

# 上路式鋼アーチ橋の地震時挙動に関する一考察

A consideration on seismic behavior of upper-deck type steel arch bridges

高橋 岳太\*

Gakuta TAKAHASHI

\*構造強度学研究室（指導教員：斉木 功 助手）

アーチ橋のような地震時の挙動が複雑な橋梁に対しては動的解析が義務付けられている。動的解析では、幾何学および材料非線形性を考慮するため計算負荷が高く、骨組要素による主部材のみをモデル化した解析が一般的である。しかし、床版が地震時応答におよぼす影響や、細長比の小さな部材であるアーチ橋のセンターポストを骨組要素で近似することの是非など、用いる数値モデルに関して検討すべき点が残されている。そこで本研究では、上路式鋼アーチ橋の床版およびセンターポストに着目し、それらを骨組要素と平板要素でモデル化し、固有値解析および地震応答解析を通して両者の比較を行う。

**Key Words :** steel arch bridge, nonlinear dynamic analysis, numerical model, floor slab, center post

## 1. まえがき

阪神大震災の経験をふまえ、道路橋示方書耐震設計編 V 改定により地震時の挙動が複雑な橋梁には動的解析が義務付けられたこと、また有限要素解析技術及び計算機性能の向上などにより、鋼橋の動的解析を含む構造解析は高度化した。それに伴い研究が進み、地震時の挙動が比較的単純な鋼桁橋や鋼製橋脚の耐震設計法は確立されつつある。しかし、アーチ橋、ラーメン橋といった複雑な橋梁については、耐震設計法はもとより、動的解析におけるモデル化の検討が不十分である。モデル化については、主部材以外の部材のモデル化でも解析に影響を与えることが、例えば中島ら<sup>1)</sup>により報告されている。

地震時の橋梁全体の挙動に大きく影響を及ぼす部材として床版が挙げられ、様々なモデル化が研究により提案されている。例えば、奥村ら<sup>2)</sup>は補剛桁に床版の剛性を組み入れ、固有値解析を行った。また、中島ら<sup>1)</sup>は同様に補剛桁に床版の剛性を組み入れたモデルを使用しているが、面外方向の剛性を補うために、補剛桁と縦桁を面外方向に剛部材で結合させた。さらに、野中ら<sup>3)</sup>はコンクリート床版を剛部材で補剛桁に結合させた橋軸方向の骨組要素によりモデル化を行った。以上のように、従来では床版を含めすべての部材が骨組要素を用いてモデル化されている。しかし、扁平な床版を、骨組要素だけを用いて精度よくモデル化することは困難である。

また、上路式アーチ橋の代表的な損傷箇所としてセンターポストが挙げられる。これは比較的部材長が短く硬いため大きな力が作用しやすいためであるが、平面保持の仮定で成り立つ骨組要素を用いてそのような局所的な問題を取り上げることは難しい。

そこで本研究では、コンクリート床版およびセンターポストの平板要素によるモデル化を提案する。そして固有値解析および地震応答解析を行ない、従来のように骨

組要素のみを使用した解析モデルの結果と比較することにより、その影響を評価する。

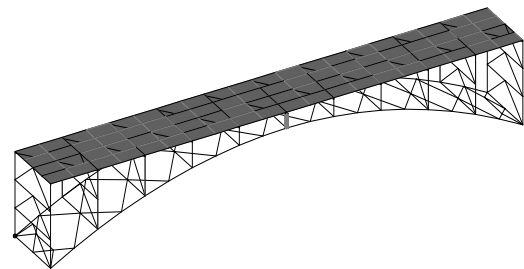


図-1 平板ポストモデル

## 2. 解析モデル

愛知県に既設されている橋長 80m、アーチライズ 11m の長篠大橋 (2 ヒンジ上路式鋼アーチ橋) を解析対象とした。要素の分割状況としては、アーチリブ、補剛桁、および縦桁は 1 ポスト間 2 要素とし、全体で 21 節点 20 要素とした。また、ポストおよびセンターポストは、各部材の長さに応じて 1 要素から 3 要素に分割した。横桁は補剛桁および縦桁間で 1 要素とし、1 部材 4 要素とした。また、ポスト支材は 1 部材 2 要素、ポスト斜材は 1 部材 1 要素とした。上横構および下横構も、1 部材 1 要素とした。部材端の結合条件は、すべて剛結合とした。拘束条件は、アーチリブは両端とも橋軸直角方向軸回りの回転が自由、補剛桁は両端とも橋軸方向の並進と橋軸直角方向軸回りの回転が自由とした。

基本モデルは野中ら<sup>3)</sup>を参考にして、床版を梁要素に置き換え、補剛桁及び縦桁と剛部材で結合させることにより、すべての部材を骨組要素を用いてモデル化した。使用する骨組要素はすべて、せん断変形を考慮できる Timoshenko 梁要素とした。また、ポスト間に設けられた補剛桁と縦桁の節点を剛部材で結ぶことにより橋軸直

表-1 各モデルの固有振動数 (Hz)

	基本	床版	ポスト	実測
面内逆対称1次	1.16	1.16	1.16	1.45
面外対称1次	2.94	2.89	2.89	2.53
面内対称1次	2.37	2.34	2.34	2.75
面内対称2次	3.36	3.30	3.30	3.22
ねじり対称1次	6.02	5.17	5.16	4.31

角方向の剛性の不足を補った。次に、平板要素を用いて床版をモデル化したものを平板床版モデルとした。最後に、床版およびセンターポストを平板要素を用いてモデル化したものを平板ポストモデルとし、図-1に示した。解析は、汎用有限要素構造解析ソフトNX NASTRANにより行った。

### 3. 固有値解析

3つのモデルに対して固有値解析を行い固有振動数を求め、実際に長篠大橋の振動調査<sup>4)</sup>により測定された固有振動数と比較した。比較対象は面内逆対称1次モード、面外対称1次モード、面内対称1次モード、面内対称2次モード、ねじり対称1次モードの5モードであり、各固有振動数を表-1に示した。

基本モデルと平板床版モデルの結果を比較すると、面外対称1次モード、面内対称2次モード、ねじり対称1次モードで実測値に対する再現性が向上した。特に、面外方向に橋梁が運動する面外対称1次モードとねじり対称1次モードでの再現性の向上が顕著であり、ねじり対称1次モードでは約20%と大きく向上する結果になった。面内対称1次モードでは再現性が低下したが、その差は1%未満と極めて小さく、また基本モデルもそれほど精度よく近似できていないことから、影響はないと考える。よって、床版を平板要素を用いて近似することで、実測値に対する再現性が向上したと言える。

次に、平板床版モデルと平板ポストモデルの結果を比較した。有効数字3桁の範囲では、ねじり対称1次モード以外ではすべて固有振動数は一致した。ねじり対称1次モードでも、その差は0.01Hzと極めて小さい。よって、平板要素によるセンターポストのモデル化は、固有振動特性には影響を与えないことがわかった。

### 4. 地震応答解析

1995年に起きた兵庫県南部地震の、神戸海洋気象台で観測された加速度を0.1倍し、そのNS成分を橋軸方向に、EW成分を橋軸直角方向に、解析モデルに作用させ地震応答解析を行った。解析は等方線形硬化の弾塑性および幾何学的非線形性を考慮した。時間刻み0.01秒の3000ステップで、減衰定数は0.2とした。

まず、補剛桁の面内および面外方向の最大変位量について、中央と橋長1/4の地点で3モデル間で比較した。

表-2 各モデルにおける補剛桁の最大変位量 (mm)

	中央 (面内)	中央 (面外)	1/4 (面内)	1/4 (面外)
基本	6.6	28.4	8.2	20.2
平板床版	7.3	29.5	9.5	20.9
平板ポスト	7.9	29.5	10.2	20.9

表-3 各モデルの塑性ひずみ量 ( $\times 10^{-6}$ )

	ポスト1	センター	ポスト2
基本	33900	3840	38000
平板床版	38300	8180	55200
平板ポスト	43200	21900	59500

表-2に変位量をまとめた。基本モデルと平板床版モデルを比較すると、特に面外方向の変位量が増大している。平板床版モデルと平板ポストモデルでは、面内方向の変位量増大がみられる。これは、床版・センターポストをそれぞれ平板要素を使用して近似することにより、骨組要素を使用した際に比べ自由度が増加し、実構造に近づいた結果、変位量が増大したと考えられる。

次に、センターポストおよびその両隣のポスト1, 2について、塑性ひずみ量を比較し、表-3に示した。骨組要素塑性ひずみ量は、部材の両端の節点でそれぞれ求まる相当塑性ひずみの大きいほうを採用した。平板要素の塑性ひずみ量は、部材すべての節点で求めた相当塑性ひずみの中で最も大きいものを採用した。

基本モデルと平板床版モデルを比べると、3本すべてのポストの塑性ひずみ量が増大している。特にセンターポストでは、約2倍となっている。また平板床版モデルと平板ポストモデルを比べると、やはりセンターポストでの塑性ひずみ量が約2.5倍と大幅に増大している。これは、補剛桁およびアーチリブとの結合点付近で局所的な塑性ひずみが生じたためである。局所ひずみは実際の現象に整合して、補剛桁とセンターポストの結合点付近で発生した。

#### 参考文献

- 1) 中島章典, 松田定禎, 斉木功, 柳智子, 加藤雅史: 固有振動特性の再現性に着目した既設鋼アーチ橋のモデル化, 応用力学論文集, Vol.6, pp.643-651, 2003.8
- 2) 奥村徹, 後藤芳顕, 小澤一誠: 上路式鋼製補剛アーチ橋の地震時面内終局挙動に関する研究, 構造工学論文集, Vol.46A, pp.1333-1342, 2000.3
- 3) 野中哲也, 宇佐美勉, 吉野広一, 坂本佳子, 鳥越卓志: 上路式鋼アーチ橋の大地震時弾塑性挙動および耐震性向上に関する研究, 土木学会論文集, No.731/I-63, pp.31-19249, 2003.4
- 4) 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

(2007年2月13日提出)