

## GS1503 円筒構造における振動と音場間の連成現象に関するパラメータ研究

## Parametric Study of Vibro-acoustic Coupling for a Cylindrical Enclosure

○学 土屋 寛太郎 (東海大院) 正 小島 淳 (サンデン株式会社) 正 森山 裕幸 (東海大)  
正 押野谷 康雄 (東海大) 柿元 邦彦 (東海大)

Hirotarou TSUCHIYA, Tokai University, 1117, Kitakaname, Hiratsuka-shi, Kanagawa

Atsushi KOJIMA, Sanden Co.,Ltd., 20, Kotobuki-cho, Isesaki-shi, Gunma

Hiroyuki MORIYAMA, Tokai University

Yasuo OSHINOYA, Tokai University

Kunihiko KAKIMOTO, Tokai University

*Key word* : Vibro-acoustic Coupling, Cylindrical Enclosure, Parametric Study

## 1. 緒言

各種容器等に広く用いられている薄肉構造が外部周期力を受けると、構造振動は内部に形成された音場との間に連成を生じる。Cheng らは航空機客室内の騒音抑制を目的に圧力隔壁における振動との連成問題を取り上げており、問題を簡略化するため構造的にも音響的にも剛体の円筒構造の両端に弾性板を配置した解析モデルを用いている。このモデルの端板はばねで支持されており、ばね定数を変化することにより様々な支持条件を想定できるため非常に汎用性の高いものとなっている。その結果、端板振動と連成状態にある音場について音圧レベルに及ぼす支持条件の影響を明らかにし、さらにその影響が及ぶ周波数域を特定している<sup>(1)</sup>。しかしながら、従来の研究では主に一定寸法の円筒構造が取り上げられているため、円筒寸法等が連成現象に及ぼす影響については未だ不明な点が多く残されている。

そこで本研究では、上記モデルを応用して片側の端板に点加振力を負荷させた円筒構造を想定し、両端板における振動と円筒内部音場との連成現象を、端板の半径と板厚及び筒長等をパラメータとして検討している。

## 2. 解析モデル

Fig.1 に本研究で用いた解析モデルを示しており、端板は直線ばねと回転ばねによって均等に支持されている。添え字 1 と 2 はそれぞれ加振側と非加振側を意味している。端板には半径  $a=100\sim 200\text{mm}$  と板厚  $h=2\sim 4\text{mm}$  のアルミニウム合金製の円形板を想定し、ヤング率  $E$  とポアソン比  $\nu$  はそれぞれ  $71\text{GPa}$  と  $0.33$  としている。音場は端板と同径で筒長  $L$  の円筒形音場として取り扱い、端板以外の境界面は構造的に剛体壁と仮定している。座標は端板の面内方向および音場の横断面方向を距離  $r$  と  $\theta$  で表し、筒長方向を  $z$  としている。

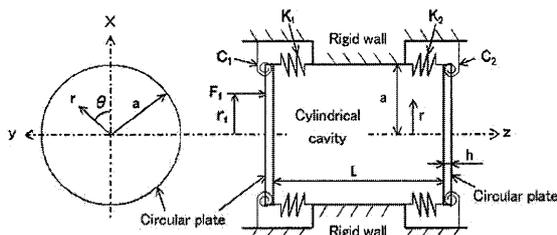


Fig.1 Analysis Model

端板の支持条件は曲げ剛性  $D[=Eh^3/\{12(1-\nu)\}]$  を用い、無次元のばね定数  $K_b(=K_1a^3/D=K_2a^3/D)$  と  $C_b(=C_1a/D=C_2a/D)$  で表現しており、本解析では両端で同一の支持条件としている。直線ばねの  $K_b$  は  $10^8$  で一定とし、回転ばねの  $C_b$  は  $0\sim 10^8$  の範囲で変化させることで、支持条件は単純支持から回転支持まで想定することが可能である。端板の固有周波数は  $(n,m)$  次モードの次数を用いて  $f_{nm}$  で示しており、端板を  $f_{nm}$  で加振している。本研究では端板振動として  $(0,0)$ ,  $(1,0)$ ,  $(0,1)$  次モードを取り上げているが、 $(0,1)$  次モードの場合、加振位置  $r_1$  が節円に接近するのを避けるため、 $r_1/a=0.2$  としている。他の  $(0,0)$  と  $(1,0)$  次モードでは節円が生じないため  $r_1/a=0.4$  とし、全ての振動モードで加振力  $F_1$  は  $1\text{N}$  に設定している。また円筒形音場における共鳴周波数は  $(n,p,q)$  次モードの次数を用いて  $f_{npq}$  で表している。

## 3. 解析結果

## 3.1 板振動と音場に及ぼす位相差とモードの影響

Fig.2 は半径  $a=150\text{mm}$ 、板厚  $h=3\text{mm}$  における音場全体の平均音圧レベル  $L_{pv}$  について、筒長  $L$  を  $100\sim 2000\text{mm}$  の範囲で変化させた時の推移を示したものである。この時、端板 1 の位相  $\phi_1$  は  $0\text{deg}$  と固定しているが、端板 2 の位相  $\phi_2$  は  $0,10,90\text{deg}$  と変化させている。ここで両端板振動間の位相差  $\phi$  を以下のように定義する。

$$\phi = \phi_2 - \phi_1 \quad (1)$$

$\phi=0\text{deg}$  のとき、 $L_{pv}$  は全筒長域でわずかに変化しているが、 $\phi=10,90\text{deg}$  になると、 $L=510,1010,1520\text{mm}$  付近でピークが生じるようになる。一方、 $\phi=0\text{deg}$  のピークが生じる  $L=680,1720\text{mm}$  付近では  $\phi=10,90\text{deg}$  の  $L_{pv}$  はともに減少し、ほぼ同一の値を示している。これらのことから端板 2 の振動は点加振力を受けていないにも関わらず、音場との連成に強く関与していることが明らかである。空洞横断面上の音場は端板振動の  $(0,0)$  次モードと類似のモード形状を有することになるため、上記ピーク成分は  $(0,0,q)$  次モードに依存することになる。これらのピークの生成は  $L$  の増加に伴い、 $q=1$  から整数倍の音響モードに起因することになる。

上記の通り  $L_{pv}$  は  $\phi$  と共に変化することになるが、Fig.3 では  $L_{pv}$  が最大になる音圧レベルと  $L$  の関係を  $(0,0)$ ,  $(1,0)$  次モードについて示している。各モードでピークの生じる  $L$  は異なるものの、

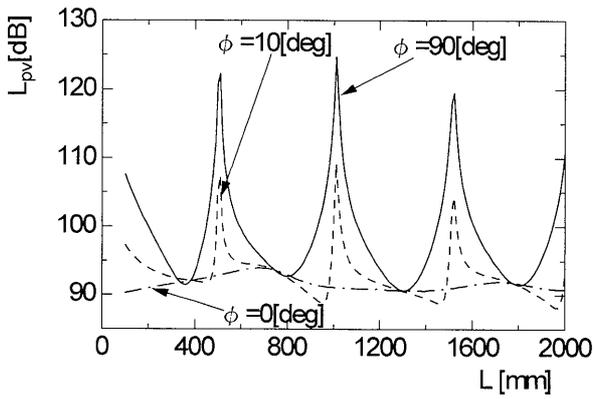


Fig.2 Changes in  $L_{pv}$  with  $L$  at (0,0) mode

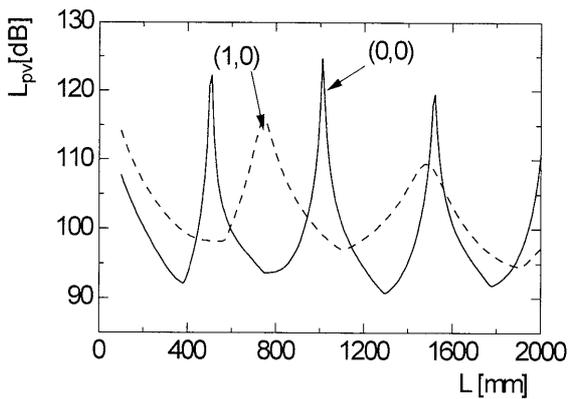


Fig.3 Changes in Maximum  $L_{pv}$  with  $L$  at (0,0) and (1,0) mode

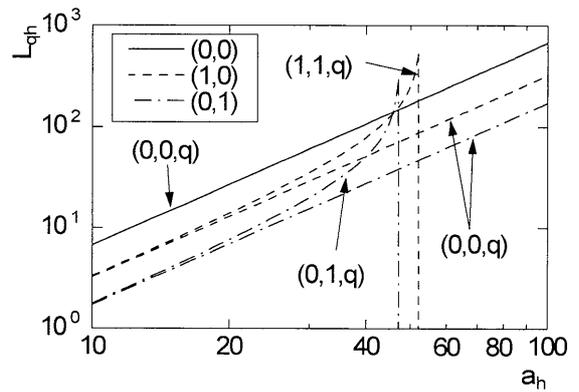


Fig.4 Relationship between  $L_{qh}$  and  $a_h$

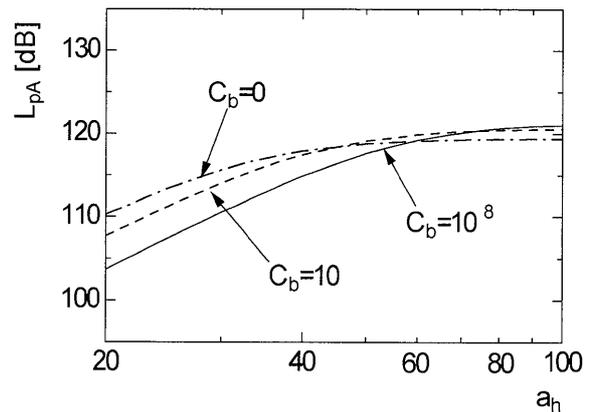


Fig.5 Changes in  $L_{pA}$  with  $a_h$  at (0,0) mode

全体的な傾向としては類似している。これら  $L_{pv}$  におけるピークの生成は両端板振動と音場との連成が促進されていることを意味し、そのためには  $f_{nm}$  と  $f_{npq}$  との一致が不可欠な要件である。

### 3.2 振動—音場間における連成の促進

本研究では端板の固有振動数  $f_{nm}$  の影響パラメータとして、端板の半径  $a$ 、板厚  $h$  および無次元の回転ばね定数  $C_b$  を取り上げている。一方、音場の共鳴周波数  $f_{npq}$  は  $a$  と筒長  $L$  に依存することになる。 $f_{nm}$  は  $a$  の増加だけでなく  $h$  の減少に伴う曲げ剛性の低下によって減少することになり、ここで  $f_{nm}$  及び  $f_{npq}$  を  $a$  で乗じた値を  $f_a$ 、 $a$  を  $h$  で除した値を  $a_h$  とする。 $f_{nm}$  と  $f_{npq}$  から求めた  $f_a$  は  $a_h$  の増加に伴いそれぞれ減少と増加の相反する傾向を示し、両方の値が合致する  $a_h$  が存在することになる。そのときの  $L$  を  $q$  と  $h$  で除したものを、ここで  $L_{qh}$  と定義する。

Fig.4 は  $C_b=10^8$  の(0,0), (1,0), (0,1)次モードについて、 $L_{qh}$  と  $a_h$  の関係を示したものである。各モードの  $L_{qh}$  は端板振動と類似なモード形状を有する音響モードの共鳴周波数  $f_{00q}$ ,  $f_{11q}$ ,  $f_{01q}$  から導いているが、(1,0)と(0,1)次モードに関しては  $f_{00q}$  から求めた  $L_{qh}$  も併記している。 $L_{qh}$  は  $a_h$  と共に増加する傾向を有しており、特に  $f_{00q}$  から導かれた  $L_{qh}$  は  $a_h$  の全域で直線的な変化を示している。

一方、 $f_{11q}$  と  $f_{01q}$  の  $L_{qh}$  は  $a_h$  の小さな領域では  $f_{00q}$  の  $L_{qh}$  に近い傾向で推移しているが、 $a_h$  の増加に伴いその増加率は増して  $f_{00q}$  の  $L_{qh}$  との差が拡大している。 $f_{11q}$  と  $f_{01q}$  の  $L_{qh}$  におけるこれらのような変化傾向はそれぞれ  $a_h=52$  と  $47$  まで持続するが、それ以降で

はそれらの  $L_{qh}$  は存在しなくなる。

$L_{pv}$  の大きさは  $a$  の拡大に伴い減少することになり、その傾向を検討するため、音場横断面の面積  $A_c$  を用いて  $L_{pA}$  を以下のように定義する。

$$L_{pA} = 10 \log \left( A_c \cdot 10^{\frac{L_{pv}}{10}} \right) \quad (2)$$

Fig.5には(0,0,1)次モードに関する  $L_{pA}$  と  $a_h$  の関係を示している。上記  $L_{pv}$  から導かれた  $L_{pA}$  は  $a$  に関わらず一本の傾向線で表現することができ、 $C_b=0$ , 10 の  $L_{pA}$  の線図も比較のために提示している。 $C_b=0$ , 10 の  $L_{pA}$  は  $C_b=10^8$  の  $L_{pv}$  と同様な挙動を示すが、直線的な変化を示す領域とレベルの点で差異が認められる。

### 4. 結言

本研究では片側の端板のみ点加振したときの両端板における振動と円筒内部音場との連成現象について、端板の径や板厚等をパラメータとして検討するため、解析を実施した。その結果、端板振動と音場におけるモード形状の類似性と固有周波数の近接性は、両系間の連成を促進させるために不可欠であり、音圧レベルの増大に強く寄与していることがわかった。また、各種パラメータで検討することにより、音圧レベルにおけるピークの発生予測とレベルの推定がある程度可能となった。

### 参考文献

- (1) L.Cheng and J.Nicolas, J.Acoust.soc.Am.,91,(1992),1504—1513.