

研究報告

航空機騒音の住宅内外レベル差に関する簡便な測定方法の提案*

下山 晃司(航空環境研究センター 研究員)

1. はじめに

空港周辺では航空機騒音対策として住宅防音工事が行われており、その効果の確認のために住宅内外レベル差測定が行われる。また、同じ住宅で定期的に調査を行えば経年劣化も把握可能であるが、調査事例は多くない。

そこで、本稿では住宅防音工書の目的及び住宅内外レベル差測定の課題点について整理した上で、簡便かつ測定精度を確保できる現場測定法を、木造平屋建てのオープンハウスでの実測結果から検討・提案する。さらに、測定結果の活用方法についても考察を行う。

1.1 環境基準と住宅防音工書

航空機騒音に係る環境基準(以降、環境基準)では、「生活環境を保全し、人の健康の保護に資するうえで維持することが望ましい基準」として、地域類型ごとに基準値が掲げられている。併せて、新設飛行場/既設飛行場等の飛行場の区分ごとに達成期間及び改善目標が掲げられている。既設飛行場では室外で環境基準を達成できない地域において、その騒音の程度に応じて室内で環境基準相当を実現する様に改善目標(以降、室内環境基準)が定められている。これを表-1に示す。

住宅防音工書は、公共用飛行場周辺における航空機騒音による障害の防止等に関する法律(以降、騒防法)に基づき、「航空機の騒音により生ずる障

害の防止等を目的」として、騒音対策区域指定の際、現に所在する住宅を対象に実施されている。当該住宅の所在する地域の航空機騒音の程度に応じて工法名称及び計画遮音量(500Hz帯域における総合透過損失値)が規定されている。表-2に住宅防音工書の概要を示すと共に、住宅防音工書における室外の騒音の程度と計画遮音量から試算した室内の騒音の程度(室内相当 L_{den})を示す。

表-1及び表-2より、室内環境基準が切り替わる室外 L_{den} 70dBのとき住宅防音工書を実施した住宅の室内相当 L_{den} は45dBであること等から、室内環境基準を遵守する様に設計されていることがわかる。つまり、住宅防音工書の目的は、室外で環境基準を達成できない代わりに室内環境基準達成時と同等の室内環境を実現することにあると考えられるので、その効果を評価する際には、計画遮音量を満足できているかだけでなく、航空機騒音に曝露された時の室内の騒音レベルについて評価することが必要ではないかと考える。

1.2 住宅内外音圧レベル差の測定方法

住宅内外音圧レベル差の測定方法は、日本産業規格「建築物の外周壁部材及び外周壁の空気遮断性能の測定方法」(JIS A 1430:2009^[1]、以降、JIS)で、室全体の総合的な内外音圧レベル差を求める「全体法」として、外部にスピーカを設置する方法(以降、外部音源法)が規定されている。しかし、こ

表-1 既設飛行場の改善目標

騒音の程度 (室外)	室内環境基準
$70 \text{ dB} \leq L_{den}$	室内 L_{den} 50dB以下
$62 \text{ dB} \leq L_{den}$	室内 L_{den} 47dB以下

表-2 住宅防音工書の概要騒音工書

騒音の程度 (室外)	住宅防音工書		室内相当 L_{den} *
	工法名称	計画遮音量	
$73 \text{ dB} \leq L_{den}$	A工法	30dB以上	43dB~
$66 \text{ dB} \leq L_{den} < 73 \text{ dB}$	B工法	25dB以上	45~48dB 41~45dB
$62 \text{ dB} \leq L_{den} < 66 \text{ dB}$	C工法	20dB以上	42~46dB

*騒音の程度(室外) - 計画遮音量 で試算。

* Proposing a field measuring method of difference between indoor and outdoor sound pressure level by aircraft noise

の結果得られた周波数別の室内外レベル差だけでは、実際の航空機騒音に対する効果を直接評価することができず、また、実質的には外周壁開口部(窓)の遮音性能に大きく影響されるため、上空から放射される航空機騒音による家屋全体の遮音性能を評価することとは趣旨が異なる。さらに、実際に居住される家屋で現場測定を行う場合、室内で十分なS/N比を確保するため大音量で音源を再生することで周辺住民へ迷惑を掛ける、大掛かりな測定機材が必要になる等、家主及び測定者の負担は大きい。

JISには付属書D(参考)で実騒音を用いる「航空機騒音または鉄道騒音による測定方法」(以降、実機音源法)が示されている。この測定法であれば、家主及び測定機材の負担を軽減できる上、航空機騒音による家屋全体の遮音性能を直接評価できるが、その結果の妥当性は検証されていない。

ちなみに、外部音源法と実機音源法の測定点はいずれも室内5点、室外1点であり、その要件も同じである。

以上より、本稿では家主及び測定機材の負担を軽減でき、航空機騒音による影響を直接評価できる実機音源法を基に、簡便かつ測定精度を確保できる現場測定法を検討する。

2. 測定状況と検証概要

今回測定を行った木造平屋建てのオープンハウスは、滑走路端から約0.8km、側方へ約0.4kmに位置し、航空機騒音が顕著な経路直下の測定点である。外部音源法及び実機音源法にて住宅内外音圧レベル差測定を行った。測定は、時間帯重み付け特性S(Slow)で100ms毎に1/3オクターブバンド周波数分析結果(以降、1/3oct.)及びA特性音圧レベルを記録した。図-1に測定点の平面配置図を示す。

室内測定点はJIS準拠の5点としたが、JISの室外測定点では上空を移動しながら曝露される航空機騒音に対して住宅自身の遮蔽や反射の影響を受けるため、見通しが良い場所に設置した。具体的には以下3点の室外測定点を設けた。括弧内に選定理由を合わせて示す。

- ・高さ1.5m点(設置が容易)
- ・高さ4m点(地面反射の影響を受けにくい)
- ・屋根面(反射の影響を定量化しやすい)

人工音源法は音圧レベルが安定した状態を40秒程度維持し、実機音源法は17機の離陸騒音から実測結果を得た。これらから、以下に示す3つ検討を行った。

- ・検討①：人工音源法と実機音源法で同様の室内測定結果のばらつきがあるのか
- ・検討②：測定精度を確保した室内代表点を選定できないか
- ・検討③：実機音源法の室外測定点として適切な測定点はどこか

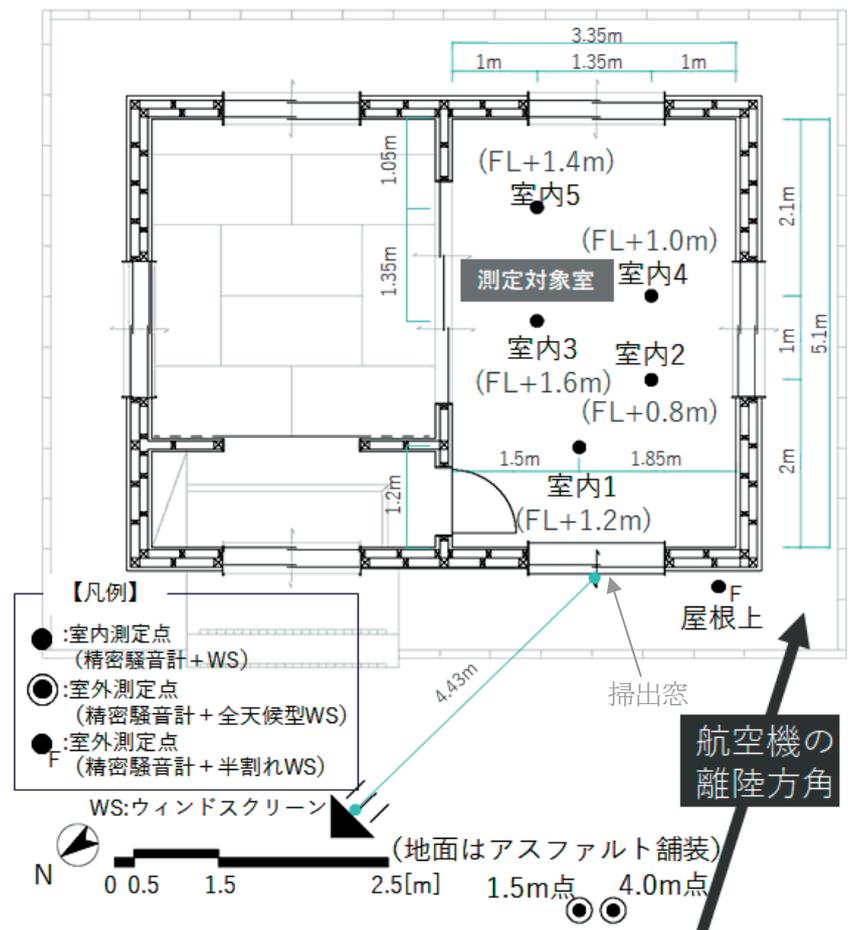


図-1 オープンハウス測定の測定点平面配置図

3. 室内測定結果の検討

3.1 室内測定結果のばらつき

室内における1/3 oct.測定結果から、室内平均音圧レベル(エネルギー平均、以降5点平均)を算出し、測定点別に5点平均との差を測定手法別(外部音源法、実機音源法)に算出した。人工音源法は室内音圧レベルが安定した時の L_{Band} 、実機音源法は航空機通過ごとの周波数別最大値 $L_{Band,max}$ を離陸機17機すべてエネルギー平均した。実機音源法の5点平均と各測定点の音圧レベル差を図-2に示す。これより、315Hz以下の低周波数帯域では測定点毎のばらつきが大きく、500Hz以上中高周波数帯域ではばらつきは小さく安定している傾向が見て取れる。これは、人工音源法でも同様の傾向であった。

各測定点の1/3 oct.それぞれの5点平均との音圧レベル差について算術平均と標準偏差(σ)を算出し、測定手法別の算術平均と $\pm 1\sigma$ 範囲を図-3に示す。これより、実機音源法の方が人工音源法よりも室内測定点毎のばらつきは小さいことがわかる。したがって、実機音源を用いる場合、室内測定点を減じた室内代表点で測定を行っても適切な結果を得ることができる可能性を示した。

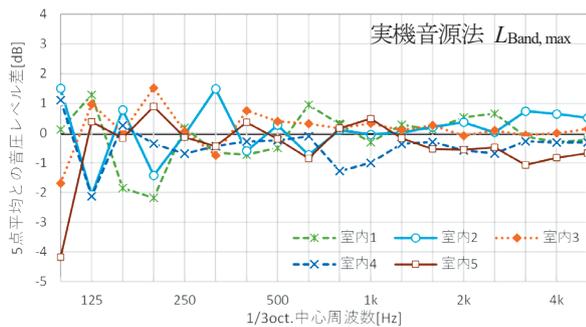


図-2 各測定点の5点平均との音圧レベル差

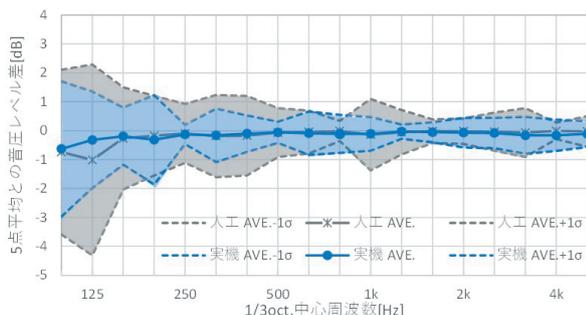


図-3 各測定点における5点平均との差の算術平均(AVE)と $\pm 1\sigma$ 範囲(測定手法別)

3.2 室内代表点に関する検討

実機音源法の5点平均と各測定点の音圧レベル差(図-2)から、室内2と室内3、室内4と室内5の組み合わせでは、特定の周波数(100Hz、125Hz、200Hz等)で相反関係にあることわかる。

これらの測定点は全て内壁面から1mの測定点で、特に2と3は部屋中央を起点とした対称関係にある。200Hzの1/2波長は0.8~0.9mであること、その倍音に近い100Hz、125Hzでも同様のピークが見られることから、壁面からの反射波または定在波の影響を受けた結果ではないかと考えられる。また、室内2は測定点高さを0.8mと低めにしたことから、床面反射の影響で315Hzに差が出た可能性が考えられる。

相反関係にある室内2と室内3の1/3 oct.測定結果をエネルギー平均(以降、2点平均)し、5点平均との音圧レベル差を算出した結果を図-4に示す。これより、2点平均は各1点の測定結果よりも周波数ごとのばらつきが安定しており、室内平均値(5点平均)との差も小さいことがわかる。

また、航空機騒音の測定評価に用いられる最大騒音時-10dBの範囲を積分対象とした結果($L_{E,Band}$)でも測定点ごとの相反関係は変わらず、むしろ $L_{Band,max}$ よりもばらつきは小さかった。

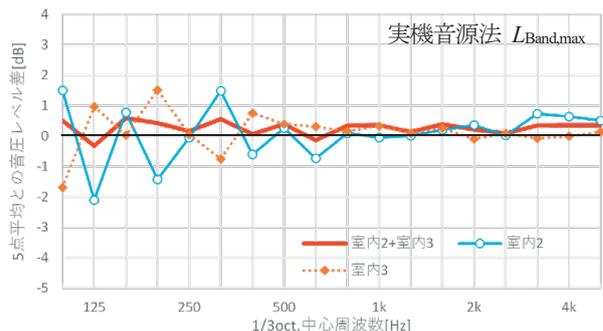


図-4 各測定点(室内2、室内3)及び2点平均の5点平均との音圧レベル差

次に、A特性の測定点ごとのばらつきを、最大騒音レベル L_{Amax} 、単発騒音曝露レベル L_{AE} について確認した。 L_{AE} の積分対象は最大騒音時-10dBの範囲とした。 L_{Amax} の測定結果からは室中央に近い測定点(室内3)で1機毎の測定結果のばらつきが小さい傾向、 L_{AE} の測定結果(図-5)か

らは音が透過しやすい部分(図-1の掃出窓)から見て室中央に近い点(室内2、室内3)で5点平均と近い傾向が見られた。また、1/3 oct.の測定結果が相反関係を示した室内2と室内3の L_{AE} をエネルギー平均すると、5点平均との差は0.3dB以内に収まった。

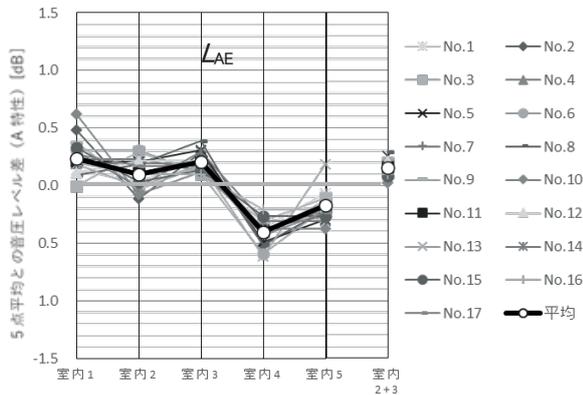


図-5 5点平均とのA特性音圧レベル差

以上より、実機音源法で測定を行う場合、音が透過しやすい部分から見て室中心に近く、室内周壁から1m以上離れた位置のマイク高さ1.5mに室内代表点を設置することでJISに規定される室内平均(5点平均)に近い結果を得られると考えられる。また、その際は室中央から対称関係に近い2点を選定するとより信頼性が高まる。

4. 室外測定点に関する検討

2章で示した通り、見通しの良い場所(住宅から5m程度)に設置した高さ1.5m点及び4m点と、屋根面上に直置きしたマイクロホン(屋根上)の計3か所にマイクロホンを設置し、どの測定点を用いるべきか検討を行った。

室内と同様に航空機通過ごとの周波数別最大値 $L_{Band, max}$ を離陸機17機すべてエネルギー平均した結果を図-6に示す。

これより、マイクロホン高さ4m点と屋根上の1/3oct.周波数特性は一貫して約3dB屋根上の方が大きい、部分的(1kHz)にその差が1.0dBと小さくなっている。屋根上は屋根面からの反射の影響を表すので補正を行う(今回の場合は約3dBの補正を施す必要がある)が、その補正値は周波数ごとに異なるため、今回の測定結果から補正値を

求めることは難しく(屋根の形状および材質は各住宅で異なるため)、航空機との位置関係によっては屋根が遮蔽物になってしまうこともあり、屋根上を室外測定点として扱うことは難しい。

1.5m点では100Hz、200Hz帯域で4m点と異なる結果を示している。一般的に上空を通過する航空機騒音の地面反射による影響は100~300Hz付近に表れやすい。図-5は17機の平均値なので、差の現れ方は小さいものの、地面反射の影響を受けていると考えられる。なお、500Hz以上の帯域は4m点と変わらない。

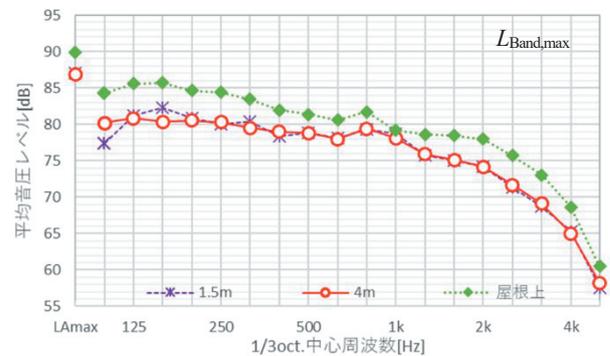


図-6 室外測定点の1/3oct.平均音圧レベル

次に、航空機通過ごとの L_{AE} とその平均値を算出した結果を図-7に示す。測定点間の関係性として、4m点と比べて屋根上は3dB、1.5m点は0.3dB大きい。

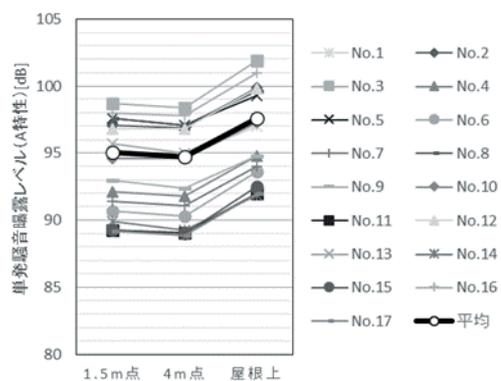


図-7 航空機通過ごとの L_{AE} とその平均値

以上より、屋根上を室外代表点とすることは難しく、4m点、1.5m点はどちらも同程度の結果を得られるが、1.5m点は地面の反射の影響を受けやすいため、原則として4m点を室外測定点とすることが好ましい。

5. 現場測定法の提案

木造平屋建てのオープンハウスでの実測結果から、航空機実機による室内外レベル差測定について、実機音源法を基とし簡便かつ測定精度を確保できる現場測定法を検討した結果、以下の方法を提案したい。

5.1 現場測定法の室内測定点

- ・室内代表点として1~2点を選定する。
- ・室外から音が透過しやすい部分(外周壁の建具等)から見て室内中心に近く、室内周壁から1m以上離れた位置を選定する。
- ・測定対象室の中心から対称関係にある2点を選定すると室内平均と比べて安定した結果を得られる。測定の簡便性を鑑み1点とする場合は定在波の影響を考慮して室内中心は避けること。

5.2 現場測定法の室外測定点

- ・室外代表点として1点を選定する。
- ・建物の遮蔽や反射の影響を避け、航空機の見通しがきく場所に、マイクロホン高さ4mに設置することが好ましい。
- ・マイクロホン高さ1.5mを選定するときは、飛行経路と建物位置関係、地面反射の影響について総合的に考慮する必要がある。

6. 現場測定法の注意点

現場測定法は、航空機騒音が明確な場所に限られる。図6から航空機騒音は高周波数帯域で音圧レベルが低下する傾向が見られるため、航空機騒音が小さいと高周波帯域における測定結果の信頼性が劣ることとなる。そこで、測定要件として室外における騒音レベルの目安を検討した。

今回の実測結果から室内の暗騒音レベルは約30dB、単発騒音曝露レベルを安定して算出するために必要なSN比は10~15dB、住宅防音工事の計画遮音量は20~25dBとすると、室外での騒音レベルは60~70dBとなる。周波数帯域によって一概には言えないが、 L_{Amax} 60~70dBが一つの目安となるだろう。但し、現実には測定現場の周辺環境や飛行経路との位置関係、気象条件等、測定現場の実情に応じて判断することが重要である。

7. 現場測定法の活用方法に関する検討

現場測定法には、実際の航空機騒音を利用した測定ならではの利点がある。そこで、現場測定法の活用方法について検討を行った。

7.1 住宅防音工事の目的とその評価

住宅防音工事の目的は、室内環境基準を達成することであるが、その仕様は500Hz帯域における総合透過損失を基準として規定されている。一方、環境基準の評価指標はA特性周波数重み付け(以降、A特性)を行った上で時間帯重み付けを加味して算出される L_{den} である。

そこで、今回測定した17機の離陸騒音の室内測定結果から、500Hz帯域における室内外レベル差と L_{den} を算出する基となるA特性の室内外レベル差の違いについて検討を行った。各室内測定点及び室内代表点2点(室内2+室内3)について、A特性室内外レベル差を基準とし500Hz帯域における室内レベル差を示した比較図を図-8に示す。これより、今回の測定結果ではA特性の室内外レベル差に対して500Hz帯域の室内外レベル差の方が大きかった。今回の検討は離陸機のみ結果であり、着陸機の場合は異なる可能性があるが、住宅防音工事の目的を考えると、500Hz帯域における総合透過損失のみでなく、A特性延いては年間 L_{den} の推計結果と併せて評価することも重要ではないかと考える。

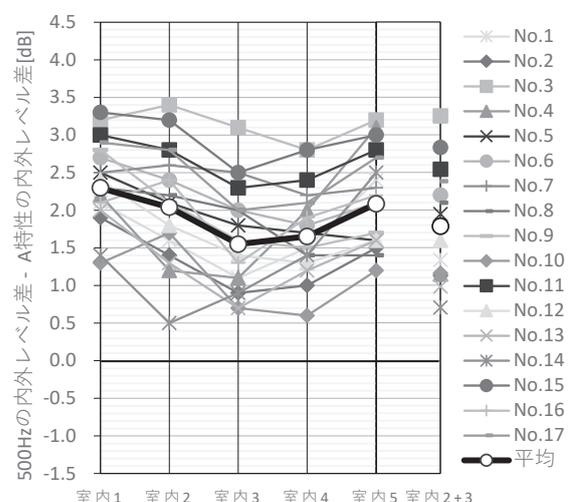


図-8 500HzとA特性の室内外レベル差の比較

7.2 室内環境基準の達成状況推計

現場測定法を用いれば比較的簡便にその住宅の室内外レベル差を把握することが可能である。その結果と近隣での騒音実態調査や常時監視局での航空機騒音測定結果から、その住宅内で室内環境基準がおおよそ達成できているかを確認できる。そこで、実際に室外で行った騒音測定結果から室内環境基準の達成状況について、その確認に至る手順を含めて整理、検討を行った。

検討に用いたのは、 L_{den} 62dB 以上の飛行経路直下に位置する地域で、マイクロホンは見通しの良い空き地、高さ4mに設置し、時間帯重み付け特性S、100ms毎にZ特性の1/3oct.周波数分析結果を1日記録した結果である。 L_{AE} や L_{den} の算出方法は航空機騒音測定・評価マニュアル^[2]に準拠した。また、室内外レベル差は過去の測定実績を基にC工法の計画遮音量20dBを想定した仮想遮音量(図-9)を用いた。以下に示す手順で室内 L_{den} の推計を行った。

- ① 100ms毎の室外1/3oct.周波数分析結果から、各周波数帯域において住宅内外レベル差を減算し、室内の1/3oct.音圧レベル(Z特性)を推計する。
- ② 推計結果にA特性重み付けを行い、100ms毎の室内騒音レベルを推計する。
- ③ 当該空港に離着陸した航空機騒音を対象とし、運航情報や飛行航跡情報を基に通過機毎の室外 L_{Amax} を特定する。
- ④ ③を基に通過機毎の室内 L_{Amax} を特定する。
- ⑤ 室外及び室内の通過機毎の L_{AE} を算出する。
- ⑥ L_{AE} に時間帯重み付けを行い、室外 L_{den} 及び室内 L_{den} を算出する。

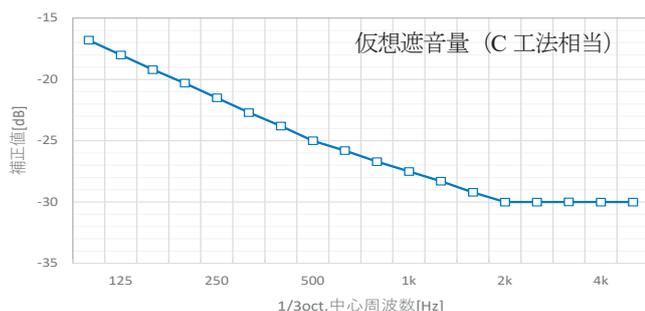


図-9 室内 L_{den} 推計に用いた仮想遮音量

推計の結果、当該測定地点でのこの日の室外 L_{den} は64.3dB、室内 L_{den} は44.1dBであった。測定地の室内環境基準は表-1より室内 L_{den} 47dB以下であるため、この日は室内環境基準を達成できていることが確認できた。

今回は1日の騒音測定結果をもとに推計例を示したが、防音工事の目的を考えれば年間を通して平均的な1日について評価するべきである。つまり、1年間の運航実績や1週間×2季節の騒音実態調査結果と、室内外レベル差測定結果から年間平均の室内 L_{den} を推計することで、その住宅内で室内環境基準が達成できているかを確認できる。

8. まとめ

木造平屋建てのオープンハウスでの実測結果から、実機音源法を基に簡便かつ測定精度を確保できる現場測定法を提案した。この測定方法であれば、室内の測定点は1~2点と少ないため、測定者及び家主の負担を比較的低減できる。さらに、航空機騒音を音源とするので、近隣住民にも迷惑を掛けずに測定を行える等の利点もある。一方、この測定法は、航空機騒音が明確な場所(L_{Amax} 60~70dBが一つの目安)に限られる測定法であり、航空機の運航は風向きにより変更される等のなど実際に測定を行う際には注意が必要な点もある。

本稿では、現場測定法の活用方法についても検討を行った。航空機実機による室内外レベル差測定を行うだけでなく、その結果を基に年間平均の室内 L_{den} を推計し、その住宅内での室内環境基準の達成状況の評価する等に活かされれば幸いである。

参考文献

- [1] JIS A 1430 : 2009、建築物の外周壁部材及び外周壁の空気遮断性能の測定方法
- [2] 航空機騒音測定・評価マニュアル、環境省、令和2年3月、URL <https://www.env.go.jp/air/noise/airplane/manual.html>