

I - B 249

多々羅大橋の実橋振動実験

本州四国連絡橋公団 正会員 ○山口 和範* 本州四国連絡橋公団 真辺 保仁*
本州四国連絡橋公団 正会員 森山 彰* 三菱重工業株式会社 正会員 渡部 剛賢
三菱重工業株式会社 正会員 森下 邦宏

1. まえがき

多々羅大橋は本州四国連絡橋尾道～今治ルートに属し、中央径間長 890m の斜張橋であり、大規模でかつケーブルの振動の影響が大きいことから、動的設計の検証を目的とした実橋振動実験を行った。

実験は舗装工事が終り、完成状態になった 1998 年 11 月から 12 月にかけて行い、大型起振機を用いて、桁を鉛直方向および水平方向に加振した。なお、長大橋の水平方向の大振幅加振は今回が初めての試みである。

2. 実験方法

計測項目は、桁、塔、ケーブルの主要点の加速度および支承の変位などで、これら計測器の配置及び起振機設置位置を図 1 に、また、使用起振機の仕様を表 1 に示す。

実験に対応する固有振動解析は、全橋立体骨組モデルを用いたが、ケーブルのモデル化に当たっては、通常の実設計で広く行われている線材としてのモデル(設計モデル)、およびケーブルにも多数の節点を設け、質量を分布したモデル(連成モデル)の 2 通りで行った。なお、連成モデルのケーブル分割は全ケーブル(168 本)とも 50 分割とし、サグも考慮している。

3. 実験結果および考察

実験対象とした 8 モードの固有振動特性をまとめて表 2 および図 2 に示す。これらの 8 モードの内、鉛直曲げ対称 1 次および水平曲げ対称 1 次の 2 つは、ケーブルの固有振動数(最上段が 0.25Hz)より低い固有振動数であるためケーブル振動は生じなかったが、ほかの 6 モードは固有振動数が接近したケーブルが大きく振動し、桁とケーブルの連成振動が生じた。実験値と解析値を比較すると、固有振動数は 10%以下程度で一致しており、またモードもよく対応している。

対数減衰率は起振機停止後の自由減衰波形から求めたが、対数減衰率の振幅依存性およびケーブルとの連成による自由減衰波形の乱れなどの複雑な特性を示した。振幅依存性が特に顕著であったのは水平振動であり、図 3 に示すように振幅が大きくなるにつれ減衰率が急増している。この原因としては、図中に示すように、主桁の先端付近に取り付けられたフェアリングボルトの滑りによる摩擦減衰の影響などが考えられる。この振幅依存性については大振幅範囲の対数減衰率を採用した。

また、ケーブルとの連成が現れたモードについては、桁とケーブルのそれぞれの自由振動波形を、図 4 に示すように周波数分析し、接近した複数のモードの自由減衰波形の重ね合わせであると仮定し、モードの分離を行い、桁主体の対数減衰率推定をも試みた。こうして整理した減衰率をまとめて表 2 に示すが、設計値 $\delta=0.02$ を概ね満足している。

また、図 5 に示すように、ねじり逆対称 1 次の共振点付近で、ケーブルが桁振動の 1/2 の振動数で振動する非線形連成振動(オートパラメトリック振動)が発生したが、強風時にはねじり逆対称振幅成分の応答は小さいと推測されることから、この非線形連成振動が発生する可能性は低いと考えられる。

なお、これら実験データの詳細は文献 1) を参照されたい。

4. まとめ

実橋振動実験により、主要モードの固有振動特性、特に構造減衰を実測確認し、本橋の振動設計を検証した。さらに、桁とケーブルの連成現象や減衰の要因分析などの検討を行い、今後の長大斜張橋設計資料を得た。これらのデータは現在も詳細解析中であり、当日発表の予定。

キーワード：斜張橋、実橋振動実験、水平方向加振、対数減衰率、ケーブル連成振動

連絡先* : 〒722-0073 広島県御調郡向島町 5890-1, 第三建設局向島工事事務所 TEL 0848-45-0011, FAX 0848-45-3633

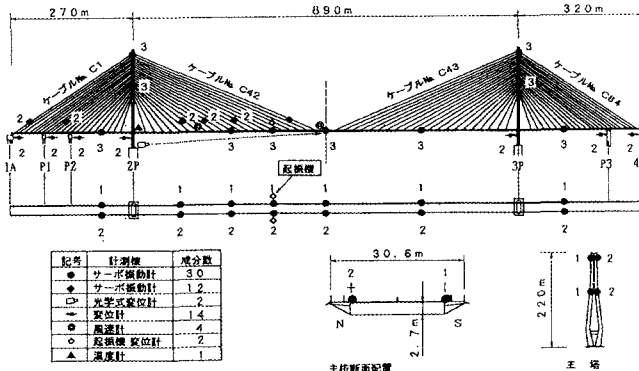


図1 対象橋梁及び計測点

表2 振動特性のまとめ

対象振動	対象モード	振動数(Hz)				対 数 減衰率 ①	対 数 減衰率 ②	最大 振幅 (cm)
		実験値		解析値				
		振 動 実 験	常 時 微 動	連 成 モ デル	非連成 モ デル			
鉛直曲げ	対称1次	0.226	0.227	0.223	0.232	0.024	-	30.5
	逆対称1次	0.263	0.264	0.262	0.276	0.018	0.019	22.6
	対称2次	0.348	0.348	0.345	0.352	0.007	0.012	9.5
ねじれ	対称1次	0.497	0.497	0.498	0.561	0.017	0.010	4.8
	逆対称1次	0.831	0.821	0.822	0.823	0.051	0.020	1.6
水平曲げ	対称1次	0.097	0.102	0.094	0.093	0.132	-	9.4
	逆対称1次	0.248	0.285	0.249	0.258	0.213	0.037	4.0
	対称2次	0.470	0.496	0.494	0.492	0.173	0.020	1.1

- ①：自由減衰原波形の最大振幅から最大振幅の70%までを直線補間して求めた対数減衰率
 ②：ケーブルと連成したモードの自由減衰波形について、モード分離を行い求めた桁主体モードの対数減衰率（水平振動はフェアリングのボルトが滑らない小振幅領域）

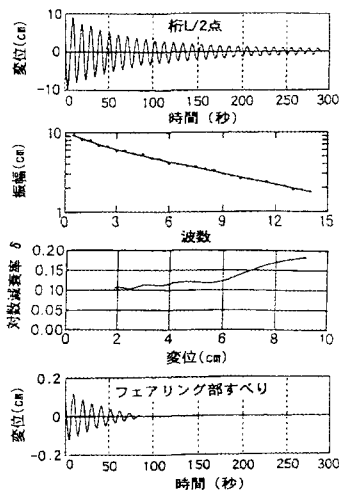


図3 自由振動および対数減衰率

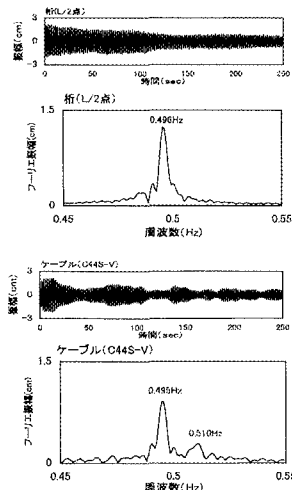


図4 桁とケーブルの連成

表1 起振機仕様

加振方向	鉛直方向または水平方向
重量	約 37ton・f(ウェイト 20tを含む)
ウェイト重量	20ton・f(多々羅大橋仕様)
ウェイトストローク	± 100cm
同期制御	2台同相同期および逆相同期運転
駆動方式	ACサーボモータ(55KW × 2台)
急停止装置	ディスプレイによる急制動
電源	エンジン発電機(200KVA × 2台)

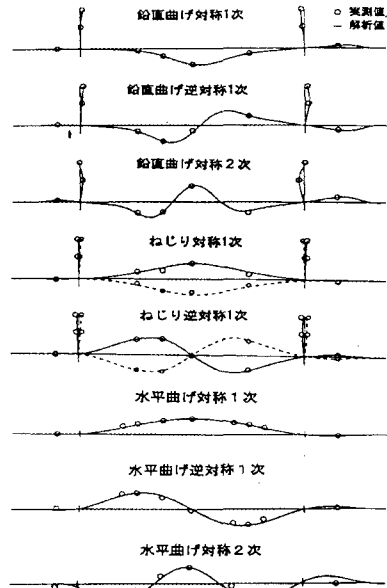


図2 振動モードの比較

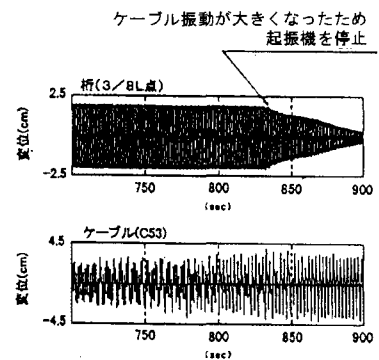


図5 オートパラメトリック振動

謝辞：振動実験を実施するに当たり、埼玉大学工学部建設工学科 山口宏樹教授から技術的御指導頂きましたことに深く感謝の意を表します。

参考文献 1) 河口 浩二ほか、多々羅大橋の振動実験速報、本四技報、Vol.23, No.90, '99.4.