

管内の断面方向に生じる共鳴に関する検討*

阿部 宏一 青木 雅夫 (青木応用音響)

1. はじめに

管内に音が入射した場合に生じる共鳴現象の一つに、管の断面方向に関する共鳴がある。このような現象の例として図 1 に示すように、2 つの平行平面の間に入射する平面波の進行方向が、平面と平行でない場合、平面波は面で反射しながらジグザグに伝播することになる。このため平面に入射する音と平面から反射する音により干渉が生じ、断面方向に共鳴を引き起こす。

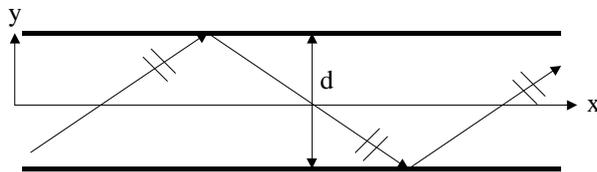


図 1 伝播経路

この場合の平面波は、

$$\xi = 2Ai \sin\left(\frac{n\pi}{d} y\right) e^{i(k_x x - \omega t)}$$

と表わされる。この式より断面方向の波は時間に関係なく、間隔 d により断面方向の共鳴周波数が決定されることがわかる。

そこで今回、この断面方向に生じる共鳴に着目し、この共鳴の基礎的な検討を行うため、数値解析及び実験を行った。

2. 数値解析による検討

先に述べた管の断面方向に生じる共鳴の様子を確認するために、図 2 に示すような管の断面を考え、この音場に音が入射した場合の共鳴周波数及びその共鳴モードについて境界要素法を用いて数値解析を行った。

解析に用いたモデルは、管の直径を 20cm とし、管壁は完全反射とした。音源及び受信点は管壁から 2.5cm 離れた位置で、管の中心に対して対称になるように配置した。

なお、今回は解析モデルの簡略化のため、解析する音場は 2 次元音場とした。

図 2 数値解析モデル

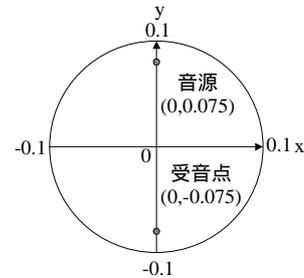


図 2 に示す配置で計算した周波数特性を図 3 に示す。この図より、1030Hz、1685Hz などいくつかの周波数で共鳴が起こっている。これらの共鳴周波数のうち、1030Hz、1685Hz での管内の音圧分布を図 4、図 5 に示す。

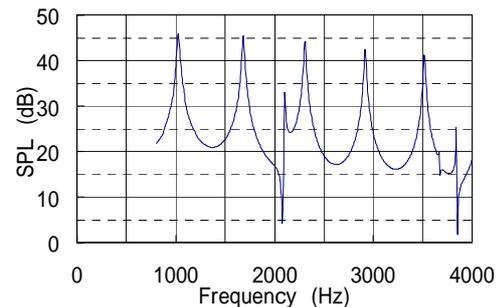


図 3 管内音の周波数特性

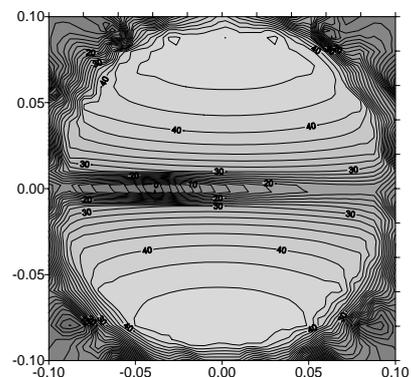


図 4 音圧分布(周波数 1030Hz)

* Study on normal mode in section of pipes.
Koichi Abe, Masao Aoki (Aoki Applied Acoustics Co., Ltd.)

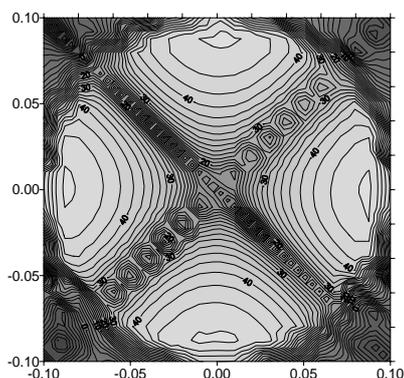


図 5 音圧分布(周波数 1685Hz)

図 4、図 5より、これらの共鳴周波数では管の中心を節とした共鳴モードが存在していることが分かる。

図 3に示した周波数特性で、2105Hz 及び 3840Hz での共鳴は、先に示した 1030Hz などの共鳴と周波数特性の変化が異なっている。そこでこれらの共鳴周波数における管内の音圧分布を見ると、図 6に示すように管の中心が腹となる共鳴モードを形成している。この共鳴モードは、図 4、図 5に示した 1030Hz などの、管の中心が節となる共鳴モードと異なる形態をしている。

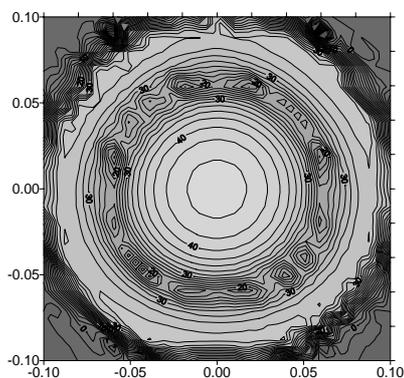


図 6 音圧分布(周波数 2105Hz)

3. 実験による検討

数値解析によって得られた共鳴周波数を確認するため、管に音が入射した場合の管内音の周波数特性を測定した。実験は管自身の共鳴を抑制するため、図 7に示すように、地中 25cm に直径 20cm の管を埋設して行った。

なお、周波数特性は TSP 信号¹を用いて管内のインパルスレスポンスを測定し、そのインパルスレスポンスを FFT することで求めた。

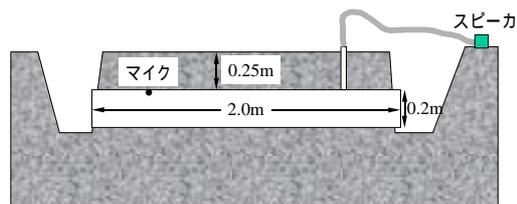


図 7 配置図

図 8に測定した管内音の周波数特性を示す。共鳴周波数を比較するという観点から、数値計算により得られた管内音の周波数特性もあわせて示す。

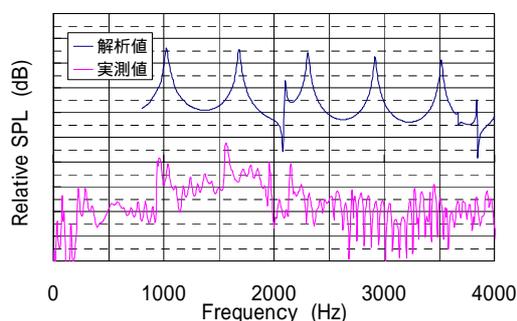


図 8 管内音の周波数特性

図 8に示した2つの周波数特性を比較すると、2.5kHz 以下の周波数では概ね一致していると考えられる。今回、管内での音圧分布の測定は行っていないが、1kHz 付近及び 1.6kHz 付近では図 4、図 5に示した共鳴モードが生じ、2kHz 付近では図 6に示した共鳴モードが生じていると考えられる。

2.5kHz 以上で実験によって得られた周波数特性が振動しているのは、管の両端で反射する音によるものと考えられる。

4. まとめ

今回、管の断面方向に生じる共鳴に着目し、この共鳴の基礎的な検討を数値解析及び実験により行った。

その結果、管の断面方向に生じる共鳴が数値解析及び実験により確認された。また数値解析により、大きく分けて2種類の共鳴モードが生じることを確認した。

今後の課題として、この共鳴による管から音の放射についての検討を考えている。

¹ 鈴木他 時間引き延ばしパルスの設計法に関する考察 信学技法 (1992 - 12)