

I-34

PC斜張橋の振動特性

九州大学 工学部 正員 小坪清真, 島野 清
 九州工業大学 " 高西照彦
 九州大学 工学部 " 園田敏夫

1. まえがき

近年, 我国において周辺環境との調和などの理由から, 斜張橋の建設が多くなってきた。しかしながら, 従来建設されている斜張橋はメタル構造が主であり, PC斜張橋の建設例は少ない。PC斜張橋については耐風, 耐震性の検討が必要であり, その為の基礎資料となる振動特性を明らかにする必要がある。今回, 北九州の豊後橋(2径間連続PC斜張橋)の起振機試験を行い, 振動特性(固有振動数, 変位モード, 減衰定数)を求める機会を得たのでその結果を報告する。

2. 起振機試験

図-1に豊後橋の概要図を示す。ほぼ左右対称の構造となっており, 右岸・左岸の支承は可動である。平面図の×印は起振機(早川機械製作所製, VE-3-7, 最大起振力 $(28\text{ t}^2\text{ kg})$; τ : 加振振動数)設置位置を示す。Iは主塔から左岸側スパン長の1/4点であり, IIはスパン長の1/2点である。桁の対称モード, 逆対称モードを励起するために, 起振機設置位置I, IIを設けたが, 今回の試験では, Iの位置における加振でも逆対称モードの振動を励起させることができたので, IIの位置での試験は行わなかった。起振機位置Iでは面内振動(桁の上下方向変位と橋軸水平方向変位の連成振動)を励起するために, 上下方向(Z方向)と橋軸水平方向(X方向)にそれぞれ加振した。又, 面外振動に対しては橋軸直角水平方向(Y方向)に加振した。起振機位置IIでは桁の捩れ振動(橋軸まわりの回転)を求めるために, 上下方向加振を行った。図-2に全測点番号を示す。主塔の動きを知る為に主塔にも測点を設けた。測定はサーボ加速度計(明石製作所製, V401B, 容量 $\pm 3\text{ G}$, 周波数特性DC $\sim 400\text{ Hz}$)を使用した。起振機の加振周波数を 1.0 Hz $\sim 7.3\text{ Hz}$ まで変化させ共振曲線を求めた。起振機の加振力は加振振動数の2乗で大きくなり, 低振動数領域で加振力が小さくなるので, 共振曲線の求め方としては, 得られた加速度を起振力 1 ton (加振振動数約 6 Hz 時の起振力)に換算した時の換算加速度で図示した。共振曲線のピーク値より固有振動数を, 又, その時の全測点の変位より変位モードを求めた。さらに, 共振時近傍の変位共振曲線より $1/2\pi$ 法を用い減衰定数を求めた。図-3は起振機をIに設置し, 上下方向加振した時の測点9の上下方向加速度共振曲線である。図-4は起振機をIに設置し, 橋軸水平方向に加振した時の測点4の橋軸水平方向加速度共振曲線である。両図より

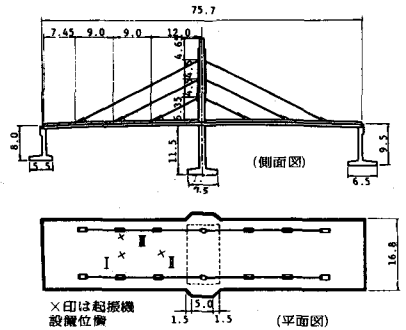


図-1 概要図(寸法の単位はm)

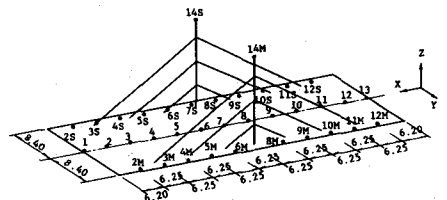


図-2 測点図(寸法の単位はm)

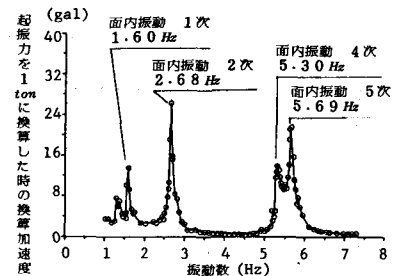


図-3 共振曲線(起振機設置位置 I (測点9 Z) 上下方向加振)

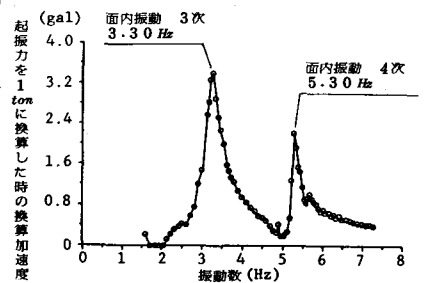


図-4 共振曲線(起振機設置位置 I、(測点4 X) 橋軸水平方向加振)

面内振動の1次(1.60Hz), 2次(2.68Hz), 3次(3.30Hz), 4次(5.30Hz), 5次(5.69Hz)が求まる。面内振動の各次の振動モードを図-6に示す。1次, 2次, 4次, 5次は上下方向振動成分の多いモードであり, 3次は橋軸水平方向振動成分の多いモードである。面外振動については共振曲線を図示していないが, 起振機をⅡに設置し橋軸直角水平方向に加振した時の共振曲線より図-7に示すような1次の振動モード(5.50Hz)だけが求まった。これは兩岸の嵩が同位相で動いているモードである。

図-5は起振機をⅢに設置し, 上下方向加振した時の測点9Sの上下方向加速度共振曲線である。面内振動も励起されるが, 先の図-3, 図-4の共振曲線を利用して振れ振動を判別すると, 1次が2.93Hz, 2次が3.68Hz, 3次が6.86Hzであった。又, 振れ振動の固有振動数の近いところに面内振動の固有振動数があると, 実験から得られたデータには, この面内振動の成分が含まれているので, 補正を行い純粋の振れ振動モードを求めた。図-8は振れ振動モードである。表-1は固有振動数, 減衰定数をまとめて示したものである。面内振動3次, 面外振動1次の減衰定数は他の振動の減衰定数(約1%前後)に比べ, かなり大きな値になっている。これは前者2つ共, 兩岸部分が大きく変位するモードで, PC鋼橋と支承ゴム製の嵩にエネルギーが失われているものと思われる。起振機試験と共に常時微動測定を行ったが結果は同じであった。ケーブルの固有振動数を求めるために, 常時微動測定ではケーブル上に測点を設けた。図-9は上段ケーブルのパワースペクトル図である。上段ケーブルの4本, 中段ケーブルの4本, 下段ケーブルの2本はそれぞれ, ほぼ等しい固有振動数となっており, 各段毎のケーブルの張力は比較的均等であると思われる。表-2はケーブルの固有振動数, 減衰定数の各段毎の平均値である。減衰定数はパワースペクトルの形状より1/2法を用い求めた。

ケーブルの固有振動数を理論的に求めたが, 曲げ剛性を考慮した両端ヒンジの条件で求めた値が, 実験値に近い値であった。

振動	次数	固有振動数 (Hz)	減衰定数 (%)	共振時の実変位 ※		備考
				測点	変位 (μ)	
面内振動	1次	1.60	1.60	4Z	168	桁の曲げ振動
	2次	2.68	0.77	4Z	394	桁の曲げ振動
	3次	3.30	4.23	2X	30	橋軸水平方向振動
	4次	5.30	0.68	5Z	117	桁の曲げ振動
	5次	5.69	1.02	5Z	170	桁の曲げ振動
面外振動	1次	5.50	3.17	13Y	64	
	振れ振動 1次	2.93	1.21	4SZ	436	
	振れ振動 2次	3.68	1.67	4SZ	267	
	振れ振動 3次	6.86	1.26	5MZ	144	

※共振時の実変位
共振時における実際の最大応答変位

表-1 固有振動数及び減衰定数

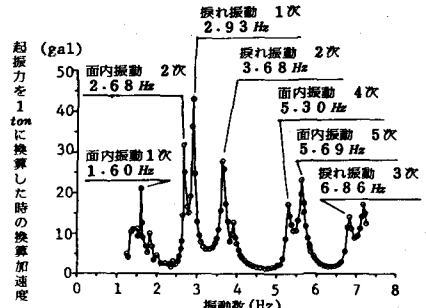


図-5 共振曲線 (起振機設置位置 Ⅲ、(測点9SZ上下方向加振))

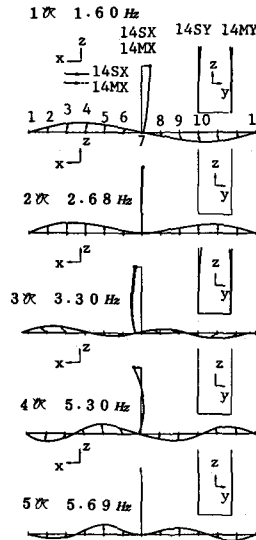


図-6 変位モード図 (面内振動)
起振機設置位置 Ⅰ

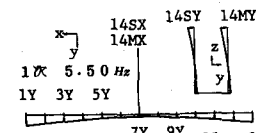


図-7 変位モード図 (面外振動)
起振機設置位置 Ⅰ

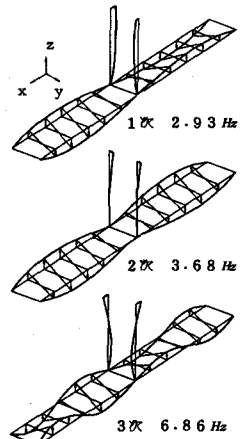


図-8 変位モード図
(振れ振動) 起振機設置位置 Ⅲ

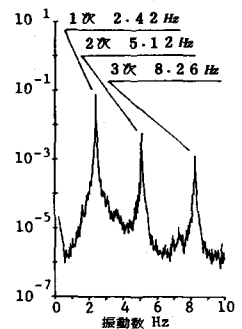


図-9 上段ケーブルの
パワースペクトル図

ケーブル	次数	固有振動数 (Hz)	減衰定数 (%)
上段	1次	2.45	0.81
	2次	5.14	0.41
	3次	8.33	0.36
中段	1次	3.92	0.55
	2次	8.74	0.40
下段	1次	10.39	0.30

表-2 ケーブルの固有振動数
及び減衰定数