

I-290

櫃石島橋の実橋振動実験

本州四国連絡橋公団

大 田 享

本州四国連絡橋公団

正会員 勝 地 弘

三菱重工業株式会社

○正会員 佐々木伸幸

1. まえがき

櫃石島橋は本州四国連絡橋、児島－坂出ルートのうち櫃石島と岩黒島間に架る中央径間420m、全長790mの道路鉄道併用橋で、形式はマルチケーブル方式の三径間連続斜張橋である。本橋がほぼ完成状態になった昭和62年12月～63年1月に実橋を大振幅で加振し、本橋の耐風設計など動的設計の基本となる振動特性を実測し、設計計画値の検証を行なった。

2. 実験方法

起振機は本州四国連絡橋の各橋を加振するために特製した大型起振機であり、櫃石島橋実験のために一部改造した。改造後の仕様を表－1に示す。同仕様の起振機2台を幅員両端部に設置し、同相又は逆相で同調運転し、曲げ振動及びねじり振動をそれぞれ励起した。また橋軸方向の設置位置は、先ず中央径間の $l/4$ 点に、次に $l/2$ 点に移設し、対称モード及び逆対称モード振動を順次誘起した。計測は、桁、塔の主要点にサーボ型加速度計を24台配置した。また、ケーブルについても代表ケーブル19本に回転抵抗型のケーブル変位計を取り付けた。その他、タワーリンク部の回転量、桁端部の水平すべり量、風速、温度などをも計測した。実験の概要を図－1に示す。

3. 解析

斜張橋の特徴である桁とケーブルの連成効果まで検討できるようケーブル1本づつまで忠実に振動系とした全橋の立体振動解析モデルを採用した。橋梁が左右に対称構造であることからモデルは全橋の1/2構造としセンタライン上で対称条件（曲げ振動）及び逆対称条件（ねじり振動）を用いた。1/2構造について給節点数は526であり、総要素数は620である。このモデルについて固有振動解析を行なった。

4. 実験結果及び考察

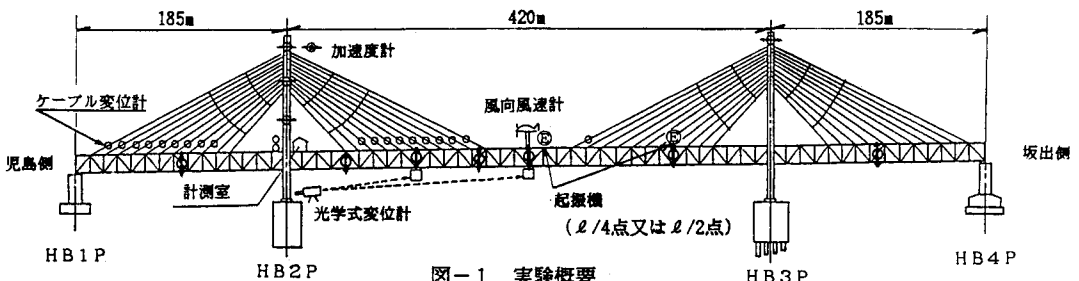
共振曲線代表例を図－2に示す。図中(a)は振幅応答曲線であり、(b)は起振力（正確には起振機位置でのウェイトと橋体の相対動き）に対する橋体応答の位相曲線を示し、(c)は振幅と位相を極座標表示したモーダル円である。図－2の位相関係から共振時の周波数及び最大振幅がほぼ完全に実験でとらえられていることがわかる。実験の対象とした全モードについて同様の結果を得た。固有振動数の実験値と計算値の対応

表－1 起振機の主要諸元(1台当り)

加振方向	鉛直方向
重 量	約110t + 架台14t
寸 法	H=6.30m, W=6.10m L=7.10m
重錘重量	55.5t～6t
重錘ストローク	±0.16m
起振周波数	0.36～2.17Hz
発生波形	近似正弦波
起振力	最大20t (0.7Hz以上)
制動装置	ディスクブレーキによる急制動

表－2 実験結果のまとめ

振動モード		振動数		対数減衰率 δ	最大振幅	
		計算値 (Hz)	実験値 (Hz)		変位 (cm)	角度 (deg)
曲 げ 振 動	対称1次	0.429	0.430	0.080	9.12	—
	逆対称1次	0.734	0.729	0.088	3.88	—
	対称2次	1.080	1.030	0.066	2.52	—
ね じ り 振 動	対称1次	1.029	1.058	0.046	4.21	0.175
	逆対称1次	1.715	1.910	0.071	0.37	0.015



図－1 実験概要

は表-2に示すようにほぼ良好である。次に、共振点における桁と塔のモード形状を実験値と計算値を対比して図-3に示す。全モードとも両者は良く一致していることが認められる。対数減衰率は次の3通りの方法を併用し求めた。

- 1) 起振機急停止後の自由減衰波形（代表波形例を図-4に示す。）
- 2) 共振曲線（モーダル円）形状 ($1/\sqrt{2}$ 法)
- 3) 実測最大振幅から共振応答式を用いて逆算

3通りの方法で求められた対数減衰率をまとめて図-5に示す。図は対数減衰率の振幅依存性を見るため桁振幅との関係で整理した。自由減衰のデータは、再現性チェックのため異なった気象条件において実験を繰り返したものを併記した。3通りの方法で得られた減衰率は良好な対応を示しており、信頼性の高い実測値であると考えられる。対数減衰率の振幅依存性は振動モードによってかなり傾向が異なり、曲げ対称1次振動では桁振幅の増大に伴って対数減衰率が2倍近く増大する。実験で得られた最大振幅時の対数減衰率をまとめて表-2に示す。設計計画値 $\delta = 0.03$ に対しいずれも高めの値であり、安全側の設計であったことが検証できた。尚、今回実験では起振機の最大出力上限まで起振力を増大し、最高周波数まで加振したが、この間、特に高周波域において附属物の共振、ケーブルの大振動、橋体摺動部きしみ音の発生などが見られたが、結果的には実験による橋体の損傷は皆無であった。

5. まとめ

実験の結果、本橋の動的設計の妥当性が最終的に実橋において検証されたと言える。これらの結果が今後の長大斜張橋の設計資料として役立てば幸いである。実験に際し、御指導頂いた土木学会・本州四国連絡橋耐風研究小委員会の諸先生及び現場で御協力頂いた架設JV構成会社の諸氏に深く感謝致します。

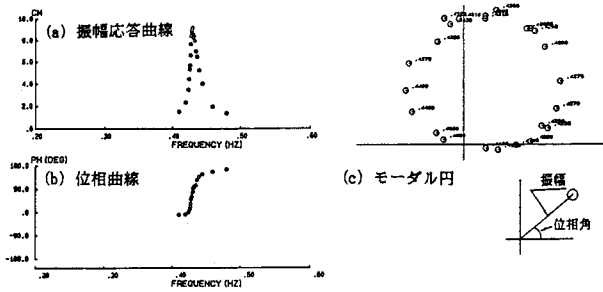


図-2 曲げ対称1次振動共振曲線

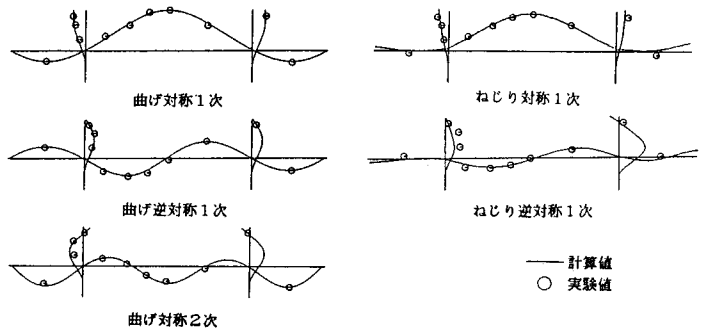


図-3 振動モード

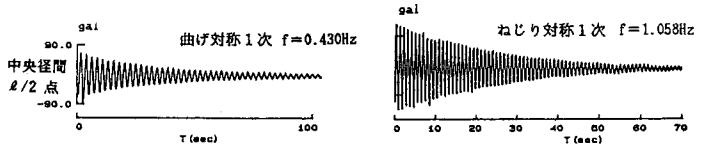


図-4 自由減衰波形例

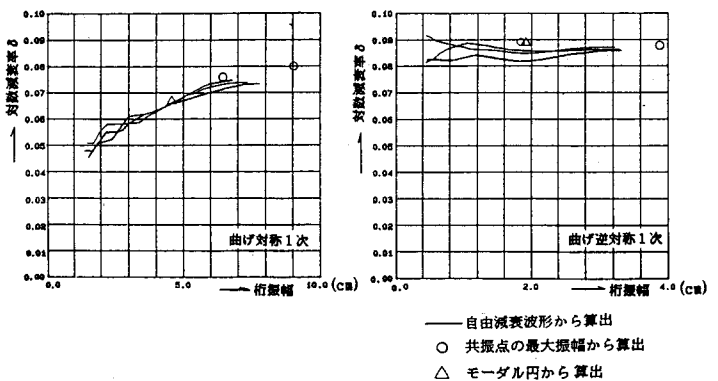


図-5 対数減衰率と桁振幅の関係