

(株)サクラダ 正 小森 武 日大工 正 五郎丸 英博
石川島播磨重工 正 白石 捷夫 群馬高専 正 原 公

1. はじめに 重車両の走行によって橋梁が振動し、この振動に伴ってジョイント音とスパン音が放射される。道路橋の低周波音の発生に関連している振動は、主に車両が進入、退出する伸縮継手部と支間中央部であり、これらの振動が密接に関連している。本研究では複数の振動入力源と1個の放射音出力を有する系を考え、放射音の周波数応答関数を用いた低周波音の推定計算を行った。このとき、振動入力間の相関を考慮した場合としない場合を比較し、推定計算の妥当性を検討した。

2. 測定と推定方法 推定計算とその検証を行うため実橋において、橋梁振動と低周波音の測定を行った。この橋梁は3本主桁を有する単純活荷重合成桁が6連で構成された道路橋であり、橋台から1径間目を測定対象とした。橋梁振動と低周波音の測定点は、車両が進入する車線側で、橋台側の伸縮継手部、支間中央部、車両が橋梁を退出する橋脚側伸縮継手部の3箇所である。橋梁の振動の測定は圧電型の加速度計を床版裏面に取り付けて行い、低周波音の測定は、加速度計の取り付け点から鉛直に30cm離れた空間点に低周波音用マイクロホンを設置して行った。測定項目は大型車両が走行した時の橋梁振動と低周波音である。

低周波音の推定計算は、多入力-1出力線形系と考え、入力間の相関を考慮しない場合は式(1)によって行い、入力間の相関を考慮した場合には式(2)によって行った。

$$Y = \sum_{i=1}^n H_{iy} X_i \quad \text{-----} \quad (1)$$

$$Y = \sum_{i=1}^n L_{iy} X_{i \cdot (i-1)} + N \quad \text{----} \quad (2)$$

ここに、 Y 、 X_i 、 $X_{i \cdot (i-1)}$ 、 N は時間関数 $y(t)$ 、 $x_i(t)$ 、 $x_{i \cdot (i-1)}(t)$ 、 $n(t)$ のFourier変換であり、 Y は放射音の推定値、 H_{iy} は入力間の相関を考慮しない時の放射音の周波数応答関数、 L_{iy} は入力間の相関を考慮したときの放射音の最適な周波数応答関数、 X_i は入力加速度、 $X_{i \cdot (i-1)}$ は任意の i に関して $x_i(t)$ から $x_{i-1}(t)$ までの影響を $x_i(t)$ から除去した入力加速度である。 N は入力 $X_{i \cdot (i-1)}$ と関連しない系のノイズ成分である。

入力間の相関を考慮しない放射音の周波数応答関数は、大型車両が橋梁に進入し退出した時の伸縮継手部(進入側と退出側)と支間中央部の振動加速度を入力とし、その時のジョイント音とスパン音をそれぞれ出力として76台分の車両について定振幅平均処理を行ってFFT分析器により算出した。入力間の相関を考慮した放射音の最適な周波数応答関数は、条件付けられたスペクトル密度関数から求めた¹⁾。これらの値は各測定点のパワースペクトルとクロススペクトルを用いて算出した。

推定計算は、まず、系の入出力のコヒーレンス関数を利用して入出力の関連度を調べ、その値が0.5以上の時には相関が有り判定し、計算に用いる入力源を決定した。同時に、関連度の大きい順番に輸入順位を決定した。次に、系の入力間のコヒーレンス関数を用いて入力間の関連度を調べた。この時もその値が0.5以上の時には関連度が有り判定した。

3. 推定結果 Fig.1には系の入出力間と入力間のコヒーレンス関数を示す。ジョイント音 Y_1 は入力 X_1 と X_2 の相関が認められ、 X_3 は $r_{x_3y_1}^2$ が0.5以下であり、相関が認められない。したがって、考える入力として X_1 と X_2 の2入力とし、2入力-1出力系の推定計算を行った。この際の順位付けは、相関の有る周波数帯域幅から判断して X_1 、 X_2 の順とした。スパン音 Y_2 は入力 X_2 、 X_1 、 X_3 の順に相関が認められ、 $r_{x_2y_2}^2$ は2.6Hzでは1.0の値を有している。また、 $r_{x_1y_2}^2$ と $r_{x_3y_2}^2$ は0.5の値を有する周波数があるものの全体的に相関は低いのがわかる。本研究では3入力-1出力系による計算と1入力-1出力系の推定計算を行うことにした。入力間のコヒーレンス関数は $r_{x_1x_3}^2$ には相関が認められないが、 $r_{x_2x_1}^2$ と $r_{x_2x_3}^2$ に相関が認められ、

式（2）による推定計算が必要であるのがわかる。

Fig. 2にジョイント音の推定結果を示す。Mehod Iは式（1）による2入力-1出力系としての計算であり、Method IIは式（2）による2入力-1出力系の計算結果である。時間波形は両者とも実測値に近似しているが、スペクトルの特徴は推定法Ⅱが実測値の全体的な傾向をとらえている。したがって、入力間と入出力間に明瞭な相関が認められる時には、最適な放射音の周波数応答関数を用いた式（2）による計算が有用であるのが分かる。

Fig. 3にスパン音の推定結果を示す。推定法Ⅲは式（1）による1入力-1出力系の計算である。推定法Ⅳは式（1）による3入力-1出力系の計算であり、推定法Ⅴは式（2）による3入力-1出力系の計算である。推定法Ⅳは実測値の時間波形の特徴を最も良く表しているものの振幅値とスペクトルが大きく算出されている。推定法ⅢとⅤは振幅値とスペクトルの両者が実測値に近似しており、良好な推定計算が可能なの分かる。スパン音は入力間の相関が存在しているため相関を考慮する必要が認められるものの、入出力間の相関は入力 X_2 との相関が特に高く、入力 X_1 と X_3 は X_2 に比較して低い。したがって、このような場合は相関の低い入力は無視できることがわかる。

参考文献 1) Bendat, J. S. and Piersol, A. G., Random Data Analysis and Measurement Procedures, 1971, Wiley.

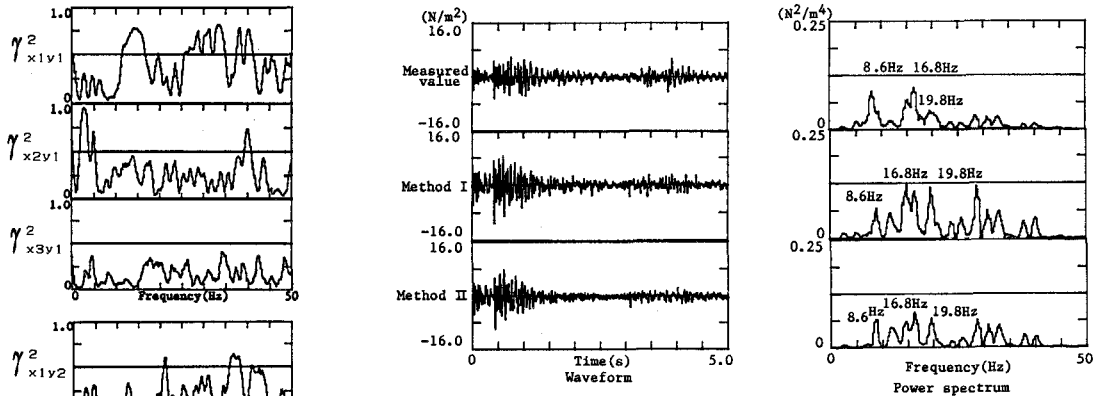


Fig. 2 ジョイント音の推定結果

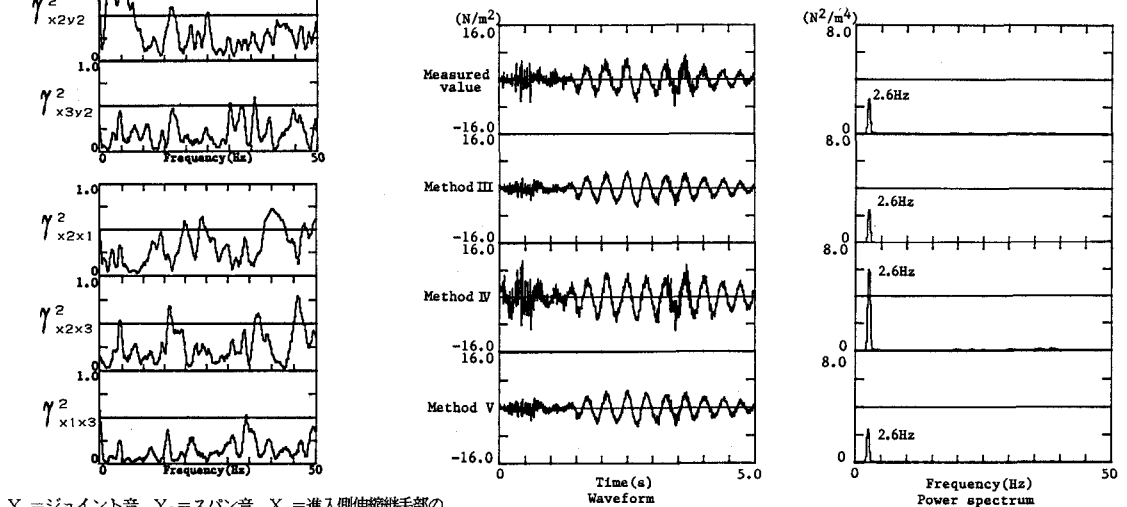


Fig. 3 スパン音の推定結果

Y_1 =ジョイント音, Y_2 =スパン音, X_1 =進入側伸縮継手部の振動, X_2 =支間中央部の振動, X_3 =退出側伸縮継手部の振動

Fig. 1 入出力間と入力間のコヒーレンス関数