

## 西海橋の固有振動・耐震性に関する研究

長崎大学大学院 学生会員 ○宮本敬太 長崎大学工学部 フェロー 高橋和雄  
 長崎大学工学部 正会員 中村聖三 中国・福州大学 非会員 呉慶雄  
 長崎大学工学部 非会員 永田正美

### 1. はじめに

現行の道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編では、地震時に挙動が複雑になることが想定される橋に対して、設計段階で動的解析を行うことが推奨されている<sup>1)</sup>。上路式固定アーチ橋である西海橋は昭和 30 年に伊ノ浦瀬戸に架設され、当時は戦後間もない時であり、近年に見る種々の解析・実験は、行えなかった。長崎大学では、西海橋の固有振動特性、非線形地震応答に関する解析的研究<sup>2), 3)</sup>を報告したが、実験に関しては架設当時に行われた走行試験時の計測<sup>4)</sup>のみである。そこで、今回初めて常時微動計測を行い、計測値を先の研究に用いた解析モデルによる固有振動解析の解析値と比較することにより、モデル化の妥当性の検証および減衰定数の推定を行う。比較にあたっては、床版のモデル化の影響を評価する。また、非線形地震応答解析を行い、耐震性を評価する。さらに、耐震性に関して、新設の新西海橋の結果と比較を行う。

### 2. 西海橋の概要と解析モデル

西海橋は、大村湾口の伊ノ浦瀬戸にかかる道路橋であり、佐世保市と西彼杵郡西彼町を結ぶ橋梁で、形式は上路式固定アーチ橋である。橋長は 316.20m、支間は 216.00m、幅員は 7.5m、橋面高は平均水面高より 43.31m である (図-1, 図-2)。床版は RC 床版 (厚さ 13cm) で、鋼材は SS400 が使用されている。FE モデルはアーチリブ接線材・縦桁は非線形はり、アーチリブ垂直材・斜材・支柱・横桁は線形はり、ラテラル・支柱の斜材はトラス要素を用いたモデルを使用する (図-3)。

床版と縦桁の剛性を評価したモデルをモデル A、床版と縦桁の剛性を無視し、質量のみ考慮したモデルをモデル B とする。

### 3. 常時微動計測結果と解析値との比較

西海橋の主橋部を対象に常時微動計測を行った。測定項目は鉛直振動、橋軸方向振動、面外振動である。計測時間は 655.36sec、サンプリング間隔は 0.01sec とした。圧電型加速度計の設置位置を図-1 および 図-2 に示す。図中に ● で示す加速度計 4 個を支柱直上の地覆に設置し、測定項目ごとに向きを変えて計測した。固有振動数の推定結果は、図-4 に示す固有振動解析結果と比較する。表-1 にモデル A, B を用いた固有振動数の解析値 A, B と計測値、さらに解析値 A, B と計測値との差、減衰定数を示す。固有振動数の解析値に着目すると、床版の剛性を評価することにより、固有振動数が高くなっており、その影響は面外モードにより顕著に現れている。また、両モデルの固有振動解析による固有振動数と計測による固有振動数の差に着目すると、どちらも大きな差は見られない。これより、全体のモデル化は両モデル共に妥当と判断される。また、面内において比較すると、モデル A が B に比べ計測値により

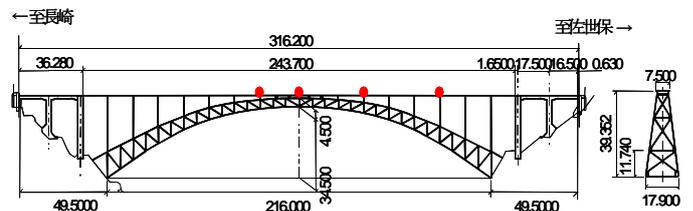


図-1 西海橋の一般図 (単位: m)

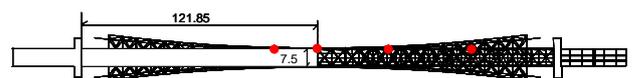


図-2 西海橋の平面図 (単位: m)

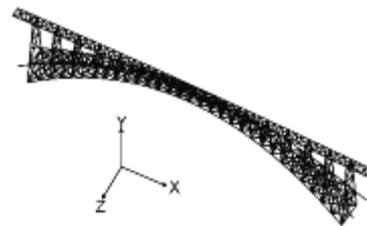


図-3 解析モデル

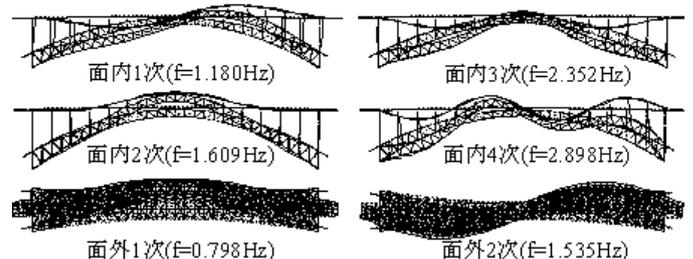


図-4 固有振動数および振動モード

表-1 固有振動数および減衰定数の一覧

固有振動形	固有振動数 (Hz)			差 (%)		減衰定数	
	解析値A	解析値B	計測値	A	B		
面内	1	1.180	1.147	1.304	-9.5	-12.0	0.019
	2	1.609	1.483	1.626	-1.0	-8.8	0.006
	3	2.352	2.306	2.380	-1.2	-3.1	0.006
	4	2.898	2.639	2.983	-2.8	-11.5	0.012
面外	1	0.798	0.723	0.761	4.9	-5.0	0.008
	2	1.535	1.225	1.240	23.8	-1.2	0.032
	3	1.859	1.604	1.812	2.6	-11.5	0.027
	4	2.666	2.394	2.603	2.4	-8.0	0.007

※差 = (解析値 - 計測値) / 計測値 × 100 (%)

近づくが、面外では、2次モードで大きく離れ、最大の差を示した。しかしながら、モデルAが差は全体的に小さくなっている。これらのことより、本橋のモデル化に当たっては、床版等の剛性を評価すべきと言える。ただし、モデル化に当たって、床版を一枚のはりとしてモデル化しており、過大に評価している可能性がある。また、減衰定数に関しては、0.01~0.03程度の値が得られた。

表-2に固有振動解析結果と架設当時のエネルギー法による計算値および走行試験時の計測値を示す<sup>4)</sup>。架設当時の計算値と計測値は、FEモデルによる解析・実験と比較してもよく一致している。

4. 非線形地震応答解析 (新西海橋との比較)

ここでは、実構造の再現性が高いと判断された西海橋のモデルAの床版に材料非線形特性を考慮したモデルを用いた非線形地震応答解析による結果を示す。同時に、新西海橋のアーチリブにファイバー要素を用いたモデルによる非線形地震応答解析結果<sup>5)</sup>を示し、耐震性の比較を行う。地震応答の解析条件は両橋梁とも同様であり (表-3)、図-5に西海橋の下弦材基部、図-6に新西海橋の外側上弦材基部におけるN-M<sub>Z</sub>相関曲線を示す。なお、ここに示す両図は、材料にとって最も厳しく

なった結果を選んだ。西海橋に関しては部材の降伏に至っておらず、新西海橋は鋼の降伏が見られるものの、充填コンクリートは降伏していない。以上のことより、単位長さの重量が小さい西海橋の方が地震力は小さく、設計当時の断面において、強地震に対してより安全であると評価できる。

5. まとめ

(1) 西海橋の主構全体のモデル化は適切に行われている。床版等の剛性の影響が固有振動数に効いてくるため、床版の影響を考慮した解析が必要である。また、減衰定数は0.01~0.03程度の値が得られた。

(2) 西海橋と新西海橋のアーチリブは強地震に対して十分安全であり、西海橋は設計時の断面でも強地震に対して安全である。

【参考文献】

- 1) (社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編，2002
- 2) 小林， 呉， 高橋， 中村， 郭：西海橋（上路式鋼アーチ橋）の固有振動特性および耐震性に関する研究，土木学会第58回年次学術講演会講演概要集，第1部門，pp.1467-1468，2003.9
- 3) 向井， 呉， 高橋， 中村：西海橋の地震応答解析に及ぼすRC床版の非線形性の影響，土木学会第59回年次学術講演会講演概要集，第1部門，pp.591-592，2004.9
- 4) 村上， 吉田：伊ノ浦橋の応力測定（第2報）及鋼材の温度分布並に振動測定について，第3回橋梁・構造工学研究発表会講演概要，pp.73-87，1956
- 5) Wu, Q., Yoshimura, M., Takahashi, K., Nakamura S., Nakamura, T. : Nonlinear seismic properties of Second Saikai Bridge A concrete filled tubular (CFT) arch bridge, Engineering Structures, 28 (2), pp.163-182, 2006.

表-2 架設当時の結果との比較 (Hz)

固有振動形	FEM	架設当時		
	解析値A	計算値	計測値	
面内	1	1.180	1.271	—
	2	1.609	1.779	1.695~1.786
	3	2.352	—	2.381~2.500
	4	2.898	2.985	2.817~3.030

表-3 解析条件

地盤種	I種地盤
入力波形	タイプI, IIの標準6波形
補正係数	0.7
入力方向	面外および橋軸
積分方法	Newmark β法 (β=1/4)
時間刻み	1/400 sec
継続時間	40 sec
減衰	Rayleigh 減衰 (h <sub>i</sub> , h <sub>j</sub> =0.02)
解析ソフト	TDAPIII

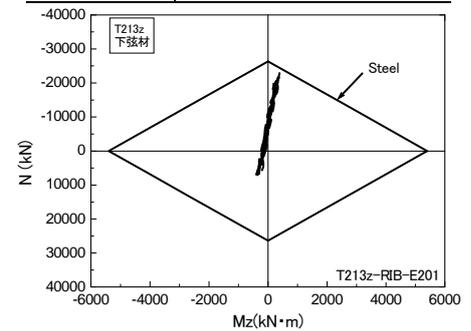


図-5 西海橋の N-M<sub>Z</sub> 相関曲線

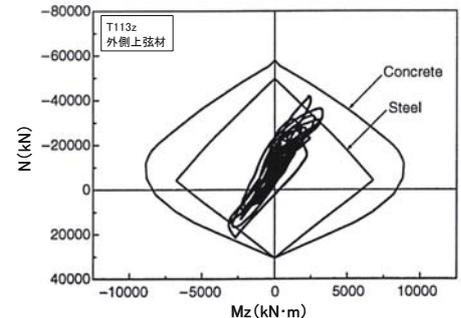


図-6 新西海橋の N-M<sub>Z</sub> 相関曲線