窓を開放したときの隣戸への伝搬音の主観評価に関する実験的検討

EXPERIMENTAL STUDY ON SUBJECTIVE EVALUATION
OF TRANSMITTED SPEECH SOUND FROM OPEN WINDOWS宮尾 健一^{*1}, 大川 平一郎^{*2}, 山崎 芳男^{*3}, 子安 勝^{*4}
Ken-ichi MIYAO, Heiichiro OHKAWA, Yoshio YAMASAKI
and Masaru KOYASU

This study investigates subjective evaluation of transmitted speech sound from open windows. When windows are opened, sound pressure level difference decreases, but background noise increases in sound receiving room.

This paper describes the results of an experiment under conditions of open windows.

The results of this paper are as follows.

1. When windows are opened, background noise increases in sound receiving room, yet point of subjective evaluation for sound insulation decreases.
2. The relation of word intelligibility to level difference between transmitted speech sound and background noise level shows a different tendency in comparison with conditions of closed windows.

Keywords: *sound insulation, flanking transmission, transmitted speech sound level, background noise level, word detection, word intelligibility*

遮音、側路伝搬、透過音レベル、背景音レベル、単語検知、単語了解度

1. はじめに

筆者らは、集合住宅における隣接住戸からの話し声が聞こえるといった事象の評価について、前報¹⁾では、実験室における基礎データを基にして、窓が閉まり、側路伝搬のない状態を仮定した物理量と主観評価量の関係を検討し、物理量としての透過音レベルと背景音レベルとの差の値が主観評価量と強い相関を示すことを報告した。

しかし、実際の生活では、冷・暖房を必要としない中間期や、室内に涼風を取入れたいときなどは、窓を開放して生活することも多く、隣接住戸からの話し声、テレビ、ステレオの音などの影響が大きくなる。また、窓の開放は、一般に背景音レベルを大きくし、この影響によっても聞こえ方は異なるものと考えられる。

この日常生活でしばしば起り得る問題に対応するために、本報では、異なる窓開放条件での窓開放時の室間の遮音性能と主観評価量との関係について明らかにすることを試みた。

主観評価のための建築的な基礎資料として、実際の集合住宅において測定をした窓開放・窓閉鎖時の2室間の遮音性能を用いた主観評価実験は、音源室・受音室の窓の開閉条件および、受音室

の窓開閉条件別に背景音レベルを変化させて、前報と同様の方法により実施した。

2. 基礎資料を得るための実建物での測定^{2), 3)}

2.1 測定方法

測定対象室・測定経路は、図1に示したように、7階建てRC造集合住宅の5階のLD→和室（以下LD系）、洋室A→洋室B（以下洋室系）とした。測定室の諸元・仕様は、表1に示したように現在多く見られるものである。

窓の開閉は、音源室・受音室の窓共に対象隣接戸側のサッシの戸（障子）を対象にすることにし、音源・受音室の窓共に閉鎖（以下「閉→閉」）、音源室の窓のみ開放（以下「開→閉」）、音源室・受音室の窓共に10cm開放（以下「10→10」）、音源室・受音室の窓共に開放（以下「開→開」）の4通りとした。ここで、10cm開放の条件は、風が強く少し窓を開けると、少し外気を室内に入れたいとを想定している。

これらの各条件について、主観評価実験の際の基礎資料としての室間音圧レベル差、残響時間を測定した。

^{*1} 戸田建設技術研究所

^{*2} 音環境研究所 所長・工博

^{*3} 千葉工業大学情報工学科 教授・工博

^{*4} 住環境工房 理博

Technical Research Institute, Toda Corp.

Sound Environment Research Inc., Dr. Eng.

Department of Computer Science, Chiba Institute of Technology, Dr. Eng.

Building Environment Factory, Dr. Sci.

特に、窓開放時の室間音圧レベル差の測定については、JIS法の室内の音圧分布に大きな差が生じ、適用ができないとも考えられたので、まずJIS法によっても問題がないかどうかの検討をしたうえで測定をした。

2.2 測定結果

2.2.1 JIS法による窓開閉条件別室間音圧レベル差測定

方法の検討

集合住宅における室間音圧レベル差の測定では、通常、窓閉鎖時を対象としているために、室内は拡散音場に近く測定点間の音圧レベルのバラツキは小さいものと仮定し、測定点の数を5点としている（JIS A 1417改定案では、移動マイクロホン法も含まれている）。

しかし、窓開放時では、室内が拡散音場とは大きく離れた状態になり、測定点の数や室内平均音圧レベルの算出に問題を生じるおそれがある。すなわち、窓開放時の測定では、室内音圧レベルのバラツキが大きくなり、測定値に影響を与えることも考えられる。そこで、その影響の有無を確認するために、音源・受音室共、約50cmのメッシュを基本とした格子点上の交点に測定点（以下「格子点」）をとった場合と（ただし、音源室ではスピーカー近傍は除いた）、JISに準拠した5点としたとき、それぞれについて、室間音圧レベル差を測定した。

室間音圧レベル差の算出は、エネルギー平均値、算術平均値の両者で求めた、その結果を測定点、窓開閉条件の各条件ごとに図2に示した。

この図によれば、

- ① 音源・受音室の窓共に「閉→閉」のとき、両対象室共に算出方法による差異は1 dB以内であった。
- ② 「開→閉」のとき、格子点エネルギー平均値との差異が2 dBを示したのは、LD系において、125Hz帯域での5点算術平均値、2 kHz帯域での5点エネルギー平均値、5点算術平均値であり、他は1 dB以内であった。
- ③ 「10→10」のとき、格子点エネルギー平均値との差異は、LD系

図1 測定室・測定経路

表1 測定室の諸元・仕様

測定室	V	S	界壁	窓	壁・天井 仕上	床仕上
LD	27.2	55.1	普通コンクリート厚150mm [各室共通]	普通型引違いサッシ掃出窓 ガラス厚5 [LD、和室共通]	ビニルクロス張 [各室共通]	防振ゴム置床下地 フローリング厚14
和室	23.8	50.5				同上下地 化学巻厚55
洋室A	18.7	43.0		普通型引違いサッシ腰窓 ガラス厚6.8 [洋室共通]		同上下地 カーペット厚7 (フェルト厚8下地)
洋室B	17.1	40.2				

V：容積（m³）、S：総表面積（m²）

和室：紙障子あり、LD・洋室A・洋室B：カーテンなし

窓開閉条件	閉→閉	開→閉	10→10	開→開
平均値算出方法	—■—	●—●	○—○	—□—
格子点エネルギー平均値	—■—	●—●	○—○	—□—
5点エネルギー平均値	□—□	○—○	○—○	□—□
格子点算術平均値	◆—◆	▲—▲	▲—▲	◆—◆
5点算術平均値	◇—◇	△—△	△—△	◇—◇

図2 窓開閉条件別室間音圧レベル差

において、125Hz帯域での5点エネルギー平均値、5点算術平均値が3 dB、2 kHz帯域での5点算術平均値が2 dBであり、他は1 dB以内であった。

④「開→開」のとき、格子点エネルギー平均値との差異が2 dBを示したのは、LD系における125Hz帯域での5点算術平均値、洋室系における125Hz帯域・250Hz帯域での格子点算術平均値、5点算術平均値、500Hz帯域での5点算術平均値であり、他は1 dB以内であった。

以上のことから、基本的には、窓開放時の測定においても、JIS法を適用しての測定でよいと判断した。

2.2.2 基礎資料としての室間音圧レベル差

窓開放時でも、JIS法の適用による測定点5点での測定でよいことを示したが、一部の条件を除き、格子点エネルギー平均値と5点エネルギー平均値がほぼ同じ値を示していることから、測定点5点での測定値のエネルギー平均値による値を用いることにした。

得られた窓開閉条件別に、室間音圧レベル差はD数(1 dBステップで読みとり)で表示し表2に示した。

表2から次のことがいえる。

- ① D数は、音源室・受音室の窓共に「閉→閉」のときに比べて、「開→開」ではLD系で10、洋室系で11、「10→10」ではLD系で15、洋室系で17、「開→開」ではLD系で31、洋室系で29低下した。
- ② 洋室系とLD系を比較すると、D数は、窓開閉条件毎にみると、

表2 窓開閉条件別D数

測定経路	閉→閉	開→閉	10→10	開→開
LD系	D-52	D-42	D-37	D-21
洋室系	D-46	D-35	D-29	D-17

D数は、測定点5点のエネルギー平均値によるもので、室間音圧レベル差に関する遮音等級の基準周波数特性をもとにして、1 dBステップで求めた遮音等級である。

図3 残響時間・平均吸音率

洋室系の方が小さい値を示した。これは、外廊下からの側路伝搬が大きいこと(隣戸との境界のバルコニー隔板のような遮蔽物が無い)などによるものと考えられる。

2.2.3 残響時間・平均吸音率

測定対象室各室の残響時間測定結果およびそれよりEyringの残響式を用いて求めた平均吸音率を図3に示した。LDは、床仕上げが木質仕上のため、和室、洋室よりも長い残響時間を示した。

3. 主観評価実験

3.1 実験方法

主観評価実験方法は前報と同様であるので、要点を次に示した。

主観評価実験システムを図4に示した。図中に示したインパルスレスポンスは、M系列ノイズを音源室内に放射し、受音室内の中央において測定したものであり、音源→受音点間の全ての音響的情報を含んでいる。

このインパルスレスポンスとドライソース(実験用音声)を畳込み実音化し、受聴点で被験者に呈示することにより、透過した音声を受聴点で擬似的に聴取しているとの考え方をしている。ただし、実験は、音声用スピーカの数を1個として実施したものであり、被験者は、音声の到来方向を向いているという想定をしている。

主観評価実験に使用する音源用の音表は、「形容詞+名詞+動詞」より成る脈絡のない実験用文章とした。なお、1音表は50文

図4 主観評価実験システム

で構成されている。

これらの音表を使って、無響室において、フリーの女性アナウンサーによる実験用音声を作成した。さらに、各条件下で測定したインパルスレスポンスに実験用音声をたたみ込み、主観評価実験用音源とした。

主観評価実験は無響室で行い、「聞こえ方のグレード」、「単語了解度」を評価量とした測定を、前報の実験システムを用いて行った。

主観評価実験用の刺激音レベルの設定には、音源室における音声のパワーレベル最大値を79dB（A特性音圧レベル、時間重み特性：FAST）とし、これが受音室に減衰して透過すると考え、透過音のレベル（試験用音声のレベル）は、音源室、受音室共拡散音場と仮定し、音声のパワーレベルから、図2に示した遮音特性と図3に示した平均吸音率などによって計算し設定した。この結果を表3に示した。

透過音としての試験音は、試験条件毎に、受聴点において表3に示した設定値になるようにシステムをコンピュータ制御し、試験用音声呈示スピーカより被験者に呈示した。なお、同一被験者には全て異なる音表を使い、1条件について1音表を呈示した。

負荷する背景音は、比較的静かな住宅地の定常的な環境騒音を想定し、LD系、洋室系の両伝搬経路の受音室共、窓開閉条件別に2条件とし、それぞれの条件で同一レベルであるとした。すなわち、「窓閉」の条件では、受音室内のA特性音圧レベルを25dB、30dBの2条件とし、その周波数特性は、前報と同様にオクターブ5～6dB下がりの特性に設定した。「窓開」（10cm開、全開）の条件では、実測値から表4に示したように設定した。背景音は、背景音呈示用スピーカ2個を用いて、無相関ノイズを試験用音声呈示用スピーカの両側から被験者に呈示した。

試験音に対する被験者の回答は、「聞こえ方のグレード」として、意味がわかるわからないの判別には関係なく、「聞こえる（A）」、「かすかに聞こえる（B）」、「聞こえない（C）」の三者択一で被験者に回答させた。

データの処理は、結果を条件毎に単一数値化するため、ここでは、それぞれの条件の回答結果にA：1.0、B：0.5、C：0の点数

表3 試験用音声の周波数特性

A：A特性音圧レベル(dB)

伝搬経路	窓開閉条件	中心周波数 (Hz)						
		125	250	500	1k	2k	4k	A
LD系	閉→閉	18	34	24	13	6	—	27
	開→閉	20	38	32	23	15	4	33
	10→10	26	41	41	31	19	7	40
	開→開	34	57	52	43	36	27	52
洋室系	閉→閉	23	39	29	19	11	—	32
	開→閉	23	40	32	29	22	10	35
	10→10	29	48	44	38	28	17	45
	開→開	34	59	53	47	40	31	54

表4 試験用背景音の周波数特性

A：A特性音圧レベル(dB)

受音室窓 開閉条件		中心周波数 (Hz)							
		63	125	250	500	1k	2k	4k	A
窓 閉	閉鎖	39	33	27	22	17	12	6	25
		44	38	32	27	22	17	11	30
窓 開	10cm開	47	41	37	32	26	20	17	34
		52	46	42	37	31	25	22	39
	全開	53	46	44	39	34	27	26	41
		58	50	49	44	39	32	31	46

を与え、被験者が回答した点数の平均値を算出した（すなわち、0～1.0の範囲の値となる）。

「単語了解度」の場合には、脈絡のない試験用文章の「名詞」のみを筆記回答させて、その正答率を算出した。

被験者は、正常な聴力を有する20代～50代の男性5名、女性3名計8名である。

表5 窓開閉条件別主観評価量

背景音（透過音）：A特性音圧レベル(dB)

		聞こえ方のグレード				単語了解度 (%)			
		閉→閉	開→閉	10→10	開→開	閉→閉	開→閉	10→10	開→開
LD系	主観評価量	0.61	0.95	0.92	1.00	16	44	34	71
	背景音(透過音)	25(27)	25(33)	34(40)	41(52)	25(27)	25(33)	34(40)	41(52)
	主観評価量	0.45	0.87	0.81	1.00	3	30	19	49
	背景音(透過音)	30(27)	30(33)	39(40)	46(52)	30(27)	30(33)	39(40)	46(52)
洋室系	主観評価量	0.83	1.00	1.00	1.00	29	56	52	68
	背景音(透過音)	25(32)	25(35)	34(45)	41(54)	25(32)	25(35)	34(45)	41(54)
	主観評価量	0.71	0.94	0.93	1.00	11	40	37	48
	背景音(透過音)	30(32)	30(35)	39(45)	46(54)	30(32)	30(35)	39(45)	46(54)

3.2 主観評価実験結果と考察

1) 聞こえ方のグレード

窓開閉条件別に、背景音レベルを2条件に変化させた場合の聞こえ方のグレードを表5に示した。また、前報に示した「透過音レベルと背景音レベルとの差」という物理量と聞こえ方のグレードとの関係を求めたものを図5に示した。

表5から次のことがいえる。

- ① LD系の場合、音源室・受音室の窓共に「閉→閉」のとき、背景音レベル30dBの条件では、聞こえ方のグレードはほぼ0.5（「かすかに聞こえる」）を示し、その他の窓開閉条件では、いずれも0.5を超える値を示した。また、背景音レベルが25dBの条件では、全ての窓開閉条件で0.5を超える値を示した。
- ② LD系と洋室系を比較すると、「閉→閉」（背景音レベルがいずれの場合でも1.0を示した）を除く各条件で、洋室系の方が聞こえ方のグレードは大きい値を示した。これは、窓開閉条件別に設定した2条件の背景音は、LD系と洋室系で同一レベルであるのに対し、洋室系の方が透過音レベルが大きいことによる。
- ③ 「閉→閉」の条件では、「10→10」の条件よりも、透過音レベルはLD系で7dB、洋室系で10dB小さいが、聞こえ方のグレードは、LD系ではやや大きい値を示し、洋室系ではほぼ等しい値を示した。これは、受音室の窓が閉鎖されることによって背景音レベルも小さくなるので、透過音レベルの大小だけではなく、背景音レベルとの相対的な関係で決まっているものと考えられる。
- ④ 背景音レベルを5dB上げると、いずれの背景音レベルでも1.0を示した「閉→閉」以外の条件では、聞こえ方のグレードは低下した。

また、図5からは次のことがいえる。

- ① 「閉→閉」、「10→10」、「開→開」の条件と「閉→閉」の条件を比較すると、聞こえ方のグレードは、やや「閉→閉」の条件の方が小さい値を示した。
- ② 前報で得られた回帰直線と比較すると、聞こえ方のグレードは、「透過音レベルと背景音レベルとの差」が-3dB以上+6dB以下の範囲内では、前報の回帰直線Aに対し、 $A-0.2$ の範囲内にほぼ入る結果を得た。

2) 単語理解度

窓開閉条件別に、背景音レベルを2条件に変化させた場合の単語理解度を表5に、前報に示した、「透過音レベルと背景音レベルとの差」という物理量と単語理解度との関係を図6に示した。

表5から次のことがいえる。

- ① 単語理解度が5%以下を示したのは、LD系の場合で、音源室・受音室の窓共に「閉→閉」のときで、背景音レベル30dBの条件だけであった。
- ② LD系と洋室系を比較すると、「閉→閉」を除く各窓開閉条件で、洋室系の方が単語理解度は大きい値を示した。これは、1)でも述べたように、各条件別の背景音は、両伝搬経路で同一レベルとしたのに対し、洋室系の方が透過音レベルが大きいことによる。
- ③ 「閉→閉」の条件では、「10→10」の条件よりも透過音レベルは小さいが、単語理解度は、LD系ではほぼ10%大きい値を示し、

洋室系ではやや大きい値を示した。これは、1)でも述べたように、透過音レベルと背景音レベルとの相対的な関係で決まっているからであると考えられる。

- ④ 背景音レベルを5dB上げると、全ての窓開閉条件で単語理解度は低下した。

また、図6から次のことがいえる。

- ① 「閉→閉」の条件では、他の3つの条件と比較すると、単語理解度は大きい値を示した。
- ② 前報で得られた回帰直線と比較すると、単語理解度は、「閉→閉」、「開→閉」、「10→10」の条件（「透過音レベルと背景音レベルとの差」が-3dB以上+11dB以下）では、前報の回帰直線Bに対し、 $B \pm 10\%$ の範囲内にほぼ入る結果を得た。

図5 「透過音レベルと背景音レベルとの差」と聞こえ方のグレード

図6 「透過音レベルと背景音レベルとの差」と単語理解度

4. まとめ

本報では、「窓開放」時の室間音圧レベル差の測定方法として、室内平均音圧レベルの算出方法の検討を行ない、JIS法を適用してよいことを示したうえで、実際の集合住宅における基礎資料を基に、窓開閉条件別に主観評価実験を行った結果、次のことがわかった。

① 洋室系（外廊下側の伝搬経路）とLD系（バルコニー側の伝搬経路）を比較すると、側路伝搬の影響が大きい洋室系の方が、透過音レベルが大きく、聞こえ方のグレード、単語了解度共大きい値を示した。

② 前報の結果と比較すると、主観評価量と「透過音レベルと背景音レベルとの差」との関係でみると、聞こえ方のグレードに関しては、前報の回帰直線より小さ目の値を示した。また、単語了解度に関しては、「閉→閉」、「開→閉」、「10→10」では前報の回帰直線に近い傾向を示しているが、「開→開」の条件では異なる傾向を示し主観評価量は大きい値を示した。

今後、さらに窓開閉条件と遮音特性との関係、背景音の影響についてデータの集積が必要である。特に入居者を対象とした主観調査が重要であると考えている。また、窓の開放時の単語了解度が、前報の回帰直線より大きい値を示すことについて、透過音レベルとの関係なども含め、検討課題として今後解明する必要があると考えている。

<参考文献>

- 1) 宮尾健一、大川平一郎、山崎芳男：透過音の主観評価に関する実験的検討、日本建築学会計画系論文集、No. 511、PP15～21、1998. 9
- 2) 宮尾健一、大川平一郎、山崎芳男：窓開放条件が室間平均音圧レベル差に与える影響に関する実験的検討、日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集 PP. 159～162、1998. 9
- 3) 宮尾健一、大川平一郎、山崎芳男：透過音の評価に関する実験的研究－第4報 窓を開放したときの隣戸への伝搬音の主観評価－、日本建築学会大会学術講演梗概集、PP. 151～152、1998. 9

(1999年5月27日原稿受理、1999年11月18日採用決定)