

I-304 長方形平板の面外振動による音響出力に関する基礎研究

山梨大学大学院 学生員 中原 和彦
 山梨大学工学部 正会員 深沢 泰晴
 山梨大学工学部 正会員 杉山 俊幸

1. はじめに

最近、本州四国連絡橋での列車走行時の騒音のように、橋梁の振動・騒音公害は、大きな社会問題になってきている。このような騒音問題に的確に対処するためには、その発生のメカニズムを、十分に解明する必要がある。そこで本研究では、プレートガーダーを対象とした長方形平板の音響出力を幾つかの仮定のもとに解析的に算出し、支持条件の差異による音響出力への影響の検討も含め、模型平板による調和振動実験を実施し、解析値の有効性と音響特性を調べた。

2. 音響出力の算出

4辺単純支持長方形平板が(m, n)モードで振動しているときの速度分布 $v(x, y, t)$ は

$$v(x, y, t) = V_{mn} \sin\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \sin\left(\frac{n\pi y}{b}\right) \exp(j\omega t) \quad (1)$$

ここに、 V_{mn} =平板の速度振幅、 j =復素数、 $\omega=2\pi f$ (f =振動周波数)

曲げ波によって空気中に放射される音圧 P は

$$P(t, \omega) = -jk\rho c \int_0^b \int_0^a \left\{ \frac{v(x, y, t) e^{jkr'}}{2\pi r'} \right\} dx dy \quad (2)$$

ここに、 ρ =空気の密度($=1.25 \text{ kg/m}^3$)、 c =空気中の音速($=340 \text{ m/sec}$)

k =音の波数

図-1のように座標系をとると r 及び r' は

$$r = \sqrt{d^2 + (a^2 + b^2)/4} \quad (3)$$

$$r' = r \left\{ 1 - \frac{2}{r} \sin\theta (x \cos\psi + y \sin\psi) + \frac{x^2 + y^2}{r^2} \right\}^{\frac{1}{2}} = r_2 \quad (4)$$

音圧 P と音響出力 W の間には次の関係がある。

$$W = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} \frac{|P|^2}{\rho c} r^2 \sin\theta d\theta d\psi \quad (5)$$

したがって、式(1)~(5)より、4辺単純支持板の音響出力 W は

$$W = \frac{4\rho c k^2 \langle V \rangle^2}{\pi^2} \int_0^{\pi/2} \int_0^{2\pi} \left[\left\{ \int_0^b \int_0^a \frac{\sin(m\pi x/a) \sin(n\pi y/b) \cos(kr_2)}{2} dx dy \right\}^2 + \left\{ \int_0^b \int_0^a \frac{\sin(m\pi x/a) \sin(n\pi y/b) \sin(kr_2)}{2} dx dy \right\}^2 \right] \sin\theta d\theta d\psi \quad (6)$$

ここに、 $\langle V \rangle^2$ =平板の表面速度の2乗平均値 $=V_{mn}^2/4$

図-1のように、長方形平板音源から d 離れた受音点 p における音響エネルギー密度 E は

$$E = \frac{2W}{\pi c} \int_0^{\pi/2} \int_0^{2\pi} \frac{1}{d^2 + x^2 + y^2} dx dy = \frac{2W\phi}{\pi c} \quad (7)$$

また、 p 点で測定された音圧レベル SPL は

$$SPL = 10 \log_{10} (E c / 10^{-12}) \quad (8)$$

となり、式(7)、(8)より音響出力 W の測定値は次式のように表される。

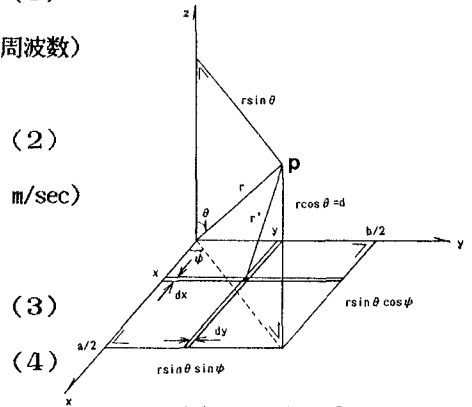


図-1 座標系

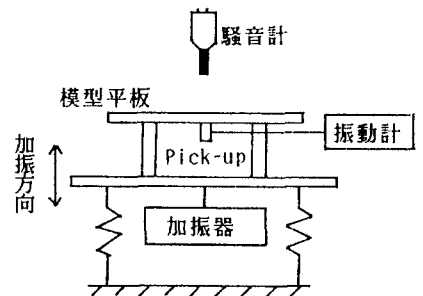


図-2 実験装置の概略図

$$W = \frac{10^{(SPL/10-12)} * 2\pi}{\phi}$$

(9)

3. 調和振動実験

実験に用いた平板は、縦 400mm、横 500mm、板厚 2mm の鋼製平板で、4 辺固定及び 2 辺自由 2 辺固定の支持条件を満たす枠に装着し、振動台にボルトで固定した。調和振動実験の概略図を図-2 に示す。騒音計は、平板の中心より垂直に 30cm 離れた位置に設置し、騒音計及び振動計で測定したデータは、磁気テープに記録した後、A-D 変換を行い、GPIB インターフェイスを介してコンピュータで周波数分析を行った。測定のプロックダイアグラムを図-3 に示す。

4. 考 察

単純支持板における音響出力の解析的算定値は、4 辺単純支持板及び 2 辺固定 2 辺単純支持板（4 辺単純支持板と同様な方法で解析可能である。）を用いた。図-4 及び図-5 は、縦軸に音響出力と平板の表面速度の 2 乗平均値との比を、横軸に周波数をとった。解析値は、騒音計と平板との距離が ∞ と 30cm の条件による値を示した。なお、解析値は、個々のモードに対して離散的に求められるが、ここでは、図を見やすくするために線分を用いて表示してある。両図に描かれた単純支持板の解析的算定値は、100Hz 以下の低い周波数領域で値は異なっているが、100Hz～2KHz の領域では、かなりよく一致している。又、高次モード振動になるにつれて一定の値に収束することもわかる。同図に同時にプロットされている 4 辺固定及び 2 辺自由 2 辺固定平板における実験結果でも 100Hz～2KHz の領域では、よく一致することが確かめられる。以上の結果より平板の音響出力は、100Hz～2KHz の周波数領域では、支持条件による影響をほとんど受けず単純支持板の解析的算定値を代用しても良いことが確かめられる。

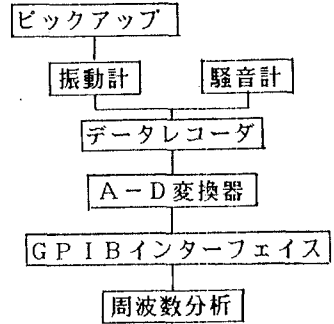


図-3 測定のプロックダイアグラム

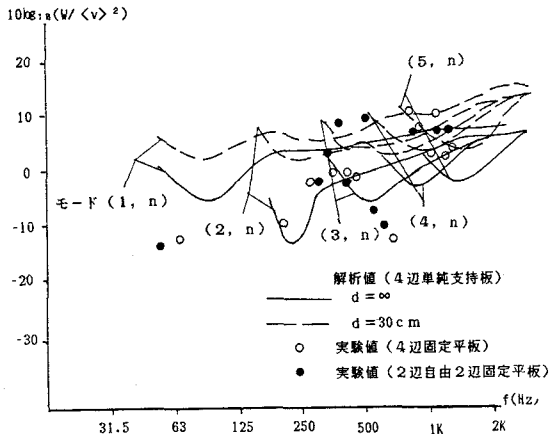


図-4 調和振動に対する4辺単純支持板の音響出力の解析値並びに4辺固定平板・2辺自由2辺固定平板の音響出力の実験値

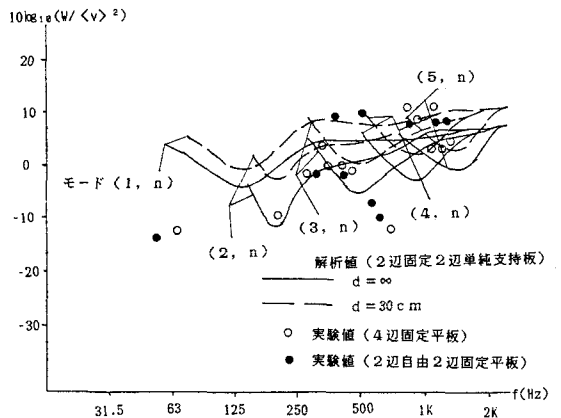


図-5 調和振動に対する2辺固定2辺単純支持板の音響出力の解析値並びに4辺固定平板・2辺自由2辺固定平板の音響出力の実験値

- 参考文献 1) 斉藤保夫他：構造部材振動による音響放射，三菱重工技報，Vol.15, No1, 1978年1月
2) 日本音響学会：音響工学講座④騒音・振動（上），コロナ社，1981年