

ファン及びダクトの発生音に関する実験的検討

(その 3) 室のモードに着目した低音域の低減対策

EXPERIMENTAL STUDY ABOUT GENERATED NOISE FROM FAN AND DUCT

Part 3 Reduction method of low frequency noise focusing on room modes

佐脇 真平*¹, 土屋 裕造*², 山内 崇*¹

Shimpei SAWAKI, Yuzo TSUCHIYA and Takashi YAMAUCHI

In an attempt to decrease the noise in a room generated by ventilation equipments, new methods focusing on room modes were investigated. An experiment was conducted in a living room where the noise of a fan and ducts in the ceiling hinder the use of the room. For the room, three types of method targeting a predominant mode were concerned:

1. installation of sound absorbing layers in the room and ceiling at the positions where the particle velocity of the mode is the largest,
2. placing of tuned resonators in the room at the positions where the sound pressure of the mode is the largest, and
3. installation of oblique partitions in the room.

Throughout the experiment, following results were obtained:

1. SPL decreased over 10 dB by installing glasswool at the position where the particle velocity is the largest in the ceiling.
2. A reduction of around 4 dB was acquired by placing resonators in the corner of the room.
3. By combining the methods above, a decrease of about 13 dB was achieved.

Keywords : Fan, Duct, Low frequency noise, Room mode, Sound absorption, Helmholtz resonator

ファン, ダクト, 低周波騒音, 室のモード, 吸音, ヘルムホルツ共鳴器

1. はじめに

工場や病院といった大きな換気量を必要とする施設では、天井裏に設置されたファンやダクトから発生される低音域の騒音が居室の使用の妨げとなることがあり、筆者らはそうした騒音の低減策について実験室実験による検討を行っている¹⁾⁴⁾。本報では実際にそのような現象が発生した居室において、室のモードに着目して騒音の低減を試みた事例について報告する。

2. 測定条件

測定は現状把握として行われた予備測定と、対策の効果を検証する目的で行われた本測定の 2 回に分けて実施された。表-1 に測定対象室の内装材を、図-1 に測定室の形状、音源である外調機とダクト、什器の配置を示す。図中 ● は予備測定での測定点、▲ は予備測定と本測定の両方で測定した点であり、水平方向に 0.5 m 間隔で設定されている。なお外調機は風量 28 m³/min、冷房能力 22.4 kW、ダクト断面は 0.5 × 0.2 m であり、ダクトには鉛シート貼りの上、グラスウールが巻かれた状態であった。

3. 測定結果 1 —予備測定—

図-2, 3 に予備測定の結果を示す。図-2 は室内受音点の中から代表点 2 点 (図-1 中 Pt. 1 及び Pt. 2) を選び、周波数特性を示したものである。低音域の音圧が大きく、特に Pt. 2 の 50 Hz 帯域には Pt. 1 に比べ著しく大きなピークが存在する。50 Hz 帯域の音圧の空

間分布に着目すると、側壁間で室長手方向に 2 次のモードが発生している様子を観察することができる。図-3 は天井裏の 50 Hz 帯域の音圧分布であるが、ここでも室と同様に 2 次のモードが発生していることがわかる。

表-1 測定室内装材料

壁	石膏ボード 12.5 mm ビニルクロス貼り
床	長尺シート
天井	化粧石膏ボード 9.5 mm
天井裏スラブ	コンクリート打放し

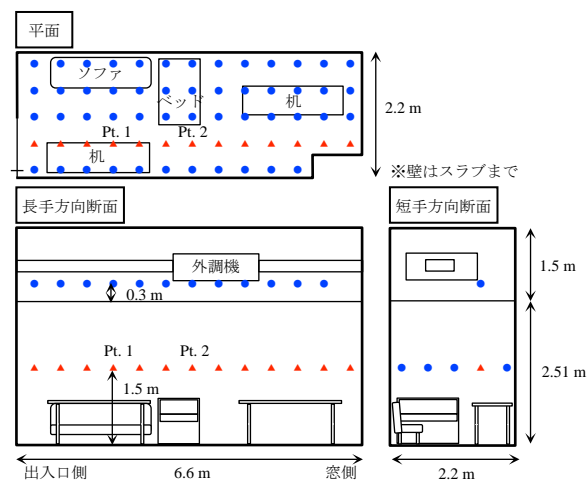


図-1 測定室及び測定点

*1 戸田建設株式会社技術開発センター 修士 (工学)

Research and Development Center, TODA CORPORATION, M.Eng.

*2 戸田建設株式会社技術開発センター

Research and Development Center, TODA CORPORATION

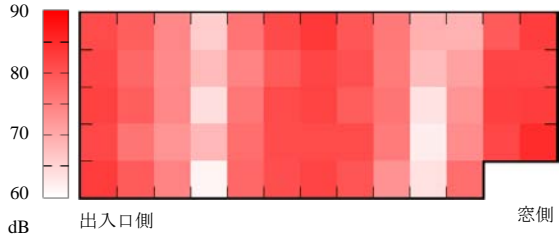
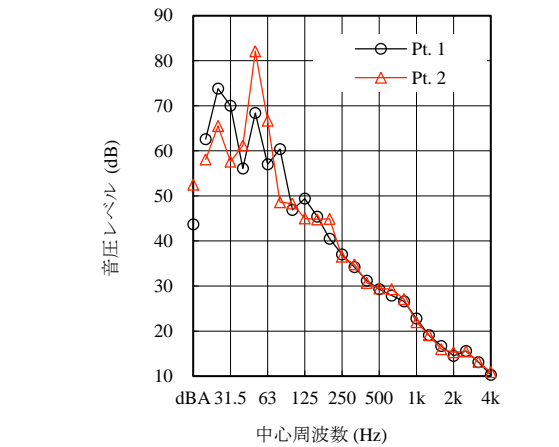


図-2 室内代表点音圧レベル (上)
50 Hz 帯域音圧分布 (下)

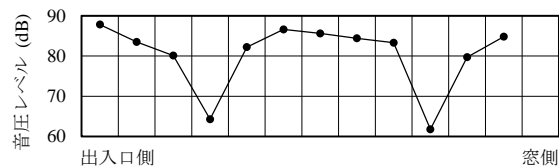


図-3 天井裏 50 Hz 帯域音圧分布

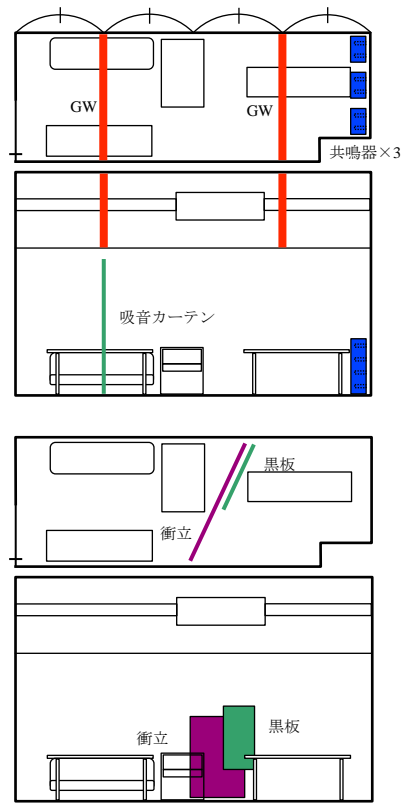


図-4 対策配置図
(上: 対策 A~C, 下: 対策 D)

4. 騒音低減対策

予備測定の結果を踏まえ、騒音低減策として

- A) 天井裏の2次モードにおいて粒子速度が最大となる天井裏の長手方向 1/4 及び 3/4 の位置にグラスウール (32 kg/m³, 100 mm) を立てて設置
- B) 室内の同位置に吸音カーテン(面密度 0.33 kg/m², 1k - 4k Hz 平均吸音率 0.46(背後空気層 100 mm)) を設置
- C) 2次モードにおいて音圧が最大となる位置に対象周波数 50 Hz にチューニングされたヘルムホルツ共振器を設置
- D) 室に衝立を斜めに配置し室形状を変更の4種類について効果を検証する。A)では使用するグラスウールを選定する上で FDTD 法による解析を行った(5章参照)。なお今回、室に設置するB)吸音カーテンに関しては仕器との干渉を避け出入口側のみ、C)共振器は窓側にのみ設置された。各対策の配置を図-4 に、C)で設置するヘルムホルツ共振器の概形と内法、材料を図-5 及び表-2 に示す。なお共振器は壁から 50 mm 離し、壁側に開口を向けて(図-5 写真とは逆向き)3体設置された。D)衝立には可搬式の黒板と目隠し用仕切り板を使用した。

5. FDTD 法による天井裏対策の検討

ここでは天井裏に設置するグラスウールのパラメータを決定するために行った、時間領域差分(FDTD)法による検討について述べる。

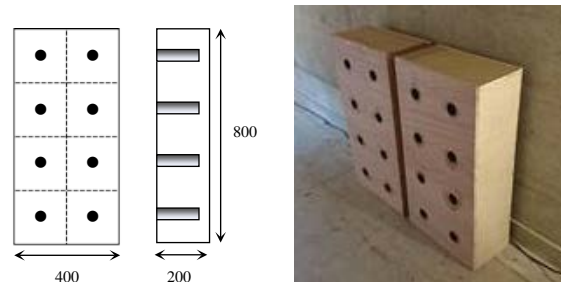


図-5 共振器概形

表-2 共振器材料及び頭部寸法

箱部材料	合板 15 mm
頭部材料	VU 管 1.8 mm
頭部長さ	160 mm
頭部内径	44 mm

5.1 計算条件

天井裏を模した奥行き (x) 6.8 m, 幅 (y) 2.4 m, 高さ (z) 1.5 m の剛壁で囲まれた直方体空間を想定する。音源にはファン及びダクトを模し、点音源を(x, y, z) = (0.85, 1.2, 0.5) ~ (5.95, 1.2, 0.5)の間に x 軸方向に 0.85 m 刻みで7点設け、50 Hz を中心とする 1/3 オクターブバンドのバンドノイズを入力する。空間離散化幅は 0.05 m, 時間離散化幅は 0.05 ms とする。騒音対策として幅 0.1 m の吸音層を1箇所または2箇所挿入する場合を想定する。その他の計算条件を表-3 に示す。

表-3 計算条件

#	吸音層位置(m)	流れ抵抗(Ns/m ⁴)
①	なし	-
②	x = 1.7	2500
③	x = 1.7	5000
④	x = 1.7	10000 (GW32kg/m ³ 相当)
⑤	x = 1.7	20000
⑥	x = 1.7	40000
⑦	x = 1.7, 5.05	2500
⑧	x = 1.7, 5.05	5000
⑨	x = 1.7, 5.05	10000
⑩	x = 1.7, 5.05	20000
⑪	x = 1.7, 5.05	40000

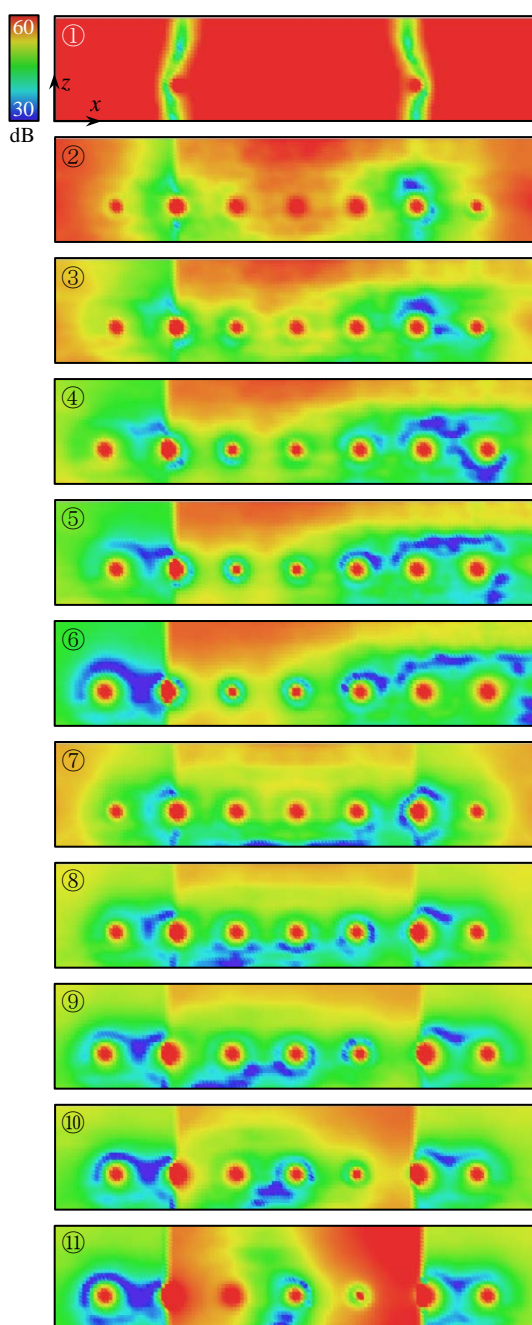


図-6 対策前後の音圧レベル差

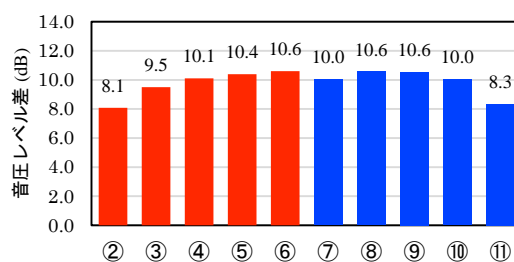


図-7 断面音圧分布

5.2 計算結果

図-6 は y = 1.2 m 断面における、信号入力直後から 600 ms までの間の総音圧を示したものであり、図-7 は天井面付近 (z = 0.05 m) での音圧レベルのエネルギー平均値について、吸音層の無い場合と比べた音圧の低減量を示したものである。図-6①からは吸音層の無い場合、空間内に x 軸方向に 2 次のモードが生じている様子を観察することができる。吸音層を 1 箇所挿入することで音圧レベルは低減し、低減量は吸音層の流れ抵抗を大きくすることで増加する。吸音層を 2 か所に挿入した場合には流れ抵抗が 40,000 Ns/m⁴ のときに低減量が低下する。図-6⑪を見るとこのとき吸音層間で 1 次のモードが生じ、音圧レベルが上昇していることがわかる。以上の検討から対策 A) で使用するグラスウールには計算条件⑨に相当する GW32 kg/m³ が妥当と結論付けた。

6. 測定結果 2 —本測定—

対策前と対策後の測定点 Pt. 2 での音圧レベル、対策による低減量及び 50 Hz 帯域の室長手方向の音圧分布を図-8 に示す。50 Hz 帯域に着目すると、天井裏 GW で約 11 dB の低減、共鳴器で約 4 dB の低減となった。窓側で共鳴器の効果が小さいのは測定点が共鳴

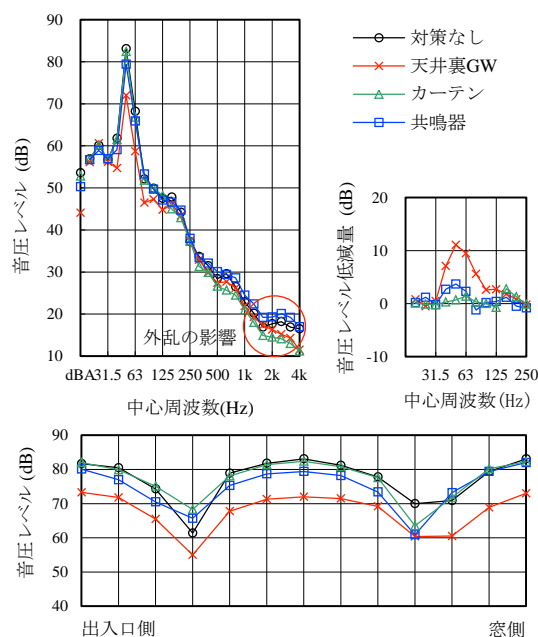


図-8 対策前後の周波数別音圧レベル (左上), 無対策時との音圧レベル差 (右上), 50 Hz 帯域の音圧分布 (下)

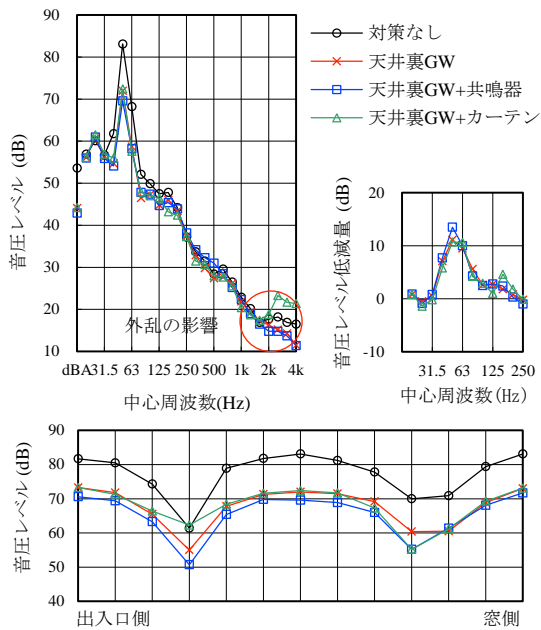


図-9 複数対策前後の周波数別音圧レベル (左上),
無対策時との音圧レベル差 (右上),
50 Hz 帯域の音圧分布 (下)

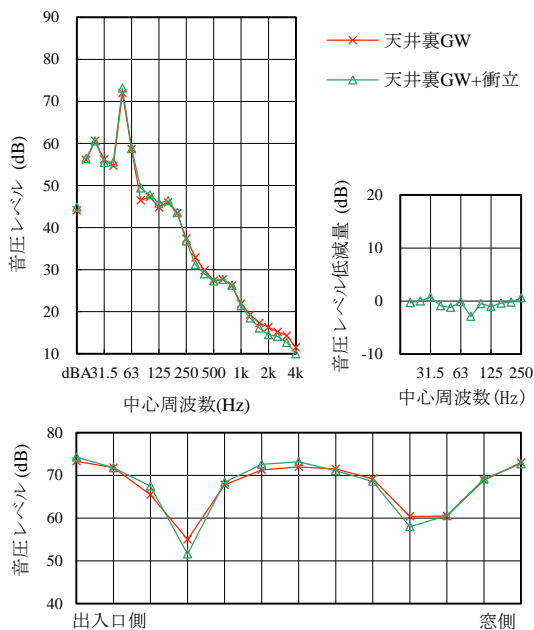


図-10 衝立設置前後の周波数別音圧レベル (左上),
衝立設置前との音圧レベル差 (右上),
50 Hz 帯域の音圧分布 (下)

器の直上に近づき、吸音が期待できる範囲から外れたためだと考えられる。カーテン設置時はカーテン近傍で 50 Hz 帯域の音圧が上がり、他方の節では音圧が下がるが、モードの腹の位置での音圧は低減していない。カーテン設置に期待した効果が得られなかった原因は今後の検討課題である。

図-9 は天井裏 GW と他の対策を組み合わせた結果である。天井裏 GW と共鳴器を組み合わせることで天井裏 GW からさらに 2 ~ 3 dB 音圧が低減し、併せて約 13 dB の低減を実現できた。

図-10 は衝立を室に斜めに配置することで室の形状を崩しモードの抑制を試みた結果である。ただしここでは効果の比較対象を天井裏 GW としている。衝立の設置では 50 Hz 帯域における音圧レベルはほとんど変化しておらず、室の 2 次のモードに与える影響が小さかったことがわかる。設置した衝立の高さや質量、剛性が不足していた可能性が考えられる。

7 おわりに

天井裏の設備機器が発する低音域の騒音に対して、室のモードに着目し対策を行うことで対象周波数で約 13 dB の騒音低減を実現した。また天井裏で粒子速度が大きい位置にグラスウールを設置する手法について、パラメータを決定する際に行った FDTD 法による解析結果と測定結果との間で低減量に一定の対応が見られた。

一方、室内にカーテンを設置した場合や衝立によって室形状の変更を試みた場合には期待した効果が得られなかった。これについてはさらなる実験室実験、解析により原因を明らかにする必要がある。また本研究では数値解析として剛壁で構成された直方体空間のモデルを使用したのが、より詳細な検討を行う上では天井面の振動及び居室内の音場を考慮した音響振動連成モデルによる解析が必要であろう。

参考文献

- 1) 土屋, 山内, ファン及びダクトの発生音に関する研究, ASJ2017 秋季研究発表会講演論文集, 2017
- 2) 土屋, 山内, ファン及びダクトの発生音に関する実験的検討 その1-無響室床置の騒音発生性状-, AIJ 大会学術講演梗概, 2017
- 3) 山内, 土屋, ファン及びダクトの発生音に関する実験的検討 その2-騒音低減対策の効果-, AIJ 大会学術講演梗概, 2017
- 4) 山内, 土屋, ファン及びダクトの発生音に関する実験的検討 その3-天井裏設置時の低減効果-, AIJ 大会学術講演梗概, 2018