

ダクト系共鳴器調整用チューニング装置の開発* —不感ゾーンへの対応—

◎鈴木誠人, 寺尾道仁, 関根秀久, 佐々木悠哉 (神奈川大・工)

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による共鳴周波数制御機能、渦巻きバネ抵抗可変機構による Q 値制御機能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を示した。文献[2]において、共鳴器チューナーの取り付け位置による不感周波数ゾーン（以下単に不感ゾーンと呼ぶ）の存在が確認された。今回は取り付け位置と不感ゾーンの関係について調べる。また、ダクト末端を開口端として定在波が強い場合の共鳴器チューナーの有効性を確認する。

2 共鳴器の制御パラメータ

共鳴器の共鳴周波数 f_{res} および共鳴の鋭さ 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} 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、

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

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。今回は V_{cav} 、 r_{HR} および S_A を可変パラメータとし、それぞれ共鳴周波数 f_{res} 、共鳴の鋭さ Q および音響消散率 δ_{HR} の制御を行う。

3 共鳴器位置と不感ゾーンの関係

図2に示すような実験装置において共鳴器チューナーI～Vを音源からそれぞれ1600mm、1650mm、1700mm、2200mmおよび2250mmの5ヶ所にサイドブランチ配置でダ

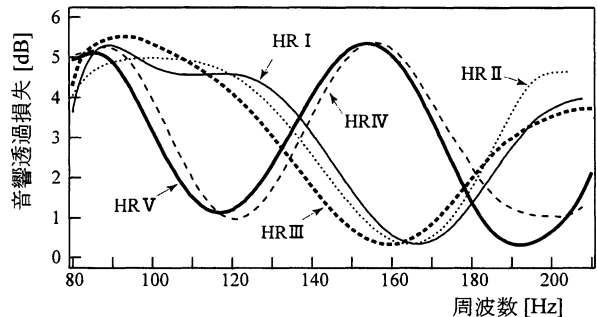


図1 配置による調整感度

クトに取り付けた。このときダクト末端条件は低反射端（反射率約0.1）としている。図1にそれぞれの共鳴器チューナーについて、共鳴周波数を変化させたとき（渦巻きバネのバネ板間隙間幅 b を最大の2.6mmおよびネック開口面積 S_A を最大の660mm²で固定）の音響透過損失を示す。共鳴器チューナーVは117 Hzおよび191 Hz（波長 λ はそれぞれ2900mm、1780mm）付近で調整感度が悪いことが確認できる。共鳴器チューナーVは音源から2250mmに配置しており、117 Hzの3/4波長および191 Hzの5/4波長におよそ一致する。ほかの共鳴器チューナーでも同様の傾向がみられた。これは、粒子速度のノード域に共鳴器チューナーを置いたことが原因であると考えられる。

4 共鳴器チューナーの試行実験

共鳴器チューナー5台をサイドブランチ配置でダクトに取付けチューニング実験を行った。図2にその実験装置を示す。ダクト末端条件は開口端（反射率約0.8）としている。表1および図3は、周波数80 Hz、115 Hz、145 Hz、175 Hzおよび205 Hz付近に5つの卓越ピークをもつ透過音スペクトルを60 dB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代表的な試行段階の共鳴器パラメータおよび透過音スペクトルを示す。試行1は音源側からダクト下流に向けて低い周波数から

* Investigation of Helmholtz resonator tuners for sound transmission control of air conditioning ducts
- A strategy against uncontrollable frequency zones -
by SUZUKI Masato, TERAOKA Michihito, SEKINE Hidehisa and SASAKI Yuya (Kanagawa University)

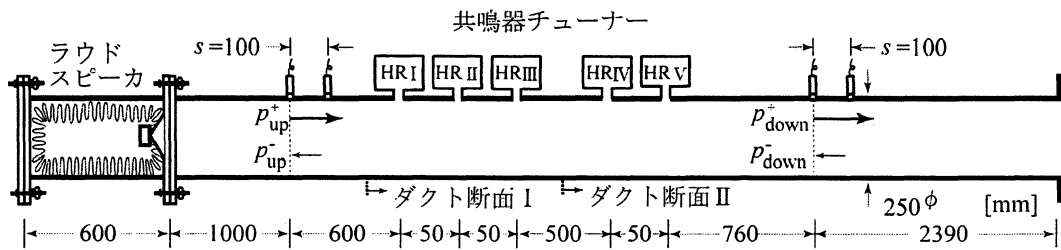
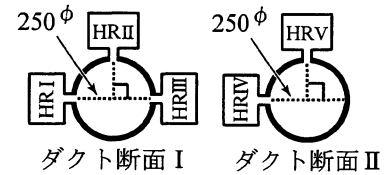


図2 実験装置

表1 共鳴器チューナー制御パラメータと透過音特性

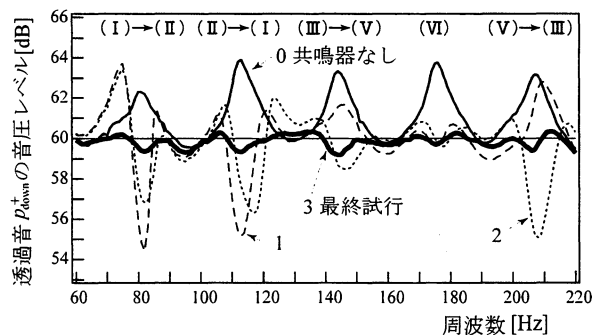
試行	共鳴器チューナー I							共鳴器チューナー II															
	S_A (mm ²)	b (mm)	r_{HR}^*	δ	Q	V_{cav} (ℓ)	f_{res} (Hz)	S_A (mm ²)	b (mm)	r_{HR}^*	δ	Q	V_{cav} (ℓ)	f_{res} (Hz)									
0	共鳴器なし							共鳴器なし															
1	660	2.6	1.1	0.23	27.6	2.89	81	660	2.6	1.1	0.65	9.5	1.58	113									
2		0.8	3.0	0.62	6.6	1.58	113		0.8	3.0	0.05	21.0	2.89	81									
3		0.8	3.0	0.41	5.3	1.58	113		0.8	3.0	0.04	—	—	—	—								
試行	共鳴器チューナー III							共鳴器チューナー IV							共鳴器チューナー V								
	S_A (mm ²)	b (mm)	r_{HR}^*	δ	Q	V_{cav} (ℓ)	f_{res} (Hz)	S_A (mm ²)	b (mm)	r_{HR}^*	δ	Q	V_{cav} (ℓ)	f_{res} (Hz)	S_A (mm ²)	b (mm)	r_{HR}^*	δ	Q	V_{cav} (ℓ)	f_{res} (Hz)		
0	共鳴器なし							共鳴器なし							共鳴器なし								
1	660	2.6	1.1	0.09	—	1.05	144	660	2.6	1.1	0.41	8.1	0.77	176	660	2.6	1.1	0.08	—	0.60	207		
2		0.8	3.0	0.65	16.3	—	—		0.8	3.0	0.44	9.8				0.77	176	0.5	4.4	0.25	12.3	1.05	144
3		1.7	1.3	0.35	6.2	0.60	207		1.7	1.3	0.35	6.9				—	—	—	—	—	—	—	—



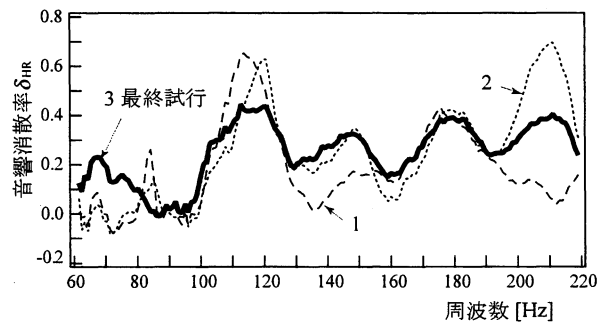
高い周波数の制御に対応させた共鳴器チューナーを配置した場合 (S_A は全開) である。HR III および HR V (それぞれ 145 Hz, 205 Hz 付近に調整) は不感ゾーンに位置し、そのため透過音の低下が小さい。また、80 Hz 付近に調整した HR I により 70 Hz 付近に音圧レベルの増加が見られた。そこで、試行 2 は前項 3 で示した配置による調整感度を参考に HR I, HR II, HR III および HR V の制御対象周波数ゾーンをそれぞれ 115 Hz, 80 Hz, 205 Hz, 145 Hz 付近に変更した場合である。その結果 145 Hz および 205 Hz 付近の透過音を目標値 60 dB 以下に調整された。試行 3 では、全ての共鳴器チューナーでバネ板間隙間幅 b 制御 (抵抗制御) による共鳴の鋭さ Q 値の調整を行った。これにより透過音スペクトル全体が概ね目標値以下に調整されている。

5 おわりに

ダクト系騒音の共鳴器チューナー調整感度について実験により調べた。その結果、不感ゾーンは音源から共鳴器チューナーまでの距離が粒子速度のノード域にあたる $(2n+1)\lambda/4$ となる位置に取り付けた場合に生じること、また、その対応として不感ゾーンに陥ったチューナーの制御対象周波数ゾーンの調整は、これと別の位置のチューナーに担当させる手法が有効であることを確認した。この手法により定在波が強い開口端条件についても共鳴器チューナー制御が可能であることを示した。



(a) 透過音スペクトル p_{down}^+



(b) 音響消散率 δ_{HR}

図3 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, 音講論(春), 915-916, 2009.
- [2] 鈴木ほか, 日本建築学会, 257-258, 2009.