

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

長崎大学工学部 学生会員 ○小林秀昭 長崎大学大学院 学生会員 呉 慶雄
 長崎大学工学部 フェロー会員 高橋和雄 長崎大学工学部 正会員 中村聖三
 長崎大学大学院 学生会員 郭 軍

1. まえがき

上路式鋼アーチ橋である西海橋(スパン 216m)は昭和 30 年に伊ノ浦瀬戸に架設され、50 年が経過しようとしている。しかし、この間、厳密な固有振動特性の把握ならびに、強地震動に対する耐震性が検討されていない。そこで、本研究は建設当時の西海橋の断面および床版コンクリートの厚さを用いて、全体の FEM モデル化を行い、固有振動特性および耐震性を明らかにする。また、現在架設中の CFT アーチ橋である第二西海橋(仮称)と耐震性の比較を行う。

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ある。橋梁形式は、上路式構肋固定アーチ橋である。西海橋は日本で最初の有料道路橋である。橋長は 316.20m、支間 216.00m、幅員 7.50m、橋面高は平均水面高より 43.31m であり、建設当時にはトラス形式のアーチ橋としては世界一の支間長であった(図-1、2、3)。アーチ主構の重量は 1259.24tf、床版重量は 1133.99tf で、全体の重量は 2512.36tf である。床版は合成床版(厚さ 13cm)で、鋼材は SS400 を使用している。西海橋は、潮の干満の差による潮流は渦潮となり、最大流速 9 ノットになるため海中に橋脚を設けられないため、当時としては長大径間のアーチ橋が選ばれた。

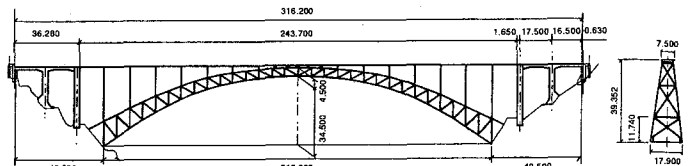


図-1 側面図(単位: m)

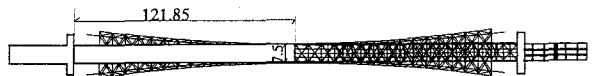


図-2 平面図(単位: m)

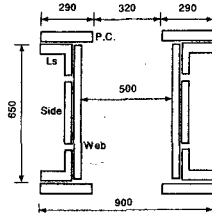
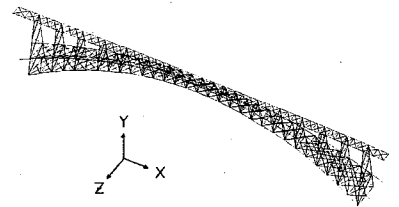
図-3 アーチリブの
スプリング断面図(単位: mm)

図-4 解析モデル

FEM モデルは、アーチリブは非線形はり、支柱・主桁・横桁は線形はり、横構・支柱の斜材はトラスとして作成した(図-4)。減衰定数は 0.02 とし、レーリー減衰を用いて解析を行う。

解析には TDAPⅢを用い、非線形モデルはファイバーモデルを使用する。地震応答解析は Newmark の β 法 ($\beta=1/4$) を用い、時間刻み 0.0025sec、継続時間 40sec とする。

3. 固有振動解析

西海橋の固有振動数と振動モードを、面内 1 次～4 次、面外 1 次と 2 次を図-5 に示している。面内方向ではアーチ橋特有の逆対称モードが基本振動モードで現れている。また、面外方向では 1 次モードが対称振動モードである。表-1 には固有振動数の解析値と実測値の比較を示す。架設直後の西海橋の走行荷重を用いた計測結果とと比較を行うと、面内 2 次振動では 15.0%～21.0%、面内 4 次振動では約 6.0% の差であり、ほぼ妥当な解析解が得られていると評価される。

4. 非線形応答地震解析

非線形応答地震解析においては、面外(橋軸直角)方向および面内(橋軸)方向に地震波を入力した。入力地震波は道路橋示方書に基づき、タイプⅠおよびタイプⅡのⅠ種地盤の標準波形を使用した。

表-1 固有振動数の比較

	解析値(Hz)	実側値(Hz)
面内 2 次	1.476	1.695~1.786
面内 4 次	2.827	2.985

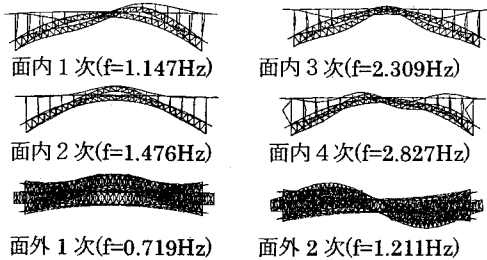


図-5 振動モード

図-6 には、タイプ I の地震波を面外方向に作用させた時の最大軸力と最大曲げモーメントを示す。これより、アーチリブのスプリング部で、軸力および曲げモーメントが最大となっている。さらに、面内方向に作用させた場合にもスプリング部で最大軸力および最大曲げモーメントが得られる。

また、図-7 にはタイプ I の I 種地盤の地震波 (T₁₁₁) を面外方向に作用させた場合のアーチリブ下弦材のスプリングの Mz-Φ 曲線と軸力-軸ひずみ曲線を示す。図-6(a)と図-7 を合わせて考慮すると、図-7 の相関曲線は弾性応答を示しており、降伏が起こっていないことが分かる。すなわち、本橋のアーチリブは強地震に対して十分に安全である。

5. 第二西海橋との耐震性の比較

第二西海橋は、アーチ支間長 230m、コンクリート充填鋼管 (CFT) を用いた鋼中路ブレースドリブアーチ橋である。アーチリブは三角形断面のパイプトラス構造で、外側上弦材、内側上弦材、下弦材の 3 本の鋼管 (直径 812.8mm) にコンクリートを充填させている。

両橋はブレースドリブアーチ橋であるが、橋梁形式が上路式と中路式で異なる。また、アーチリブは西海橋は 4 本のリブで構成されているのに対し、第二西海橋は 6 本のリブを用い CFT を使用した三角形断面の構造であるという違いから耐震性の比較を行う。

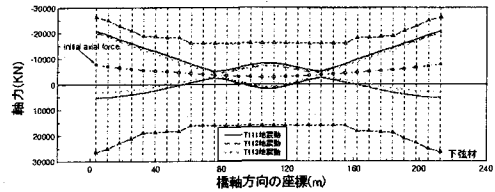
単位長さあたりの重量を比較すると、西海橋は 10.31tf/m、第二西海橋は 20.98tf/m で第二西海橋の単位重量のほうが重い。同じ強地震動が面外方向に作用した場合に第二西海橋では降伏する部分が見られる²⁾。両橋とも安全ではあるが、西海橋のほうが強地震に対してはより安全であると評価できる。

6. まとめ

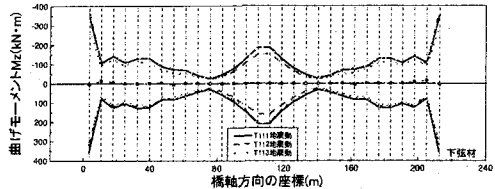
本研究の結果より本解析モデルは妥当であり、また西海橋は強地震に対して十分に安全で、耐震性に優れていると評価できる。

参考文献

- 1) 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, 1956.9
- 2) 呉・高橋・保手浜・吉村・中村・村里：コンクリート充填鋼管アーチ橋の動性能に関する研究, 土木学会第 57 回年次学術講演会講演概要集, 第 1 部門, pp.1115~1116, 2002.9

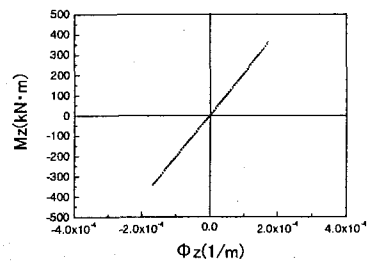


(a)最大軸力

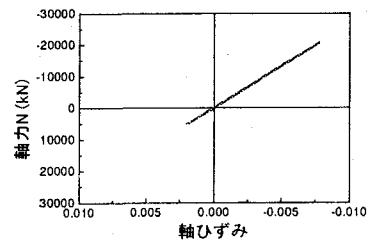


(b)最大曲げモーメント

図-6 最大応答



(a)Mz-Φ 曲線



(b)軸力-軸ひずみ曲線

図-7 下弦材スプリングの相関曲線