の施工管理（その2）-管理方針と管理結果-，土木学会第42回年次学術講演会講演要集，1987。 4) 本州四国連絡橋公団第二建設局，三菱重工業㈱：岩黒島橋（斜張橋）主構トラス大風洞実験（その2），（その3），1981。

表-3 各架設段階の限定振動、発散振動発振風速（推定）

振動形態	項目	5-C-2	8-C-2	11-C-2	12-S-2	HEIGO	観測風速
たわみ	振動数 (Hz)	0.488	0.438	0.410	0.390	0.463	0.400
	限定振動発振風速 (m/s)	21.4-31.1	19.2-27.9	17.9-26.1	17.1-24.9	20.3-29.5	17.5-25.5
ねじれ	振動数 (Hz)	1.476	1.447	0.840	0.883	1.065	0.980
	限定振動発振風速 (m/s)	50.5-59.0	49.0-57.3	27.9-32.6	29.3-34.2	33.3-41.3	32.5-38.0
	発散	149.6	146.6	85.1	89.5	107.9	99.3

表-1 振動数の測定値と計算値の比較と対数減衰率の測定値

架設段階	振動モード	振動数 (Hz)			対数減衰率 (測定値)	
		測定値	計算値	測定値/計算値	平均	範囲
MSTEP 5-C-2	H 1	0.355	0.582	0.61	0.057	0.059-0.056
	V 1	0.488	0.465	1.05	0.045	0.060-0.035
	TO1	0.776	0.704	1.10	0.028	0.031-0.025
	H 2	1.050	1.124	0.93	0.015	0.016-0.015
	V 2 (未確認)	1.221	—	—	—	—
	T 1	1.476	1.229	1.20	0.033	0.041-0.025
MSTEP 8-C-2	H 1	0.316	0.402	0.79	—	—
	V 1	0.438	0.420	1.04	—	—
	TO1	0.773	0.676	1.14	0.024	0.035-0.020
	H 2 (未確認)	1.099	—	—	—	—
	V 2	—	1.128	—	—	—
	T 1	1.447	1.136	1.27	0.013	0.014-0.013
MSTEP 11-C-2	H 1	0.308	0.294	1.05	—	—
	V 1	0.410	0.407	1.01	—	—
	TO1	0.772	0.647	1.19	0.020	0.021-0.020
	H 2 (未確認)	1.070	—	—	—	—
	V 2	—	1.001	—	—	—
	T 1	0.840	0.972	0.86	0.021	0.044-0.019
MSTEP 12-S-2	H 1	0.283	0.270	1.05	0.055	0.061-0.045
	V 1	0.390	0.373	1.05	0.047	0.047
	TO1	0.762	0.644	1.18	0.021	0.021-0.020
	H 2 (未確認)	1.057	—	—	—	—
	V 2	—	0.952	—	—	—
	T 1	0.883	0.919	0.96	—	—
HEIGO	H 1	0.407	0.406	1.00	0.050	0.050
	V 1	0.463	0.443	1.05	0.041	0.041
	TO1	0.772	0.643	1.20	—	—
	H 2 (未確認)	0.755	—	—	—	—
	V 2	—	1.114	—	—	—
	T 1	1.065	0.915	1.16	0.019	0.019

(注) H 1 : 水平曲げ1次振動 V 1 : 鉛直曲げ1次振動
TO1 : 塔面内曲げ1次振動 H 2 : 水平曲げ2次振動
V 2 : 鉛直曲げ2次振動 T 1 : ねじれ1次振動
対数減衰率の空白は、パワースペクトルのピークが小さく算定ができない場合を示す。

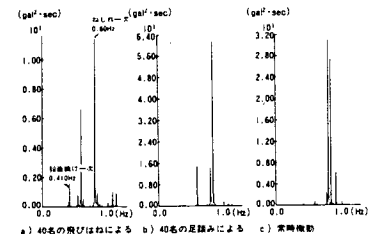


図-3 ケーブル振動の桁や塔への連成 (MSTEP11-C-2)

表-2 主桁のねじれ1次振動に着目した固有振動数の計算結果 (MSTEP11-C-2)

No	振動状況	振動数
1	ケーブルと主桁の連成振動 ¹⁾	0.9704
2	ケーブル振動のみ	0.9767
3	"	0.9769
4	"	0.9770
5	"	0.9770
6	"	0.9770
7	"	0.9770
8	"	0.9783
9	ケーブルと主桁の連成振動	0.9932

(注) 1) 4本のストランドの2次振動が組合わされている。

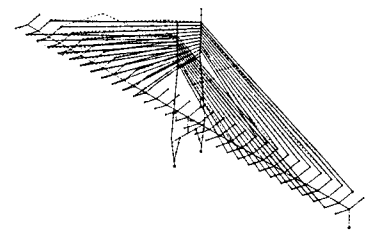


図-4 主桁のねじれ1次振動と2段目ケーブルの2次振動の一例 (MSTEP11-C-2)