

サイドブランチ管による低周波音対策 (その1)

真藤 利孝 平野 滋

Reduction of Infrasound by Side Branch Silencer (Part 1)

Toshitaka Shindo Shigeru Hirano

Abstract

This paper presents the results of 1/10-scale model tests for reduction of infrasound by side branch silencer. The results of the model tests show that the effect of the side branch silencer varies with position and length of the side branch.

The most effective position for the side branch is the peak point of the standing wave in the main pipe. And, the most effective length of the side branch is $\lambda/4 + 0.3d$, where λ is wave length and d is pipe radius.

概要

本研究はサイドブランチ管による消音について実験的に検討した報告である。実験は $1/10$ の縮尺モデルを用い、1本のサイドブランチ管についてその設置位置と消音量の関係を明らかにし、異なる周波数を目的としたブランチ管を複数設置する場合についても、その設置位置と減音量の関係を示した。音源は正弦波と $1/3$ オクターブバンドノイズについて行なったが、ブランチ管の減音効果は、その設置位置とブランチ管長によって大きく変る。異周波数を目的とする複数のブランチ管を設置する場合には1本目のブランチ管によって音圧分布が歪む場合がある。いずれの場合もブランチ管の最大の効果は主管内の定在波のピーク位置に設置したとき得られる。

1. 序

サイドブランチ管による消音については古くから知られているが、これを実際の騒音対策に応用した例は少なく、まとまった資料も少ない。たまたまサイドブランチ管による消音を実用する機会があり、模型実験を行なったが、この実験結果のうち一般的特性として明らかになったものを報告する。

今回の実験は縮尺 $1/10$ を想定し、実物で8 Hz, 16 Hz, 32 Hz 相当の周波数について行なったが、この縮尺は任意に想定することができる。音源としては正弦波と上記周波数を中心周波数とする $1/3$ オクターブバンドノイズで実験した。

2. パワーレベルと開口端反射量

ファンやポンプの給排気口の消音装置を設計するに当たり、まずその発生音のパワーレベルを知る必要があり、次にこの給排気口に給排気管がつながれるがこの管の開口端反射によって給排気管からの放射音は減音される。

この開口端反射量は消音効果として見込めるだけでなく、サイドブランチ管の効果にも重要な意味を持っているので、音源のパワーレベルと開口端反射量について検討した。音源には20 cm ϕ のコーン型スピーカ(パイオニアPE-201)をボックスに入れて使用し、給排気主管及びサイドブランチ管は10 cm ϕ 、肉厚7.5 mmの塩ビ管を使用した。スピーカ端子電圧は終始一定とした。

2.1. 音源のパワーレベル

音源のパワーレベルを測定するために塩ビ管の開放端を無反射端とした。無反射端はグラスウールによって作った長さ1.8 mの吸音楔を取り付けた。この吸音楔の吸音率を管内の音圧レベルの最大値と最小値から求めると50 Hz以上で99%以上になった。この楔を取り付けたときの管内の音圧レベルを面積補正して音源のパワーレベルを算出した。

$$PWL = SPL + 10 \log_{10} S \approx SPL - 21$$

2.2. 開口端反射量

音源に4 mと8 mの2種類の塩ビ管をつけ、これを 2π 自由空間(周囲に反射のないコンクリート面上に塩ビ

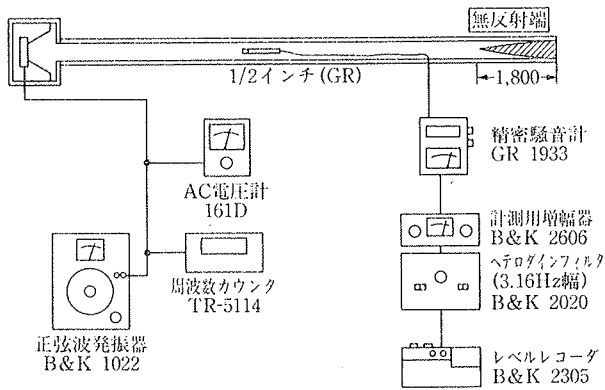


図-1 測定装置ブロックダイアグラム

管を設置)して、塩ビ管からの放射レベルを測定した。放射パワーレベルは 1 m 点の音圧レベルから求めたが、500 Hz以下では塩ビパイプの指向性は2dB以下であった。この放射パワーと先に求めた管内のパワーレベルの差から開口端反射量を求めた。音源が1/3 オクターブバンドノイズの場合の開口端反射量を理論値と比較して図-2に示す。

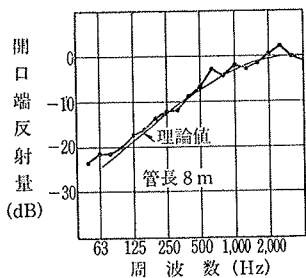


図-2 音源1/3オクターブバンドノイズ開口端反射量 (管長 8 m)

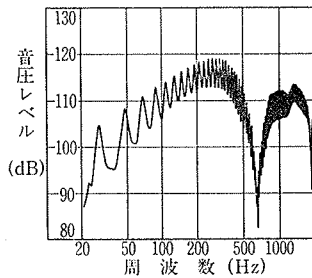


図-3 音源正弦波開口面音圧レベル (管長 8 m)

音源が正弦波の場合は、パイプ開口面のレベルを図-3に示すが、その周波数特性は規則的に山谷が現われる。この山谷に着目して開口端反射量を求め、4 m, 8 m管について図-4, 5に示す。

開口端反射量は音源が1/3 オクターブバンドノイズでは理論値とほぼ一致しているが、正弦波の場合は理論値を最大として7~8dBの差で周期的に反復している。

2.3. 管の長さとお開口端反射量

開口端反射量は音源がノイズの場合には漸減しているが、正弦波の場合は7~8dBの差で周期的に変化している。これは管長によるものであり、正弦波の音源に対しては、管長によって反射量が7~8dB変化することになり無視できない。この変化を明らかにするために、80Hzについて管長を1/4波長の奇数倍としたものと、1/4波長の偶数倍としたものについて、管内の音圧分布を測定した。音圧分布を図-6に示すが、開口面での音圧レベル差は7dBで、管長が1/4波長の奇数倍のものの方が反

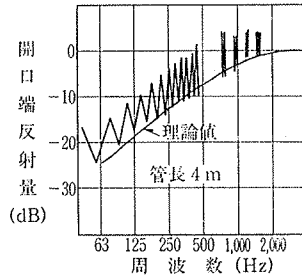


図-4 音源 正弦波

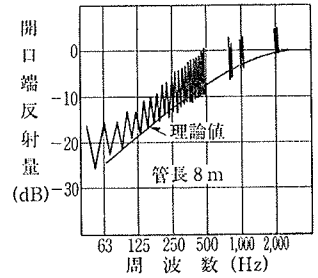


図-5 音源 正弦波

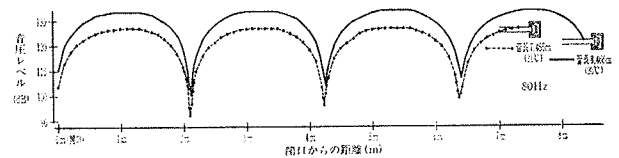


図-6 管の長さとお音圧分布

射量が大きく、音圧分布もほぼ7dB平行移動している。

3. 開口端補正長さ

開口端補正長さについても周知のことであるが、今回は管内の音圧分布が問題となるので測定を行なった。測定は管内の音圧レベルの最小位置を、開口側からいくつか測定し、その点から

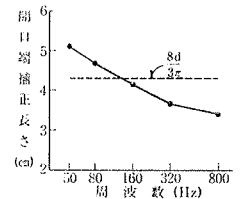


図-7 開口端補正長さ

開口面の最小位置を計算した平均値から開口端補正長さを求めた。結果を図-7に示すが、最も一般的にいわれている 0.8d 前後であるが、低周波数域で大きい傾向がある。この結果から周波数の対数に反比例するとして実験式を求めると次式のようなになる。

$$\alpha = 0.8d - 1.65 \log f + 4$$

4. サイドブランチ管の設置位置と減音量

ブランチ管の設置位置による効果の差をみるために、主管の全長を一定にし、開口端からサイドブランチ管の設置位置までの距離(開口端補正も含む)を変化させて減音量を測定した。80 Hz と 320 Hz の結果を図-8に示す。サイドブランチ管の減音量は主管内音圧分布の最大位置(λ/4点)に設置した時最大で、音圧分布の最小位置(λ/2点)に設置したとき最小となっている。

5. サイドブランチ管長と減音量

ブランチ管の設置位置は開口端から1/4波長(の奇数倍)の位置が最大の効果が得られることがわかったので、ここにブランチ管を設置し、そのブランチ管長を変化させ、減音量を測定した。160 Hzの結果を図-9に示す。

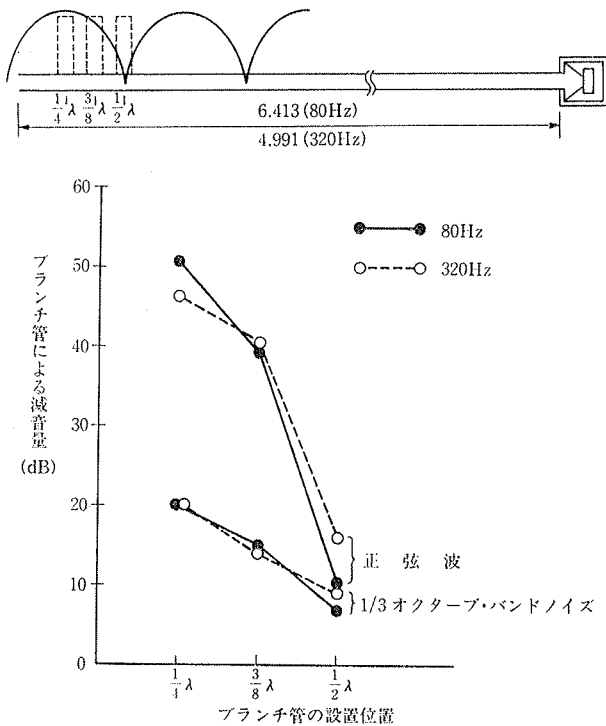


図-8 ブランチ管設置位置と減音量

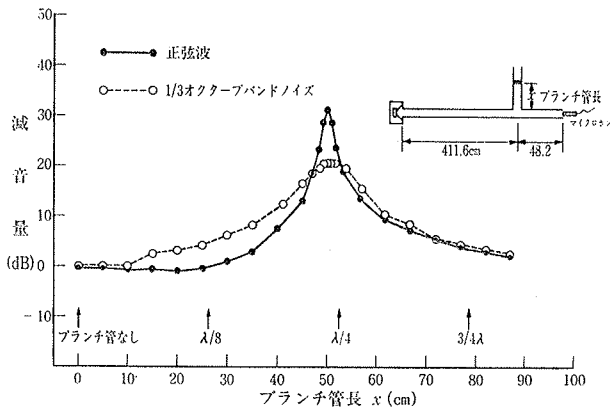


図-9 ブランチ管長と減音量

この結果をみると最大の減音が得られるブランチ長は閉管の共鳴として知られる1/4波長よりやや短めである。同様にして80Hz, 320Hzについても測定し、ブランチ管長の補正長さを求め、図示すると図-10のようになり、周波数の対数に比例しているが、実用的には、0.3dで良いことがわかる。(d: 管の半径——主管とブランチ管は同一径のパイプの場合)

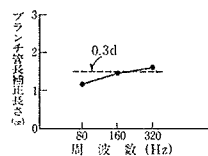


図-10 ブランチ管長補正長さ

6. 主管の長さとのサイドブランチ管の効果

先に示したように開口端反射量は管長によって変わるので、開口端反射量が最大になる長さ、最小になる長さ

の管にブランチをつけ、その効果の違いを調べた。

80 Hz と 160 Hz の結果を表-1 に示す。音源が正弦波の場合の開口面音圧レベルの周波数特性をブランチの有無の場合を比較して図-11 に示す。

この結果をみると、音源が正弦波のときは、ブランチのない時の開口端レベルは主管長が $\lambda/4$ の偶数倍のとき大きく、奇数倍のとき小さくなっているのが、ブランチをつけると逆転している。

これは主管内の音圧分布はブランチ管の共鳴現象で制約され(ブランチ管設置位置で音圧最小になる)ブランチのないときとは音圧の最大最小の位置が逆転してしまったためと考えられる。

一方音源がノイズの場合には、差は大きくないが、主管長が $\lambda/4$ の奇数倍の場合の方が小さくなっており、正

80Hz開口面レベル				160Hz開口面レベル			
音源	主管長	$\lambda/4 \times 2n$ (6.413m)	$\lambda/4 \times (2n+1)$ (5.353m)	音源	主管長	$\lambda/4 \times 2n$ (4.991m)	$\lambda/4 \times (2n+1)$ (5.522m)
正弦波	ブランチなし	112.2	104.6	正弦波	ブランチなし	116.8	111.0
	ブランチ設置	73.1	78.6		ブランチ設置	75.4	85.9
1/3オクターブバンドノイズ	ブランチなし	105	104	1/3オクターブバンドノイズ	ブランチなし	112	112
	ブランチ設置	86	85		ブランチ設置	95	91

(dB)

(dB)

表-1 主管長さとのブランチ管の効果

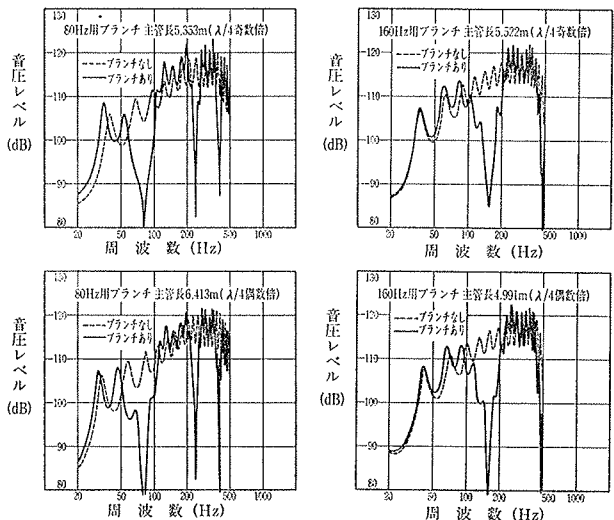


図-11 主管長さとの開口面音圧レベル

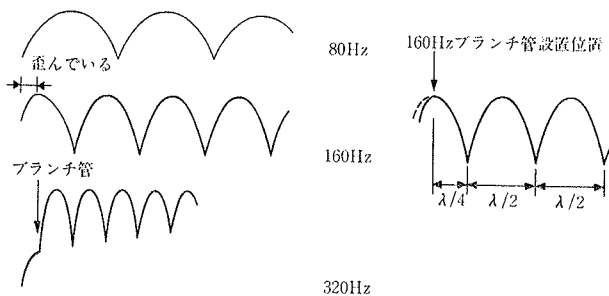
弦波の場合と逆の結果になっている。図-11に示した開口面音圧レベル周波数特性をみると、主管の全長が $\lambda/4$ の奇数倍のときは減音量はやや小さくなるがブランチの共鳴周波数の前後で減音する周波数域が広がる傾向がある。こうした現象が音源が正弦波の場合とノイズの場合で逆の結果をもたらしたと思われる。したがって、所要減音量にもよるが、主管長を $\lambda/4$ の奇数倍にしておけば、音源の周波数が多少変動しても適応範囲が広いのでブランチによる減音は安定して得られると思われる。

7. 異なる周波数を目的としたブランチ管の複数設置

ブランチ管の設置位置は管内の音圧レベルの高いところに設置すると効果が大きいことがわかった。そこで、80 Hz, 160 Hz, 320 Hz 用のブランチ管を順次1本ずつ設置したとき、管内の音圧分布がどのように変化するか、またブランチ管の効果はどのように変化するかを調べた。実験は開口端側から1本設置するごとに管内の音圧分布を測定し、次のブランチ管は音源側の最初の音圧の山のピークに設置した。管内の音圧分布は正弦波で測定し、ブランチ管の効果については1/3 オクターブバンドノイズについても測定した。

7.1. 開口側に高い周波数のブランチ管を設置

開口側から周波数の高い順に 320 Hz, 160 Hz, 80 Hz 用ブランチを設置した。図-12に主管(直管)のみの音圧分布を示す。これに320 Hz用ブランチを最初の音圧レベルのピーク位置に設置する、このときの音圧分布を図-13に示すが、各周波数の分布モデルは次のようになっている。



次に 160 Hz 用ブランチを設置するが、最初に設置した 320 Hz 用ブランチによって、160 Hz の音圧分布が開口面から最初のピークまでの間で歪んでいる。ブランチと音源の間は1/2波長ごとに音圧のディップがあるので、最初のディップから 1/4 波長の位置に設置した。これは開口面から最初のピークに一致している。

図-14に320 Hz, 160 Hz用ブランチ設置後の音圧分布を示すが、これについても 160 Hz 用ブランチによって 80 Hz の分布が開口面から最初のピークまでの間で歪んでいる。80 Hz 用ブランチは 160 Hz 用ブランチと同様に、最初のディップから 1/4 波長の位置に設置した。3本のブランチを設置したときの音圧分布を図-15に示す。

ブランチ管の減音量を表-2に示す。

7.2. 開口側に低い周波数のブランチ管を設置

開口側から周波数の低い順に 80 Hz, 160 Hz, 320 Hz 用ブランチを設置した。80 Hz 用ブランチを最初のピーク位置に設置したときの音圧分布を図-16に示す。このと

きの各周波数の分布モデルは次のようになっている。

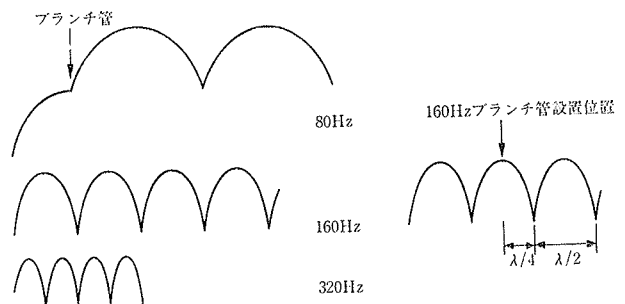
音源	周波数 (Hz)		
	80	160	320
正 弦 波	42.5	34	45.5
1/3オクターブバンドノイズ	11	16	15

(dB)

320 Hz用ブランチを先に設置したと

表-2 高音側よりブランチ管3本設置時の減音量

き、160 Hzの分布が歪んだのに対して、今度は 160 Hz, 320 Hz とも直管時と変化がない。160 Hz 用ブランチは



80 Hz 用ブランチから音源側の最初のディップから 1/4 波長開口側に設置した。図-17に80 Hz, 160 Hz 用ブランチ設置後の

音圧分布を示すが、これについても 320 Hz の分布は直管時と変化していない。

音源	周波数 (Hz)		
	80	160	320
正 弦 波	49.5	26.5	40.5
1/3オクターブバンドノイズ	20	16	8

(dB)

表-3 低音側よりブランチ管3本設置時の減音量

80 Hz の分布は 80 Hz 用ブランチと 160 Hz 用ブランチの間で歪んでいる。3本のブランチを設置したときの音圧分布を図-18に示す。

ブランチ管の減音量を表-3に示す。

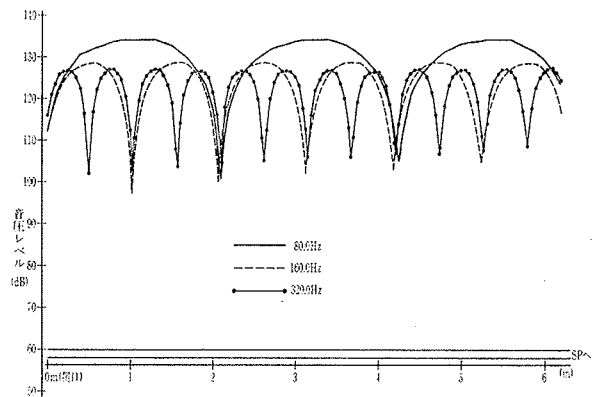


図-12 直管内音圧分布

8. 結 び

サイドブランチ管による減音は、音源が正弦波もしくは

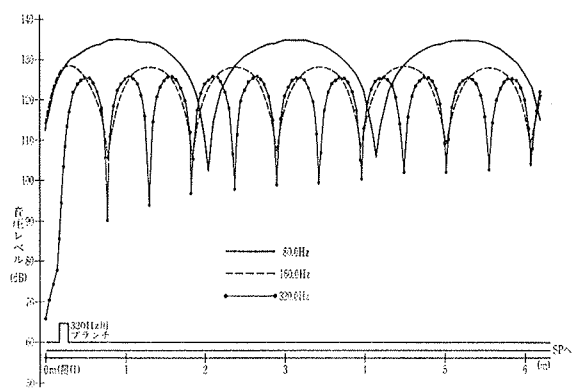


図-13 320 Hz ブランチ管設置時管内音圧分布

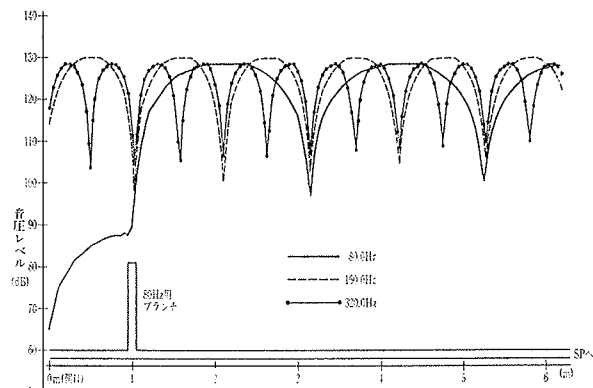


図-16 80 Hz, ブランチ管設置時管内音圧分布

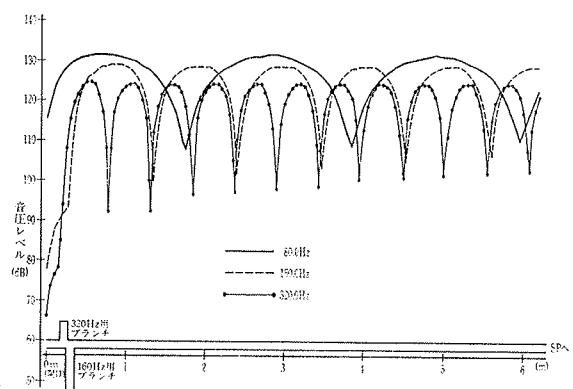


図-14 320 Hz, 160 Hz ブランチ管設置時管内音圧分布

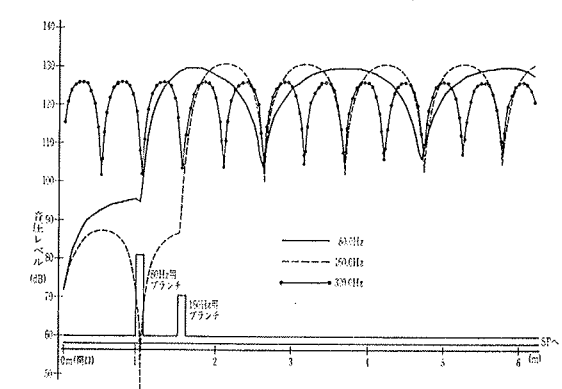


図-17 80 Hz, 160 Hz ブランチ管設置時管内音圧分布

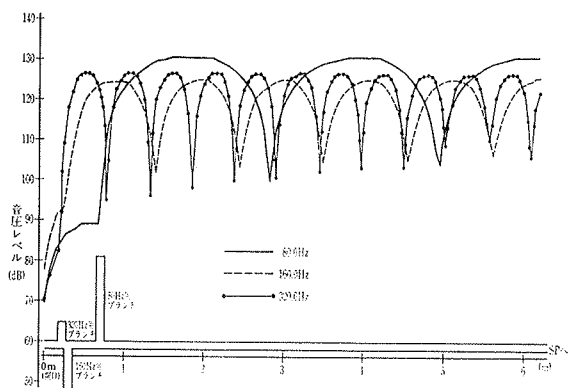


図-15 320 Hz, 160 Hz, 80 Hz ブランチ管設置時管内音圧分布

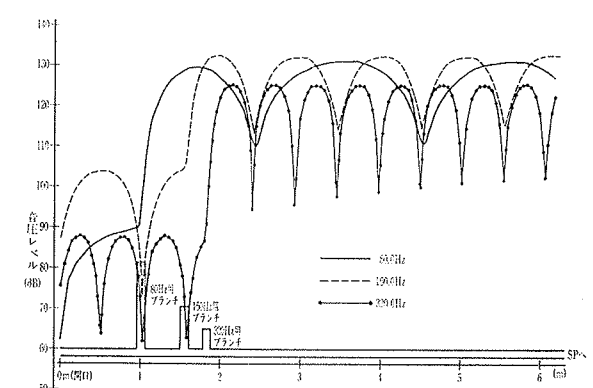


図-18 80 Hz, 160 Hz, 320 Hz ブランチ管設置時管内音圧分布

はそれに近い狭帯域ノイズで管内に定在波のある場合は効果も大きく、構造が簡単で保守も容易であり、最適な消音装置であるが、設置位置と設置順序によって、その効果は変化するので設計には十分な検討が必要となることがわかる。

本報は実験結果についてのみ示したが、同一周波数を目的としたブランチ管を複数設置する場合や、任意の位置にブランチ管を設置する方法として拡大室消音器と組

合せた場合の実験も進めており、次報にこの結果と理論的検討を報告する予定である。

謝辞

本研究は終始担当していただいた日東紡音響エンジニアリング(株)の北尾重憲、北尾泰の両氏を始め、協力いただいた研究室の方々の労によるものであり、深く感謝の意を表します。