

## 波形鋼板ウェブPCエクストラード橋の振動特性

### — 近江大鳥橋 (栗東橋) の実橋振動実験 —

(株)ピーエス三菱 大阪支店	正会員	○橋野 哲郎
西日本高速道路(株) 関西支社	正会員	芦塚 憲一郎
西日本高速道路(株) 関西支社		高橋 章
(株)ピーエス三菱 大阪支店	正会員	須田 隆

#### 1. はじめに

近江大鳥橋は、波形鋼板ウェブとPCエクストラード構造を組み合わせた初めての構造形式として計画され、平成14年1月の上部工施工の着手から約5年の歳月を経て平成19年3月に竣工した(写真-1)。構造的な特徴としては、鋼とコンクリートの複合構造を細部まで積極的に取り入れて、施工の合理化を図っている点であり、これらの設計にあたっては、多くの解析検討や確認実験により安全性を検証している。

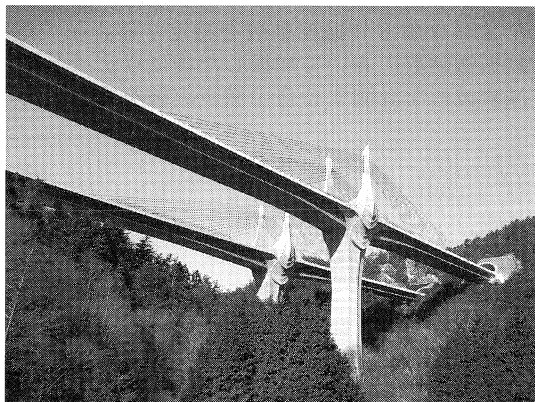


写真-1 近江大鳥橋完成写真

また、本橋のもう一つの特徴として、上下線が独立した並列橋である事と、一般的なPCエクストラード橋と比べて単位長さあたりの桁質量が小さい事から、複雑な耐風特性を有することが挙げられる。そのため、桁の並列配置による空力干渉効果を把握する事を目的として、縮尺1/35の2次元部分模型を用いた風洞実験を行い、動的耐風安定性の検証を行っている。さらに、橋梁完成後に実橋において起振機を用いた振動試験を実施し、風洞実験時に仮定していた構造減衰値等の実測確認を行った。

本稿は、この振動実験結果について報告するものである。

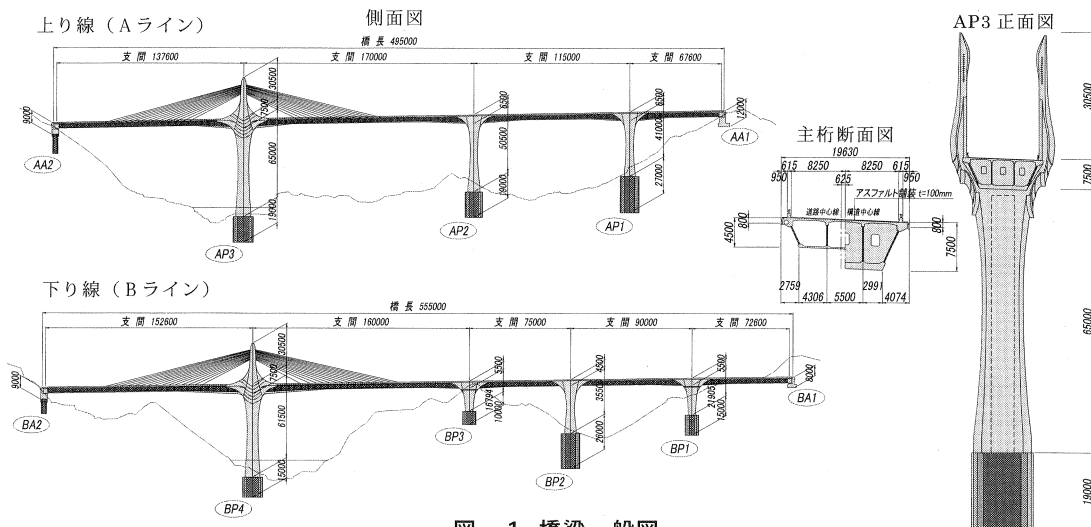


図-1 橋梁一般図

#### 2. 実験概要

本橋の橋梁一般図を図-1に示す。構造的には4径間および5径間の連続ラーメン橋であり、

橋脚高の低い下り線BP1, BP3橋脚はゴム支承構造である。今回、起振機を用いた振動実験は、風洞実験結果から、渦励振による桁振動が懸念された下り線側橋梁を対象として実施した。

図-2に計測点および起振機の設置位置を示す。起振機は、多々羅大橋等の振動実験で用いられた大型起振機とし、BP3~BP4径間中央に2台設置して鉛直方向に加振した(写真-2)。

実験手順を図-3に示す。実験は、まず常時微動計測により固有振動数の概略値を求め、加振振動数を変化させながら共振振動数を特定する正弦波応答実験と、共振振動数において加振した後にウェイトを急停止させて、その減衰波形を計測する自由減衰実験を実施した。

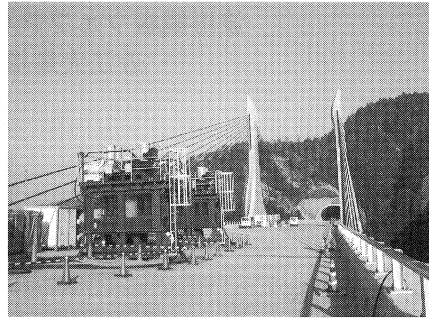


写真-2 起振機設置状況

記号	計測項目	計測器	点数	成分
V	桁鉛直振動	サーボ型加速度計	6	6
L	桁上座軸軸振動	サーボ型加速度計	2	2
P	ピア軸軸振動	サーボ型加速度計	1	1
D	支承変位	変位計	10	10
M	起振機マス振動	サーボ型加速度計	2	2
T	外気温度	温度計	1	1
W	風向・風速	風向・風速計	1	2
合計			23	24

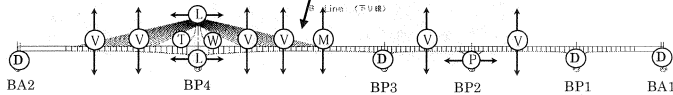
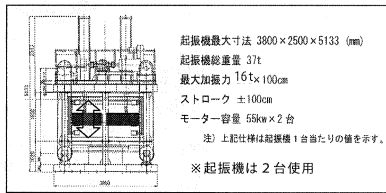


図-2 計測点および起振機設置位置

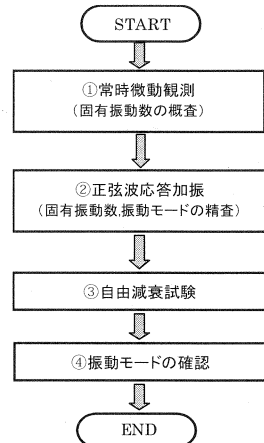


図-3 実験手順

### 3. 実験結果

BP3~BP4径間中央の計測点における共振曲線を図-4に示す。本実験で計測対象としたモードは、桁鉛直卓越振動の全体2次, 4次, 5次モードである。なお, 1次, 3次モードは橋軸直角方向の振動モードであり, 今回の実験では計測の対象外とした。

共振曲線の結果より, 起振力を変化させると桁の応答振幅の大小(起振力の大小)により共振周波数が異なっていることが分かる。また, 全体5次モード(1.2Hz成分)の応答振幅は, 起振力を大きくすると卓越する傾向にあった。

次に, 2次振動モードにおける自由減衰試験結果を図-5に示す。減衰波形は, 一般に指数関数で表されるため振動振幅と波数の関係も指数関数となる。よって, 振動振幅を対数にとつ

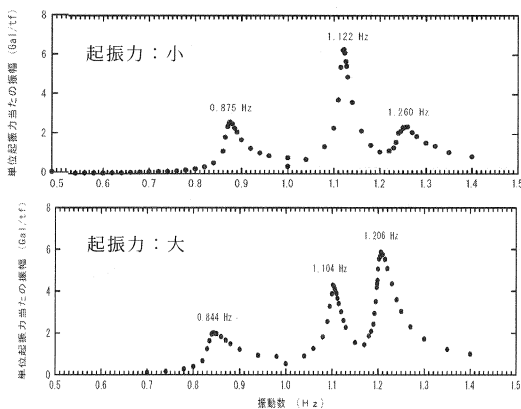


図-4 共振曲線

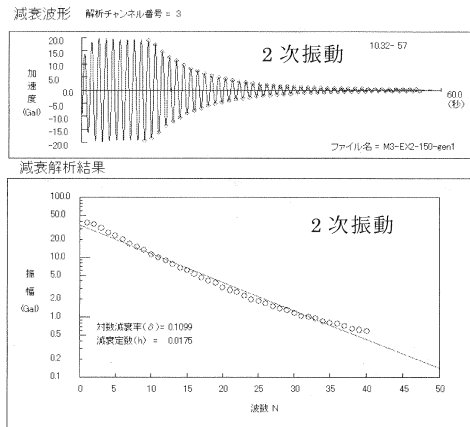


図-5 減衰波形と減衰解析結果

た片対数グラフ（振動振幅と波数の関係）で表示すると振動振幅は直線で減少することになり、この傾きが減衰となる。本橋の計測結果では、桁振幅の大きさによってこの傾きに変化があり、減衰についても振幅量の影響を受けていることが確認できる。

各振動モードに対する固有振動数および構造減衰（対数減衰率）の計測結果を表-1に示す。本橋では、計測した全

表-1 固有振動数および構造減衰(対数減衰率)

項目		全体2次モード	全体4次モード	全体5次モード
固有振動数	解析値	0.776 Hz	1.032 Hz	1.141 Hz
	常時微動	0.902 Hz	1.143 Hz	計測されず
	桁振幅：小 (起振力：小)	0.875 Hz (6gal)	1.122 Hz (23gal)	1.26 Hz (11gal)
	桁振幅：大 (起振力：大)	0.844 Hz (20gal)	1.104 Hz (60gal)	1.206 Hz (74gal)
減衰	桁振幅：小	0.077	0.064	0.032
	桁振幅：大	0.141	0.093	0.117

ての振動モードにおいて、桁の応答振幅量に応じて固有振動数および構造減衰が変化する振幅依存性が認められた。なお、常時微動計測において5次モードの振動数が観測できなかった理由としては、本振動モードは主塔橋脚が大きく水平方向に変位するモードであり、微少な加振力では振動が生じなかったものと考えられる。また、実橋の構造減衰値は、風洞実験時に仮定していた $\delta = 0.030$ 以上を有していることが分かった。

4. 振幅依存性と振動モード

図-6、図-7は、2次振動モードの自由減衰試験結果について、桁の応答振幅と固有振動数および対数減衰率との相関を示したものである。このグラフより、桁振幅量が大きくなると固有振動数は低下し、対数減衰率が増加する振幅依存性の傾向が確認できる。この振幅依存性は、4次モード、5次モードについても同様の傾向であった。

固有振動数が振幅によって変化する要因について、ゴム支承の水平バネ剛性に着目して検討を行った。図-8は、2次振動モードの計測結果について、起振力と支承橋軸変位モード値との関係を示したグラフである。ここで、縦軸のモード値は、A2~P4径間中央の桁鉛直振幅値に対する支承橋軸振幅値の比を示している。このグラフから、起振力の変化によって支承の水平変位モード値が変化していることが分かる。

次に、固有値解析モデルにおいて支承水平バネ剛性を変化させ、支承バネ値と支承橋軸モード値との関係を検討した。図-9は、2次振動モードの固有値解析結果について、各ゴム支承のバネ値とモード値との相関を示し

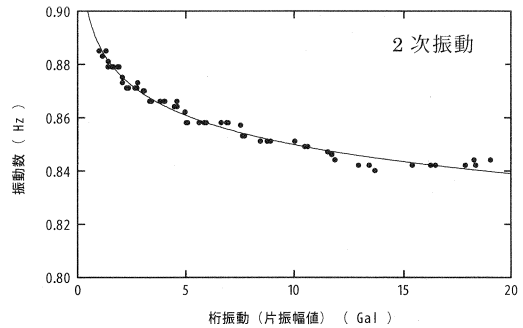


図-6 固有振動数の振幅依存性

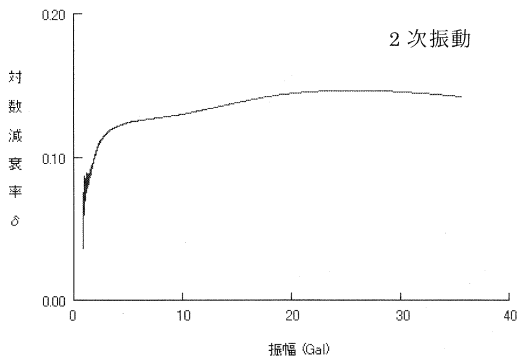


図-7 構造減衰の振幅依存性

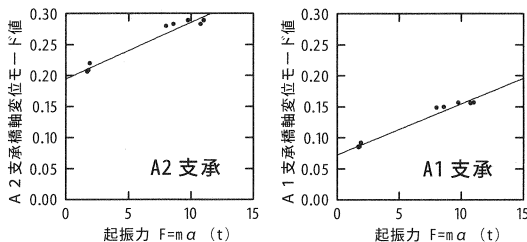


図-8 起振力とモード値の関係

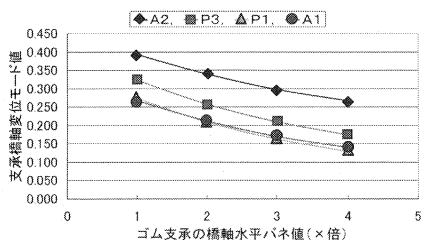


図-9 支承バネ値とモード値の関係(解析値)

たものである。全支点ともに、支承バネ値を大きくすると、橋軸変位モード値が小さくなる傾向にある。ここに、ゴム支承の水平バネの基準値とは、有効設計変位時(175%ひずみ時)のバネ値を示したものである。

図-8、図-9の結果から、大振幅時(加振力10t程度時)の支承変位モード実測値は、支承バネが設計値×3倍の解析値とよく一致している事が分かる。また、ゴム支承の製品検査時に実施したせん断剛性試験結果から微小変位レベルでのバネ値を検証した結果、加振実験での支承実変位(約3mm)に相当するバネ値は、設計バネ値の約3~3.5倍程度であることが確認できた(図-10)。

さらに、主桁および主塔の変位モードについても、解析モデルにおける支承バネ値を適切に設定することにより実測モード値とよく一致する結果となった。(図-11)

### 5. 本橋の振動特性

以上の結果を踏まえ、本橋の振動特性を以下に記す。

- (1) 固有振動数、構造減衰とともに、振幅依存性が確認され、応答振幅の増大に伴い「固有振動数は低く、構造減衰は大きくなる傾向」にある。
- (2) 応答振幅が比較的小さい振動実験レベルの振動状態では、ゴム支承の水平バネ剛性について初期剛性の影響を適切に評価することで解析モデルとの整合をはかることができる。

- (3) 実測された構造減衰は、風洞実験時の仮定値  $\delta = 0.030$  よりも大きく、耐風安定性の検討で想定している大振幅時での減衰は  $\delta = 0.10$  程度を有していることが分かった。よって、本橋の耐風性に関しては、十分な安定性が確保されていることが確認できた。

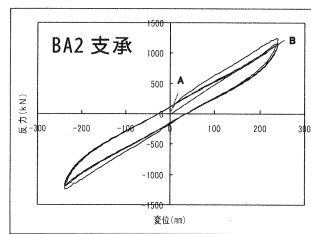
### 6. おわりに

今回、大型起振機を用いた振動実験により、波形鋼板ウェブPCエクストラード橋の振動特性について比較的よい精度で計測ができた。また、これらの計測結果は今後、近江大鳥橋の維持管理を行う上でも貴重なデータになるものである。

なお、本報告に示した検討は、「第二名神高速道路 栗東橋に関する技術検討委員会」のご指導を得て行っており、ここに心より謝意を表します。

### 参考文献

- 1) 宮内, 安川, 中藪, 森, 張: 第二名神高速道路栗東橋の計画と設計, 橋梁と基礎, Vol.37, No.12, pp.9-18, 2003.12
- 2) 中藪, 福原, 西田, 須田: 第二名神高速道路栗東橋の施工, 橋梁と基礎, Vol.38, pp.5-11, 2004.10
- 3) 藤田, 福原, 宇佐美, 張: 栗東橋の設計概要, 第12回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム, pp.661-664, 2003.10
- 4) 高瀬, 中藪, 福原, 西田: 栗東橋の施工概要, 第13回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム, pp.13-16, 2004.10
- 5) 宇佐美, 福原, 安川, 中藪, 橋野, 平井: 栗東橋の耐風設計, 橋梁と基礎, Vol.40, pp.24-31, 2006.9
- 6) 井手, 計良, 須田, 橋野: 栗東橋の施工と計測, プレストレストコンクリート, Vol.48, No.5, pp.28-36, 2006.9



試験変位 (mm)	荷重 (kN)	バネ (kN/mm)
3.0	50.0	16.674
237.1	1136.6	4.794

比率(A/B) 3.48

図-10 支承のせん断剛性試験結果

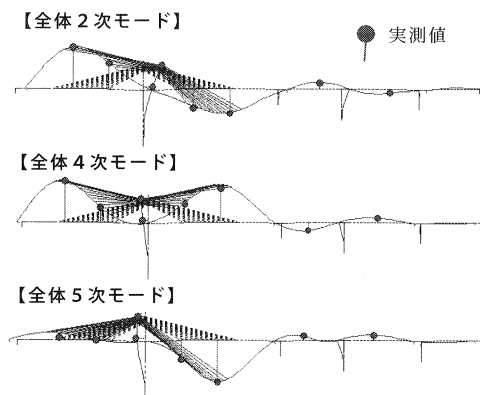


図-11 各振動モードの解析値と実測値の比較