

伝達関数による橋梁振動と放射音の計算

日大工 正 五郎丸 英博

1.はじめに 中小支間橋梁上を重車両が高速で走行する際に、橋梁振動に伴って放射される低周波音の解析は、橋体表面の法線方向の振動速度が空気粒子の振動速度に等しいと考えることによって計算される。このとき、伸縮継手部の放射音は、支点到鉛直バネを挿入して支点部の振動速度より算出するため、鉛直バネの値によってその値は、伸縮継手部ばかりでなく支間中央部においても変わってくる。橋梁の支点部のバネ定数の値を正しく算定するのは大変むずかしく、放射音レベルの数値計算結果は実橋における測定との間に大きな相違が生じる場合もある。本報告では、これらの問題点を改善するために実橋の衝撃加振より得られた伝達関数(アキュラシスと放射音伝達関数)とFEMとを結合して、単一走行車両による橋梁振動と放射音の計算を行った。

2.衝撃加振実験 測定した橋梁は支間37.8m、幅員8.0m、床版厚0.19mの3本主桁を有する単純支持合成桁橋である。衝撃加振点と測定箇所は、橋台と橋脚の伸縮継手端部と支間中央部である。測定箇所の路面上にロードセルを設置し、ハンマーで供試橋を衝撃加振することにより、衝撃力はロードセルで、橋体に生じる加振点の振動加速度は加速度計で計測した。また、加振点の床版裏面において、裏面より0.3m離れた位置に低周波音用マイクを設置して放射音を計測し、それぞれデータレコーダに収録した。加振はそれぞれ10回繰り返し行った。データの分析は、10回の加振データを定振幅平均処理を施し、出来る限り雑音の除去を行っている。Fig.1には橋台の伸縮継手部で測定された結果を示す。(a)は衝撃加振波形でピーク値は844kgである。(b)は応答加速度波形で、(c)は応答放射音波形である。放射音は加速度波形と比較して減衰が著しく小さいのがわかる。(d)は衝撃力の周波数スペクトルであり、1~100Hzまでほぼ平坦で衝撃力として有効なことがわかる。(e)加速度の伝達関数(アキュラシス)であり、(f)は放射音伝達関数である。

3.橋梁振動と放射音の計算 衝撃加振より得られたアキュラシスおよび放射音伝達関数とFEMを結合した橋梁振動と放射音の計算は、周波数領域で応答を計算し、結果をフーリエ変換することにより時間領域の応答時刻歴を得ている。基本的には、加速度応答は(1)式により、放射音の応答は(2)式により計算される。

$$Acc(\omega) = H_a(\omega) \times F(\omega) \text{-----}(1)$$

$$Sp(\omega) = H_s(\omega) \times F(\omega) \text{-----}(2)$$

ここに、 $Acc(\omega)$ は橋梁の加速度応答、 $H_a(\omega)$ はアキュラシス、 $Sp(\omega)$ は放射音の応答、 $H_s(\omega)$ は放射音伝達関数である。(1),(2)式の $F(\omega)$ は外力で、伸縮継手部を計算する場合は、2自由度系のsprung mass系でモデル化した単一走行車両と橋梁を多質点のモデルによって解析したFEMの結果から求まる車両の動的付加荷重 $F(t) = m_1 \ddot{z}_1 + m_2 \ddot{z}_2$ をフーリエ変換し、タイヤの接地長30cmと仮定したバネ荷重として作用させている。支間中央部については、FEMにより求まる支間中央の加速度応答とアキュラシスを用いて中央部での動的付加荷重 $F(t)$ を計算し、車両進入から進出までの放射音の応答を求めた。計算結果の一例をFig.2に示す。車両重量20t、速度40km/h、伸縮継手部の段差5mm、路面凹凸が極度に相当する平滑度パラメータ $a = 0.001 \text{ cm}/(\text{m} \cdot \text{c}^{-1})$ の時である。(a)は橋台部の伸縮継手の結果であり、(b)は支間中央の結果である。実線は伝達関数とFEMを結合した場合で、破線は支点のバネ定数 $1 \times 10^7 \text{ t/m}$ として計算したFEMのみによる結果である。伸縮継手において、加速度波形、音圧波形とも伝達関数とFEMを結合した方法とFEMによる結果には大きな相違が認められ、FEMによる結果は加速度レベル、放射音とも小さく算出され、特に放射音における相違が著しい。支間中央の結果については、波形、スペクトルとも両者の結果は類似しており、若干FEMのみによる結果が小さく放射音レベルを評価することがわかる。

4.むすび FEMによる結果と実橋の衝撃加振より得られた伝達関数とFEMを結合した方法との定性的な相違について明かに出来た。伝達関数を利用した方法はより現実的な状況に近い傾向をとらえていると思われるが、今後は衝撃方法を改良(衝撃力の増大、揺れ戻しの除去)し、試験車両による結果と比較してその有用性を確認する予定である。

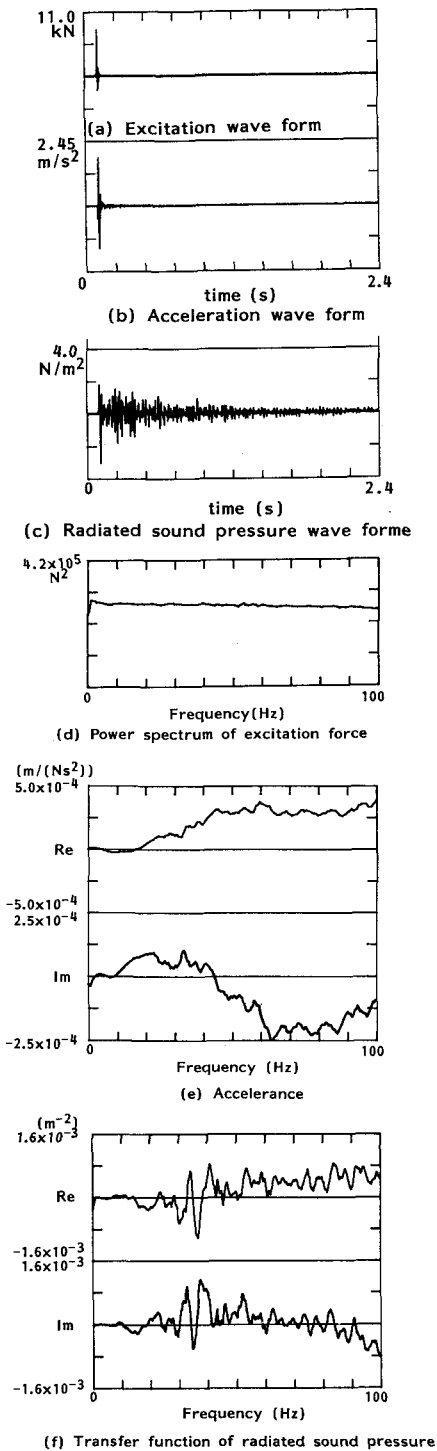


Fig.1 Measured wave form, power spectrum, and transfer function.

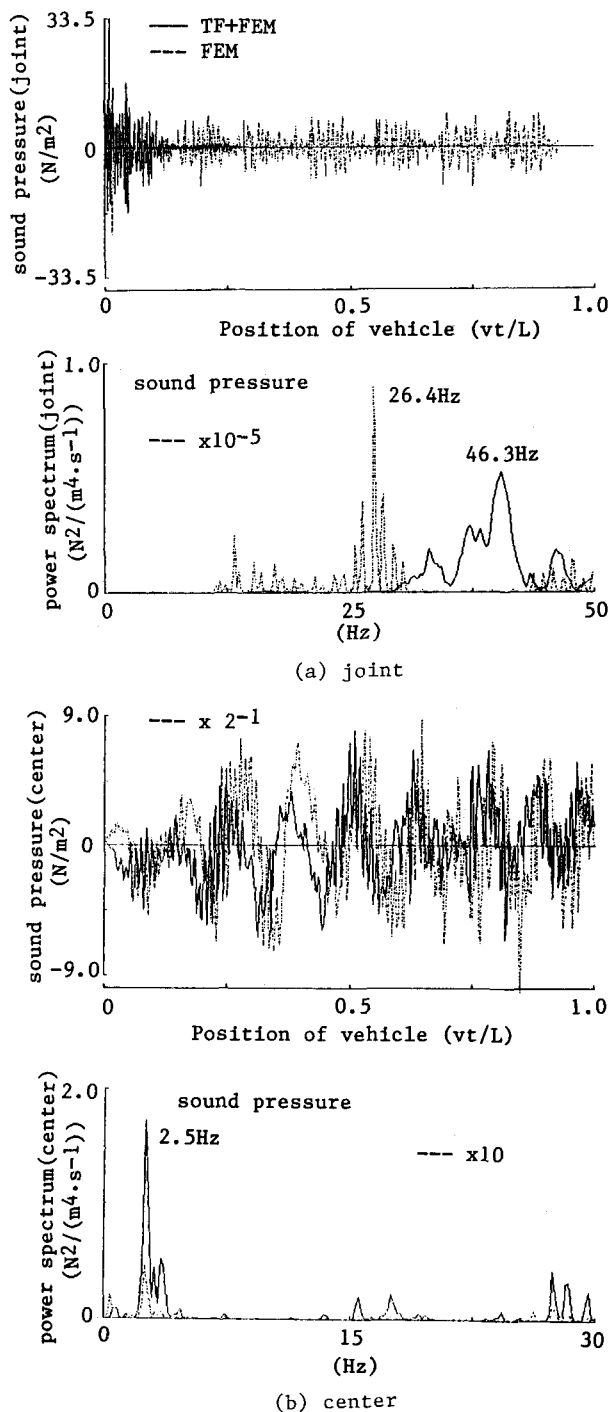


Fig.2 Examples of calculated results.