

構造物の振動に伴う空気振動に関する解析

京都大学工学研究科 学生会員 増田康男
 京都大学工学研究科 正会員 西村直志
 京都大学工学研究科 フェロー 小林昭一

1 序論

構造物は、外力によって振動する。その振動が構造物周囲の空気粒子を振動させ、音波として伝える。この音波の中には周波数が、数十ヘルツ以下の、人間の耳には直接、知覚されない低周波音がある。

低周波音は、文献（1）に詳細があるように身近な問題である。しかし、見過ごされがちで、様々な被害を起こしているにもかかわらず、騒音公害ほど社会に認識されていない。また、未解明の部分が少なくない。

本研究は、走行荷重に伴う橋梁の低周波振動のモデルとしてはりの上をばねつき荷重が、一定速度で走行する際の遠方で発生する音圧を求めるという問題を仮定し、はりの振動と遠方での音圧に関係を調べたものである。

2 解析方法

本解析では、現象は全て二次元であるとし、構造物を一樣断面の単純ばりと単純化した。今、単純ばりの上をばねつき荷重が、一定速度で走行する場合について考える。また、音圧をはりのたわみとはりの周囲の空気の振動のみに起因するものとする。

まず、はりのたわみを空間方向に関してフーリエ正弦級数に展開し、はり・荷重に関する運動方程式と、ばねに関する構成関係式とを連立させることによって解く。

次に、空気粒子の速度ポテンシャル ϕ は波動方程式に従い、また、はりのたわみの速度 $\dot{y}$ とはりの境界での空気の速度は等しいという関係を使って、はりの振動によって発生するはり上下間の速度ポテンシャル ϕ の差 $\varphi = [\phi]$ を波動方程式の基本解 Γ を用いて、次の境界積分方程式法で解く。

$$\int_S \psi(z)(-\dot{y}(z,t))dS_z = - \int_S \frac{\partial \psi}{\partial S}(z) \int_0^t \Gamma \frac{\partial \varphi}{\partial S}(\xi, \tau) dS_z dS_\xi d\tau - \int_S \psi(z) \int_0^t \Gamma \dot{\varphi}(\xi, \tau) dS_z dS_\xi d\tau \quad (1)$$

ここに、 S は、はりの接線方向、 z は、はり上の点である。また、 $\dot{(\)} = \partial/\partial t$ である。

最後に、はり上下間の速度ポテンシャル差と、音圧が速度ポテンシャルの時間微分に比例することを用いて、音圧 p の遠方場近似 $P = p/\sqrt{R}$ (R は、はりからの距離) における係数 P を求める式 (2) を用いて解析した。

$$P(T) = \int_0^T \frac{1}{\sqrt{T-\tau}} \int_S [\dot{\phi}(\xi, \tau)] dS_\xi d\tau \quad (2)$$

ここに、 T は、波の到達時刻から計った時間である。

3 解析結果と結論

解析については、(表1) に示した値を用い、また、ばねつき荷重の質量については、振動するはりの一次モード、二次モードに対応させるように設定し、また、時刻0のとき外力をかけず、(表2) のような条件で行なった。

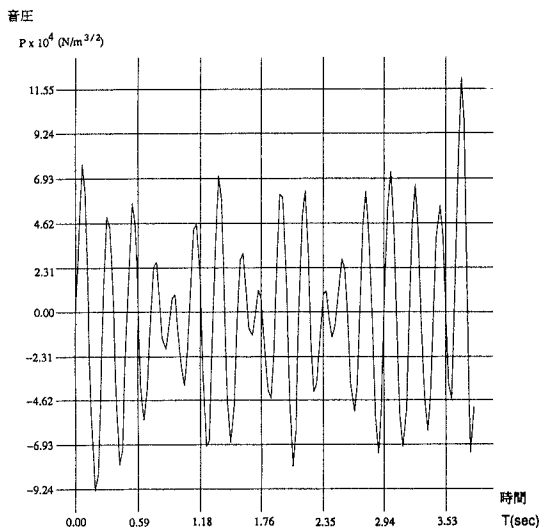
表1 数値計算の諸元

ばね定数 k	1.6×10^6 kg/m	EI	8.6×10^{10} kgm ²
はりの質量 m	1.17×10^4 kgs ² /m	はりの長さ ℓ	100 m

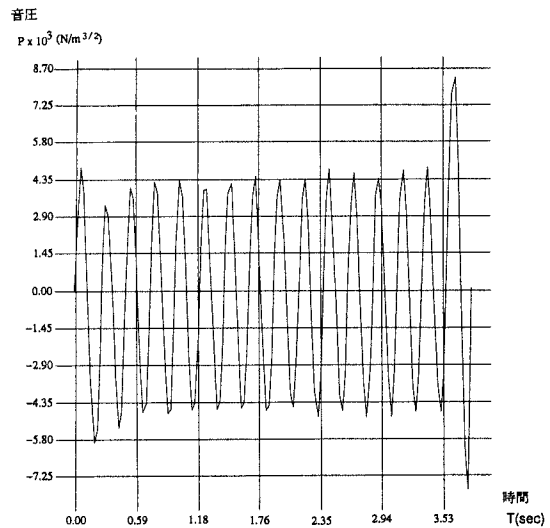
表2 解析条件

図	条 件	$M(\text{kgs}^2/\text{m})$	$u(\text{km/h})$
1	振動荷重を振動するはりの二次モードに対応させて走行	1.40×10^2	100
2	振動荷重を振動するはりの一次モードに対応させて走行	2.23×10^3	100

なお、 u は、ばねつき荷重の走行速度、 M は、荷重の質量である。



(図1 走行荷重による遠方場での音圧)



(図2 走行荷重による遠方場での音圧)

上記の解析結果から荷重の質量を変化させても、ほとんど同じ周期を持つ波しか得られなかった。なお、結果は示していないが、荷重の速度を変えても、同じ周期を持つ波しか得られなかった。また、波の周期は、解析値 0.236 秒で、単純ばりの一次モードの振動周期 0.235 秒にほぼ一致する。

従って、遠方においては、はりの一次モードの振動に伴う空気振動が、はりの二次モードの振動に伴う空気振動より卓越しており、構造物の一次モードに起因する音波が、遠くまで伝わるということがわかる。これは、音圧の遠方場を表す式の形のため、対称な形状を有する一次モードは、音圧に寄与するが、逆対称な二次モードは打ち消し合い、音圧に寄与しないためと考えられる。

4 最後に

この解析では、構造物の中でたわみやすく、基本の構造である単純ばりの場合のみを扱ったが、この解析手法は、構造物を単純ばりから連続ばりへ、また、はりから板へ拡張できる。さらに、ばねつき荷重を連結させたり、減衰装置を付加して、より自動車に近い特性にすることもできる。これにより、より現実の低周波音を制御する問題に拡張することもできるであろう。

参考文献

1. 深沢泰晴・杉山俊幸・中原和彦・水上浩之：「車両走行時に道路橋から放射される低周波音の基本特性」 構造工学論文集 Vol.37A, pp.945-956, 平成3年3月