○正 矢野 弘 (川崎重工業)

正 本間志郎 (川崎重工業)

正 織田光秋 (川崎重工業)

Hiroshi YANO, Shirou HONMA, Mitsuaki ODA

Kawasaki Heavy Industries, LTD., 1-1 Kawasaki-cho, Akashi, Hyogo

In general, radiation power induced by vibration of a plate and radiation efficiency are obtained from the measured vibration of the plate and the sound pressure near that. In this case, acoustic facility such as a reverberation room is indispensable for the measurement.

In this paper, an efficient estimation method of acoustic characteristic from a plate is shown. Radiation power is analytically calculated from the surface velocity data which is measured by using laser doppler vibrometer. Radiation efficiency is calculated from the power and the surface mean velocity. Therefore, it is needless to measure the sound pressure. Those results are compared with the numerical calculations using boundary element method.

Key Words : Acoustic Radiation, Radiation Efficiency, Boundary Element Method

1. 緒 言

構造物からの振動放射音を評価する上で、表面の振動性状と放射音特性を把握することは重要であり、通常、加振した際に発生する構造物表面の振動と放射音を同時に計測し、これらのデータを用いて放射音パワーや音響放射効率を算出することが行われる。この場合、残響室などの専用の音響設備において放射音を計測する必要があるが、現場など反射体が存在し周囲の騒音が大きい環境下では精度良い放射音特性が得られない。

橋本らは⁽¹⁾、振動平板を幾つかに分割し、それぞれの区画における振動速度を計測して、平板全体からの放射音パワーを解析的に算出する離散的数値計算法を提案し、種々の平板について音響放射効率を求めている。

本報では、鋼板及びモルタル打設した鋼板について、それぞれレーザードップラー振動計を用いて放射面の振動速度を効率的に計測し、得られたデータを用いて橋本らが提案した手法で放射音パワー及び音響放射効率の周波数特性を狭帯域で求めた。また、上述の振動速度データを速度境界条件とし、境界要素法（以下、BEM）で同様の特性を求め、離散的数値計算法の結果と対比した。

2. 数値計算法⁽¹⁾

図1に示すように振動平板の表面を細かく分割し、各要素を微小な円形ピストン音源と見なす。 m 番目の微小ピストン音源の面積を S_m 、等価半径を a_m とすると、自己放射インピーダンス Z_{mm} は次式のようにになる。

$$Z_{mm} = \rho c S_m \left[1 - \frac{J_1(2ka_m)}{ka_m} + i \frac{S_1(2ka_m)}{ka_m} \right] \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 ρc ：空気の特徴インピーダンス、 k ：波数、 i ：虚数単位であり、 J_1 は第1種Bessel関数、 S_1 はStruve関数である。

次に、 m 番目音源における n 番目音源からの放射音による相互放射インピーダンス Z_{mn} は、近似的に次式のようになる⁽²⁾。

$$Z_{mn} = \frac{\rho c k^2 S_m S_n}{2\pi} \left[2 \frac{J_1(ka_m)}{ka_m} \right] \left[2 \frac{J_1(ka_n)}{ka_n} \right] \times \left(\frac{\sin kd_{mn}}{kd_{mn}} + i \frac{\cos kd_{mn}}{kd_{mn}} \right) \dots\dots (2)$$

ただし、 d_{mn} は m 番目と n 番目の音源間距離である。

式(1)、(2)で表された自己放射及び相互放射インピーダンスと微小ピストン音源の振動速度 v_m 、 v_n を用いれば、 m 番目微小ピストン音源からの放射音パワー W_m は次式のようにになる。

$$W_m = \frac{1}{2} \text{Re}(Z_{mm} v_m \bar{v}_m) + \sum_n \text{Re} \left(\frac{1}{2} Z_{mn} v_m \bar{v}_n \right) \dots\dots (3)$$

ただし、 Re は実部、 $\bar{}$ は複素共役を表す。

また、各要素の振動速度から平均2乗振動速度 $\bar{v}^2$ を算出し、式(3)に示す要素毎の放射音パワーの和を求めると、平板の音響放射効率 σ は次式により算出できる。

Fig.1 Modeling of vibrating plate

$$\sigma = \frac{\sum_m w_m}{\rho c v^2 S} \dots \dots \dots (4)$$

ここで、 S は平板全体の面積である。

3. 加振実験

図2には、実験に用いた供試体と振動計測点を示す。供試体は橋桁のウェブを模擬したものである。計測対象領域は600×480mmのウェブ部であり、板厚9mmの鋼板のみ、及び20mmのモルタルを打設した場合の2ケースについて加振実験を行った。

図3には、計測システムの概要を示す。フォースセンサを介して加振器をウェブ面に取り付け高速掃引正弦波加振した。この時、振動速度を高精度でかつ効率的に計測するため、レーザードップラー振動計でウェブ表面をスキャンし、各計測点について周波数応答関数（モビリティ）を算出した。

4. 振動放射音特性

得られたウェブ表面の振動速度データを用いて、式(3)で算出した単位外力当りの振動放射音パワーレベルを図4に示す。また、式(4)で算出した音響放射効率の周波数特性を図5に示す。両図とも、鋼板のみの場合については、実測の振動速度データを用いて、BEM解析によって求めた結果も併記した。BEMにおける要素分割は計測点に合っており、解析対象周波数は2000Hz以下である。

鋼板のみの場合では、放射音パワーレベル及び音響放射効率とも、離散的数値計算法とBEMによる結果はほぼ一致している。また、数値計算法は1700Hz付近でのコインシデンス現象も的確に捉えており、さらに、従来の音圧計測に

Fig.2 Specification of test model

Fig.3 Measurement System

よる手法では評価しにくい低周波数域のモード振動場における振動放射音の特性も精度良く求められている。

次に、モルタルの有無について音響放射効率を比較すると、モルタル打設の場合には、ウェブ面の剛性、質量とも大きく、コインシデンス周波数が相対的に低くなり、1200Hz以下の周波数帯域における音響放射効率は大きくなるものの、単位外力当りの振動放射音パワーレベルは全体的に低下する。

Fig.4 Radiation power level (Unit exciting force)

Fig.5 Acoustic radiation efficiency

5. 結 言

平板の振動放射音特性を評価する上で、離散的数値計算法は有用であり、従来の音圧計測の手法では評価しにくい低周波数域での放射音特性も精度良く求めることができる。

参 考 文 献

- (1) 橋本典久, 桂 充宏, 西川嘉雄, 離散的数値計算法による各種振動板の音響放射特性の検討, 日本建築学会計画系論文集, 第502号, 9-14 (1997.12), 9-14.
- (2) 奥田襄介, 剛壁中の円形ピストン間の相互放射インピーダンスについて, 日本音響学会講演論文集, (1959.5), 101-102.