

既設鋼アーチ橋の固有振動特性を再現するモデル化の検討

横浜国立大学 学生員 松田政禎 宇都宮大学 正会員 中島章典
 宇都宮大学 正会員 斉木 功 宇都宮大学 学生員 柳 智子
 九州東海大学 正会員 加藤雅史

1. はじめに

兵庫県南部地震以降、構造物の地震に対する安全性について、今まで以上に強い関心が寄せられるようになってきている。特に、アーチ橋のような複雑な構造の耐震設計に際しては、2次元あるいは3次元の数値解析による動的挙動の把握が必要とされている¹⁾。そのためには、まず、対象構造物の固有振動特性を数値解析により精度よく再現することが必要である。現在では、3次元の動的非線形解析も行われる状況にあるが、3次元解析モデルの妥当性を実構造の測定結果と比較検討した例はあまり多くない。

そこで本研究では、既設鋼アーチ橋の実測値²⁾を参考にし、実橋を構成する各部材の剛性や結合法に着目して3次元固有振動解析を行い、実橋の固有振動特性を再現できるモデル化を検討した。

2. 解析対象

車両走行法による振動測定調査が行われた愛知県長篠大橋（橋長80m、アーチライズ11m、上路式2ヒンジ鋼アーチ橋³⁾）を解析対象とした。図-1は、床版を含む上部構造の断面図を示す。車道の幅員は7m、両側に2mの歩道があり、総幅員12.8mである。桁部分は補剛桁2本、縦桁3本からなる。主要な部材の断面としては、補剛桁、縦桁および横桁はI型断面、アーチリブは箱型断面である。

3. モデル化

図-2は、本研究で用いる長篠大橋の3次元骨組モデルを示す。各部材にはせん断変形を考慮したTimoshenko梁要素を用い、FEMによって立体骨組（262節点、520要素）にモデル化を行った。モデルの全体座標系として、図-2に示すようにX軸を橋軸方向、Y軸を鉛直方向、Z軸を橋軸直角方向に定めた。なお、本研究の固有振動解析では、全死荷重により生じる部材軸力がもたらす幾何剛性を考慮した。

コンクリート床版は、補剛桁および縦桁と完全に一体となっているものと仮定し、鋼換算したうえで桁断面に含めた。このとき、舗装および地覆の剛性を考慮して、床版厚さを設定した。また、実構造の床版を桁とともに梁要素にモデル化することで、床版の面的剛性が不足するので、補剛桁および縦桁のポスト間に設けた節点を橋軸直角方向に仮想床版要素で結び、この方向の結合を強化した。さらに、横桁上部の床版（幅2m）を鋼換算し横桁の剛性に含めた。部材はすべて骨組線をつなぎ、まず、ポストの剛域は考えないものとした。なお、境界条件は実橋に対応させアーチリブ端部にZ軸回り回転のみ自由のヒンジを設定した。これを基本モデルとし、このモデルに加え、以下に示す項目について比較検討を行った。

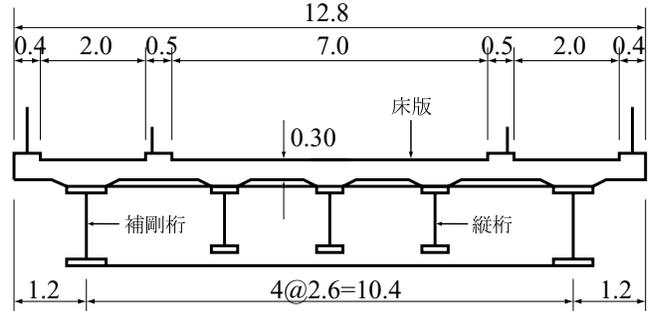


図-1 上部工断面図 (m)

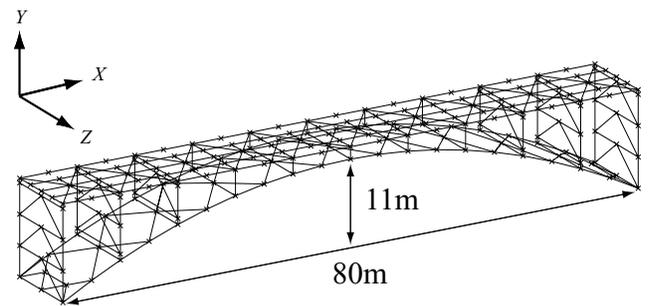


図-2 3次元骨組モデル

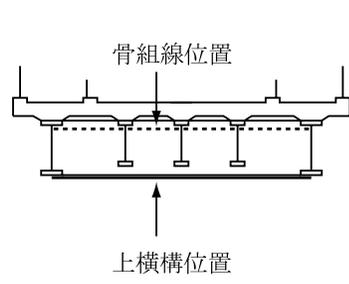


図-3 実構造の上横構位置

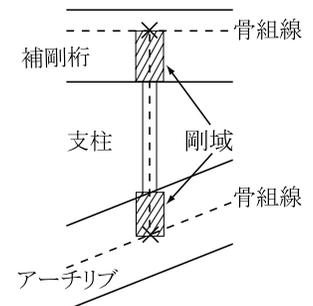


図-4 ポスト剛域のモデル

(1) 上横構の取り付け位置

基本モデルでは、図-3に示すように上横構は骨組線をつなぐ要素としてモデル化した。しかし、実構造では上横構は補剛桁の下に設置されている。そこで、この位置を実構造に適合させたモデルについて検討する（検討1）。

(2) ポスト両端部の剛性

基本モデルでは、補剛桁、アーチリブとの結合点までポスト断面としているが、長篠大橋のようなポストが細い橋梁ではポスト部分の剛域を考慮する必要があると考えられる。そこで、図-4のように剛域を設けた場合を検討する。剛域の剛性は補剛桁あるいはアーチリブの曲げ剛性を基準とし、そ

Key Words: 鋼アーチ橋, 固有振動特性, 3次元解析, モデル化

〒321-8585 宇都宮市陽東7-1-2 宇都宮大学工学部建設学科 Tel.028-689-6208 Fax.028-689-6208

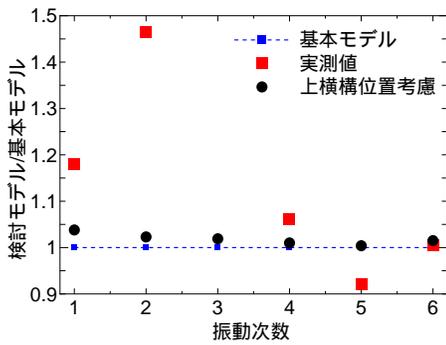


図-5 上横構位置の影響

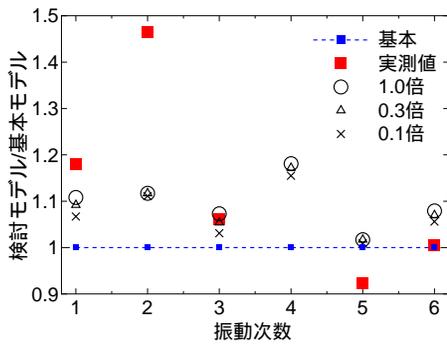


図-6 ポスト剛域の影響

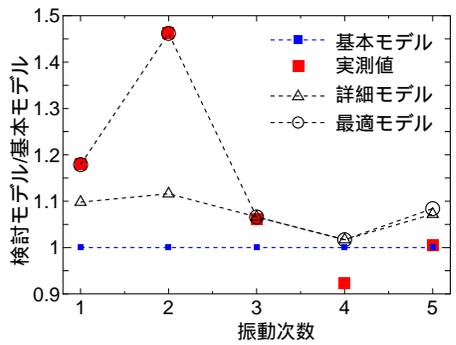


図-7 桁端部拘束の影響

表-1 実測値と各モデルの固有振動数 (Hz)

振動モード	実測値	基本モデル	最適モデル
面内逆対称 1 次	1.45	1.23	1.45
面外対称 1 次	2.53	1.73	2.53
面内対称 1 次	2.75	2.59	2.76
面内対称 2 次	3.22	3.49	3.55
ねじり対称 1 次	4.31	4.29	4.65

の曲げ剛性を増減させた場合も同時に検討する (検討 2)。

(3) 上部構造端部の拘束条件

実測値は比較的振動振幅の小さい領域で得られていること、また、補剛桁の桁端には、伸縮継手が設置され、一端が隣接径間の部材に落橋防止構造により連結されていることから、固有振動解析ではそれらの影響を考慮する必要があると考えられる。そこで上記 2 点の検討を踏まえ、基本モデルに加えて、新たに 2 つのモデルを設定し比較検討する。上横構位置とポスト剛域を考慮した詳細モデル、詳細モデルに上部構造端部の拘束条件を考慮した最適モデルを考えた。ここで最適モデルは拘束条件として、その位置の橋軸方向および橋軸直角方向に弾性支持を考慮した (検討 3)。

4. 解析結果

図-5 には、基本モデルおよび検討 1 の解析値との実測値の比較を示す。縦軸に基本モデルの解析値で無次元化した固有振動数比、横軸に振動次数を示す。まず、基本モデルの振動モードは低次から順に、面内逆対称 1 次、面外対称 1 次、面内対称 1 次、ねじり逆対称 1 次、面内対称 2 次、ねじり対称 1 次である。図-5 より、基本モデルの解析値は実測値と約 10 ~ 50% の差異があり、実構造を適切にモデル化していないと考えられる。このとき、5 次振動モードの解析値が実測値を上回り、他のモードと傾向が異なる。しかし、ここでは実用上重要な低次振動モードに注目してモデル化を検討するため、高次モードである面内対称 2 次およびねじり対称 1 次の実測値の再現性については言及しない。

次に検討 1 について述べる。図-5 より、●で示す上横構位置を実構造に対応させたモデルの結果では、すべての振動モードで固有振動数が基本モデルよりも高くなることが分かった。ねじりが支配的な 3 次、6 次振動モードについては、上横構の基本的な役割であるねじりに対する補剛部材と

して、適切に機能を果たしているといえる。さらに、1 次、4 次の面内振動モードについては、床版とともに箱桁的な補剛効果を発揮しているものと考えられる。

図-6 は検討 2 の結果と基本モデルとの比較を示す。この場合、4 次振動モードはねじり逆対称 1 次モードである。剛域の考慮によりすべての振動モードにおいて振動数は上がっている。また、低次モードにおいては剛域の剛性を適切に考慮することによって解析値が実測値に近づいていくことが分かる。ただし、3 次の面内対称 1 次モードでは、剛域の剛性の大きさにより、解析値が実測値を上回る場合があった。これらの結果より、ポスト両端の剛域を考慮することが必要であると考えられる。以下の検討 3 では、ポスト両端の剛域をそれぞれ補剛桁およびアーチリブの 0.3 倍とした。

図-7 は検討 3 の結果と基本モデルとの比較を示す。また、実測値と基本モデル、および最適モデルの解析結果を表-1 に示す。このとき、最適モデルは弾性支持条件を変えて数通り解析を行い、実測値に近くなる場合の解析値を示した。図-7 の結果は表-1 の振動モードに対応している。○で示す最適モデルでは、1 次から 3 次の低次振動モードにおいて実測値との差異が 1% 以下となりよく一致している。これは、桁端部の弾性支持拘束を考慮することにより、調査時の解析対象の振動特性をある程度再現できたためと考える。

以上より、固有振動特性を再現するためには、部材の詳細なモデル化に加えて実構造の実際の境界条件を正しく評価する必要があると考えられる。

5. おわりに

既設鋼アーチ橋のポストの剛域および上部構造端部の弾性支持を考慮することにより、実構造の固有振動特性を再現するモデル化に成功した。しかし、低次振動モードでは実測値と一致したが、さらに高次の振動モードまでの固有振動特性を再現することは極めて難しいと考えられる。今後の課題として、より再現性の高いモデル化を行うために、より多くの実橋と比較検討する必要がある。

参考文献

- 1) 柳智子, 中島章典, 斉木功: 上路式鋼アーチ橋のモデル化と 2 次元弾塑性地震応答性状, 構造工学論文集, Vol.49A, 2003.3.
- 2) 名古屋大学工学部土木工学科: 長篠大橋振動測定調査報告書, 1990.3.
- 3) 愛知県新城土木事務所: 橋梁整備工事の設計, 上部工設計計算書, 1985.