

(130) 橋梁-車両の連成効果を考慮した高架橋の耐震安全性に関する研究

阪神高速道路公団 正員○南 莊 淳 京都大学防災研究所 正員 亀田 弘行
 " 正員 橋本 良之 (株)建設技術研究所 正員 友永 則雄
 " 鈴木 直人

1. まえがき

現行の道路橋示方書においては、活荷重と地震の影響の組み合わせは考慮しなくてもよいこととしている。しかしながら、都市高速道路等、都市内の高架橋においては慢性的な交通渋滞がみられ、必ずしも活荷重の影響を無視できない状況となっている。そこで、以前より、橋梁-交通車両の連成振動特性に着目した実験や地震応答解析の研究がなされており^{1)~4)}、阪神高速道路旧梅田入路において行われた各種の車両載荷状態における水平加振実験などの結果にもとづき、5自由度系の車両モデルが提案されている^{1)・2)}。

本論文は、この提案されたモデルを用いて求めた動的解析値と、震度法による静的解析値の比較をし、「地震時活荷重」が現行の耐震設計値にどのような影響を及ぼすかについて基礎的な検討を行ったものである。

2. 解析モデル

都市内高架橋として一般的な単柱式橋脚をもつ4車線単純鋼I桁橋(図-1)を解析の対象とし時刻歴解析を行う。橋軸方向に対しては載荷した停車中の車両は付加質量的挙動を示すことがわかっているため、地震の入力方向は橋軸直角方向に限定した。

橋梁と車両の固有周期の関係が連成系の振動性状に大きく影響すると考えられ、その違いを検証するため車両の固有周期を固定し、その1次固有周期($T=0.8$ 秒付近)を中心に周期 $T=0.5, 0.7, 1.0$ secの3タイプの橋梁モデルを設定した。各橋梁モデルは橋脚の高さを変化させることによって固有周期の調整を行っている。

解析に用いる減衰はひずみエネルギー比例型減衰とし、各構造部材の減衰定数は「道示V」に示される最小値を用いている。

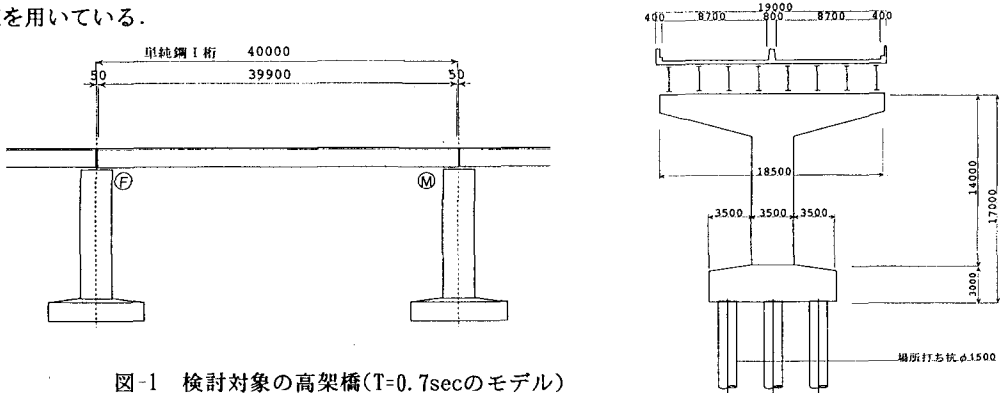


図-1 検討対象の高架橋($T=0.7$ secのモデル)

載荷する車両モデルは文献1), 2)によって提案されている5自由度系車両モデルとした(図-2)。なお入力する地震波は「道示V」に示される動的解析用スペクトル(Ⅲ種地盤)適合地震波とした。

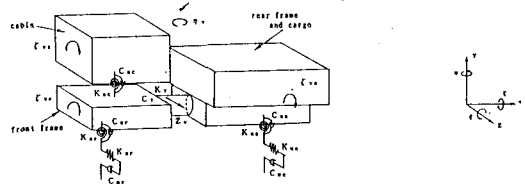


図-2 5自由度車両モデル¹⁾

3. 橋梁-車両連成系の地震応答特性

図-3は橋梁の応答増幅率と車両の幅員方向の載荷台数の関係をプロットしたものである。T=0.5secとT=1.0secの橋梁モデルの場合、車両の載荷台数が増加するに従い応答増減率は単調に増加または減少しているが、橋梁と車両の固有周期が近接しているT=0.7secのモデルの場合増減は一樣ではない。そのT=0.7secのモデルは若干異なるが他のモデルでは載荷台数が多いほど車両の影響が橋梁の応答に顕著に現れており、連成系の典型的な振動性状をみるため以後の解析は幅員方向に満載(車重の合計80tf)として検討を行った。

図-4に代表的な最大応答分布図を示す。

まず橋梁単独モデルと車両載荷モデルの応答解析値を比較すると(図-5)、文献[1]でも示唆しているとおり載荷した車両は、車両自体の1次固有周期(T=0.8sec付近)を境にそれより短周期側の橋梁では応答を減少させ、長周期側の橋梁では逆に応答を増幅させている。

各モデルの卓越振動モードと振動波形ををみると(図-6)、T=0.5secのモデルでは橋梁と車両は位相が逆になっており、振動波形も位相のずれが大きい。逆にT=1.0secのモデルは両者は同位相で振動している。この関係からも前出の各モデルにおける応答増幅率の傾向が説明できる。

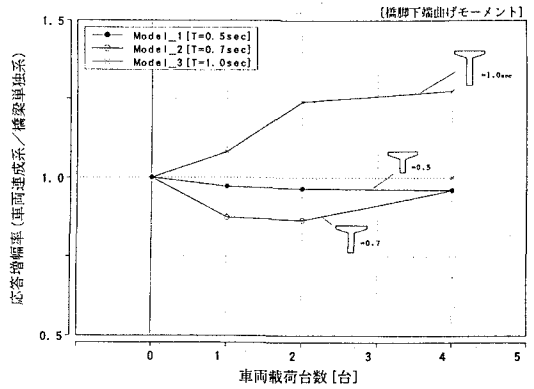


図-3 車両載荷台数-応答増幅率

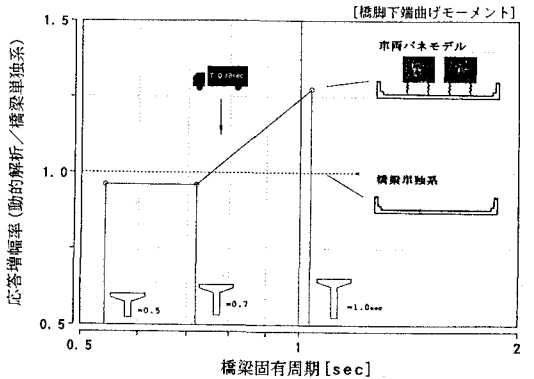


図-5 橋梁固有周期-増幅率

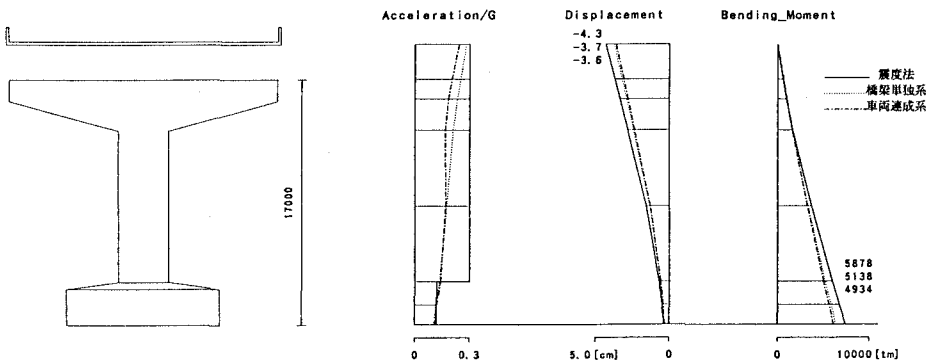
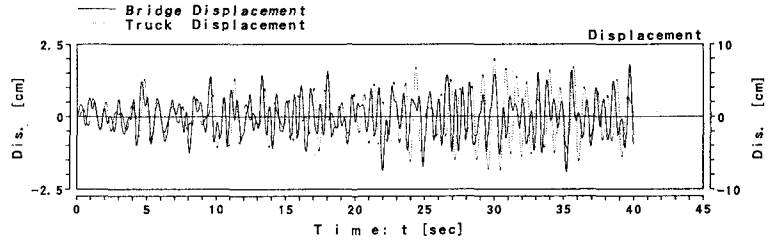
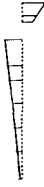


図-4 最大応答分布図(T=0.7sec)

次に震度法による設計値と比較すると、橋梁単独モデルの応答解析値は震度法設計値の80~90%程度となっている(図-7)。これは系の減衰の評価の差によるものであり、震度法に見込まれている減衰と動的解析に用いたひずみエネルギー比例型減衰(1次モードで8%)は応答スペクトルをみると図-8のような関係となっている。車両載荷モデルの応答解析値と震度法設計値との比較ではT=0.5, 0.7secのモデルは橋梁単独系のそれをさらに下回るが、T=1.0secのモデルでは震度法による設計値をやや上回る結果となった。

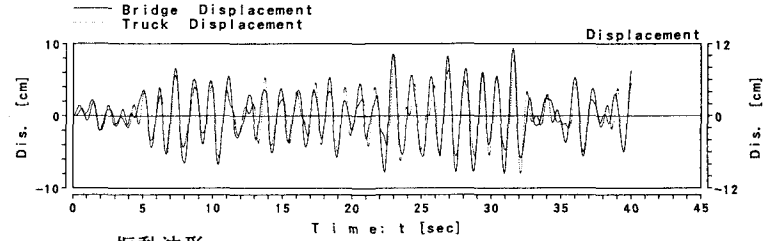
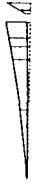
Case_1
T=0.5sec

T(sec) = 0.525
P. Fac = 1.265
Damp [%] = 8.29
E. F. M [%] = 60.9



Case_3
T=1.0sec

T(sec) = 1.186
P. Fac = 1.574
Damp [%] = 7.71
E. F. M [%] = 39.1



卓越振動モード

振動波形

図-6 卓越振動モードと振動波形

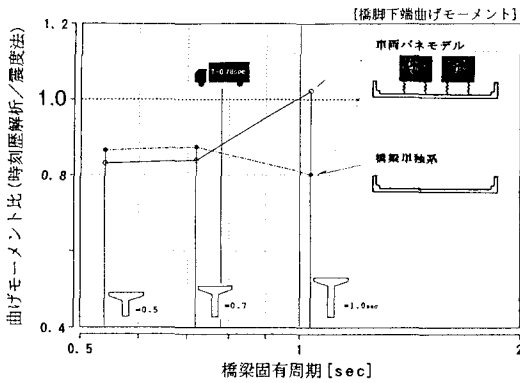


図-7 震度法との比較

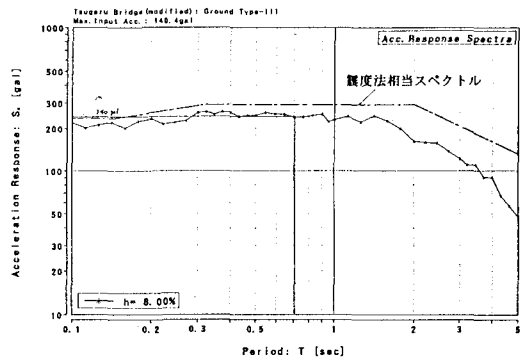
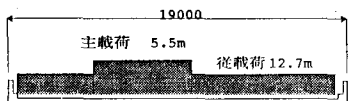


図-8 応答スペクトル

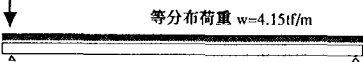
4. 設計活荷重載荷状態での地震の影響

地震時における活荷重状態として設計活荷重の載荷状態を想定し、試みに従来の設計活荷重である TL-20 を図-9のようにモデル化して時刻歴応答解析を行った。TL-20 のうち線荷重は所定の重量(20t)をもった車両荷重 (T 荷重) を置き換えたものであり、その線荷重 60tf を前出の 20tf の車重をもつ 5 自由度系車両モデル 3 台としてモデル化した。

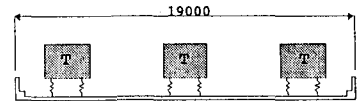
TL-20



線荷重 P=59.25tf



5自由度系車両モデル



トラック荷重 P=20tf×3=60tf

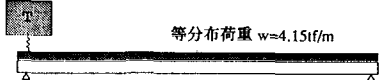


図-9 TL-20 のモデル化

次に等分布荷重は乗用車や空荷のトラック等の荷重を代表したものであり、車重は小さく固有周期も短いものと考えられる(空荷のトラックで $T=0.6\text{sec}$ 弱)。図-10は車両を付加質量とした場合と、1自由度のバネ-マスモデルとして橋梁に付加した場合の応答の比をプロットしたものであるが、図をみると車両の固有周期が $T=0.6\text{sec}$ 以下では、付加質量とした場合の応答値とほぼ一致しているため、ここでは等分布荷重は付加質量として取り扱ってよいものと考えた。

図-11をみると連成系ではすべてのケースにおいて震度法による設計値を上回っているが、その超過分は10%以内である。

線荷重を直接载荷した応答と5自由度バネ载荷した応答は大きな差異はない。この場合線荷重60tfに対し等分布荷重は166tfであり、付加質量として扱った等分布荷重が橋梁の応答に大きな影響を及ぼしている。

5. あとがき

車両の固有周期($T=0.8\text{sec}$ 付近)より長周期となる橋梁では载荷した車両は橋梁の地震応答を増幅する傾向にあり、震度法による設計値を上回る可能性がある。地震時に考慮する活荷重載荷状態としてTL-20荷重相当の载荷を規定した場合、今回の解析ケースにおいては震度法による設計値を若干上回る結果となった。

本検討では一ケーススタディとしてTL-20満載状態を考えたが、地震と活荷重の両者の発生確率を考えると危険側にすぎるケース設定ともいえ、地震時に活荷重の影響を考える場合、地震荷重と活荷重の組み合わせ方の確率的な検討を含め、総合的な判断が必要と考えられる。なお、実態交通をモデル化した車両列を多スパン橋梁に载荷した場合について、別途考察を行っているので参照されたい。⁵⁾

<参考文献>

- 1) 亀田, 室野, 鈴木, 佐々木: 耐震解析のための橋梁-車両連成系のモデル化とその動特性, 土木学会耐震工学委員会第21回地震工学研究発表会, 1991.7, PP. 569-572.
- 2) 室野, 亀田, 南荘, 渡辺: 大型車両が道路橋の地震応答に与える影響に関する研究, 土木学会関西支部平成4年度年次学術講演会, 1992.5, PP. I-50-1~2.
- 3) Kameda, Maekawa, Sasaki, and Muro: Dynamic structure-vehicle interaction for seismic load evaluation of highway bridges, 10WCEE, vol. 8, 1992, PP. 4861-4866.
- 4) 室野, 亀田, 南荘, 渡辺: 大型車両が道路橋の地震応答に与える影響に関する研究, 土木学会第47回年次学術講演会, I-584, 1992.9, PP. 1342-1343.
- 5) 渡辺, 亀田, 南荘, 室野: 交通渋滞下での橋梁-車両連成系の地震応答特性, 土木学会耐震工学委員会第22回地震工学研究発表会, 1993.7.

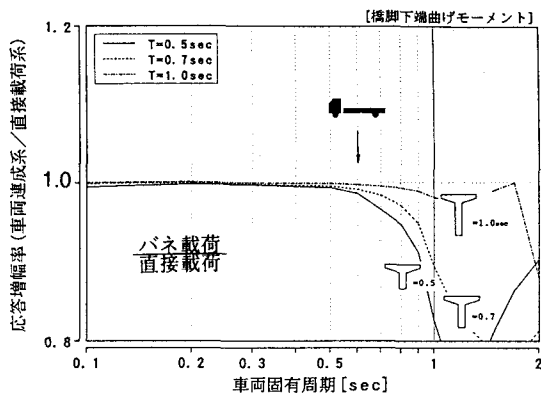


図-10 車両载荷台数-応答増幅率

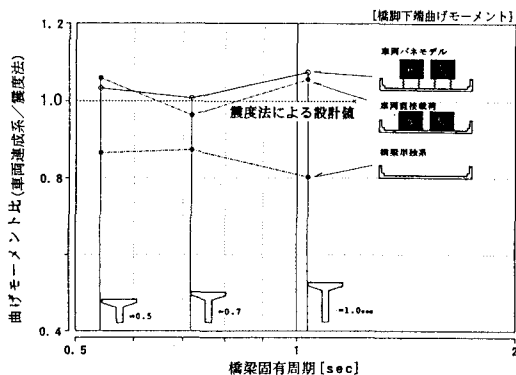


図-11 震度法との比較(設計活荷重満載時)