

453 打撃される円筒の振動および放射音に関する研究

Research on Vibration and Radiation Sound of Impacted Cylindrical Shell

○学 石井 位直 (室蘭工大)

佐藤 幸平 (池田煖房)

正 松本 大樹 (室蘭工大)

正 齊 當 建一 (室蘭工大)

Tadanao ISHII, Muroran Institute of Technology, 27-1, Mizumoto-cho, Muroran, Hokkaido

Kouhei SATOH, Ikeda Heating Industries Ltd.,

Hiroki MATSUMOTO, Muroran Institute of Technology,

Ken-ichi SAITOH, Muroran Institute of Technology,

A purpose of this research is to explain the relation of the sound and vibration mode by experimental modal analysis. A cylindrical shell that has clipping in the center part is used as test piece in this experiment. The natural frequencies and vibration mode of the test piece are obtained from impact hammer testing. When an impact point is a node of vibration mode, it decreases the sound pressure level of corresponding peak frequency. As the results, it is clear that the vibration mode correlates with the radiated sound.

Keywords : Cylindrical Shell, Mode of Vibration, Radiation Sound, Experimental Modal Analysis

A 1. 緒言及び目的

小型化されたコンパクトデジタルカメラでのムービー撮影時では、録音用マイクロホンズームレンズなどの駆動部である鏡筒からは遠ざけることができない。鏡筒はズーム動作時にモータやギアの振動を増幅し、この振動によって発生する放射音が雑音として記録されてしまう問題がある。このことからムービー撮影機能付きのコンパクトデジタルカメラでは、鏡筒からの放射音を抑えるために鏡筒の振動・放射音の特性を知ることにより、鏡筒の稼動位置・マイクロホン位置の最適化が求められている。これまでの研究では、切抜きがない円筒モデルの振動モードと放射音は対応していることが明らかになっている¹⁾。

実際の鏡筒にはズームなど、稼働させるための切抜きなどの加工が施されている。そこで本研究は、切抜きがある円筒モデルで打撃試験を行い、実験モード解析による振動モードと放射音の関係を明らかにし、切抜きがない円筒モデルとの比較を目的とする。

A 2. 実験方法

Fig.A1 に円筒モデルの中央部を切抜いた円筒モデルを示す。切抜きがある円筒モデルの実験モード解析と打撃時の放射音の測定のために、インパルスハンマによる打撃試験を行った。インパルスハンマで計測される各打撃点における打撃力と、円筒モデルの中央部(切抜いた部分の反対側)に設置した加速度ピックアップによって計測される表面加速度より求まる伝達関数から、モード解析ソフトウェア(ME'scope VES)を用いて実験モード解析を行う。さらに打撃時の放射音を近接したマイクロホンで 3 ヶ所同時に測定する。

A 3. 実験結果

打撃試験より切抜きがある円筒モデルの固有振動数は 582, 720, 1580, 1670, 1850Hz となり、振動数の低いものから次数をつける。これらの固有振動数は、切抜きがない円筒モデルの固有振動数と比較するとやや低下した。振動モードは円周方向波数 n が変化する場合と、軸方向半波数 m が変化する場合が考えられ、今後 (n,m) と表記する。Fig.A2 の a) は 1 次固有振動数 582Hz の振動モードで円周方向の節を結ぶ線が 2 本、軸方向には節がない円筒が楕円のように変形する $(2,0)$ モード、b) は 2 次固有振動数 720Hz の振動モードで軸方向に節があり円筒の両端で位相が逆の $(2,1)$ モードを示す。これらの低次の振動モードは、切抜きがない円筒モデルの振動モードと比較すると同じ振動モードをもつことが明らかとなった。このことより切抜きがある円筒モデルの振動モードでも、切抜きがない円筒モデルと同様に円周・軸方向で振動振幅が大きい「腹」と小さい「節」を確認す

ることができた。Fig.A3 に打撃時の放射音を測定した結果を示す。Fig.A3 の音圧レベルのそれぞれのピークの周波数をみると、切抜きがある円筒モデルの固有振動数と一致しているのがわかる。Fig.A3 に示すように打撃位置の違い(打撃点 10・34)で音圧レベルを比較すると、Fig.A2 の b) に示す $(2,1)$ モードの軸方向の「節」になる打撃点 34 を打撃したとき(太線)では、 $(2,1)$ モードの周波数 720Hz で音圧レベルが減少していることがわかる。このことよりある振動モードの「節」を打撃したとき、その振動モードの周波数の音圧レベルを減少させることができるといえる。このことは切抜きがない円筒モデルと同じ結果となった。

A 4. 参考文献

- 1) 横野航太, 打撃される円筒の振動および放射音に関する研究 第 36 回 学生員卒業研究発表講演会 講演論文集, 2007, P304,305

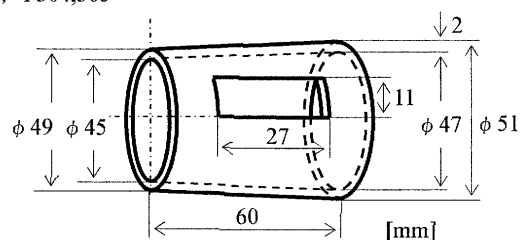


Fig.A1 Test piece

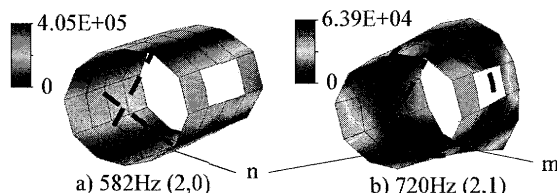
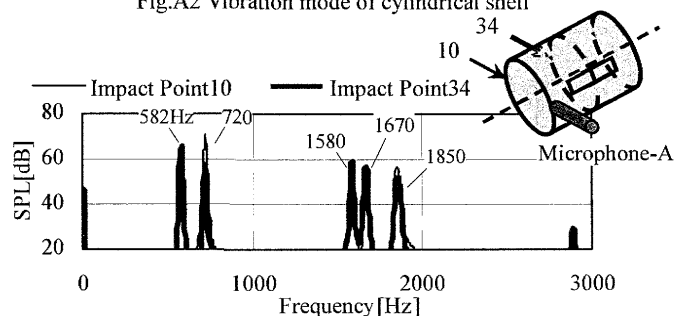


Fig.A2 Vibration mode of cylindrical shell

Fig.A3 Sound pressure level
(Radiation sound is measured by microphone-A)

1. 緒言及び目的

小型化されたコンパクトデジタルカメラでのムービー撮影時では、録音用マイクロホンをズームレンズやオートフォーカスなどの駆動部である鏡筒からは遠ざけることができない。鏡筒はズーム動作時にモータやギアの振動を増幅し、この振動によって発生する放射音が雑音として記録されてしまう問題がある。このことから、ムービー撮影機能付きのコンパクトデジタルカメラでは、鏡筒からの放射音を抑えるために鏡筒の振動・放射音の特性を知ることにより、鏡筒の稼動位置・マイクロホン位置の最適化が求められている。

本研究は、鏡筒をモデルにした円筒モデルの打撃試験を行い、実験モード解析による振動モードと放射音の関係を明らかにするものである。これまでの研究では、切抜きがない円筒モデルの振動モードと放射音は対応していることが明らかになっている¹⁾。

実際の鏡筒は稼働させるための切抜きなどの加工が施してある。そこで今回は、切抜きがある円筒モデルで打撃試験を行い、実験モード解析による振動モードと放射音の関係を明らかにし、切抜きがない円筒モデルとの比較を目的とする。

2. 実験方法

2・1 試験片

Fig.1,2 に実験で使用する試験片の円筒モデルを示す。Fig.1 は円筒モデルの中央部を切抜いた円筒モデル(形状 1)、Fig.2 は端部を切欠いた円筒モデル(形状 2)である。2 つの円筒モデルの寸法は、軸方向長さ 60mm、最大径 51mm、最小径 49mm(肉厚: 2mm)で軸方向に対してテーパを有している。形状 1 の切抜き部の寸法は、軸方向長さ 27mm、高さ 11mm、形状 2 の切欠き部の寸法は、軸方向長さ 13mm、高さ 23mm である。切抜き、切欠き部は打撃点をもとにした。円筒モデルの材質は、ポリカーボネート製(繊維強化されていないもの)である。

2・2 実験方法

円筒モデルの実験モード解析と打撃時の放射音の測定のために、インパルスハンマによる打撃試験を行った。

Fig.3 に実験装置概略図を示す。実験方法は、インパルスハンマで計測される各打撃点における打撃力と、円筒モデルの中央部(形状 1 は切抜き部の反対側の打撃点 35、形状 2 は打撃点 28)に設置した加速度ピックアップによって計測される表面加速度より求まる伝達関数から、モード解析ソフトウェア(ME'scope VES)を用いて実験モード解析を行う。さらに打撃時の放射音を近接したマイクロホンで 3 ヶ所同時に測定する。

Fig.4,5 に実験モード解析での円筒モデルの打撃点を示す。打撃点は、周方向に 30° 毎に 12 箇所、軸方向に 15mm 間隔 5 周の計 60 箇所を基本に、形状 1 の切抜き部の打撃点の間にさらに打撃点を 6 箇所増やし合計 66 箇所、形状 2 では切欠き部の打撃点の間にさらに打撃点を 4 箇所増やし合計 64 箇所である。打撃方法は円筒の半径方向に打撃し、2 度叩き(ダブルハンマリング)に注意しながら各打撃点を 1 番から順に 3 回ずつ打撃する。

Fig.6 に放射音測定でのマイクロホン位置を示す。マイクロホンは、打撃点 10・34・58 に対向するようにマイクロホン A・B・C を 30mm 間隔で配置してある。マイクロホンと円筒モデルの距離は 5mm である。打撃位置は打撃点 10, 34, 58 である。Fig.7 に試験片の支持方法を示す。円筒モデルの打撃点 1 と 49 を通るように木綿糸を通して吊り下げて支持した。

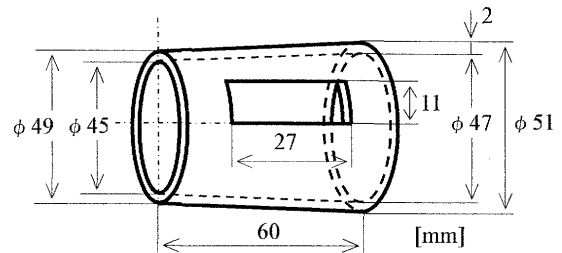


Fig.1 Test piece (Form1)

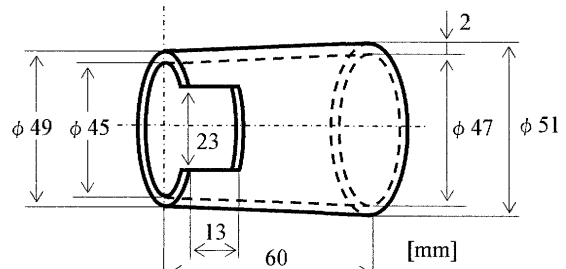


Fig.2 Test piece (Form2)

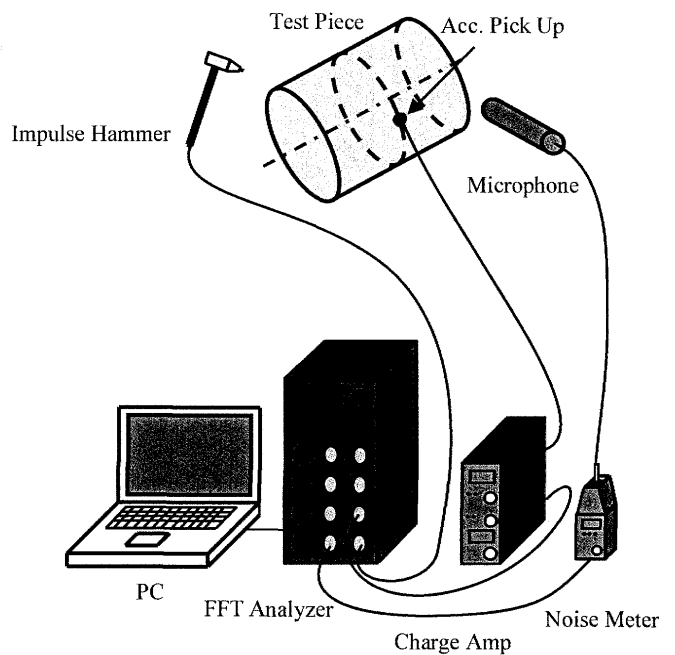


Fig.3 Experimental setup

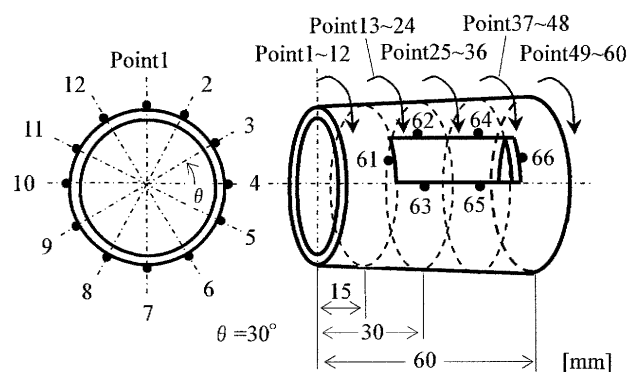


Fig.4 Impact point (Form1)

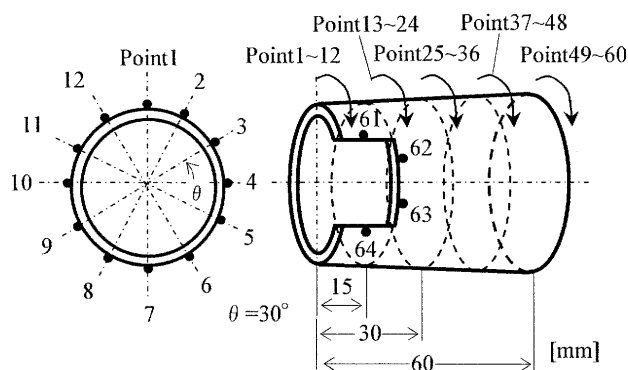


Fig.5 Impact point (Form2)

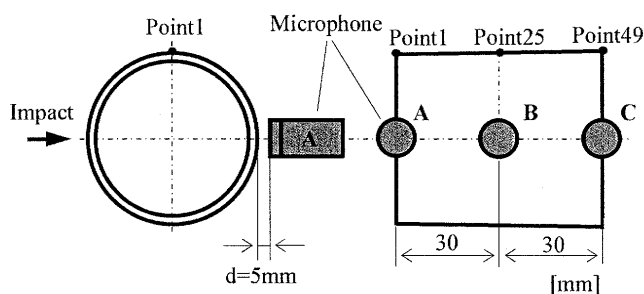


Fig.6 Position of impact and microphone

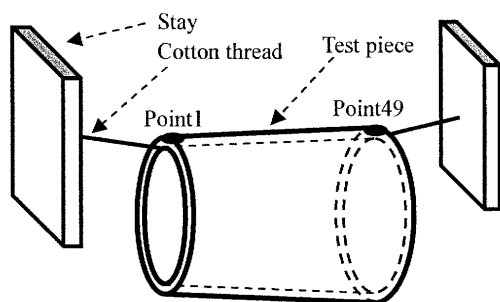


Fig.7 Support method

3. 実験結果及び考察

3. 1 形状 1

Fig.8 に打撃試験より得られた円筒モデル(形状 1)の伝達関数の例を示す。Fig.8 より円筒モデル(形状 1)の固有振動数は 582, 720, 1580, 1670, 1850Hz となり、振動数の低いものから次数をつける。これらの固有振動数は、切抜きがない円筒モデルの固有振動数と比較するとやや低下した。

Fig.9~13 に実験モード解析より得られた各固有振動数の振動モードを示す。振動モードは、円周方向波数(number of circumferential waves) n が変化する場合と、軸方向半波数(number of axial half waves) m が変化する場合があります。今後 (n,m) と表記する。Fig.9 には円周方向の節を結ぶ線が 2 本で、軸方向には節がない円筒が楕円のように変形する $(2,0)$ モード、Fig.10 には円周方向の節を結ぶ線が 2 本で、軸方向に節があり円筒の両端で位相が逆の $(2,1)$ モードを示す。Fig.11 と Fig.12 は共に円周方向の節を結ぶ線が 3 本で、軸方向には節がない円筒が三角形のように変形する $(3,0)$ モードであるが、Fig.11 では切抜き部の上部と下部の振動が逆位相で、Fig.12 では同位相のモードである。これは円周方向の振動モードが周方向に回転しているためである。Fig.13 は円周方向の節を結ぶ線が 3 本で、軸方向に節がある $(3,1)$

モードである。これらの振動モードは、切抜きがない円筒モデルの振動モードと比較すると、Fig.12 のような同じ円周方向の振動モードで周方向に回転したモードが現れた以外は、同じ振動モードをもつことが明らかとなった。このことより、切抜きによる振動モードへの影響は少なく、切抜きがある円筒モデルの振動モードでも切抜きがない円筒モデルと同様に、円周方向と軸方向で振動振幅が大きい「腹」と小さい「節」を確認することができた。

Fig.14,15 に打撃時の放射音を測定した結果を示す。Fig.14,15 の音圧レベルのそれぞれのピークの周波数を見ると、Fig.8 に示した円筒モデル(形状 1)の固有振動数と一致しているのがわかる。また、マイクロホンの位置が円筒両端に位置するマイクロホン A と C で測定した音圧レベルの周波数特性は同じ傾向になるので、マイクロホン A と B で測定した音圧レベルに着目する。

Fig.14 より、打撃点 10 を打撃したときの音圧レベルは、マイクロホン A と B で比較すると、マイクロホン B で測定した方(太線)が、軸方向に「節」がある $(2,1)(3,1)$ モードの周波数(720,1850Hz)で減少した。これは、マイクロホン B は $(2,1)(3,1)$ モードの軸方向の「節」の位置に対応しており、振動モードの「節」では表面の振動振幅が小さいためと思われる。このことは切抜きがない円筒モデルと同じ結果となった。

Fig.15 に示すように、打撃位置の違い(打撃点 10・34)で音圧レベルを比較すると、 $(2,1)(3,1)$ モードの軸方向の「節」になる打撃点 34 を打撃したとき(太線)では、 $(2,1)(3,1)$ モードの周波数(720,1850Hz)で音圧レベルが減少していることがわかる。このことより、打撃位置が $(2,1)(3,1)$ モードの「節」であればマイクロホンの位置が $(2,1)(3,1)$ モードの「腹」の位置でも、音圧レベルを減少させることができるといえる。このことは切抜きがない円筒モデルと同じ結果となった。

Fig.14 の切抜き端部に位置したマイクロホン B で測定した音圧レベル(太線)に着目すると、3 次(1580Hz)と 4 次(1670Hz)で大きな差がある。これは切抜き端部の振動振幅が 3 次では大きく、4 次では小さいことが音圧レベルの大きさに影響しているものと思われる。

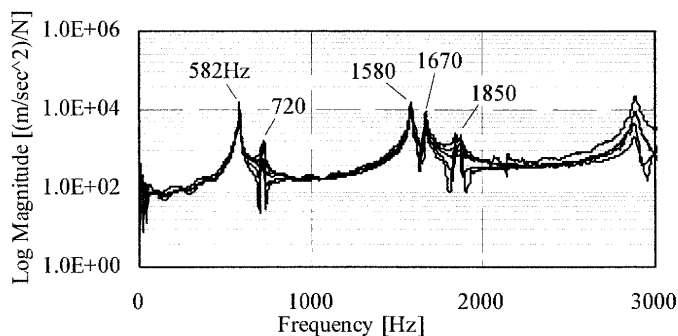


Fig.8 Transfer function (Impact point4,16,28,40,52)

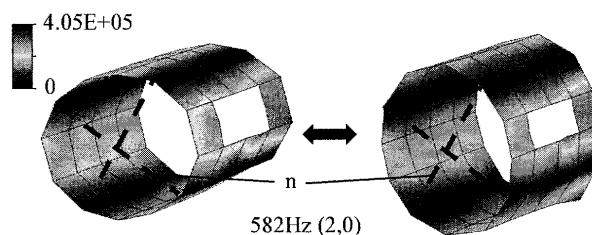


Fig.9 1st mode of vibration

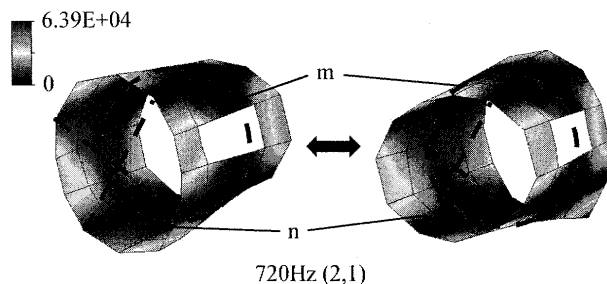


Fig.10 2nd mode of vibration

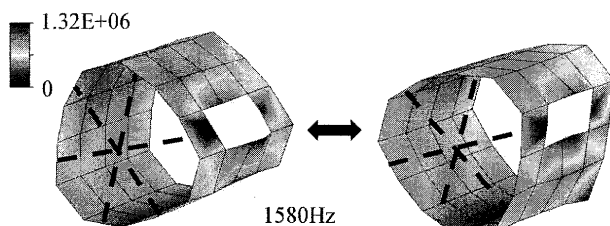


Fig.11 3rd mode of vibration

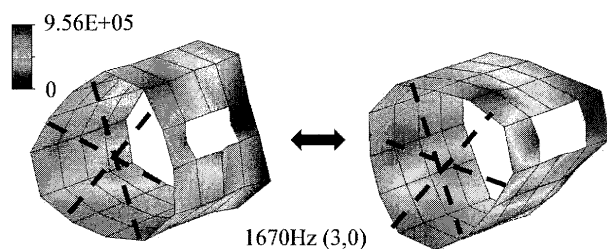


Fig.12 4th mode of vibration

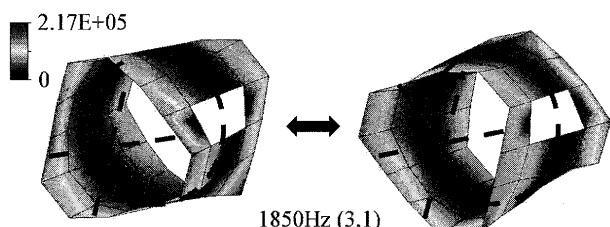


Fig.13 5th mode of vibration

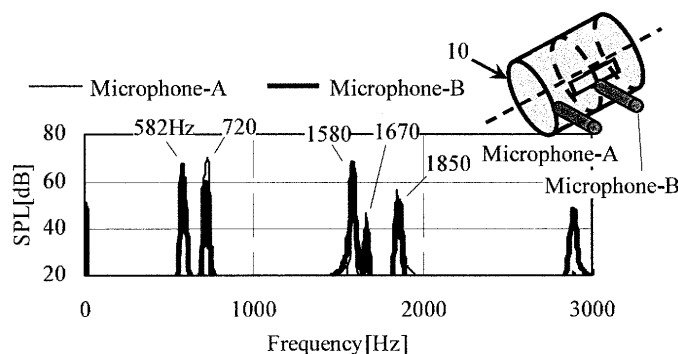
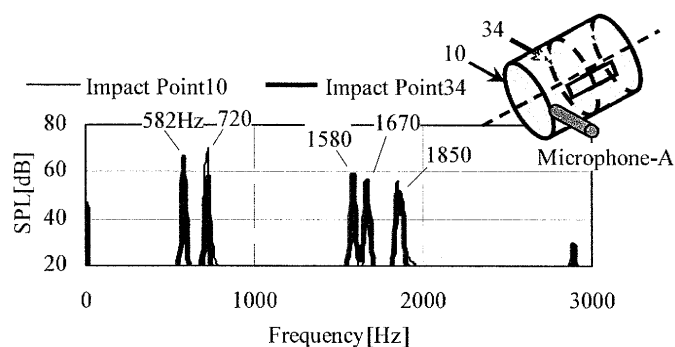


Fig.14 Sound pressure level (Impact point10)

Fig.15 Sound pressure level
(Radiation sound is measured by microphone-A)

3. 2 形状 2

Fig.16 に打撃試験より得られた円筒モデル(形状 2)の伝達関数の例を示す. Fig.16 より円筒モデル(形状 2)の固有振動数は 603, 716, 1660, 1820, 2810Hz となり, 振動数の低いものから次数をつける. これらの固有振動数は, 切欠きがない円筒モデルの固有振動数と比較するとやや低下した.

Fig.17~21 に実験モード解析より得られた各固有振動数の振動モードを示す. Fig.17 には円周方向の節を結ぶ線が 2 本で, 軸方向には節がない円周が楕円のように変形する (2,0)モード, Fig.18 には円周方向の節を結ぶ線が 2 本で, 軸方向に節があり円筒の両端で位相が逆の (2,1)モードを示す. Fig.19 は円周方向の節を結ぶ線が 3 本で, 軸方向には節がない円周が三角形のように変形する (3,0)モード, Fig.20 は円周方向の節を結ぶ線が 3 本で, 軸方向に節がある (3,1)モードである. Fig.21 は円周方向の節を結ぶ線が 4 本で, 軸方向に節がない円周が四角形のように変形する (4,0)モードである. これらの振動モードは, 切欠きがない円筒モデルの振動モードと比較すると基本的な振動モードは同じになったが, 5 次の (4,0)モードでは切欠き端部の振幅に比べ, 他の部分の振幅が小さくなっていることが明らかとなった. このことより, 切欠きによる振動モードへの影響は少なく, 1 次から 4 次モードで円周方向と軸方向で振動振幅が大きい「腹」と小さい「節」を確認することができたが, 5 次の (4,0)モードでは確認することが困難である.

Fig.22~24 に打撃時の放射音を測定した結果を示す. Fig.22~24 の音圧レベルのそれぞれのピークの周波数を見ると, Fig.16 に示した円筒モデル(形状 2)の固有振動数と一致しているのがわかる.

Fig.22 より, 打撃点 58 を打撃したときの音圧レベルは, マイクロホン B と C で比較すると, マイクロホン B で測定した方(太線)が, 軸方向に「節」がある (2,1)(3,1)モードの周波数 (716, 1820Hz) で減少した. これは, マイクロホン B は (2,1)(3,1)モードの軸方向の「節」の位置に対応しており, 振動モードの「節」では表面の振動振幅が小さいためと思われる. このことは切欠きがない円筒モデルと同じ結果となった.

Fig.23 に示すように, 打撃位置の違い(打撃点 34・58)で音圧レベルを比較すると, (2,1)(3,1)モードの軸方向の「節」になる打撃点 34 を打撃したとき(太線)では, (2,1)(3,1)モードの周波数 (716, 1820Hz) で音圧レベルが減少していることがわかる. このことより, 打撃位置が (2,1)(3,1)モードの「節」であればマイクロホンの位置が (2,1)(3,1)モードの「腹」の位置でも, 音圧レベルを減少させることができるといえる. このことは切欠きがない円筒モデルと同じ結果となった.

Fig.24 には, 切欠き中央部に設置したマイクロホン A ともう一方の端部に設置したマイクロホン C で放射音を測定した結果を示す. マイクロホン A と C で音圧レベルを比較すると, 切欠き中央部に位置するマイクロホン A で測定した音圧レベル(太線)の方が全体的に低下する結果となった. これは切欠き中央部では, 円筒モデルの振動モードによる放射音の影響が少なくなるためだと思われる.

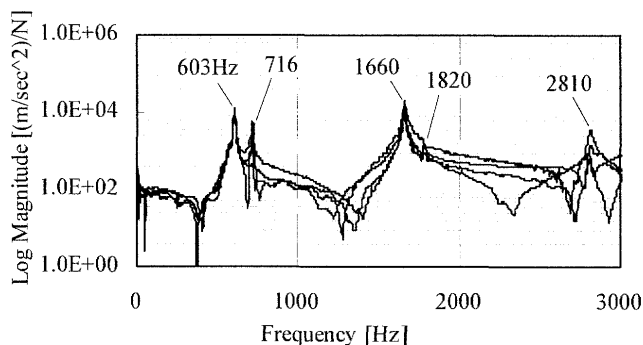


Fig.16 Transfer function (Impact point16,28,40,52)

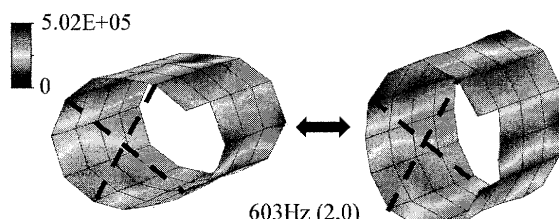


Fig.17 1st mode of vibration

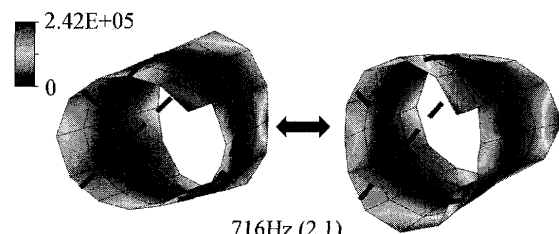


Fig.18 2nd mode of vibration

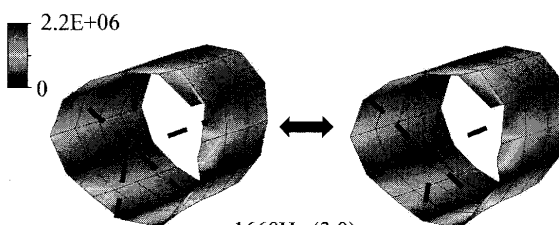


Fig.19 3rd mode of vibration

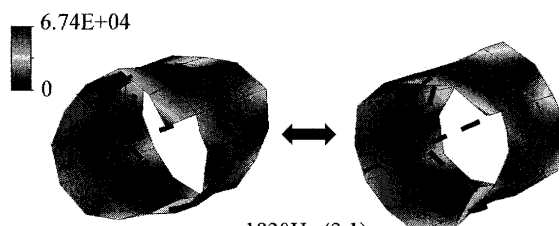


Fig.20 4th mode of vibration

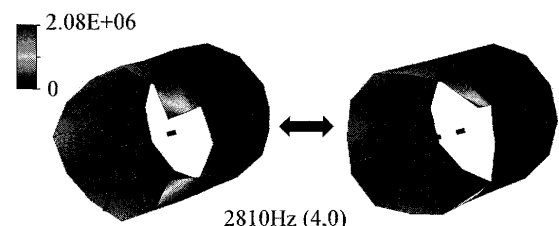


Fig.21 5th mode of vibration

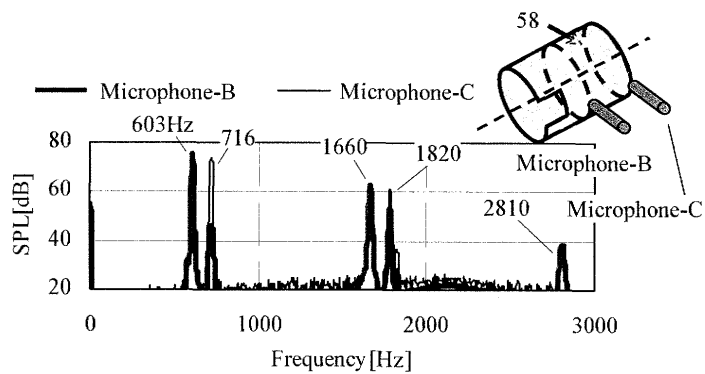


Fig.22 Sound pressure level (Impact point58)

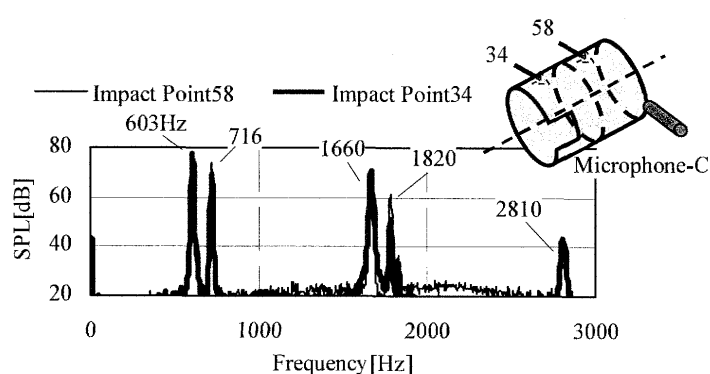
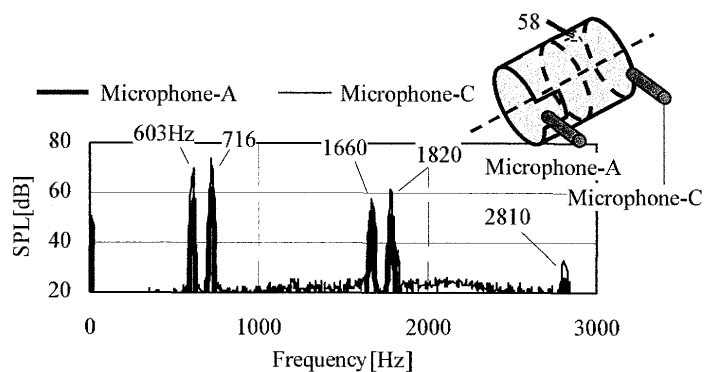
Fig.23 Sound pressure level
(Radiation sound is measured by microphone-C)

Fig.24 Sound pressure level (Impact point58)

4. 結言

- (1) 切抜き・切欠きがある円筒モデルの固有振動数と振動モードが明らかとなった。
- (2) 切抜き・切欠きが小さい時、振動モードへの影響は少ないといえる。
- (3) 切抜き・切欠きがある円筒モデルでも、マイクロホン位置が振動モードの「節」の位置ならば、その振動モードの周波数の音圧レベルは減少する。
- (4) 切抜き・切欠きがある円筒モデルでも、ある振動モードの「節」を打撃したとき、その振動モードの周波数で音圧レベルが減少する。
- (5) マイクロホンの位置が切抜き端部のときは振動振幅の大きさが放射音に影響し、切欠き中央部のときは円筒モデルの振動モードによる放射音の影響は少なくなる。

5. 参考文献

- 1) 横野航太, 打撃される円筒の振動および放射音に関する研究 第 36 回 学生員卒業研究発表講演会 講演論文集, 2007, P304, 305