

I-622

車両載荷のもとでの道路橋の地震応答

村本建設(株) 正員 ○北 啓之
 京都大学防災研究所 正員 亀田 弘行
 阪神高速道路公団 正員 鈴木 巖

1. はじめに 現行の道路橋の耐震設計基準では道路橋に多大な被害を与えるような大地震と交通渋滞とが同時に生起する確率はきわめて小さいという仮定により、地震時における活荷重の影響は考慮しなくてよいことになっている。しかし今日の交通事情を考えれば上記のような仮定が妥当であるとはいえず、橋梁-車両連成系としての動的解析を十分に行った上で一般的に地震荷重評価法が導かれるべきであろう。本研究課題については既に、車両が載荷された状態での道路橋に関して積載率、載荷位置、及び入力パラメトリックに与えて地震応答解析を行い、載荷車両の動的効果について考察した¹⁾。今回は、実橋による振動試験データをもとに行った数値解析に用いた橋梁-車両連成系モデルの検証について報告する。

2. 橋梁-車両連成系モデル 数値解析では通常規模の都市高速道路高架橋を対象とし、図1に示すような20自由度線形モデルにモデル化した。車両モデルには橋梁の地震応答に与える影響が大きいと考えられる積載量11tonfクラスの大型車両を、ローリングとピッチングからなる2自由度回転倒立振子としてモデル化したものを用いた。なお渋滞時を想定しているため車両は静止しているものとする。

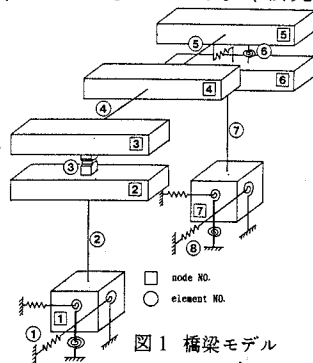


図1 橋梁モデル

図2は特に注目すべき橋梁-車両連成系の振動モード(積載率 $r=1.0 \times 4$ 台載荷の場合)である。1次モードと6次モードは共に橋梁単独系における1次モードに相当するが、前者は橋梁と車両の同位相振動モード(共振モード)であり、後者は逆位相振動モード(制振モード)である。数値解析結果からは、共振モードが卓越する場合には載荷車両は橋梁の地震応答を増幅させ、制振モードが卓越する場合には低減させることが予想された。

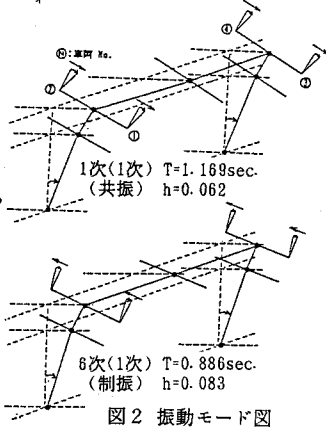


図2 振動モード図

3. 載荷車両が橋梁の地震荷重に与える動的効果 図3は橋軸直角方向入力の場合の基礎底面せん断力の周波数応答特性を積載率 r の種々の値に対して示したものである。車両の動特性を考慮しない静的載荷の場合には積載率の増加と共に応答のピークは大きくなっている。動的載荷は橋梁と車両の動的連成効果を考慮する場合で、積載率 $r=0.6$ までは静的載荷の場合と同様に積載率の増加と共に共振モードのピークは大きくなる。しかし、積載率 $r=0.6$ を越えると共振モードは長周期側に移動しつつそのピークを小さくし、短周期側では制振モードの成長がみられる。

図4は積載率と入力の変化が橋梁-車両連成系に与える影響を総合的に把握するために作成したものである。横軸に入力地震動の卓越周期、縦軸に積載率を取り、橋梁-車両連成系の橋脚下端曲げモーメントの最大応答値が橋梁単独系の場合と比較してどれだけ増減しているかをコンター図によって表している。応答の共振モードの固有周期を表すラインに沿って、応答の増幅率が非常に大きな部分が見られる。また制振モードの固有周期を表すライン上では応答が低減していることがわかる。この図は狭帯域の入力を与えた場合の

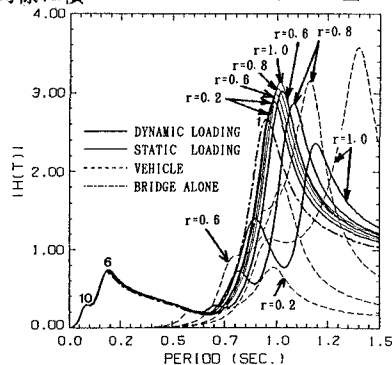


図3 積載率による基礎底面せん断力の周波数応答関数の変化

応答であるが、狭帯域の入力の場合には単一のモードのみが励起されるため、他の断面力についても橋脚下端曲げモーメントとほとんど同じ傾向の結果となる。広帯域入力の場合は複数のモードが同時に励起されるため、等高線の間隔が広くなり応答の増減の割合が小さくなると共にそれぞれのモードが各断面力に貢献する度合いが異なるため、断面力によって応答の傾向に違いがみられるようになる。図中に示す横軸に平行な破線は大型車両4台載荷の場合に最も生じやすい積載率の範囲を表している¹⁾。応答増幅率の大きい部分がこの範囲に含まれていることから、地震が道路橋を襲った場合の橋上の荷重状態は、橋梁の地震応答を増幅させるものである可能性が高いことを示している。

4. 実橋試験データによる橋梁-車両系モデルの検証 図5に阪神高速道路において実橋を用いて実施された振動試験²⁾から得られた周波数応答と、理論解による共振曲線を示した。理論モデルは、振動試験の対象となつた橋梁に合わせて諸元を変更し、隣接橋梁の影響を表すばねを付加した。図5(a)は橋梁単独系に関する結果を示す。図5(b)は載荷車両の積載率 $r=0.0$ の場合である。理論解では車両載荷によって1次モード(共振モード)のピーク値が橋梁単独系より大きくなっているのに対し、振動試験結果では橋梁単独系の場合の約50%と小さな値になっている。理論と実験とのこの相違は、主として車両モデルの設定法によるものと考えられる。すなわち独立懸架された運転台が振動する等、振動試験に用いた車両にはモデル化において想定した以外の現象が観察された。図5(c)は載荷車両の積載率を $r=1.05$ とした場合である。これは共振モードと制振モードが分離して動的制振器を持つ場合に相当しており、理論解と試験結果の傾向はよく一致している。ただし短周期側の共振周期が若干ずれているのは、隣接橋梁の扱いになお問題があることによると考えられる。

5. むすび 実験結果との対比から、本研究で用いた橋梁-車両連成系の振動モデルが基本的には妥当であることが確かめられた。これにより、本研究で行った地震応答解析の定性的傾向は妥当であると考えられる。ただし、理論モデルは車両を倒立振り子として扱っているのに対し、今回の実験で用いた車両のように独立懸架の運転台等によって、別の動的制振効果を持つことがありうることもわかった。今後は載荷車両の条件についてさらに詳細な検討が必要と考えられる。

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, 構造工学論文集Vol. 36A, 1990年3月。

2) 加賀山泰一, 亀田弘行, 佐々木伸幸: 高架橋の水平振動実験, 第45回土木学会年次学術講演会概要集, 1990年9~10月。

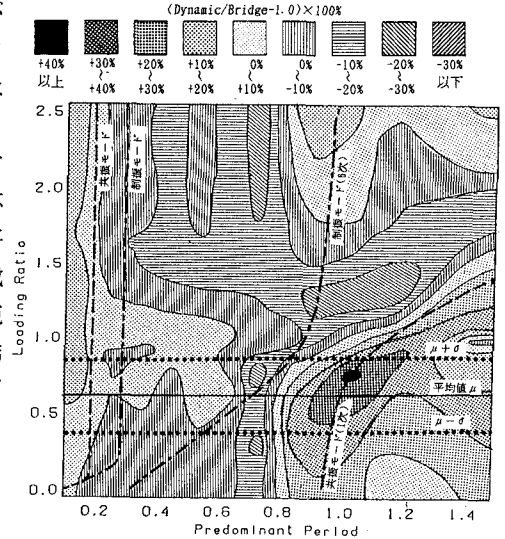


図4 橋脚下端曲げモーメントに対する載荷車両の影響(狭帯域入力)

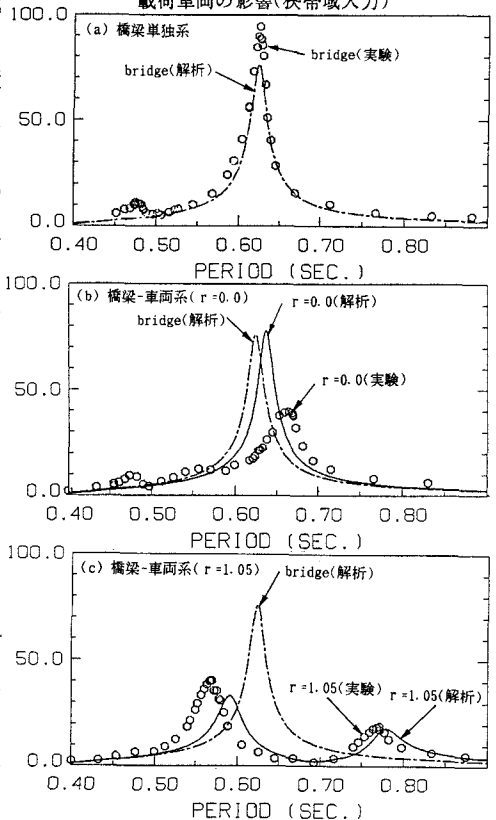


図5 周波数応答の比較