

アクティブ騒音制御による建物換気口の遮音性能向上の試み

財津 洋介

1. はじめに

快適な住空間を提供するためには室内の静けさを確保する必要があるが、鉄道騒音や道路交通騒音などは依然として大きく、これら屋外騒音の侵入を防ぐために建物の外周部には高い遮音性能が求められる。

建物の外周部に設置される開口部（窓や換気口）は遮音性能のボトルネックになりやすいと考えられるが、窓については、高断熱性能を有するペアガラスや高气密性のサッシを用いることで遮音性能も向上し、あるいは防音を目的とした2重窓を選択することも可能であり、遮音に対する配慮がなされている。一方、換気口は、空気の流入出のために孔を開けておくことが本来の目的であり、これは騒音防止の基本である孔を塞ぐことと相反する。よって、換気口は建物外周部の遮音性能のボトルネックとなりやすい¹⁾。換気口の遮音対策として、吸音材を配したキャップ型フード²⁾を換気口に取り付けるという音響的にパッシブな方法が従来から用いられているが、1kHzより高音域では30dBを超える透過損失を有しているものの、およそ800Hzより低音になるに連れて遮音能力が落ちていく。屋外騒音は低音域から高音域まで含んでいるため、換気口遮音対策をパッシブな方法による場合には低音域対策を検討しなければならないが、一般に低音域の遮音には大きな材料や空間を必要とするため、換気口周辺の限られた空間に適用するすのは難しい。

本研究は、キャップ型フードなどの高音域の遮音に優れたパッシブ手法と組み合わせて使用することを前提に、建物の外周部において遮音性能のボトルネックとなる可能性のある換気口に対して、一般的に低音域の騒音制御に優れるとされるアクティブ騒音制御（Active Noise Control; ANC）技術を適用し、その効果を定量的に把握し、建物換気口の低音域の遮音性能の向上を試みることを目的とする。

2. 模型実験

換気口を有する建物外壁を想定した実寸模型を簡易無響室内に設置した。模型の平面図を図-1に示す。外壁（Outer wall）は総厚200mmの石こうボードで作成し、換気口の径は125mmとした。屋外と見なす空間は合板およびポリエステル吸音材で囲い、外壁周囲

からの回折音を極力抑えた。騒音源（Prim. noise）は1ウェイ・フルレンジの密閉型スピーカーを用い、外壁から1,100mm離れた換気口の中心軸上に設置した。

2.1 騒音源

本研究で対象としている騒音源は、鉄道騒音や道路交通騒音といった広帯域の変動騒音である。しかし、本研究では建物の換気口に対してANCの効果があるのか否かを確認することを重視し、単純な音場における効果を検討することとした。すなわち、定常音に対するANCの効果把握することとし、騒音源として中心周波数63Hz、125Hz、250Hz、500Hzの1/3オクターブバンドノイズを用いた。

2.2 換気口からの透過音

はじめに、本実験装置について、換気口を設けない場合と換気口を設けた場合の屋外側（Outdoor side）と室内側（Indoor side）の音圧レベル差を測定した。音源は屋外側に設置し、音圧レベルの測定点は、換気口を設けない場合は屋外側と室内側のそれぞれ外壁中央で壁面から50mm離れた点、換気口を設けた場合は換気口の壁面上の点とした。

結果を図-2に示す。折れ線グラフ[●]が換気口を設けない場合、折れ線グラフ[○]が換気口を設けた場合である。換気口を設けない場合の室内外音圧レベル差は、周波数の上昇に伴って差も大きくなり、その傾向は概ね質量則にそった値となっている。ただし、実験模型上の制約からか、125Hz帯など、周波数によっては質

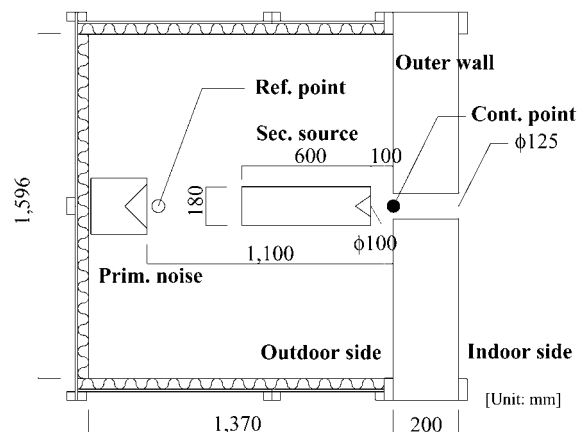
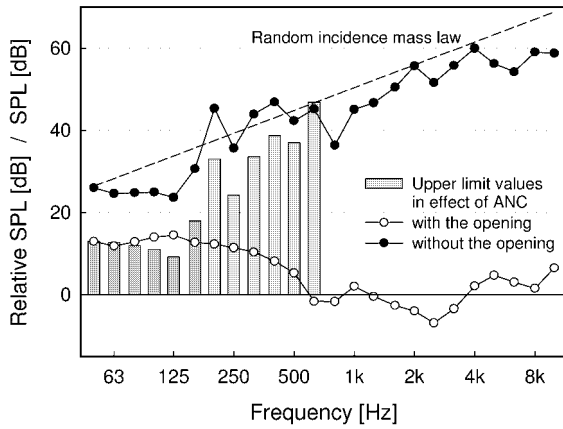


図-1 実験模型の平面図



Random incidence mass law: $R_m \approx R_0 - 10 \log_{10}(0.23 R_0)$, where the mass law: $R_0 \approx 20 \log_{10}(f \cdot m) - 43$, and mass per unit area of the plaster board: $m = 170 [\text{kg}/\text{m}^2]$.

図-2 換気口の設置前後の音圧レベル差

量則から大きく外れたものもみられる。換気口を設けた場合は、屋外より室内側が大きくなる換気口内の共鳴現象³⁾が現れている。

63 – 500 Hz 帯の両者（換気口を設けない場合と設けた場合の室内外音圧レベル差）の差を図-2の棒グラフに示す。63 – 125 Hz で 10 dB 程度、250 – 500 Hz で 25 – 40 dB 程度となっており、建物換気口を想定したモデルとして概ね妥当な音場が形成されたと考えている。これらの値が、本装置を実験に用いた場合の換気口に対する ANC の効果の上限値となる。

2.3 2次音源と制御点

ANCによりダクトの減音を行うときには、2次音源をダクト内に設置することが一般的であるが、建物の換気口のように極端に短い場合には適当ではないと思われる。本報告では、図-1に示すように、空気の流入（流出）を著しく妨げないと思われる換気口から 100 mm 離れた箇所に 2次音源（Sec. source）を設置した。制御点（Cont. point）すなわち誤差マイクロホンは換気口の屋外側外壁面に設置し、換気口への騒音の入射を制御するようにした。また、参照点（Ref. point）すなわち参照マイクロホンは騒音源の直近に設置した。なお、2次音源は低音域から出力を得るため、小型のコーン型ウーハー（Fostex社製 FW-108N）を用い、密閉型エンクロージャーに納めて使用した。

3. 実験結果と考察

ANCが無効のとき（Off）と有効のとき（On）の音圧レベル差（ ΔSPL ）を ANC の効果と見なし、実験結果を考察する。なお、音圧レベルの測定は 1/3 オクターブバンドごとに行い、60 s 間のエネルギー平均とした。

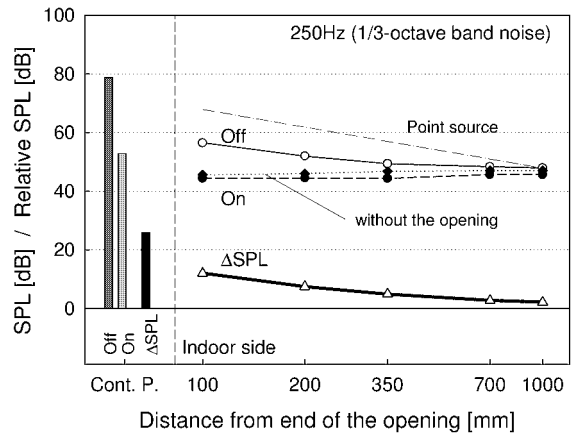
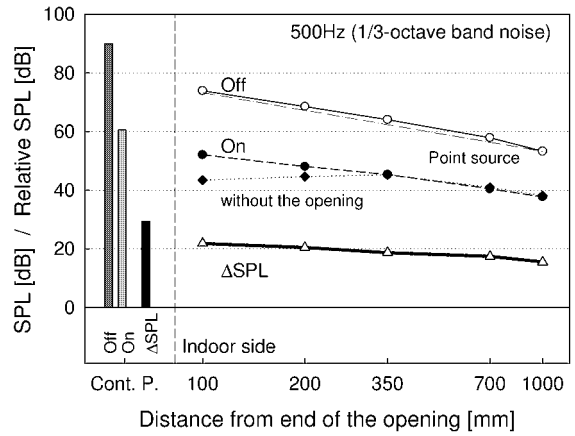


図-3 換気口からの距離と ANC の効果

3.1 換気口からの距離と ANC の効果

ANC-Off/On 時の音圧レベルの変化と ANC の効果を 500 Hz と 250 Hz の場合について図-3に示す。制御点（図-3の棒グラフ）と室内空間（図-3の折れ線グラフ）別に整理して示す。

制御点における ANC の効果は、63 Hz: 10.6 dB、125 Hz: 9.4 dB、250 Hz: 25.9 dB、500 Hz: 29.4 dB となり、63 – 500 Hz のいずれの周波数においても ANC の効果が認められ、周波数が高いほど効果が大きいという結果になった。本来、ANC は周波数が低いほど有効であるが、図-2に示したように低い周波数では換気口からの透過音が小さいため、必然的に ANC の効果も小さくなるということであり、妥当な結果である。

換気口からの距離による音圧レベルの減衰傾向を見ると、500 Hz の場合（図-3 上図）、ANC-Off では点音源の距離減衰の傾向を示し（図-3には 1,000 mm 点の音圧レベルから導いた点音源の距離減衰も併記している）、換気口からの出力が支配的であることが分かる。ANC-On にすると室内の音圧レベルは換気口を開ける前の値に近づき、換気口と同心軸上の室内における ANC の効果（ ΔSPL ）を見ても、1 m 離れるまで 20 dB

前後の効果があった。したがって、500 Hz の場合、ANC の効果は室内においても明らかに認められると考えている。250 Hz の場合（図-3 下図）は、ANC-Off のときの距離減衰の傾向が点音源とは見なせないことから、換気口からだけではなく外壁自体からも透過していると推察する。ANC-On にすると換気口の設置前とほぼ同じ値となるため、換気口からの透過音をほぼ消すことができたと考えている。ΔSPL を見ると、換気口から離れるに連れて効果が薄れていくが、これは、外壁からの透過音が原因であり、外壁の遮音性能が高ければ、ANC の効果はより大きく現れるものと思われる。なお、125 Hz、63 Hz の場合は、室内側での ANC の効果は確認できなかったが、これは実験模型の不備から換気口や外壁以外から音が伝わったためと考えている。

3.2 室内側の音圧レベル分布

制御点あるいは換気口の同心軸上以外の室内空間においても ANC の効果があるのか、あるいは逆効果をもたらす箇所が存在するのかを検討するため、ANC-Off/On それぞれの場合の室内側の音圧レベル分布を測定した。ここでは、換気口の同心軸上で ANC の効果が認められた 500 Hz と 250 Hz の場合について述べる。

ANC-Off の場合は 3.1 でも述べたとおり、換気口からの出力が支配的であり、換気口を中心とする同心円状の分布であった。ANC-On にすると、換気口からの透過音は 500 Hz では若干見られるが、250 Hz ではほとんど認められなくなった。

ANC-Off 時と ANC-On 時の音圧レベルの差（ΔSPL）として求めた ANC の効果の分布図を図-4 に示す。なお、グリッドの交点が測定点を表している。500 Hz と 250 Hz のいずれの場合も、ΔSPL が負となる、すなわち ANC が逆効果に働く箇所は見当たらなかった。したがって、ANC によって換気口に入射する音を適切に減音でき、室内において ANC が逆効果に働くことはないものと考えている。

3.3 屋外側の音圧レベルの変化

屋外側に設置した 2 次音源から干渉音波を放射することにより、ANC により屋外で新たな騒音が発生してしまう恐れがある。2 次音源と同一の面上（屋外側の外壁から 100 mm の距離）の数点について、ANC-Off/On 時の音圧レベルを測定した。500 Hz の場合を図-5 に示す。2 次音源から半波長ほど離れた箇所で ANC-On により音圧レベルが僅かに上昇する傾向が見られたが、63 - 500 Hz のいずれの周波数でも 2 次音源の近くでは数 dB（4.6 - 7.3 dB）下降した。屋外側での ANC の悪影響は発生したとしても小さいことが確認できた。

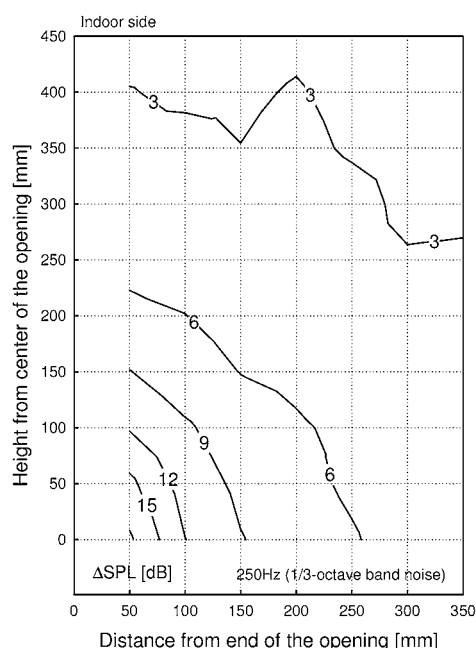
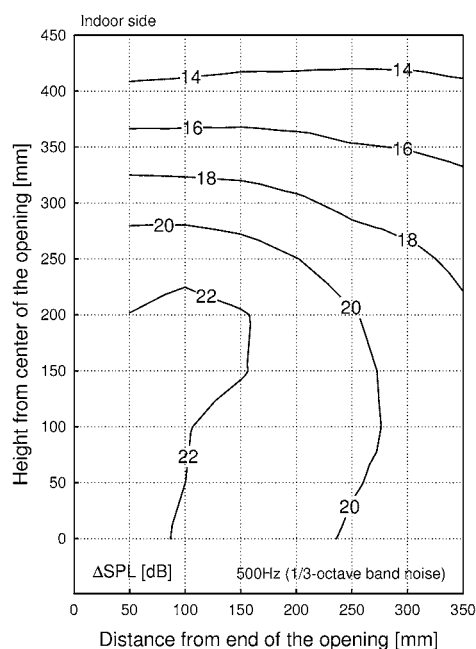


図-4 ANC 効果（ΔSPL）の分布

4. 実験棟検証実験

模型実験において明らかにした換気口に対する ANC の適用効果が、実際の建物に対しても有効であるかを検討するため、戸建住宅実験棟（SRB-DUP 煉瓦造）の外壁（約 18m²）を対象に、換気口に対する ANC の適用効果を検証した。

4.1 建築部材の遮音性能

換気口とその他の建築部材の遮音能力の差を把握するために、“JIS A 1520”に基づき外壁を構成する部材、すなわち壁面、窓サッシ、換気口の音響透過損失相当値を測定した。ただし、この規格はサッシおよびドア

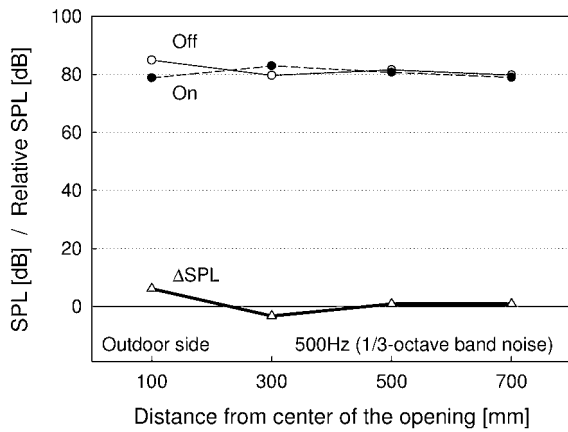


図-5 屋外側での ANC の影響

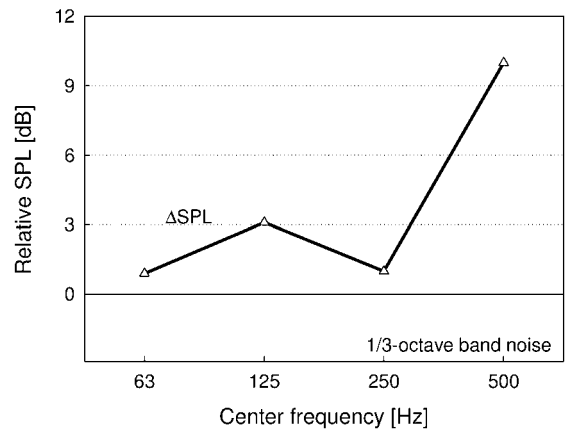


図-7 実験棟換気口における ANC の効果

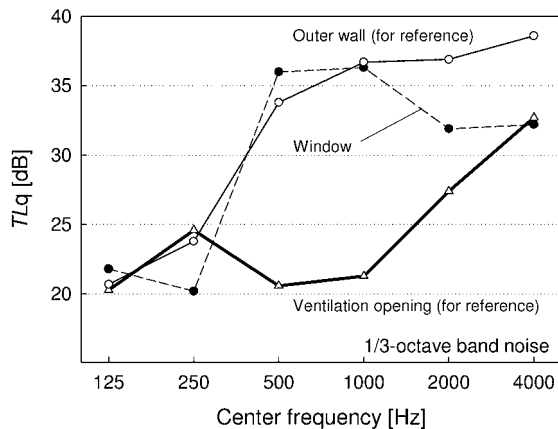


図-6 建築部材の音響透過損失相当値

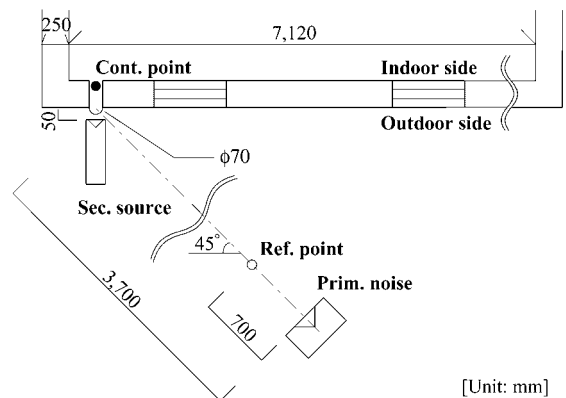


図-8 検証実験の説明図

を対象として規定されたものであるため、壁面および換気口についての測定値はあくまで参考値である。

音響透過損失相当値の測定結果を壁面、窓サッシ、換気口別に図-6 に示す。125 - 250 Hz については部材によって遮音性能に違いは見られなかったが、500 - 1k Hz 帯では、換気口の遮音性能がその他の部材に対して 10 dB 以上劣っていることが確認された。

4.2 検証実験の概要と結果

実験棟での実験状況の説明図を図-8 に示す。2 次音源 (Sec. source) は模型実験と同様の物を用い、換気口のフード先端から 50 mm 離れた箇所に設置した。また、制御点 (Cont. point) は換気口の管内中心軸上で室内側から約 50 mm の点に設置し、参照点 (Ref. point) は騒音源 (Prim. noise) の近辺に設置した。

制御点から 50 mm 離れた室内側の 1 点で、ANC-Off/On 時の音圧レベル差を測定した結果を図-7 に示す。ANC の効果は、63 Hz: 0.9 dB, 125 Hz: 3.1 dB, 250 Hz: 1.0 dB, 500 Hz: 10.0 dB となり、特に換気口の遮音性能が低い 500 Hz では大きな効果が認められた。

5. まとめ

建物換気口について、音響的にパッシブな手法では対応することが難しいと思われる低音域の遮音性能の向上を目指し、アクティブ制御手法の適用効果を実験的に検討した。模型実験により、500 Hz 以下では遮音性能の向上が可能であることを定量的に明らかにした。また、屋外での ANC の悪影響が僅かであることも確認した。さらに、住宅実験棟を対象とした実験により、実際の建物換気口における ANC の適用効果を確認した。

今後の課題として、広帯域の変動騒音に対応する ANC アルゴリズムへの拡張を図るなど、より実用に適うシステムを検討する必要があると考えている。

参考文献

- 1) 大内孝子, 小型建築部品, 音響技術 110, 54-59, 2000.
- 2) (株) シルファー, 換気口総合カタログ 2005, <http://www.sylpha.co.jp/>.
- 3) George Willson and Walter Soroka, Approximation to the diffraction of sound by a circular aperture in a rigid wall of finite thickness, J. Acoust. Soc. Am. 32, 286-297, 1965.