

通気ダクト系共鳴器チューニング装置に関する検討

正会員 ○鈴木誠人^{*1} 同 寺尾道仁^{*2}
同 関根秀久^{*3} 同 佐々木悠哉^{*1}

通気ダクト 共鳴器 チューニング
消散型 ネック開口面積 共鳴の鋭さ

1.はじめに

ヘルムホルツ共鳴器はダクト系騒音の低管路抵抗かつ精密な音質制御手段として知られているが、共鳴器パラメータの調整が容易でないため一般的に活用されるに至っていない。前報[1]では容積可変シリンダーによる共鳴周波数制御機能および渦巻バネによるネック長可変機構による Q 値(共鳴の鋭さ)制御機能を有する共鳴器チューナーを試作し、特に Q 値について調べたがネック長伸縮機構のみではその調整幅に限界があることがわかった。今回は渦巻バネ抵抗可変機構による Q 値制御機能とさらに音響消散制御機能を付加する目的で絞り(可変ネック開口面積)機構をもつチューナーを試作し実験によりその有効性について調べる。

2.共鳴器の制御パラメータ

共鳴器の共鳴周波数 f_{res} 及び共鳴の鋭さ Q は、共鳴器の容積 V_{cav} 、ネック開口面積 S_A 、比音響抵抗 r_{HR} 、等価ネック長 l_e の4つの幾何学的パラメータにより決定される。

すなわち、

$$f_{res} = (c/2\pi)\sqrt{S_A/l_e V_{cav}} \quad (1)$$

$$Q = 2\pi f_{res} \rho l_e / r_{HR} \quad (2)$$

一方、音響消散率 δ_{HR} (消散パワー/入射パワー)は、共鳴器を取り付けるダクト断面積 S_D 、 $Z_c = \rho c / S_D$ のとき、

$$r_{HR}^* = r_{HR} / S_A Z_c \quad (3)$$

に依存する。この r_{HR}^* を音響消散調整の目安として用いる。音源側、透過側ともに無反射終端でサイドブランチ共鳴器の場合、消散型による共鳴器単体の音響透過損失は6dBが限度(消散率 δ_{HR} が最大となる時)であり、それを超える音響透過損失が求められる場合には複数個をダクト軸方向に多段配置する必要がある。

前報[1]では S_A と r_{HR} を固定、 V_{cav} および l_e を可変パラメータに選んで共鳴周波数 f_{res} と共鳴の鋭さ Q を独立に制御し δ_{HR} は成行きであった。今回はそれに対し、 δ_{HR} の制御を加える目的で、 V_{cav} 、 r_{HR} および S_A を連続可変パラメータとした。

3. ネック部抵抗および開口面積制御

Q 調整には式(2)によりネック部抵抗 r_{HR} 制御、また、 δ_{HR} 調整には式(3)により S_A 制御の導入をはかる。ネック部にその開口面積 S_A の制御のため写真1に示すような絞り機構を組み込み、これに渦巻バネ可変抵抗機構を挿入

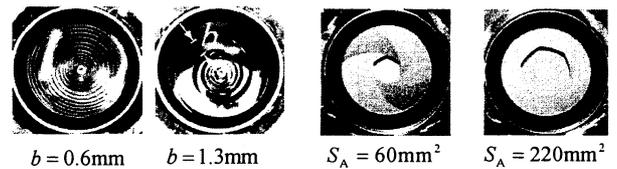


写真1 渦巻バネ、ネック開口面積調節機構

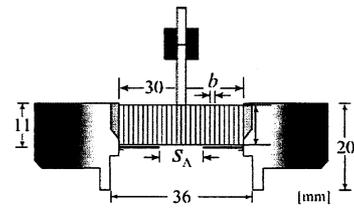


図1 ネック部断面

したチューナーを開発した。ネック部抵抗 r_{HR} は渦巻バネの中心軸をステップモーターにより回転させバネ板間隙 b を可変として制御する。このネック部抵抗・開口面積制御機構付共鳴器チューナーを直管ダクト(内径250φ、長さ1.5m)の終端に取付け、絞り面積 S_A およびバネ板間隙 b と基準化抵抗 r_{HR}^* との関係を調べた。その結果を図2に示す。バネ板間隙 b を一定とした時の開口面積 S_A による基準化抵抗 r_{HR}^* の変化幅は大きい。同一断面上に同一共鳴器チューナーを複数配置するとき r_{HR}^* はその数に反比例することを考慮すれば十分な変化幅を持つといえる。また、同一 S_A における抵抗 r_{HR} についてもバネ板間隙 b の調整により実用上十分な変化幅を持つことがわかる。すなわち、このネック部機構を用いることにより δ_{HR} と Q の広範囲な調整ができる見通しが得られた。

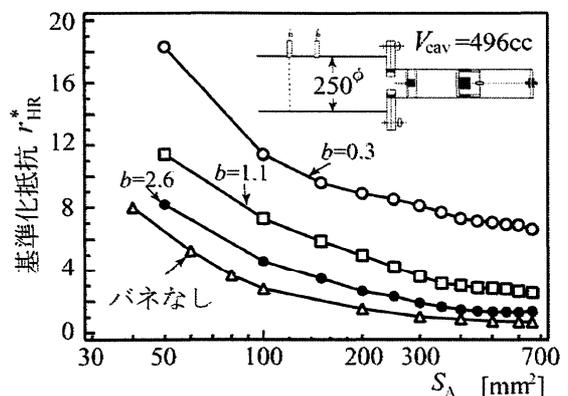


図2 ダクト終端取付条件における基準化抵抗の測定値

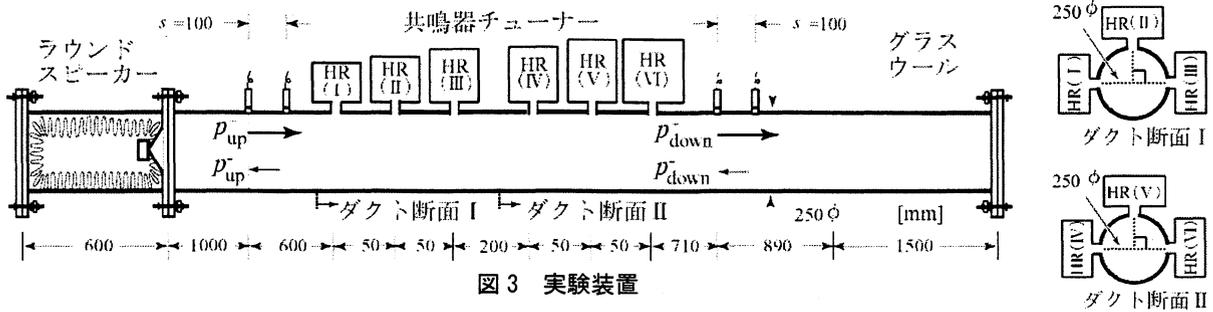


図3 実験装置

表1 共鳴器チューナー制御パラメーターと透過音特性

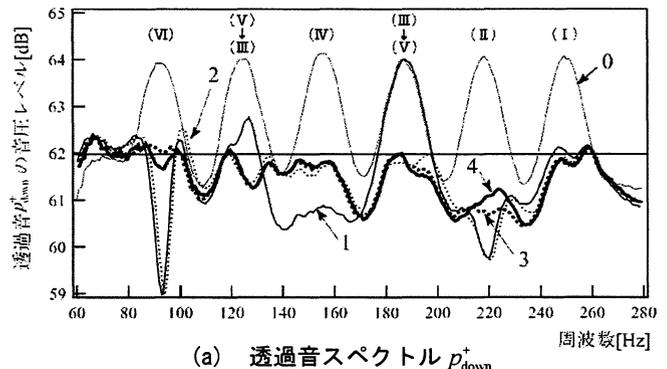
試行	共鳴器チューナー (I)							共鳴器チューナー (II)							共鳴器チューナー (III)							
	f_{res} (Hz)	V_{cav} (ℓ)	b (mm)	S_A (mm ²)	r_{HR}^*	δ	Q	f_{res} (Hz)	V_{cav} (ℓ)	b (mm)	S_A (mm ²)	r_{HR}^*	δ	Q	f_{res} (Hz)	V_{cav} (ℓ)	b (mm)	S_A (mm ²)	r_{HR}^*	δ	Q	
0	共鳴器なし							共鳴器なし							共鳴器なし							
1	255	0.40	2.6	660	1.4	0.44	12.0	220	0.63	2.6	660	1.4	0.46	9.2	190	0.89	2.6	660	1.4	0.41	6.4	
2						0.44	12.0						0.48	7.9						0.41	6.4	
3						0.44	12.0						2.0	0.42						7.3	0.41	6.4
4						0.44	12.0						0.58	2.6						410	1.5	0.41
試行	共鳴器チューナー (IV)							共鳴器チューナー (V)							共鳴器チューナー (VI)							
0	共鳴器なし							共鳴器なし							共鳴器なし							
1	150	2.20	2.6	660	1.4	0.59	6.5	127	1.30	2.6	660	1.4	0.41	9.2	90	2.20	2.6	660	1.4	0.54	6.6	
2						0.45	5.0						0.39	7.9						0.54	6.6	
3						0.45	5.0						0.39	7.3						0.34	6.4	
4						0.45	5.0						0.39	7.2						2.05	2.6	223

4. 共鳴器チューナーの試行実験

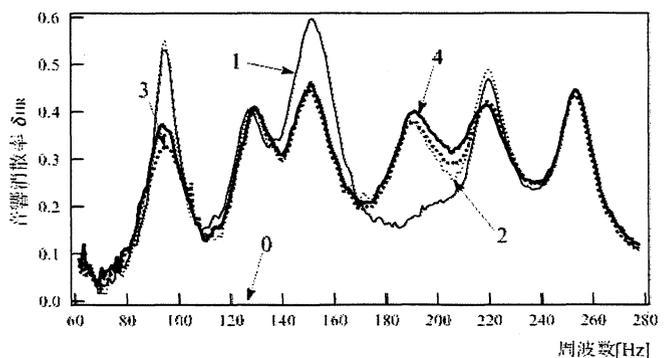
前項3で試作した共鳴器チューナーを6台サイドブランチ配置でダクトに取り付けチューニング実験を行った。図3にその実験装置を示す。基礎的性質を調べるため低反射終端としている。表1および図4は、周波数90Hz, 125Hz, 150Hz, 190Hz, 220Hzおよび250Hz付近に6つの卓越ピークをもつ透過音スペクトル p_{down}^+ を62dB以下にすることを目標として、チューニングを行ったときの共鳴器パラメーターおよび透過音スペクトルを示す。試行2は音源側からダクト下流に向けて高い周波数から低い周波数に対応した共鳴器チューナーを配置して測定を行った。HR(III)およびHR(V)(それぞれ190Hz, 125Hz付近に調整)による透過音の低下が小さい。そこで、試行3ではHR(III)とHR(V)の配置を交換し測定を行った。その結果目標スペクトル付近に低減したことが確認される。試行4, 5はそれぞれ b , S_A の調整による δ_{HR} と Q 制御の有効性を確認した。

5. おわりに

ヘルムホルツ共鳴器音響特性の最適化調整に必要な抵抗制御機能および開口面積可変機構を組込んだ共鳴器チューナーを試作した。その性能について実験を行い、実際の消散率および Q (共鳴の鋭さ)調整に必要な可変範囲を持つことを確認した。また、共鳴器チューナーの配置によっては調整感度が悪い周波数帯域が存在するが、その場合にはこの帯域を別の位置のチューナーにより調整することで制御可能になることを確認した。なお、多数の共鳴器から成る共鳴器列の場合、手動での調整は不可能であり現在その自動化を進めている。



(a) 透過音スペクトル p_{down}^+



(b) 音響消散率 δ_{HR}

図4 共鳴器チューナーによる調整

謝辞

本研究の一部は、平成20年度科研費補助金(課題番号18560583)による。深く感謝の意を表します。

参考文献

[1] 服部ほか, 日本建築学会梗概集, p263, 平成20年9月。

*1 神奈川大学大学院工学研究科建築学専攻 博士前期課程

*2 神奈川大学工学部建築学科 教授・工博

*3 神奈川大学工学部建築学科 教務技術員

*1 Graduate student, Dept. of Architecture, Faculty of Eng., Kanagawa Univ.

*2 Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Eng., Kanagawa Univ., Dr. Eng.

*3 Technician, Dept. of Architecture, Faculty of Eng., Kanagawa Univ.