UDC 628.517.2/.4:699.84:534.83

# 遮音箱から放射される騒音の固体伝播音成分の推定

Estimation of the Structure-Borne Component of Noise Radiated by an Enclosure

## 大石久己\*・大野進一\* Hisami OHISHI and Shinichi OHNO

#### 1.はじめに

機械の騒音を低減するために,機械を遮音箱に格納す ることがある.これにより,遮音箱の透過損失の分だけ 空気伝播音を低減することができる。しかし、機械は一 般に騒音源であると同時に振動源であるので、機械が遮 音箱を振動させ、新たに固体伝播音が発生する、もし、 この固体伝播音の発生分が無視できない場合には、防振 支持の強化等によりさらに騒音の低減を図ることができ る。したがって、機械を格納した遮音箱が与えられた場 合に,この遮音箱が機械の騒音を適切に低減しているか どうかを判断するためには, 遮音箱が放射する騒音に対 する,空気伝播音と固体伝播音の寄与率を知ることが必 要となる。そこで、本研究では、固体伝播音と空気伝播 音とを含む騒音の中から固体伝播音の成分を分離し、空 気伝播音と固体伝播音の寄与率を知るための実験的方法 を求めることを目的とする、以下で、本研究で提案する 方法の理論と実験による確認を述べる。

#### 2.理論

図1に示すように振動と騒音を共に発生する機械を遮 音箱に格納すると、遮音箱は固体伝播音と空気伝播音を 放射する。図1において、ベクトル $\{A\}_o$ 、 $\{A\}_s$ および  $\{A\}_A$ は、機械の取付点1~nの加速度を表し、 $\{P\}_o$ 、 $\{P\}_s$ および $\{P\}_A$ は、空間の点1~mにおける音圧を表すとす る。また、添字Oは、機械の振動と騒音とが共に存在す る場合を表し、添字Sは、機械の騒音のみが存在する場 合を表し、添字Aは、機械の騒音のみが存在する場合を 表すとする。もし、振動に対する応答と騒音に対する応 答とが互いに線形独立である場合には、振動と騒音が共 に存在するときの応答は、次式に示すように、それぞれ の応答の和によって与えられる。

$$\{A\}_{o} = \{A\}_{s} + \{A\}_{A}$$
(1)  
 
$$\{P\}_{o} = \{P\}_{s} + \{P\}_{A}$$
(2)

\*東京大学生産技術研究所 第2部

ここで、機械の振動のみが遮音箱に作用している場合 について考える。まず、機械と遮音箱を分離して考え、 図1に示すように両者の間に作用する力を $\{f\}_s$ とおき、 互いに反対方向に外力として作用すると考える。つぎに、 遮音箱について、この力と取付点の加速度との間の伝達 関数のマトリックスを $[H_a]_E$ とし、この力と空間の音圧 との間の伝達関数を $[H_p]_E$ とすれば、式(1)および式 (2)の右辺の第一項の $\{A\}_s \ge \{P\}_s \ge e$ 書きかえること ができ、

$$[A]_{o} = [H_{a}]_{E} \{f\}_{S} + \{A\}_{A}$$
(3)

$$[P]_{0} = [H_{p}]_{F} \{f\}_{S} + \{P\}_{A}$$

$$(4)$$

となる.

つぎに、機械の取付点においては、加速度 $\{A\}_o$ のう ち、機械の騒音による加速度 $\{A\}_A$ が、機械の振動による 加速度 $\{A\}_s$ に対して小さく、無視することができると仮 定する.この仮定が許されることは、4.2節で実験結果 を用いて確認される.この仮定を式(3)に適用して $\{f\}_s$ を求め、それを式(4)に代入し、式(2)と比較すると、

 ${P}_{s} = [H_{p}]_{\epsilon}[H_{a}]_{\epsilon}^{-1}{A}_{o}$  (5) を得る.式(5)は、取付点の加速度と固体伝播音の関係  $[H_{p}]_{\epsilon}[H_{a}]_{\epsilon}^{-1}$ をあらかじめ求めておけば、機械が運転状態にあるときの取付点の加速度 ${A}_{o}$ の測定値から、その ときの固体伝播音 ${P}_{s}$ を推定できることを示している.





#### 

ところで、伝達関数 $[H_a]_{\epsilon}$ と $[H_p]_{\epsilon}$ とは、機械から遮音 箱に作用する力を基準とした伝達関数であるので、これ を測定するためには、機械を取り外す必要がある。した がって、機械を取り外すことができないと、固体伝播音 の推定のための式(5)を使用することができない。その ため本研究では、図2に示すように機械の取付点1~n をそれぞれ衝撃加振したときの取付点の加速度と空間の 音圧との測定値から式(5)の $[H_p]_{\epsilon}[H_a]_{\epsilon}$ -1に代わるも のを求めることにする。

いま、衝撃力と加速度、衝撃力と音圧、および衝撃力 と機械と遮音箱との間に作用する力との間の伝達関数を それぞれ $[H_a]$ ,  $[H_p]$ , および $[H_t]$ とする. これらの伝達 関数は、 $(n \times n)$ のマトリックスとなる. 衝撃加振した とき、機械と遮音箱との間に作用する力と衝撃力とが遮 音箱に作用すると考えるならば、これらの伝達関数の関 係は、式(3)および式(4)の第一項と同様に伝達関数  $[H_a]_{\rm E}$ ,  $[H_p]_{\rm E}$ を用いて表され、

 $[\mathbf{H}_{a}] = [\mathbf{H}_{a}]_{E} ([\mathbf{H}_{f}] + [\mathbf{I}])$ (6)

 $[H_p] = [H_p]_E([H_f] + [I])$ (7)

となる.ただし, [I]は単位行列である.

式(6)および式(7)から([H<sub>r</sub>]+[I])を消去することにより,

$$[H_p]_E[H_a]_{E}^{-1} = [H_p][H_a]^{-1}$$
(8)  
を得る.式(8)を式(5)に代入すれば,

 $\{P\}_{s} = [H_{p}][H_{a}]^{-1}\{A\}_{0}$ (9)

となり、固体伝播音の推定式を得る.

式(9)は、衝撃加振で伝達関数 $[H_a]$ と $[H_p]$ とをあら かじめ測定しておけば、機械が運転状態にあるときの取 付点の加速度 $\{A\}_o$ の測定値から、そのときの固体伝播音  $\{P\}_s$ を推定できることを示している。

#### 3.実 験

#### 3.1 実験装置

図3に示す実験装置を用いて実験を行った。今回の実



#### 3.2 加速度と音圧の測定

上記の実験装置を用いて,以下の三つの状態について, 取付点の加速度と空間の音圧とをそれぞれ測定した。

- (a) 加振機だけを運転
- (b) スピーカだけを運転

(c) 加振機とスピーカとを同時に運転

以後は、これらの加振機とスピーカの運転状態を、状態 (a)、(b)、(c)と呼ぶことにする.

ここで、加振機とスピーカのパワーアンプに入力する 信号として、両者とも同じFFTアナライザのランダム信 号を使用した。このことにより、状態(a),(b),(c) の測定値を同じ信号を基準として比較することができる。 また、加振機とスピーカのそれぞれのパワーアンプの増 幅率は、状態(a)と状態(b)とで空間の音圧の実効値が 等しくなるように調節した。

測定値の単位は、力を1[N],加速度を1[m/s<sup>2</sup>],音圧 を2.0×10<sup>-5</sup>[Pa]および電圧を1[V]を基準としたデシベ ルとした.

#### 3.3 伝達関数の測定

マイクロホン

鋼板

marken

加振機

加速度 ピックアップ

加振機と鋼板の取付点を外部から鋼板に垂直にインパ クトハンマで衝撃加振し、この衝撃力と取付点の加速度 との間の伝達関数と、衝撃力と空間の音圧との間の伝達 関数とを測定した.また、状態(a)での測定において、

チャージアンプ

パワーアンプ

図 3

実験装置

騒音計

FFTアナライザ

入力電圧V

(ランダム信号)



加振機と鋼板との間の力も測定し、この力と取付点の加 速度との間の伝達関数と、力と空間の音圧との間の伝達 関数とを測定した。

#### 4.検討

#### 4.1 重ね合わせの成立

図4(a),(b)は、それぞれ音圧と加速度とについて、 状態(a)と状態(b)との測定値を重ね合わせた結果と、 状態(c)の測定値である.実線が重ね合わせた結果,一 点鎖線が状態(c)の測定値である.図4より、加振機に よる振動とスピーカによる音圧とは、互いに独立に遮音 箱に作用し、その結果の重ね合わせができると認める.

### 4.2 スピーカの音圧による取付点の加速度の検討

図5は,音圧と加速度との間の伝達関数を状態(a)と 状態(b)とで比較したものである。実線が状態(a)で, 一点鎖線が状態(b)である。これら二つの伝達関数を比 較することにより,図中の矢印の振動数以外では,状態 (b)での値が,状態(a)での値に対して常に小さいこと がわかる。ゆえに,取付点の加速度において,スピーカ の音圧による成分は,加振機の振動による成分より小さ く無視できると考える.

図6は、状態(a)での加振機の加振力と加速度との間 の伝達関数の測定値と、図5と同じ振動数を矢印で示し たものである。図6より、矢印の振動数では、取付点が 節となっており、機械の振動による加速度の成分が小さ く、スピーカの音圧による成分を無視できなくなると考 えられる。したがって、本方法では、これらの振動数に おいて固体伝播音の成分を分離することができない。

#### 4.3 衝撃加振による伝達関数の測定

図7は、衝撃加振をした場合と加振機で加振をした場 合とについて、式(8)に従って加速度と音圧との間の伝 達関数をそれぞれの測定値を用いて計算した結果を比較 したものである.実線が、式(8)の右辺であって衝撃加 振をした場合の値であり、一点鎖線が、式(8)の左辺で あって加振機で加振をした場合の値である.図7の結果 より、式(8)の示す関係が成り立つと認められる.した がって、固体伝播音の推定に必要な加速度と音圧との間 の伝達関数は、機械を遮音箱の中に格納したまま、取付 点に衝撃加振を行うことによって求めることができると 考える.ただし、本方法では、衝撃加振を行って伝達関



144 41巻2号(1989.2)

研



図7 取付点の加速度と空間の音圧との間の伝達関数

数[H<sub>p</sub>]と[H<sub>a</sub>]とを測定したが,取付点に加える力を測 定できるならば,他の方法を用いても同じ結果を得るこ とができると考える.

#### 4.4 固体伝播音の推定値

図8は,式(9)を用いて求めた固体伝播音の推定値と 固体伝播音の測定値(状態(a)での空間の音圧)および 固体伝播音と空気伝播音とを含む全騒音の測定値(状態 (c)での空間の音圧)とを比較した図である。実線が固 体伝播音の推定値,一点鎖線が固体伝播音の測定値およ び波線が全騒音の測定値である。図8の結果より,本研 究で提案した方法を用いて固体伝播音を推定できると考 える。



生産研究

#### 5.おわりに

本研究では,以下の結果を得た.

1. 固体伝播音と空気伝播音が互いに線形独立で重ね合 わすことができ、機械の騒音による取付点の加速度の成 分が小さく無視できる場合に、機械が運転状態にあると きの取付点の加速度を用いて固体伝播音を推定する実験 的方法を求めた。

 2. 固体伝播音の推定に必要な機械の振動による加速度 と音圧との間の伝達関数は、機械を遮音箱に格納したま ま、取付点に衝撃加振を行うことによって求めることが できる. (1988年11月25日受理)