

I - B 445

ゴム支承を有する2主桁橋の振動特性

石川島播磨重工業	正会員 齊藤史朗	東京大学工学系研究科	フェロー 藤野陽三
東京大学工学系研究科	正会員 阿部雅人	神戸製鋼所 機械研究所	正会員 塙 洋二
神戸製鋼所 機械研究所	正会員 山極伊知郎		

1. まえがき

最近の、いわゆる合理化2主桁橋は、従来の多主桁橋と比較すると床版スパンが長く、またゴム支承を用いる例が多いが、その動特性については十分な研究がなされているとは言い難い。ここでは、ゴム支承を有する2主桁橋における振動の特性を把握することを目的とし、新潟県の儀明川橋（6 径間連続鋼 2 主桁橋、水平反力分散ゴム支承、幅員 12.4m、スパン 41.5m+48.5m+40.0m+40.0m+40.0m+39.95m）を対象とする。儀明川橋ゴム支承のモデル化、振動実験による儀明川橋 FEM モデルの検証を行い、完成した FEM モデルを用いて構造条件が橋梁の振動特性に及ぼす影響について検討する。図1に儀明川橋の側面図を示す。

2. ゴム支承のモデル化

まず、局部振動に大きな影響を及ぼすと思われるゴム支承を弾性体としてモデル化し、ゴムの低変形引張試験から得られたせん断弾性係数 G を用いて、その剛性（6 自由度）を計算する。計算には汎用有限要素プログラム ABAQUS を用い、要素には 8 節点ソリッド要素を用いる。ポアソン比を 0.499 から 0.4993 まで変化させたところ、ゴム支承 (A1) の鉛直剛性に大きな影響を及ぼす結果となった。一方ゴム支承 (A1) の水平剛性に対しては、ポアソン比はほとんど影響を与えない結果になった。そのため、ゴム支承 (A1) における死荷重反力 1495kN 付近の鉛直剛性の FEM 解析値が性能試験値と最も整合するポアソン比 0.4992 を採用し、以後すべての支承の解析にポアソン比 0.4992 を用いる。

ゴム支承の剛性の FEM 解析結果は、性能試験値と概ね整合した。水平剛性（橋軸方向）の解析値と試験値はよく整合し、誤差は 13%以下であった。鉛直剛性は A1, P1-P4 についてはよく整合し誤差は 9%以下であったが、P5 では 51%, A2 では 33%と大きな誤差があった。A2 と P5 の解析値と試験値が整合しないのは、ゴム支承の加硫の際に温度、時間などの条件の違いにより剛性にばらつきがでてしまうことが理由の一つと考えられる。

3. 振動実験による儀明川橋 FEM モデルの検証

儀明川橋上部構造の FEM モデル（12043 節点、10752 要素）を作成する。支承には 6 自由度のばねを用いる。ばね定数として、鉛直、水平剛性（橋軸方向）については性能試験値を、水平（橋軸直角方向）、回転剛性については 2. で求めた FEM 解析値を用いる。主桁、横桁、PC 床版にはシェル要素を用いる。減衰は考慮していない。

振動実験は P1-P2 間 L/2 点、3L/4 点でクレーン車 (37t) の左後輪を 10cm 落下させ、その後の波形を加速度計で計測した。得られた加速度データから、橋梁の固有振動数、固有振動モードを求める。加振に用いたクレーン車は、重量が桁（P1-P2 間）の 6%程度と無視できない大きさであり、サスペンションも有している。クレーン車と桁の連成振動も励起されていたと考えられるため、クレーン車も集中質量とばねでモデル化した。

図 2 に、L/2 加振の際の L/2 点における実験値による加速度のパワースペクトルと解析値による変位のパワースペクトルを示す。横軸に着目すると、実験値、解析値ともに 2.6Hz, 3.1Hz 付近でピークをとっており、卓越振動数がよく整合している。このことから、儀明川橋 FEM モデルは橋梁の振動特性を再現していることがわかった。

解析による振動モード形では、2.6Hz はクレーン車と桁が同方向に振動するモードで、3.1Hz はクレーン車と桁が逆方向に振動するモードとなっている。つまり、2つのピークはクレーン車と桁の連成振動であることが明らかになった。

4. FEM モデルによる振動特性の把握

構造条件の違いが橋梁の振動特性に及ぼす影響を検討するため、表 1 に示す 4 つの FEM モデルを考える。金属支承モデルは、ゴム支承モデルからばねを取り除き、それぞれの支承の位置に表 2 のような境界条件を与えた（回転方向は全てフリー）ものとする。

キーワード：2 主桁橋，ゴム支承，モデル化，局部振動

連絡先：東京都文京区本郷 7-3-1 TEL 03-3812-2111 (ext. 6099) FAX 03-5689-7292

まず、支承条件が全体振動モードに及ぼす影響を調べるため、ゴム支承モデル、金属支承モデルについて固有値解析を行った。解析から得られた固有振動数を表 3 に示す。一次鉛直モードは、金属支承よりもゴム支承の方が高い振動数となっている。これは、ゴム支承が橋軸方向に剛性を持っているためと考えられる。一次ねじれモードは、金属支承よりもゴム支承の方が低い振動数になっている。これは、ゴム支承が鉛直方向にも変形できるためと考えられる。このように橋梁の全体振動モードは、支承条件により大きく変化する。

次に、構造条件が局部振動モードに及ぼす影響を検討する。ゴム支承モデルについて固有値解析を行い、60 次モード(10.2Hz)までの中に現れる局部振動モードを調べたところ、図 3 に示す 4 つの局部振動モードが現れた。2 本の主桁が橋軸直角方向に同位相で振動する主桁同位相モード、横桁が橋軸方向に振動する横桁モード、床版が折れ曲がる床版モード、2 本の主桁が橋軸直角方向に逆位相で振動する主桁逆位相モードの 4 つである。

横桁モードではゴム支承の橋軸方向変位が大きく、この振動モードにはゴム支承の小さい水平剛性が寄与していると推察できる。ゴム支承モデルを基準にした各モデルにおける局部振動モードの振動数の変化を表 4 に示す。表 4 から、主桁を中心とする局部振動の振動数には、横桁の剛性が大きな影響を及ぼすことがわかった。

5. まとめ

儀明川橋の FEM モデルを用いた解析により、橋梁の振動特性は支承条件、部材の剛性の影響を受けることがわかった。今後、実際の交通荷重が作用する場合について、局部振動の発生する可能性を検討する必要がある。

表 2 金属支承モデルの境界条件

	鉛直 方向	橋軸 方向	橋軸直角 方向
P2	固定	固定	固定
その他	固定	フリー	固定

表 3 支承条件による固有振動数の違い

	金属支承	ゴム支承
一次鉛直	2.73Hz	2.94Hz
一次ねじれ	3.14Hz	2.86Hz

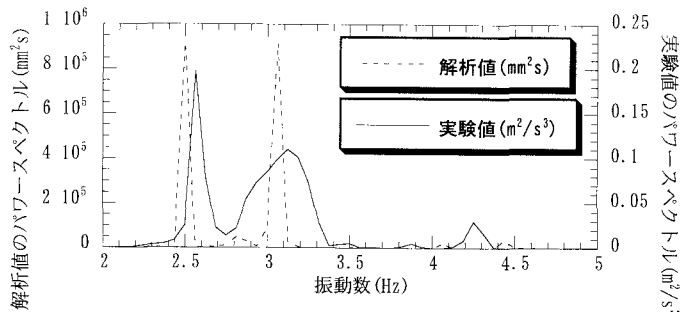


図2 実験値と解析値の卓越振動数の比較（L/2加振）

表 1 解析モデルの概要

	構造条件
①ゴム支承モデル	儀明川橋実物の構造
②金属支承モデル	①の支承を金属に変更したもの
③床版 1/2 モデル	①の床版の曲げ剛性を 1/2 にしたもの
④横桁 1/2 モデル	①の横桁の曲げ剛性を 1/2 にしたもの

表 4 各モデルにおける局部振動モードの振動数の変化

	②	③	④
主桁同位相モード	3%上昇	—	14%低下
横桁モード	—	—	変化なし
床版モード	変化なし	25%低下	1%低下
主桁逆位相モード	変化なし	6%上昇	20%低下

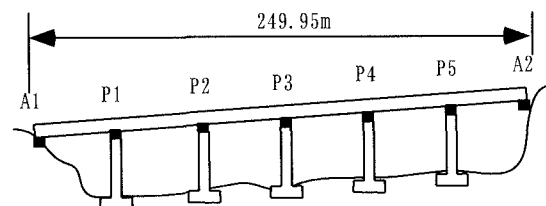


図 1 儀明川橋側面図

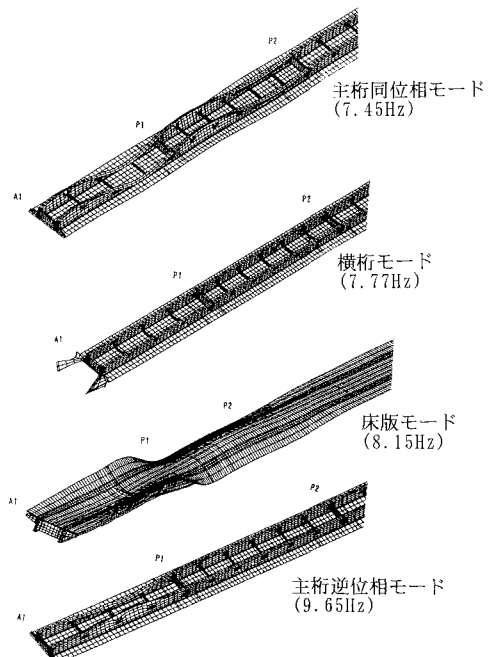


図 3 儀明川橋 FEM モデルにおける局部振動モード