

耐震解析の為の橋梁一車両連成系のモデル化とその動特性

京都大学防災研究所	正員	亀田 弘行
京都大学大学院	学生員	○室野 剛隆
阪神高速道路公団	正員	鈴木 巖
三菱重工業(株)	正員	佐々木伸幸

1. はじめに

車両載荷時に地震動を受ける橋梁の動特性に関する研究を行ってきたが、これまでの研究¹⁾では、橋梁を20自由度線形モデルに、車両を倒立振り子形モデルとしてそれぞれモデル化して、橋梁一車両連成系の応答解析を行っている。また、阪神高速道路大阪環状線梅田入路撤去に伴い、実橋振動試験が行われた²⁾。数値解析結果と実橋振動試験結果との比較をしたところ、橋梁一車両連成系の共振曲線が一致しない部分があった。このことから、倒立振り子形モデルでは考慮できない、実車に存在する様々な懸架バネなどの動的エレメント、及び振動特性が橋梁の応答に与える影響が大きいのではないかと予想された。そこで、本研究では、トラックの振動特性が橋梁の地震応答に与える影響を考慮した連成系の地震応答解析の精度向上の一環として、倒立振り子形モデルでは表現できない車両各部の動特性を取り入れて、より詳細な車両モデルを構築して、橋梁一車両連成系の動特性を考察した。

2. 5自由度車両モデルとその動特性

本研究では図-1のような5自由度系で車両を詳細にモデル化した。この車両モデルは、3つの剛体及び6つのエレメントから構成されている。積荷は節点Rに載荷される。各節点に許される変位は、節点Cはx軸回りの回転、節点F, Rはx軸回りの回転とz軸方向の水平変位、車両全体のy軸回りの回転である。

また、載荷状態は積載率 r なるパラメータで評価する。

図-2は、このモデルを用いて固有値解析を行って得た振動モード図である。また、図-3は積載率と固有振動数との関係図である。この結果より1次、2次振動モードの特徴をまとめると次のようになる。

1次振動は積載率によらず、主として車両前部が大きく振動するモードである。そのために、振動数の積載率による影響が少なく、振動数はほぼ一定である。また、積載率が小さいと、荷物が載荷されていないために車両後部は剛な状態にあり、ローリングをほとんど生じていない。このため、車両前部と車両後部が逆位相で振動する。一方、積載率が大きくなると、積荷の影

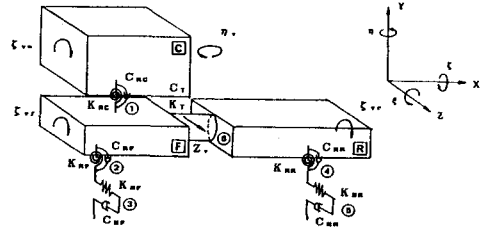


図-1 車両モデル

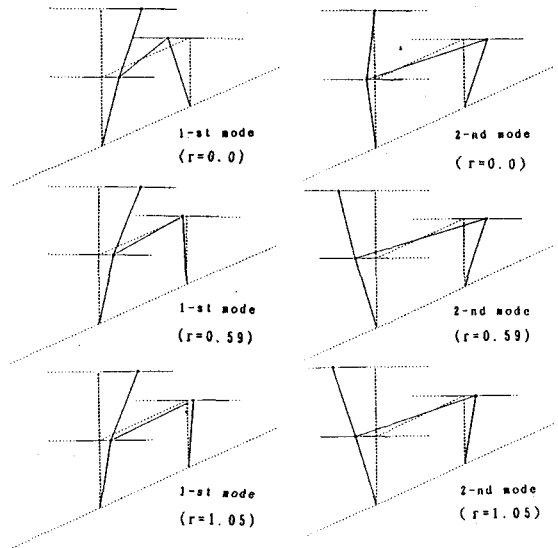


図-2 車両振動モード図(1次、2次振動)

響で慣性モーメントが大きくなり、車両後部のローリングが大きく、 $r=1.05$ では車両前部と車両後部が同位相で振動する。

2次振動は、車両後部がよく振動するモードである。車両後部には積荷が存在するために、振動数は積載率によって大きく変化している。ところが積載率が大きくなるとキャビンが大きく振動するようになり、積載率による影響が少なくなる。以上の振動特性は実車振動試験からも得られており、このモデルは、実車の複雑な振動特性をよく表していると考えられる。

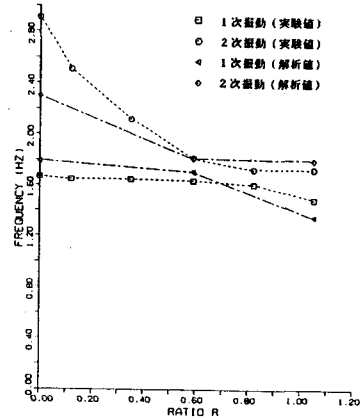


図-3 車両の固有振動数と積載率の関係

3. 橋梁-車両連成系の動特性

図-4は、橋梁単独系及び連成系の共振曲線である。連成系の共振曲線が常に橋梁単独系の共振曲線を下回っている。また、橋梁単独系では1つであったピークが、連成系（積載率 $r=0.59, 1.05$ ）では2つ存在している。長周期側のピークは、橋梁と車両が同位相で振動するモード（連成系1次モード）に同調するものであることが固有値解析の結果からわかる。このピークは積載率が大きくなるとともに、そのピークの高さを低くしながら、長周期側へと移行する。一方、短周期側のピークは橋梁と車両が逆位相で振動するモード（連成系3次モード）に同調するものである。このピークは積載率が大きくなるにつれてそのピークの高さを高くしながら長周期側に移行する。ただし、 $r=0.0$ のときは連成系3次モードの成長が不十分なために、ピークが現れていない。これらの数値解析結果は、定量的には実験結果と合致しない点はあるものの、定性的にはほぼ合致している。このことから、5自由度モデルの妥当性は得られたと考えられる。

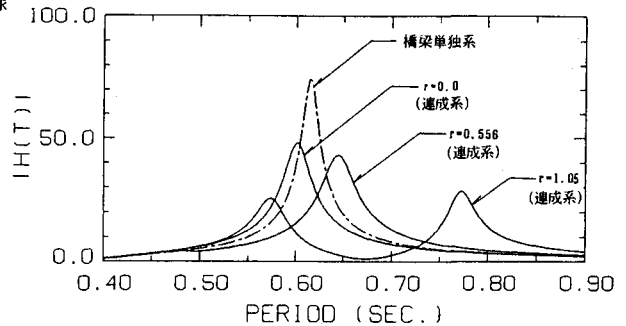


図-4 数値解析より得られた共振曲線

これらの連成系の応答特性は、載荷車両があたかもダイナミック・ダンパーとして作用して橋梁の応答を低減させていることを示している。

どの橋梁でも載荷車両が常にダイナミック・ダンパーとして作用するかどうか、一般的な評価をするにはこの結果だけでは不十分である。なぜなら、本研究で用いた橋梁の1次固有周期がたまたま車両の1次固有周期の領域と合致していた。このため、車両は1次振動で振動して車両前部が大きく揺れることになり、連成系の応答を減少さす方向に作用した。そこで、さらに一般的評価をするには、橋梁の1次固有周期が車両の1次固有周期の領域と大きく違うような橋梁を用いて今回と同様の解析を行う必要がある。

参考文献：

- 1) 亀田弘行、北 啓之、盛川 仁：載荷車両の動的効果を考慮した道路橋の地震荷重、土木学会構造工学論文集、1990年3月
- 2) 加賀山泰一、亀田弘行、佐々木伸幸：車両載荷状態での道路橋の水平振動実験、土木学会第45回年次学術講演会講演概要集 第1部p.1278-1279、1990年9月