

I-509

既存の汎用プログラムを利用した
橋梁－走行荷重系の地震応答解析手法

京都大学大学院 学生員 荒木 尚 幸
京都大学工学部 正 員 山 田 善 一
京都大学工学部 正 員 伊津野和行

1. はじめに

現行の道路橋示法書にも示されるように、一般に橋梁の地震応答解析において活荷重の同時載荷を考える例はほとんどない。また、その必要性もないとされてきた。しかし、最近の車両の大型化・渋滞の慢性化・橋梁の長大化など現在の道路事情を考えると、停止中や移動中の活荷重を考慮した橋梁の地震応答解析について検討することも有用であろう。しかし新たに橋梁－活荷重系の解析プログラム（特に汎用的なプログラム）を開発することは多大の労力を要する。そこで橋梁の地震応答解析には既存の大型汎用有限要素法プログラムが各種あることに着目し、その1部に手を加えることで活荷重をも考慮することを考えた。これは簡易手法であるので、簡単なモデルを用いて一般的な手法と比較を行い、その精度について検討した。

2. 手法の概要

まず、橋梁の路面とその上の車両を図1のようにモデル化する。ここでは簡単のため、全長 L の1車線に質量 M_p の車両が1台、一定速度 v で移動する場合を考えている。車輪と車両の間はバネ定数 k のバネで弾性的に連結されているものとし、減衰は無視した。また、簡単のため車輪の質量や車輪と橋梁の間に働く衝撃力も無視した。車両の鉛直方向の変位を w_p とし、その位置での橋梁路面のたわみを w_0 とする。車両からの荷重は、図1の有限要素モデルの接点から橋梁に伝達される。そして荷重は接点間を直線的になめらかに移動し、車両位置に隣接する接点に比例配分されるものとする。接点の位置を $\underline{z}$ とすると、それぞれの接点にかかる荷重 $\underline{P}(t)$ は次式で表される。

$$\underline{P}(t) = \{M_p g + k (w_p - \underline{\Psi}(x) \cdot \underline{Z})\} \int_0^L \delta(x - vt) \underline{\Psi}(x) dx \quad (1)$$

ここで、 $\delta(x)$ はディラックのデルタ関数、 $\underline{\Psi}(x)$ は接点の反力の影響線である。式(1)と地震力を橋梁に対する荷重として与えてやれば、有限要素法のプログラムを用いて橋梁の変位を求めることができる。求められた橋梁の変位を車両の運動方程式

$$M_p w_p + k (w_p - w_0) = 0 \quad (2)$$

に代入して車体の変位を求める。これらより得られた橋梁と車体の変位を式(1)に代入すれば次のステップの荷重が決定される。以上の操作を繰り返し行うことにより車体と橋梁の挙動を追跡することができる。

本研究では、橋梁の地震応答解析プログラムとして、汎用プログラムSAP-IVを利用した。荷重をステップごとに計算できるようにサブルーチン1つに修正を加えた。また、式(1)と式(2)を計算するサブ

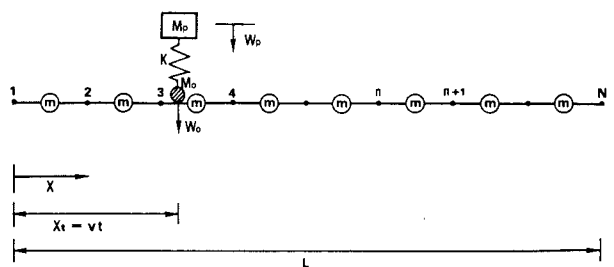


図1 有限要素法によるモデル

ルーチンを新たに付け加えた。現在1台の車両が1車線の上を一定速度で走行する場合しか計算できないが、台数の増加などに対応させるのは比較的容易である。

3. 数値計算例

前節で述べた手法は簡易手法であるため、その精度について検討する必要がある。そこで、図2に示す単純梁を対象として、連続体としての梁の運動方程式を用いた場合との比較を行った。単純梁－走行荷重系の運動方程式をモード形で表すと、 n 次モード q_n は次式ようになる。

$$\ddot{q}_n + 2h_n w_n \dot{q}_n + w_n^2 q_n = \frac{2}{mL} \sin \frac{n\pi vt}{L} \left\{ M_P g + k \left(w_P - \sum_{i=1}^{\infty} q_i \sin \frac{i\pi vt}{L} \right) - \frac{2}{n\pi} \ddot{y} \{ 1 - (-1)^n \} \right\} \quad (3)$$

ここで、 $\ddot{y}$ は地震の加速度である。

この式は右辺に全モードの Σ の項があるため、各モードを独立に解くことはできない。また、式を整理すると剛性マトリックスが時間的に変化する運動方程式になっていることがわかる。以後便宜上、前節の式(2)を用いる手法をmethod A、ここで述べた式(3)を用いる手法をmethod Bと記す。

全長40mの単純梁の上を、重量20tonfの車両が時速20kmで走行する場合を考えた。地震波としてはEl Centro NS記録を、車両が梁にかかると同時に各接点に水平方向に入力した。スパン中央における梁のたわみを、それぞれの手法で計算した結果を図3に示す。車両がスパン中央にかかるのに約3.5秒、渡りきるのに約7秒要する。全体的に両者の波形はよく似ているものの、振幅が最も大きいところ（2秒～5秒）では周期、振幅ともわずかにずれており、一致しているとは言い難い。しかし、振幅のずれは有限要素モデルの荒さに1番の原因があると考えられる。これは、車両がない場合を比較した図4でも、2つの手法で振幅がずれていることで確かめられる。より細かいモデルを用いることである程度防げる誤差であろう。また、今回は車両の減衰を無視したが、減衰を考慮に入れると、両手法の差はより少なくなるものと期待される。今回の計算では車両がある場合とない場合の差が最大1cm程度であり、活荷重と地震荷重を同時に考慮する必要はなかった。今後、いろいろなケースについて検討する予定である。

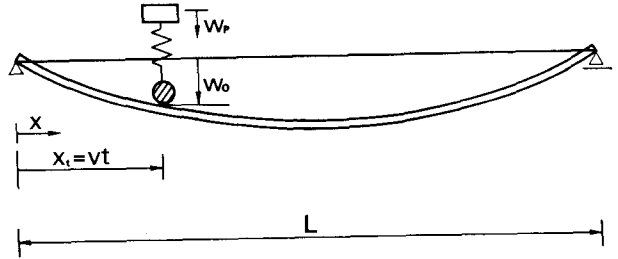


図2 単純梁－走行荷重系のモデル

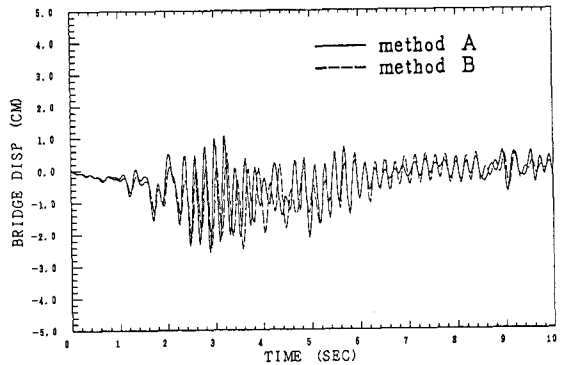


図3 梁中央の変位応答（車両がある場合）

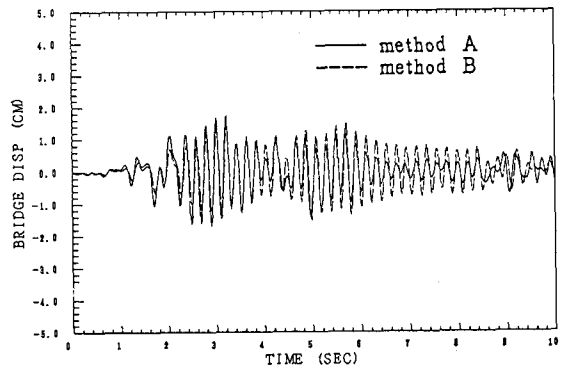


図4 梁中央の変位応答（車両がない場合）