

振動を考慮した道路橋の疲労損傷解析

金沢大学大学院 学生会員 ○ 織田一郎
金沢大学工学部 正会員 梶川康男

1. はじめに

我国の鋼橋に溶接構造が導入されてから約50年経過したが、主要幹線道にある道路橋は、通行する車両の大型化と台数の増加により、設計当時には予想もしなかった高応力振幅の繰返しを受けており、疲労破損の問題が持ち上がっている。そのため、各方面で、疲れ試験結果のデータベース化や、疲労亀裂進展寿命の評価法に関する研究が進んでいるが、その結果、今までは無視されていた、比較的小さな応力範囲の繰返し、疲労に影響を及ぼしている可能性があることが分かってきた。しかし、従来の研究では振動成分による繰返しが、疲労損傷に及ぼす効果は、まだ明確にされていない。そこで本研究では、動的応答解析を用いて、走行荷重による疲労損傷度を計算し、静的な変形のみによる損傷度と比較することによって、疲労における動的な影響を定量化することを試みた。

2. 解析方法

応答計算には、モーダルアナリシスを用いる。まず、アーチ径間55m、橋長60mの2ヒンジアーチを想定し(図-1)、部材断面は実橋を参考に決め、FEMによって床版剛性を考慮した立体骨組にモデル化し、サブスペース法によって1~10次の固有モードを求めた。又、走行荷重には駆動輪にタンデム2軸を有する総重量19.0tfの大型車(図-2)を考え、図-3の等価振動系を仮定した。更に、モード座標上に変換した橋梁の運動方程式を、車両系運動方程式と連成させて、路面凹凸等の条件を考慮してニューマークβ法により数値積分することによって、モード応答量 q_n の時刻歴を得る。この時、節点変位が固有ベクトル $\{\phi_n\}$ で与えられた場合の着目箇所の応力を σ_n とすると、着目箇所の応力 σ_{SD} は、 $\sigma_{SD} = \sum q_n \sigma_n$ で表わされる。又、運動方程式において、速度項と加速度項を無視し、接地力に軸重だけを用いると、動的な成分を除去した応力 σ_s が得られる。図-4に、応答計算より求めた応力波形を示す。あらかじめ、着目箇所の継手形式に対応するS-N線図が分かっていたら、レインフロー法によってこの様な波形の応力範囲と頻度をカウントし、Miner則に基づいて、疲労損傷度Dを計算することができる(図-5)。本研究では、 σ_{SD} 及び σ_s について求めた損傷度を、それぞれ全疲労損傷度 D_{SD} 、静的疲労損傷度 D_s として区別し、 D_{SD}/D_s を動的疲労係数Dfと定義する。

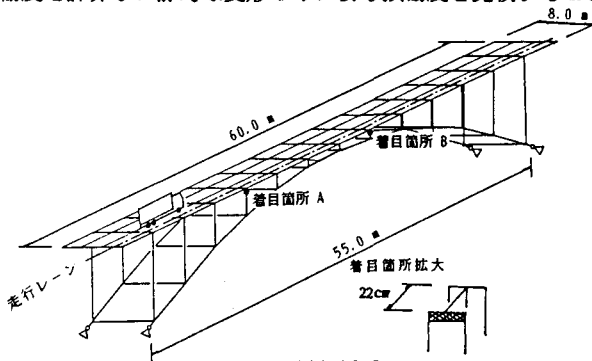


図-1 対象橋梁

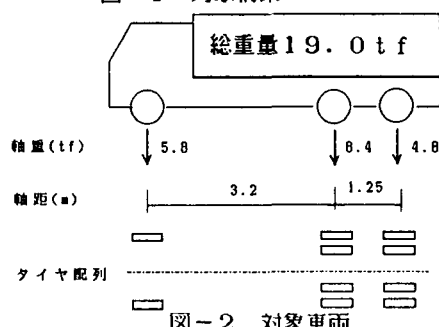


図-2 対象車両

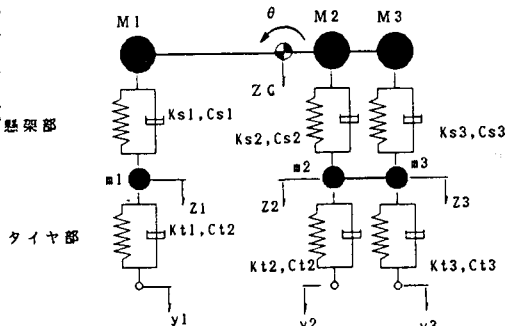


図-3 車両等価振動系

3. 数値解析

路面凹凸には阪神高速での実測値を用い、垂直材上端2箇所(図-1)の疲労損傷度に着目し、シミュレーション解析を実施した。図-6は路面凹凸高さを1,2,3倍した場合の結果である。凹凸高さと動的疲労係数は、ほぼ線形の関係があることが分かる。図-7は走行速度が10.0,20.0,30.0 m/sの場合であるが特に着目箇所Aにおいては、走行速度に応じて動的疲労係数が不規則に変動しており、卓越モードの変化が予想されるが、一概には傾向を推定し難い。図-8は車両バネ上固有振動数が1.5,2.5,3.5 Hzとなるように懸架部バネ定数を設定して計算した結果である。固有振動数の増加(懸架部バネ定数の増加)に伴って、動的疲労係数も増加するが、その程度はごくわずかである。図-9は車頭間隔15 mで、連行台数を1台～5台まで変化させた場合である。連行台数の増加に伴い動的疲労係数も増加し、その割合は比較的大きい。

4. 終わりに

路面凹凸高さ、走行速度、車両バネ上固有振動数、車頭間隔、連行台数を変化させてシミュレーションを行い、疲労に及ぼす動的な効果に対して、どのようなパラメーターが重要になるのか検討した結果、車両バネ上固有振動数以外では、それぞれ顕著な効果があることが分かった。特に連行台数が多い場合には、疲労損傷度は主に動的効果に支配されることもあり得る、と言える。今後は、大型車を代表的なタイプに分類してモデル化し、実測の交通荷重列データを用いてシミュレーションを行い、同時载荷が疲労損傷に及ぼす影響を、動的な効果も含めて検討していくことを予定している。

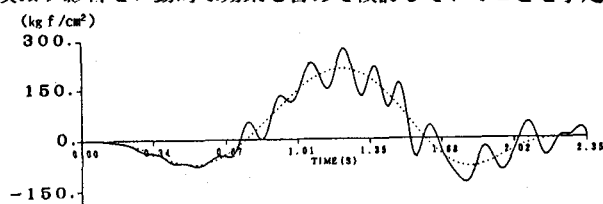


図-4 応力波形 実線; σ_{SD} 破線; σ_s

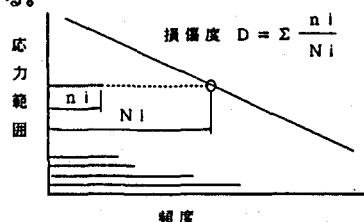


図-5 S-N線図とマイナー則(概念図)

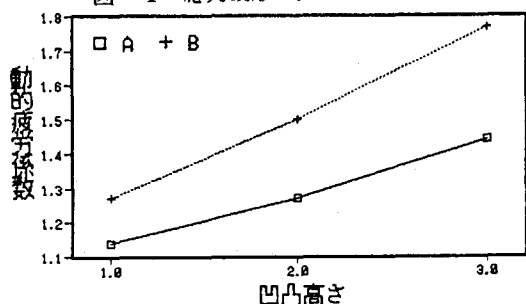


図-6 路面凹凸の影響(速度; 30 m/s)

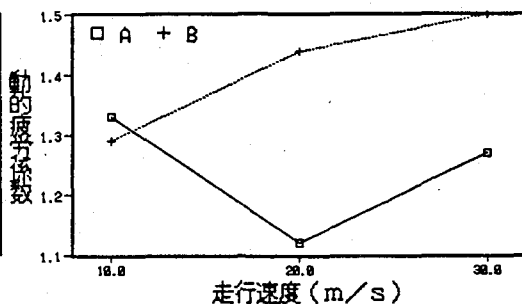


図-7 走行速度の影響

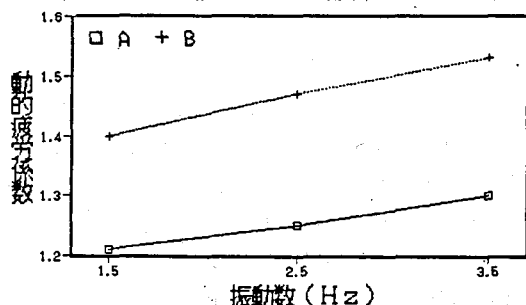


図-8 車両バネ上固有振動数の影響(速度; 30 m/s)

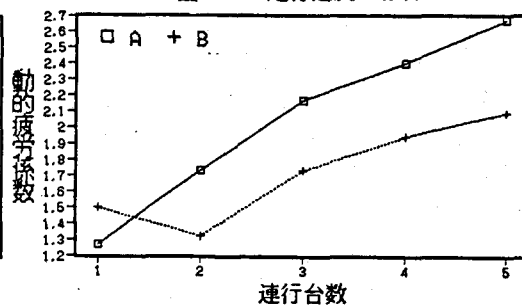


図-9 連行台数の影響(速度; 30 m/s)