

## 鋼・コンクリート複合トラス橋 (木ノ川高架橋) の振動特性

鹿島建設 技術研究所 正会員 ○河野 哲也  
 国土交通省 近畿地方整備局 鈴木 伸一  
 鹿島建設 技術研究所 正会員 山野辺慎一  
 鹿島建設 土木設計本部 正会員 南 浩郎

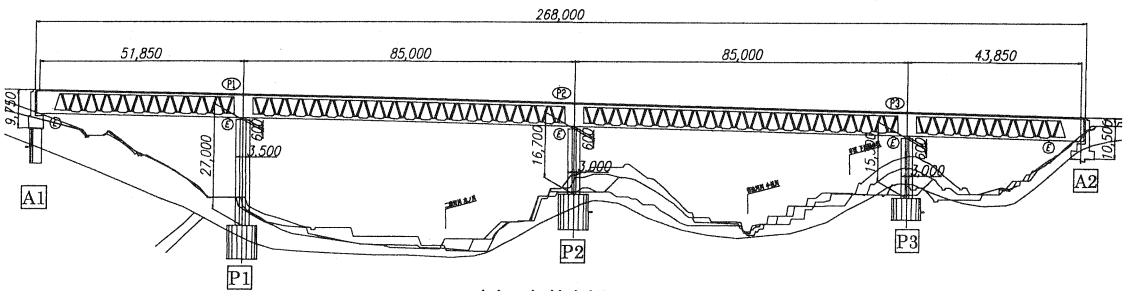
### 1. はじめに

鋼・コンクリート複合トラス橋 (以下、複合トラス橋) はコンクリート上下床版と鋼管トラスウェブを組み合わせた構造であり、主桁自重の低減や施工の省力化を図ることが可能となる合理的な構造とされている。木ノ川高架橋は和歌山県新宮市・那智勝浦町間を結ぶ那智勝浦道路の一部として建設された橋長 268m の高架橋であり、国内では初めての複合トラス橋である<sup>1)2)</sup>。木ノ川高架橋の橋梁一般図を図-1に、橋梁諸元を表-1に示す。

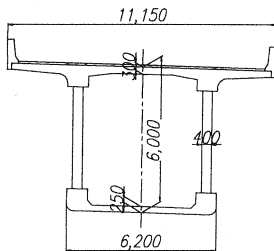
表-1 木ノ川高架橋の諸元

構造形式	上部工: 4 径間連続 鋼・コンクリート複合トラス橋 下部工: 逆 T 式橋台, 柱式橋脚 基礎工: 大口径深礎杭 $\phi 7.5\text{m}$ (P1~P3 橋脚) 深礎杭 $\phi 2.5\text{m}$ (A1 橋台) 直接基礎 (A2 橋台) 支承: 高減衰積層ゴム支承 (HDR 支承)
橋長	268.0m (51.85m + 85.0m + 85.0m + 43.85m)
幅員	全幅員 11.15m, 有効幅員 10.5m
地盤種別	I 種地盤

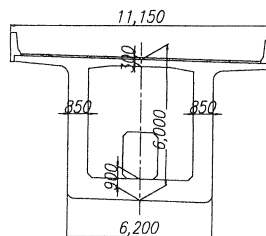
複合トラス橋は国内では施工実績がないことから、同構造形式の振動特性の確認及び耐震設計の妥当性の確認を目的として、実橋において車両による衝撃加振自由振動実験及び常時微動測定を実施した。本論文では、振動実験から得られた複合トラス橋の振動特性及び固有値解析との比較による耐震設計の妥当性の確認について報告する。



(1) 全体側面図



(2) 標準断面



(3) 橋脚上断面

図-1 橋梁一般図

## 2. 実験方法

自由振動実験時、常時微動測定計測時の面内モード測定用及び面外モード測定用のセンサ配置を図-2、図-3に示す。振動計測にはサーボ型速度計を用いた。

自由振動実験は図-2に示す橋面4箇所にて45tonラフタークレーンの前輪を10cm程度の段差から落とすことで鉛直方向に衝撃力を与え、面内振動モードを励起させ、各センサで自由振動波形を計測した。収録した波形のパワースペクトルから卓越振動数を確認し、卓越振動数に対応するバンドパスフィルターで処理した減衰波形から減衰定数を算出した。

常時微動測定は工事振動などの影響がない18:00以降に3時間程度計測を行った。得られた常時微動波形データをスペクトル解析することにより、卓越振動数及び卓越振動モードの確認を行った。また、常時微動波形データを用いてRD法により各モードの減衰定数の算出を行った。

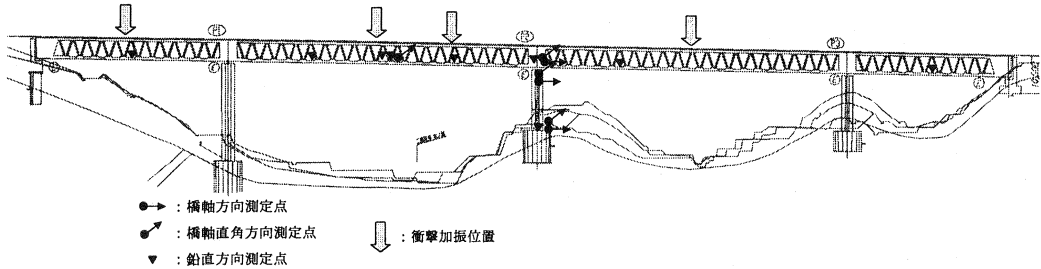


図-2 面内モード測定用センサ配置及び衝撃加振位置

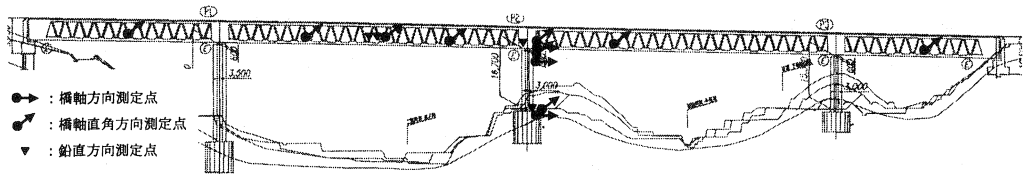


図-3 面外モード測定用センサ配置

## 3. 実験結果

自由振動実験及び常時微動測定により得られた波形をスペクトル解析した結果、面内1~7次、面外1~4次の卓越振動数を確認した。表-2及び図-4、図-5に実験で確認された卓越振動数、減衰定数及び卓越振動モード形状を示し、また、振動実験時の条件を考慮した固有値解析結果と比較して示す。自由振動実験の方が常時微動測定よりも振幅が大きいことから、実験代表値として前者の値を基本とした。

表-2 実験から確認された卓越振動数と減衰定数、及び固有値解析値との比較

振動モード		卓越振動数(Hz)			固有値解析値(Hz)	解析値に対する実験値の比	減衰定数(%)		
		自由振動	常時微動	代表値			自由振動	RD法	代表値
面内	1次 逆対称1次	1.666	1.727	1.666	1.597	1.04	0.54	0.36	0.54
	2次 対称1次	2.016	2.051	2.016	1.869	1.08	0.89	0.59	0.89
	3次 スウェイ	—	2.133	2.133	2.143	1.00	—	—	—
	4次 A1P1間	3.569	3.510	3.569	3.355	1.06	0.48	0.33	0.48
	5次 逆対称2次	4.136	4.132	4.136	3.794	1.09	—	—	—
	6次 対称2次	4.275	4.285	4.275	3.955	1.08	—	—	—
	7次 P3A2間	—	4.431	4.431	4.127	1.07	—	—	—
面外	1次	—	1.508	1.508	1.482	1.02	—	0.89	0.89
	2次	—	1.840	1.840	1.724	1.07	—	1.00	1.00
	3次	—	2.585	2.585	2.524	1.02	—	—	—
	4次	—	3.229	3.229	2.967	1.09	—	—	—

— : 確認されず

解析モデルは、耐震設計で用いたものと同様の骨組みモデルであり、面内方向に対しては上下床版、斜材及び外ケーブルを梁要素でモデル化した2次元モデル、面外方向に対しては上下床版の剛性のみを考慮して主桁を1本の梁要素でモデル化した3次元モデルである。また、直角方向モデルの桁の振れ剛性は3次元FEM解析から算出した値を用いた。ただし、振動実験時の解析モデルとして、橋面工未施工部分の存在による完成系との重量の差異、実際のヤング係数、微小振幅を考慮したHDR支承及び地盤バネを考慮した。

コンクリートの実ヤング率については、セメントの種類、打設日からの経過日数に応じて桁、及び橋脚について28日強度をそれぞれ1.1倍、1.2倍して振動実験時の実強度を算出し、実強度に対応するヤング率を算定し<sup>3)</sup>、さらに、微小振幅であることを考慮して1.1倍した値を振動実験時のコンクリートのヤング率とした<sup>3)</sup>。以上のように補正した結果を表-3に示す。地盤バネについては、設計では基礎が斜面上であることから地盤反力係数の低減を考慮した地盤バネでモデル化しているが、軟岩で支持されていることと振動実験では微小振幅であることを考慮して橋脚基部を固定としてモデル化した。また、振動実験時のHDR支承はせん断ひずみ0.001以下の微小な変形であったことを考慮してせん断ひずみ $\gamma$ が0.1における等価剛性の10倍とした<sup>4)</sup>。

1次	 1.666Hz	 1.597Hz
2次	 2.016Hz	 1.869Hz
3次	 2.133Hz	 2.143Hz
4次	 3.569Hz	 3.355Hz
	実験値	解析値

※実験3次モードのみ、スウェイモードを確認するためのセンサ配置で得られたモード形状を示す。

図-4 固有振動モードの比較 (面内1次~4次)

1次	 1.508Hz	 1.482Hz
2次	 1.840Hz	 1.724Hz
3次	 2.585Hz	 2.524Hz
4次	 3.229Hz	 2.967Hz
	実験値	解析値

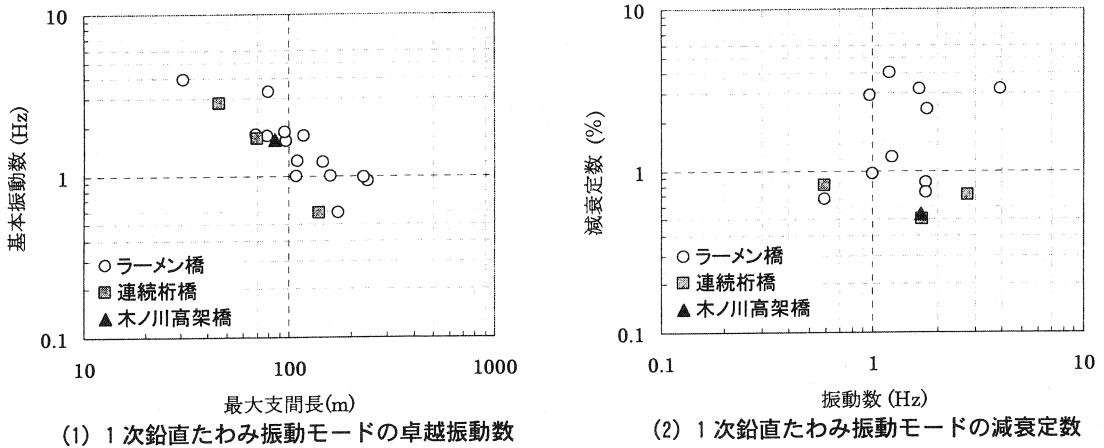
図-5 固有振動モードの比較 (面外1次~4次)

表-3 コンクリートの圧縮強度及び弾性係数の補正

		桁	橋脚
設計圧縮強度	N/mm <sup>2</sup>	40.0	30.0
28日圧縮強度 (材料試験値)	N/mm <sup>2</sup>	52.9	37.7
経過日数を考慮した圧縮強度	N/mm <sup>2</sup>	58.2	45.2
設計ヤング率	kN/mm <sup>2</sup>	31.0	28.0
28日強度時のヤング率	kN/mm <sup>2</sup>	33.6	30.3
経過日数を考慮したヤング率	kN/mm <sup>2</sup>	34.6	30.5
微小変形を考慮した補正ヤング率	kN/mm <sup>2</sup>	38.1	33.6

上記の通り振動実験時の条件を考慮した固有値解析結果を実験結果と比較すると(表-2), 実験で確認されたすべての振動モードにおいて, 解析によって求められた固有振動数は実験値に対して5%前後小さい値となった。また, 解析によって得られたモード形状は実験によるモード形状とほぼ一致している(図-4, 図-5)。振動実験時の条件を考慮することにより, 実験値と解析値はよい一致を示すことから, 耐震設計の妥当性が確認できた。

表-2 に実験から得られた減衰定数を示す。図-6 に最大支間長, 卓越振動数及び減衰定数について既存の PC 橋梁<sup>5)</sup>と本橋を比較したものを示す。振動特性は橋梁形式に大きく影響されることから, ここでは既存 PC 橋梁をラーメン橋と連続桁橋でグループ分けをした。図-6(1)から, 本橋の卓越振動数は既存の同規模の PC 橋とほぼ同程度であることが確認できた。図-6(2)から, 本橋の1次鉛直たわみモードの減衰定数を既存の連続桁橋と比較すると同程度の値であることを確認できた。本橋の減衰定数はラーメン橋を含めた既存 PC 橋梁と比較すると小さい値となっているが, 本橋の1次鉛直たわみモードは, 図-4 に示したように支承のせん断変形及び地盤の変形をほとんど伴わない振動モードであることから, 支承の減衰や地盤の逸散減衰の影響が小さいためと考えられる。ただし, 耐震設計時の振動特性は HDR 支承のせん断変形特性に大きく影響されることから, HDR 支承の大振幅でのせん断変形特性を適切に考慮すれば本橋の地震時挙動を評価することができる。



#### 4. まとめ

複合トラス橋木ノ川高架橋の振動実験を実施して, その振動性状の確認を行った。振動実験時の条件を考慮した固有値解析結果と実験値を比較するとよい一致を示すことから耐震設計のモデル化の妥当性を確認することができた。また, 本橋の振動特性を既存の PC 橋の振動特性と比較すると, 本橋の1次たわみモードの卓越振動数は既存の PC 橋と同程度であり, 減衰定数は既存の PC 連続桁橋と同程度であることを確認した。

#### 参考文献

- 1) 木村, 本田, 山村, 山口, 南: 那智勝浦道路木ノ川高架橋の設計, 橋梁と基礎, Vol.36, No.10, pp.31-35, 2002年10月
- 2) 三木: わが国初の鋼管トラスウェブ PC 橋, 土木学会誌, Vol.88, No.5, pp.40-43, 2003年5月
- 3) 土木学会: コンクリート標準示方書[構造性能照査編], pp.28, 2002年
- 4) 水津, 須藤, 鈴木, 福森: 高減衰積層ゴム支承の微小変形領域特性, 土木学会第48回年次学術講演会, I-379, pp.906-907, 1993年9月
- 5) 角谷, 青木, 山野辺, 吉川, 立神: 波形鋼板ウェブの振動特性 その2—振動解析—, プレストレストコンクリート, Vol.45, No.3, pp.35-43, 2003年3月