

1. まえがき

道路橋から放射される低周波問題は交通公害の一種として従来注目されてきたが、音圧レベルの推定方法やその防止対策については依然として十分に解明されていない。

橋梁放射音の主な原因として、路面の凹凸やジョイント段差などがあると認識され、このため、舗装改善や段差解消などの工法が低周波音発生防止対策として採用されている。しかしながら、これは橋梁放射音の推定が困難であることから、経験より実施される防止対策であるため、必ずしも効果が期待できない。

本文は、解析の手法で防止対策の効果を定量的に評価することを目的として、車両走行による構造振動応答から放射される低周波の計算方法を開発し、実測結果との比較により解析精度を確認するものである。

2. 低周波音圧レベルの推定方法

図一1に本文で用いた橋梁から放射される低周波音圧レベルの推定アプローチを示す。図に示すように、橋梁から放射される音圧レベルが走行車両による橋梁の振動応答からパワースペクトルに換算して、節点振動を点音源として推定される。また、解析モデルの簡便化を考慮して、橋梁と走行車両をそれぞれ立体骨組構造と4自由度振動体としてモデル化する。走行車両による橋梁振動応答は Newmark β 法により求めるが、橋梁と車両の相互作用は図一2のように路面の凹凸やジョイントの段差を考慮した車輪の接地力によって表現する。橋梁振動から放射されるパワー W (ワット) と dB で表示するパワーレベル P_{WL} は次のように算出される¹⁾。

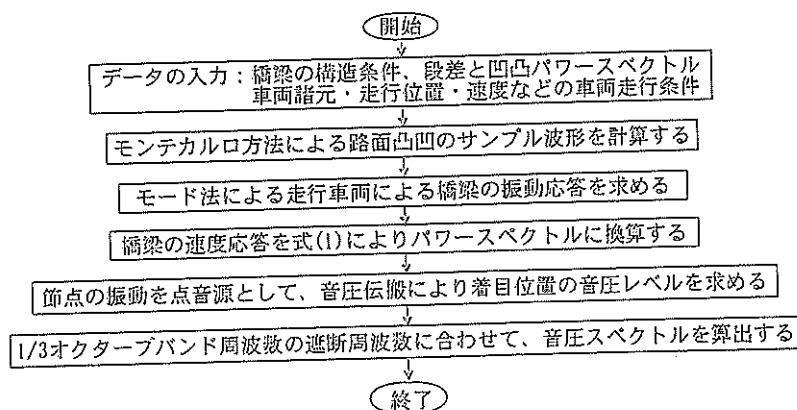
$$W = \rho_a c_a \sum_{i=1}^n \bar{u}_i^2 \Delta S_i; \quad P_{WL} = 10 \log_{10} (W/W_0) \quad (1)$$

ここに、 n は橋梁構造の節点数、 ρ_a と c_a は空気中の密度 (1.205 kg/m^3) と空気中の音速 (343.0 m/s)、 \bar{u}_i は構造にある節点の有効振動速度幅 (m/s)、 ΔS_i は節点 i の代表面積 (m^2)、 W_0 は基準パワー (10^{-12} ワット) である。

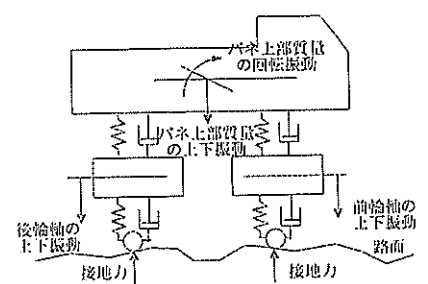
また、着目位置の音圧レベル S_{PL} は節点の振動を点音源として、弾性音波の伝搬から求めた音圧 P から式 (2) より算出される²⁾。

$$S_{PL} = 20 \log_{10} (P_{rms}(f, r)/P_0) \quad (2)$$

式に、 r は点音源から着目点までの半径 (m)、 f は周波数 (Hz)、 P_{rms} は点音源による着目点の音圧実効値 (N/m^2)、 P_0 は最小可聴音圧値 ($2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$) である。



図一1 解析アプローチ



図一2 4自由度車両モデル

3. 実測値との比較

ここで、先述した低周波音圧レベル推定方法の妥当性を確認するには、図一3に示すスパン約26mの単純鋼橋を対象として、実測値と解析値の比較を行った。

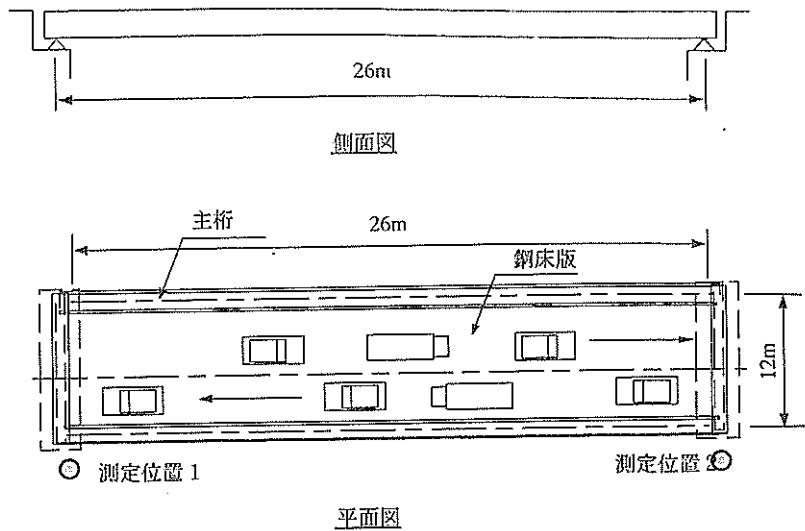
鋼床版の振動は低周波音圧の発生原因の一つであることを考え、橋梁をモデルする際、両主桁と横桁、縦リブを立体格子桁としてモデル化した。

表一1に実測から得た橋梁の固有振動数と解析値を示す。表から、解析値は概ね実測値と一致し、構造解析モデルは妥当であることが分かる。また、実測されていないモードは、解析結果から得たモード形状で表に記して

表一 橋梁の固有振動特性

モード	解析値 (Hz)	実測値 (Hz)	モード形状
1	2.81	2.75	一次たわみ
2	4.64	4.65	一次ねじり
3	6.45	6.90	二次たわみ
4	6.86	—	床版卓越の連成たわみ*
5	8.95	8.70	床版卓越の連成たわみ*
6	11.49	11.75	床版卓越の連成たわみ*
7	12.26	—	床版卓越の連成たわみ*
8	12.46	—	床版卓越の連成たわみ*
9	13.91	13.95	二次ねじり*
10	16.61	—	床版卓越の連成たわみ*

*解析から得たモード形状

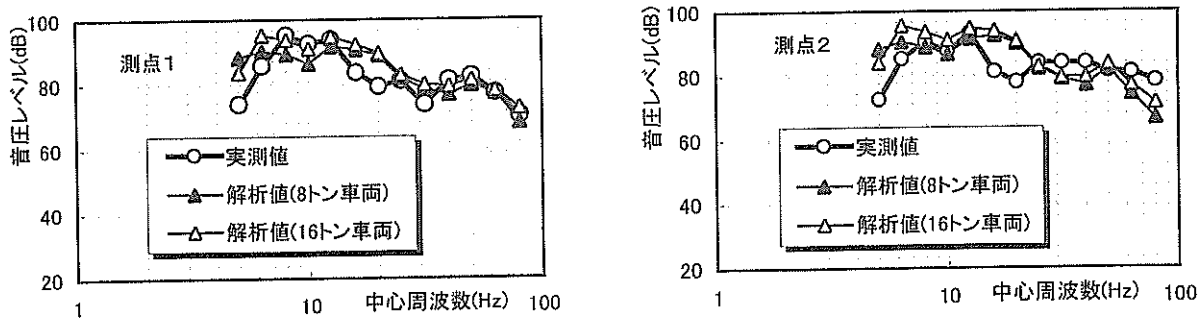


図一 3 二箱桁単純橋の断面図と平面図

いる。なお、実測は主桁の振動に着目したものであり、床版の固有振動は計測されていない。

低周波音圧レベルは橋梁の構造特性のみならず、車両の走行条件にも影響されることは言うまでもない。しかし、実測では通過車両との一義的な対応が困難であるため、車両重量を 8tf と 16tf と推定して解析を行った。また、両端ジョイントの段差と路面凹凸のパワースペクトルはそれぞれ 5mm と $S(\Omega)=0.0116/(\Omega^{1.96}+0.06^{1.96})$ として仮定した³⁾。ここに、 Ω は周波数(c/m)、 $S(\Omega)$ は路面のパワースペクトル($\text{cm}^2/(\text{c/m})$)である。なお、減衰は実測から得た値 (0.5%) を適用し、車両の走行速度は 40km/h とした。

図一 4 は音圧測定点位置ごと (測点位置は図一 3 参考) の実測結果と解析結果を比較したものである。横軸は 1/3 オクターブ中心周波数であり、縦軸は dB で表示する音圧レベルである。この結果より、車両重量は音圧レベルに多少影響を与えるが、大きな変化は認められなかった。また、実測値と解析値が概ね一致していることから、本推定方法は橋梁からの放射音圧を予測するのに有効であると考えられる。しかし、一部範囲で、計算値と実測値に若干の差異が生じている。このため、今後、鋼床版のモデル化方法、解析手法の改善や実測データの分析を含め、その差異が発生する原因を究明することが重要であると考えている。



図一 4 解析値と実測値の音圧レベルの比較

4. まとめ

本文では、走行車両による橋梁構造の振動解析と点音源の伝搬により低周波音圧レベルの推定方法を用いて、実測値と計算値との比較を行った。結果より、本手法で得た低周波音圧レベルは概ね実測値と一致し、橋梁からの放射音圧を推定することが可能であるとわかった。しかし、局部的な周波数において、両結果にはある程度の誤差が見られた。今後、解析条件の確認や解析方法の改善などを含め、計算精度の向上に努める必要があると考える。

参考文献 1. 岡村・深沢: 鋼・硬質ウレタン複合板における振動・放射音の低減特性、構造工学論文集、Vol.45A、pp.683-691,1999.3.; 2. 水上浩一: 車両走行により道路橋から放射される低周波音の特性に関する研究、山梨大修士論文、平成 4 年 3 月; 3. 橋梁振動研究会: 橋梁振動の計測と解析、技報堂出版、1993.10.