

# 側路伝搬音の予測手法に関する研究

## —その1 窓からの廻り込み音の予測手法—

稲留康一\* 飛松幸彦\*

### 1. はじめに

集合住宅などの隣接した2住戸間の遮音設計を行う場合、界壁の遮音性能のみに着目した検討が一般的になされてきた。しかし、遮音性能の高い界壁を使用した場合、期待していた性能が得られないといった問題が発生することが多い。これは、2住戸間の音の伝搬経路として、窓からの廻り込みや外壁固体音などの界壁以外の経路があるためであり、この伝搬音（側路伝搬音）の影響が大きいことに起因している。界壁のみによって決まる2住戸間の遮音性能を低下させないようにするためには、遮音設計時において、これらの側路伝搬音に対する十分な検討が必要である。

RC造の集合住宅では、側路伝搬音の中でも窓からの廻り込み音の影響が顕著に現れることが多い。この窓からの廻り込み音については、木村<sup>1)</sup>らによる1/10縮尺模型を用いた研究事例があるが、実大スケールで詳細に研究された事例は少ない。また近年では、室間に要求される遮音性能が高度化していることから、この経路からの伝搬音に対する実用的な予測手法が求められている。

そこで本研究では、集合住宅に設置されるバルコニーの影響を含めた窓からの廻り込み音に関する実用的な予測手法について、実大模型による実験的検討を行ったので、その結果について報告する。

### 2. 実験の概要

実験は、当社音響実験施設内の側路伝搬音実験室<sup>2)</sup>にて行った。実験室の概要を図-1に示す。この実験室は、界壁を含めT字型に試験体を設置できる開口を有しており、ここに一般的な集合住宅におけるバルコニーの実大模型を製作した。試験体の概要を図-2に示す。試験体には、バルコニーの戸境部に設けられる隔て板を、2室間の境界部分に図-3示すような8タイプ設けた。また、2室間の境界部に構造柱(□750×750)があることを想定した場合についても検討を行った。

試験体の材質は、壁、手摺り、柱を、石こうボード21mmの積層貼り(中空部にはグラスウール充填)とし、軒天は、石こうボード12mm厚を軽量鉄骨下地材に取り付けて設置した。窓や隔て板については、フレキシブル

ボード3mm厚とした。なお、受音室内はグラスウール貼りとし、吸音性を高めている。

### 3. 実験結果

#### 3.1 バルコニー内の伝搬

音源室内でピンクノイズ(100~5kHz帯域)を発生し、

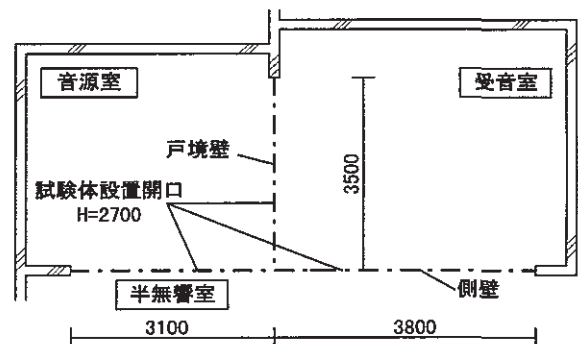


図-1 側路伝搬音実験室の概要

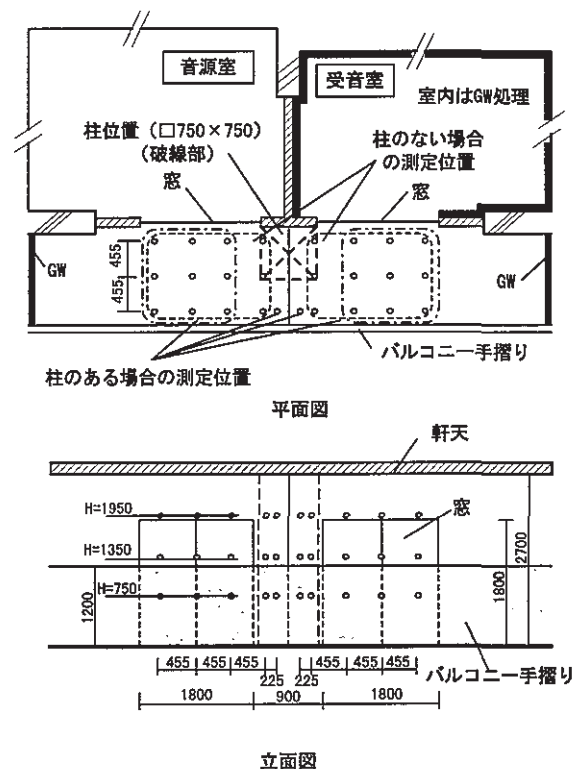


図-2 試験体および測定点の概要

\*環境研究室

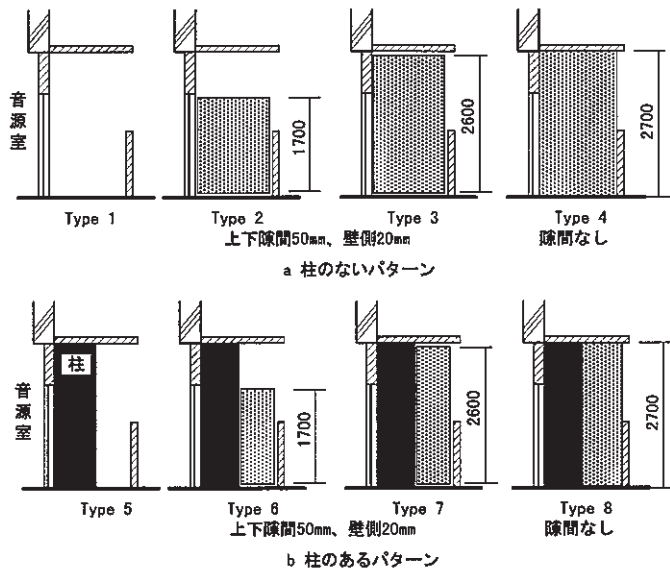


図-3 2室間の境界面仕様（隔て板）

図-2に示した測定点において音圧レベルを測定した。2室間の境界面仕様 Type 2（図-3）における各測定点における音圧レベル測定結果の一例を図-4に示す。これをみると、音源室側バルコニー内では、全周波数帯域にわたって 10dB 程度の差が見られるが、受信室バルコニー内では、低域では大きくばらついているものの、中・高音域では 3～5 dB 程度と幅となっており、各測定点間におけるばらつきは比較的小さいことがわかる。そこで、2室間の境界面（隔て板部）で音源側、受信側にバルコニーを空間分割し、その空間内の各測定点における音圧レベル測定値のエネルギー平均値を算出し、両者の差を求め、これをバルコニー内での減衰量とした。その結果を図-5、図-6に示す。これらの結果をみると、住戸間に設置した隔て板の隙間の違いが明確に現れており、隣室への音の伝搬に差がある。当然のことながら、隔て板周囲の隙間が少ないほうが減衰は大きい。隔て板を設置していない Type 1 の場合でも、3～4 dB 程度の減衰量が見られる。

つぎに、柱の有無に着目すると、柱がある場合のほうが減衰量は大きい。隔て板のない場合（Type 5）でも 10dB 以上の減衰量があり、柱の有無によりバルコニー内の減衰量が大きく異なることがわかる。

### 3.2 バルコニー外側の伝搬

3.1 に示した減衰量は、バルコニー内を伝搬する経路（隔て板を透過する経路）とバルコニーの外側を伝搬する経路（隔て板を回折する経路）の両方が含まれている。そこで、バルコニー外側の廻り込み音に関する基本的な傾向を把握するため、図-7に示すような試験体を製作して実験を行った。実験試験体の諸元（開口面積および開口間隔）を表-1に示す。

実験は、表-1に示した各条件について、図-7に示す測定位置でインテンシティ法（スキャニング法：32秒間）による、①音源室開口から放射される放射パワー

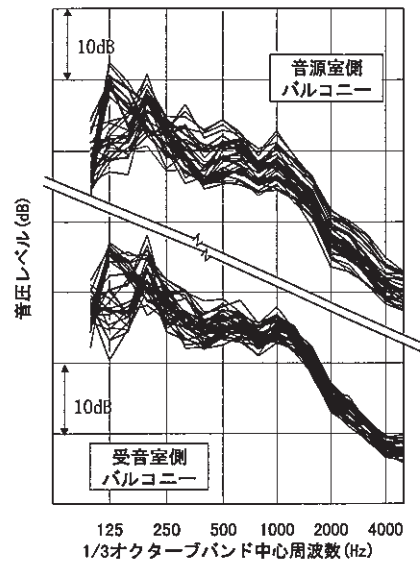


図-4 バルコニー内の音圧レベル測定例

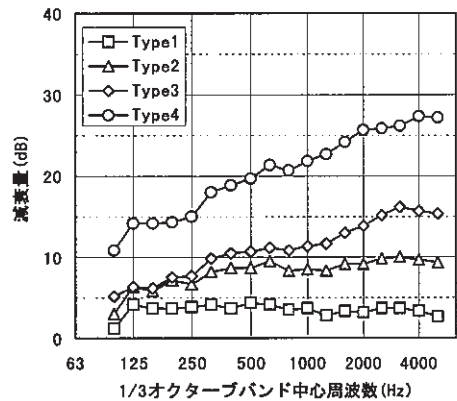


図-5 バルコニー内の減衰量測定結果（柱なし）

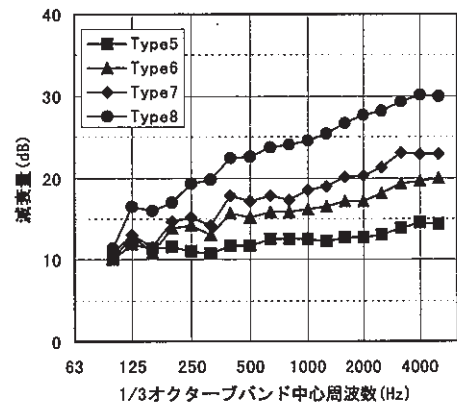


図-6 バルコニー内の減衰量測定結果（柱あり）

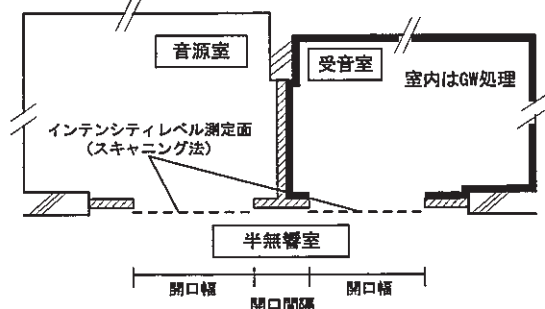


図-7 インテンシティ測定の概要

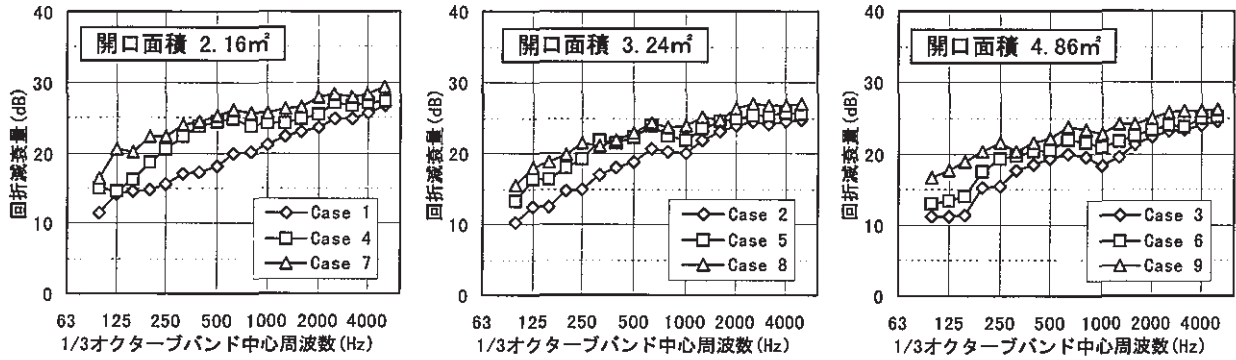


図-8 開口間隔が回折減衰量に与える影響

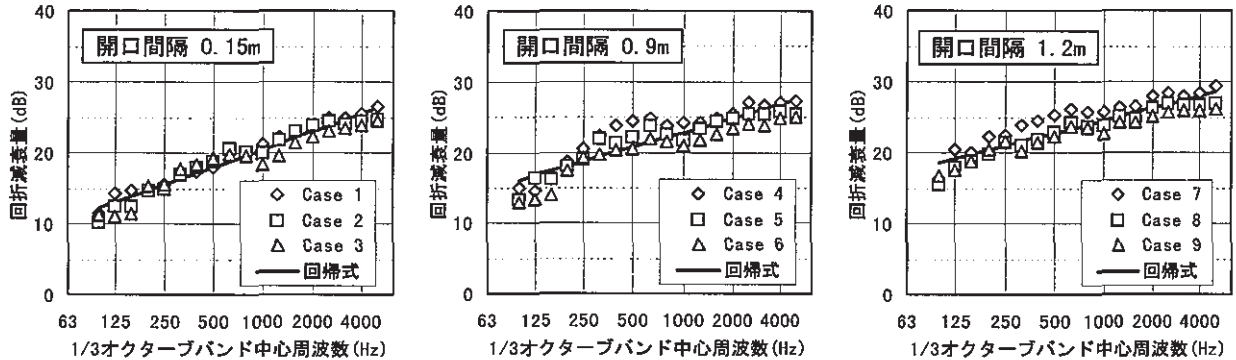


図-9 開口面積が回折減衰量に与える影響

表-1 開口間隔および開口面積

Case	開口間隔 (m)	開口面積 (m <sup>2</sup> )	開口幅 (m)	開口高さ (m)
Case 1	0.15	2.16	1.8	1.2
Case 2		3.24	1.8	1.8
Case 3		4.86	1.8	2.7
Case 4	0.9	2.16	1.8	1.2
Case 5		3.24	1.8	1.8
Case 6		4.86	1.8	2.7
Case 7	1.2	2.16	1.8	1.2
Case 8		3.24	1.8	1.8
Case 9		4.86	1.8	2.7

レベル、②受信室開口から入射してくる入射パワーレベルを求めた。放射パワーレベルと入射パワーレベルの差を、音源室から受信室に至る回折減衰量とした。その結果を図-8、図-9に示す。

図-8の結果をみると、開口間隔が増加するに従い、回折減衰量も増加していく傾向がみられる。特にこの傾向は低い周波数領域で顕著であり、全体に一般的な回折現象の傾向と同様な結果を示している。しかし、図-9の結果では、開口間隔が同じ場合には、開口面積が増加しても減衰量には差がそれほど生じていない。この結果から、バルコニー外側を廻り込んでくる経路に対しては、開口間隔の影響が大きいといえる。

図-9の開口間隔 0.15mにおける減衰量と、図-5および図-6に示したバルコニー内での減衰量を比較してみると、隔て板の仕様が Type 1~3、Type 5~7の時の減衰量より、本節で示した減衰量のほうが小さいことがわかる。この結果から、隔て板の周囲に大きな隙間が

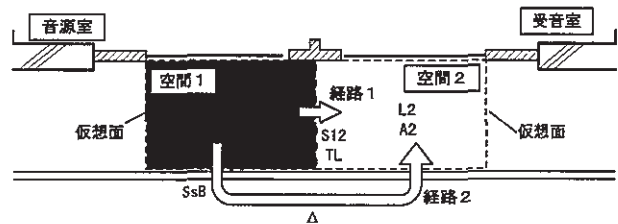


図-10 バルコニー内の伝搬経路

あるような仕様では、バルコニー外側を伝搬してくる経路の影響をほとんど無視できるものと考えられる。

#### 4. 窓からの廻り込み音予測手法

図-5および図-6の結果から、バルコニー内に柱がない場合とある場合では減衰量が異なるため、それら各々についてバルコニー内での減衰量に関する予測手法について検討を行った。

##### 4.1 柱のない場合

バルコニー内の音の伝搬経路を図-10に示すように仮定して、図中に示した経路1（隔て板を透過する経路）、経路2（バルコニー外側を伝搬する経路）に対する予測手法を検討した。

図-2に示した音源側バルコニー内および受信側バルコニー内の各測定点における音圧レベルの差がそれほど大きなものではないため、バルコニー内を隔て板を境界面とした空間1と空間2に分割し、各空間内を拡散音場と仮定した。

まず、経路1の計算は、音源室の窓からバルコニー

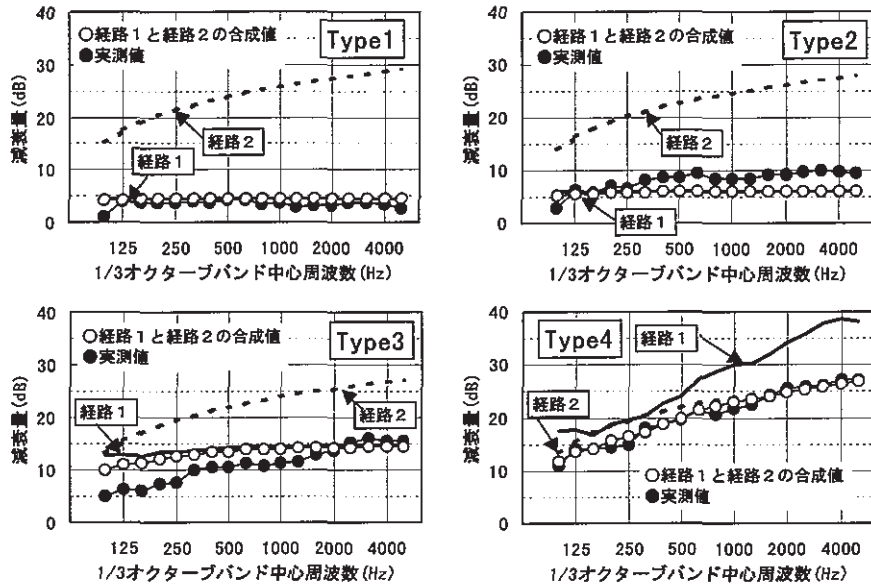


図-11 実測値と計算値の減衰量比較 (柱がない場合)

に放射されるパワーレベルを音源室内の平均音圧レベルと窓の音響透過損失から(1)式により求める。その窓からの放射パワーレベルから、空間1における平均音圧レベルを求める((2)式)。なお、このとき、空間1内の等価吸音面積は、壁、窓、手摺り、床、天井、隔て板を全反射と想定し、図中に示した仮想面および手摺り上部の開口を全吸音として求める。次に、境界面の音響透過損失を隔て板と周囲の隙間の影響を含んだ総合透過損失として求め、(3)式により空間2での平均音圧レベル  $L2'$  を求める。空間2の等価吸音面積  $A2$  は、空間1と同様、手摺り上部の開口部分の全吸音、他の部分を全反射として計算した。

$$PWL_{sw} = SPL_s - TL_{sw} + 10 \log(S_w) - 6 \quad \dots(1)$$

$$L1 = PWL_{sw} + 10 \log(4/A1) \quad \dots(2)$$

$$L2' = L1 - TL + 10 \log(S_{12}/A2) \quad \dots(3)$$

ここで、 $PWL_{sw}$ : 音源室窓からの放射パワーレベル(dB)、 $TL_{sw}$ : 窓の透過損失(dB)、 $S_w$ : 窓の面積 ( $m^2$ )、 $L1$ : 空間1の平均音圧レベル(dB)、 $A1$ : 空間1の等価吸音面積 ( $m^2$ )、 $TL$ : 境界面での総合透過損失(dB)、 $S_{12}$ : 境界面の面積 ( $m^2$ )

次に、経路2の計算は、空間1の平均音圧レベルから、3.2に示した実験結果をもとに計算を行う。まず、音源側バルコニー開口部(手摺り上部の開口部)からの放射パワーレベルを(4)式により求め、3.2に示した回折減衰値の実測値をもとに受音側バルコニーへの入射パワーレベルを算出する((5)式)。そして、(6)式により受音側バルコニー内での音圧レベルを求める。

$$PWL_{sb} = L1 + 10 \log(S_{sb}) - 6 \quad \dots(4)$$

$$PWL_{pb} = PWL_{sb} - \Delta PHL \quad \dots(5)$$

$$L2'' = PWL_{pb} + 10 \log(4/A2) \quad \dots(6)$$

ここで、 $PWL_{sb}$ : 音源室バルコニー開口部からの放射パワーレベル(dB)、 $S_{sb}$ : 開口面積 ( $m^2$ )、 $PWL_{pb}$ : 受音側バ

ルコニーへの入射パワーレベル(dB)、 $\Delta PHL$ : 回折減衰量 (dB)、 $L2''$ : 空間2の平均音圧レベル (dB)

図-3に示した各条件に対する経路1および経路2の計算結果を実測値とともに図-11に示す。これらを見ると、Type 1~Type 3のように、隔て板の周囲に隙間がある場合には、経路1の影響が顕著に現れており経路2の影響を考慮しなくても実測値と対応するような傾向にあるが、Type 2や Type 3の場合では、隔て板周囲の隙間の透過損失を0として計算しているためか、実測値との差が若干見られる。隔て板周囲に隙間のない Type 4では、経路1の影響よりも経路2の影響のほうが大きく、他の Type とは異なっている。これらの結果から、柱のない場合におけるバルコニー内の減衰量は、隔て板を境界面として空間分割することにより、容易に計算できるといえる。

柱がない場合の予測計算では、各空間の境界面(隔て板)の隙間の影響を含めた総合透過損失の見積もりかたや、回折減衰値の予測方法が今後の課題といえる。

#### 4.2 柱のある場合

柱のある場合の減衰量を4.1に示した方法で求めた結果を実測値とともに図-12に示す。Type 7およびType 8では、高音域で若干の差があるものの、比較的よく対応しているが、他のケースでは、4.1による減衰量よりも実測値のほうが大きく、減衰量を過小評価している。これは、Type 5およびType 6では、図-10に示した伝搬経路の中でも経路1による影響が大きいためであると考えられ、柱がある場合には柱部分で生ずる減衰量を考慮する必要がある。

そこで、図-13に示すように柱部分の空間を分割し、空間1(音源側バルコニー内)から空間4(受音側バルコニー内)へと(3)式により順次計算を行った。なお、空間1と2、空間3と4の間には、音響透過損失0の仮

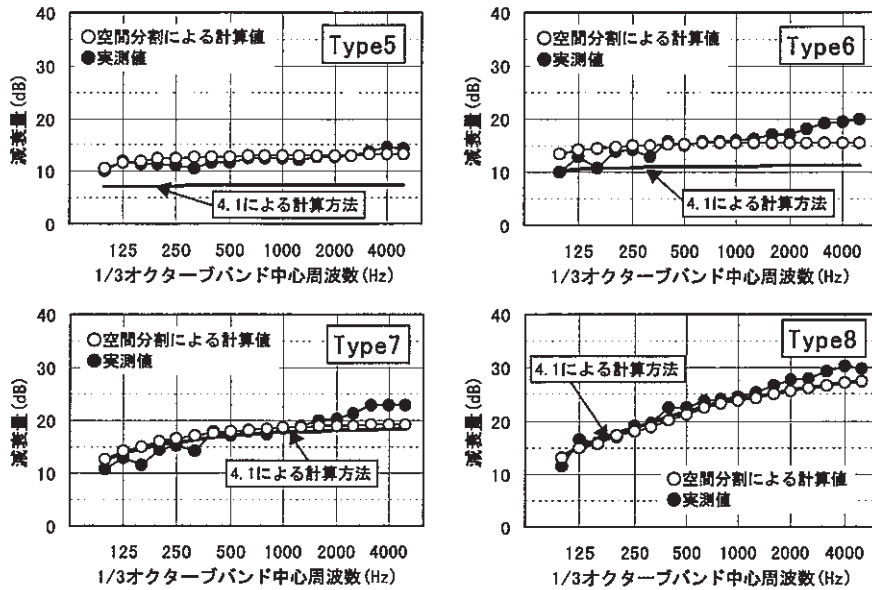


図-12 実測値と計算値の減衰量比較（柱がある場合）

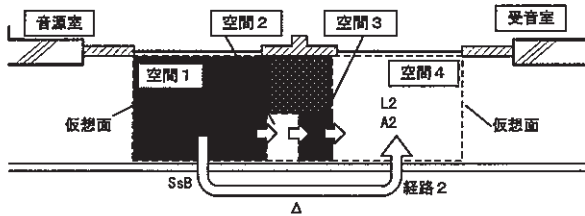


図-13 柱がある場合の伝搬経路と空間分割方法

想面を仮定した。その結果を図-12中に示す。4.1の方法で差が生じていた Type 5 および Type 6 でも、本節で示した方法によれば、実測値とほぼ対応する結果となることがわかる。これらの結果から、柱のある場合には、柱凹部を分割して計算することにより実測値との対応性が得られることがわかった。

## 5. 廊下ドアからの廻り込み音の予測

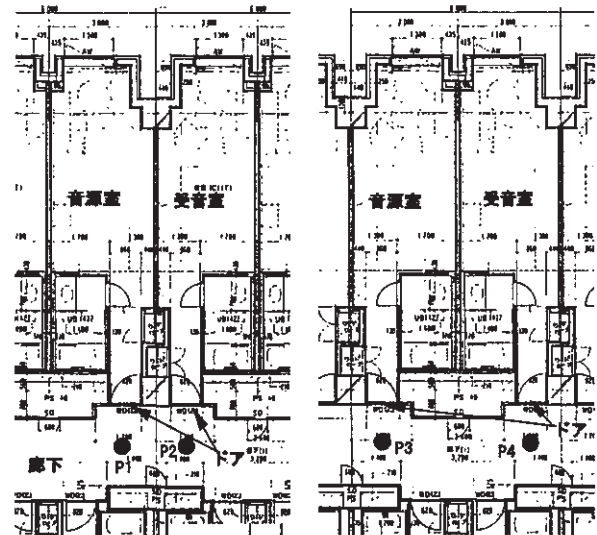
4章までは、集合住宅の窓からの廻り込み音予測手法について検討を行った。本章では、4章で示した予測手法をホテル客室間の遮音性能に影響を与えるドアからの廻り込み音の予測に適用した結果を示す。

実験対象は、SRC造（界壁および廊下側壁は乾式壁）のホテル客室である。客室の配置パターンを図-14に示す。音源室と受信室のドア位置は、a. ドアの近接しているタイプ（ドアの中心間距離 1.8m）、b. ドアの離れているタイプ（ドアの中心間距離 4.3m）の2種類であり、aの場合では、ドアからの廻り込み音の影響が懸念された。

### 5.1 ドアが近接している場合の予測方法

4章で検討した方法と同様、廊下内に仮想面を設定し、空間を分割して計算を行うこととした。

ドアの近接したタイプにおける空間分割方法を図-



a. ドアの近接しているタイプ b. ドアの離れているタイプ

図-14 ホテル客室の配置パターン

15に示す。空間2（受音点P2）における音圧レベルは、まず(7)式にて空間1内での音圧レベルを求めた後、空間1から2への音圧レベルを(8)式により求めた。なお、空間1と2の間には、透過損失0の境界面を設けた。また、仮想面、境界面の吸音率は、1.0と仮定し空間内の等価吸音面積を求めた。

$$SPL1 = SPLs - TL_{door} + 10 \log_{10}(S_{door}/A1) \quad \dots(7)$$

$$SPL2 = SPL1 - TL_b + 10 \log_{10}(S_b/A2) \quad \dots(8)$$

ここで、 $SPLs$ :音源室の平均音圧レベル(dB)、 $A1$ :空間1の等価吸音面積( $m^2$ )、 $TL_{door}$ :境界面の透過損失(dB)、 $TL_b$ :境界面の透過損失(dB)、 $S_{door}$ :ドア面積( $m^2$ )、 $S_b$ :境界面積( $m^2$ )、 $A2$ :空間2の等価吸音面積( $m^2$ )

計算結果を図-16に示す。P1（空間1）では、高音域で若干の差があるが、P2（空間2）では、空間1と2

の間に境界面を仮定したことにより、3 dB程度、空間1に比べレベルが低下し、実測値と概ね一致した傾向を示している。しかし、P1とP2のように近接した位置における音圧レベルを求める際に、境界面を設定することについては、若干の問題点も残されているものと考えられる。この件については、今後の検討課題としたい。ちなみに、空間1と2の間に境界面を設定せず、1つの空間として扱い(7)式のみから計算を行ってみると、図-16中に示すように、空間分割した場合の空間1とほぼ同じ結果となっている。

### 5.2 ドアの離れている場合の予測方法

ドアの離れているタイプにおける空間分割方法を図-17に示す。ここでも、仮想面および境界面の吸音率、透過損失などは前節と同様に設定し、空間1から4への音圧レベルを順次計算した。計算結果を図-18に示す。P4(空間4)での結果では、高音域で若干の差はみられるものの実測値とほぼ一致した結果が得られており、本稿で検討した方法により、廊下内におけるドアからの廻り込み音も予測可能であるものと判断される。

## 6. おわりに

集合住宅の2住戸間の遮音性能に影響を与える窓からの廻り込み音について実験的な検討を行い、以下のような知見を得た。

- ①バルコニー内の減衰量は、2住戸間の境界面に設置される隔て板部分の隙間を含んだ総合透過損失により異なる
- ②境界面に構造柱がない場合とある場合では減衰量は異なり、柱があるほうが隣室への伝搬騒音の減衰量が大きい
- ③バルコニー外側からの廻り込み音に対する減衰量は、開口面積よりも開口間隔に依存する
- ④境界面の総合透過損失が小さい場合には、バルコニー外側からの廻り込みの影響を無視できる
- ⑤バルコニー内を空間分割して予測する計算手法を提案し、実測値との対応性が良いことがわかった
- ⑥空間分割する予測手法は、窓からの廻り込み音だけではなく、ホテル客室の廊下からの廻り込み音の予測にも適用が可能である
- ⑦空間分割したエリア内を拡散音場と仮定することには若干の問題点も残されているが、予測精度や予測法の簡便さなどの面から、実務的には有用な方法であると考えられる

今後は、隔て板の周囲の隙間を含んだ総合透過損失の計算方法やバルコニー外側を伝搬する経路に対する予測手法についてさらに検討を行い、予測精度を向上していきたいと考えている。

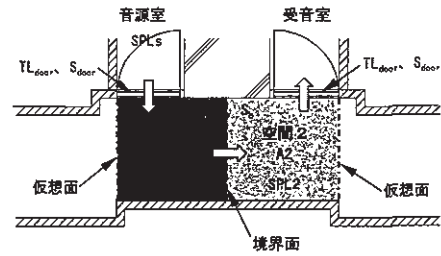


図-15 ドアが近接しているタイプの空間分割方法

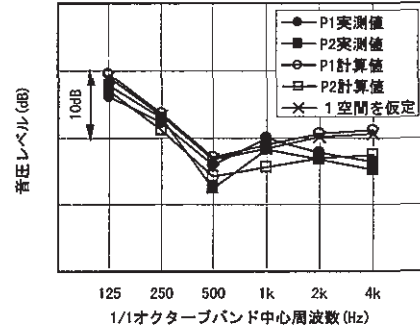


図-16 ドアが近接している場合の測定結果

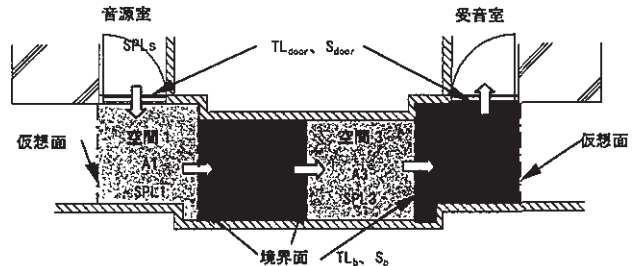


図-17 ドアが離れているタイプの空間分割方法

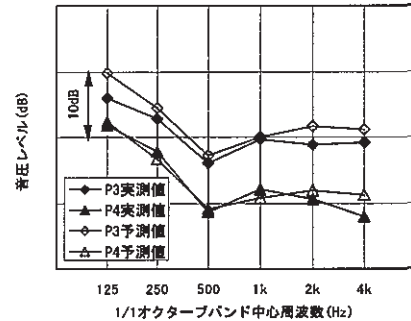


図-18 ドアが離れている場合の測定結果

### 【参考文献】

- 1) 木村、小堀「遮音性能に与える窓からの迂回路伝搬の影響」、音響技術、No. 61
- 2) 木村、飛松、稲留「側路伝搬音の影響に関する実験的検討」、日本建築学会大会学術講演梗概集、1994. 9
- 3) 木村、飛松、稲留、橋「側路伝搬音の影響に関する実験的検討・その3」、日本建築学会大会学術講演梗概集、1996. 9
- 4) 稲留、木村、飛松、橋「側路伝搬音の影響に関する実験的検討・その5」、日本建築学会大会学術講演梗概集、1998. 9