

## 走行荷重を考慮した橋梁の 地震応答解析に関する一考察

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  
京都大学大学院 学生員 ○荒木尚幸

### 1. はじめに

現行の道路橋示方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移動中の活荷重を考える例はほとんどない。しかし車両の大型化、渋滞の慢性化など現在の道路事情を考えると、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。そこで今回走行荷重を考慮した橋梁の地震応答解析システムを開発し、移動中の荷重が橋梁の地震応答解析に及ぼす影響について考察した。

解析方法は大きくわけて2種類考えられる。橋梁と車両を1つの系と見なして質量マトリックス、剛性マトリックスを時間ステップ毎に変化させる方法と、それらを別々の系と見なしてその相互作用を考える方法である。

一般的な構造物ではモード解析を行なった場合にはモード毎に独立に解くことが可能だが、前者の方法は剛性マトリックスが時間的に変化し、さらに対角化もできないため、連立させて解かねばならずその計算量は膨大になる。それに対し後者は橋梁と車両の相互作用を考慮するだけで両者の解析ができ、計算量も従来の橋梁だけの場合と大して変わらない上、橋梁の解析には従来の有限要素法の汎用プログラムを一部修正するだけで用いることができることなどの利点がありより実用的な方法であるといえよう。そこで今回この2つの異なる解析方法により違いを比較し、後者の方法による解の精度、特徴を調べた。

### 2. 剛性マトリックスの時間的変化による方法

今回、単純ばりの上を荷重が移動する場合を考えて図1のようにモデル化した。すなわち全長Lの単純ばりの上を速度vで荷重が移動する場合を考える。荷重は台車部分と車輪に分割されそれぞれの重量を $M_p$ 、 $M_o$ とする。また台車と車輪の間はバネ定数kのバネで弾性的に連結されている。もとの位置からの車体の変位を $w_p$ 、車両が $x_c = vt$ の位置にあるときのはりのたわみを $w_o$ とする。このとき車体に関する運動方程式は次式で表される。

$$M_p \ddot{w}_p + k (w_p - w_o) = 0 \quad (1)$$

また $M_o = 0$ とした場合、車両からはりにかかる荷重は

$$P = M_p g + k (w_p - w_o) \quad (2)$$

となる。(2)式と地震力を外力とすると単純ばりの運動方程式をモード形を用いて表すと次式のようなになる。

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

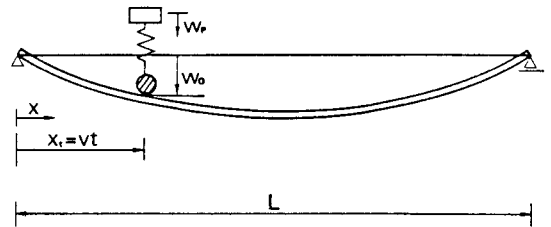


図1 走行荷重とはりのモデル

(1) 式と (3) 式を連立して解くことにより解が得られる。

### 3. 相互作用を考慮した方法

次に車両と構造物の相互作用を考慮し、それらを別々に解析する方法について述べる。今回単純ばりをモデルとしたが複雑な構造物にも対応できるように構造物の解析に有限要素法を用いたために若干のモデル修正を行なった。(図2) 車両からの荷重は節点をから伝達される。荷重は節点間を直線的に移動するものとする。節点の位置を  $Z$  とするとそれぞれの節点にかかる荷重  $P(t)$  はディラックスのデルタ関数  $\delta(x)$ 、節点の反力の影響線  $\Psi(x)$  を用いて次式で表される。

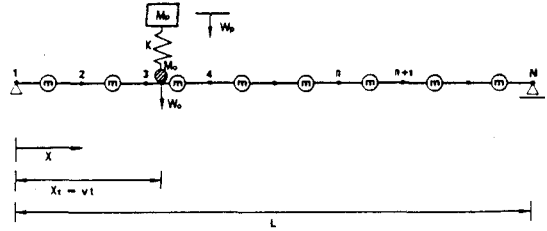


図2 有限要素法によるモデル

$$P(t) = \{M_p g + k(w_p - \Psi(x) \cdot Z)\} \int_0^L \delta(x - vt) \Psi(x) dx \quad (4)$$

(4) 式と地震力を荷重としてはりの運動方程式に代入し、はりの変位が求まる。求められたはりの変位を車両の運動方程式 (1) 式に代入し、車体の変位が求まる。これらより得られたはりと車体の変位を (4) 式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すことにより車体とはりの挙動が明らかになる。今回、はりの解析にあたっては有限要素法の汎用プログラム SAP IV を一部修正して用いた。

### 4. 結果および考察

まず相互作用を考慮した方法について車両がある場合とない場合を比較してみた。橋の変位応答波形を見ると車両がある場合がかなり大きく下側にずれている。これは車両の荷重によるはりのたわみの影響であると考えられる。実際に車両がある場合はたわみ曲線のみでなく下側にずれていることがわかる。次に異なる2つの方法による違いを比較した。ここで相互作用を考慮した有限要素法をmethod A、剛性マトリックスの時間的変化による方法をmethod B とする。車両がない場合 (図4)、全体的に両者の波形はよく似ている。しかし6秒から10秒ぐらいの間、両者の振幅が大きく異なっている。また車両が存在する場合 (図5)、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、一致しているとはいえない。しかしその差は微小なものであり実用上なら問題のないものと思われる。

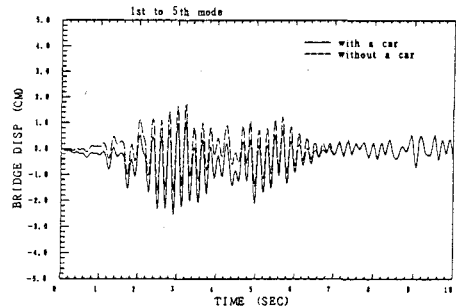


図3 車の有無による橋梁の変位応答 (method A)

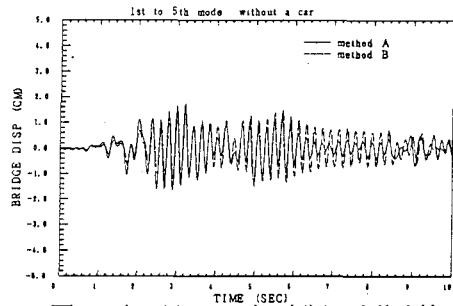


図4 車両がない場合の橋梁の変位応答

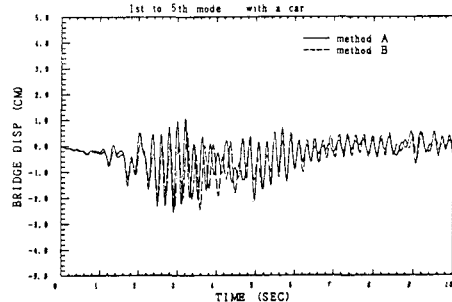


図5 車両がない場合の橋梁の変位応答