

# 遮音性能評価システムの改良

稲留康一\* 萩原武典\*\* 梅谷正彦\*\*\*

## 1. まえがき

音に係わらず、人間の五感で感じる建築物の性能については、パンフレットやモデルルームで見聞きして得た建物性能のイメージと現実性能の間の乖離が問題になることが多い。なかでも音環境性能については、個人の解釈がかなり異なる。例えば、風鈴などの音を風流と感じる人もいれば騒音と感じる人もいるなど、個人の感性や心理状態、周辺住人との関係などにも依存するといった複雑な問題を抱えている。そのような中で、音環境性能は数値として示されることが多く、その数値に対する意味を個人が勝手に解釈し過度な期待を抱くことも多々ある。

こうした問題を解決するために、予測計算や実測により求められた値を用いて、対象となる騒音データを個人の感性をも含んだかたちで評価が行えるように開発したのが“遮音性能評価システム”である<sup>1)</sup>。本稿では、既に開発した遮音性能評価システムに、開発後に研究開発した予測・対策技術を新たな機能として追加し拡充を行ったので、その概要を述べる。また、近年、超高層集合住宅の外壁部材として用いられることが多いALC版の外壁固体伝搬音の影響に関する実験結果と同システムへの適用について報告する。

## 2. 遮音性能評価システムの概要

遮音性能評価システムは、これまで理解しにくかった音環境性能の予測結果や実測結果を数値ではなく聴感的に表現することで、誰でもが理解できるようになることを目的としたシステムである。本システムでは、外部騒音、隣室騒音、床衝撃音、設備系騒音など主に集合住宅で問題となりやすい騒音源を対象としているが、ホテル、事務所、複合施設などの音環境評価にも適用できる。これらの騒音源に対する建物各部の遮音

性能の予測計算には、これまで音響実験施設や現場実験を通じて収集したデータ、研究開発してきた予測手法を適用している。

## 3. 改良遮音性能評価システムについて

### 3.1 システムの構成

遮音性能評価システムは、場所を選ばずどこでも音環境評価を行えるように可搬性を重視している。そのため、評価を行う場所（部屋）の音響特性を可能な限り無視できるように、密閉式の耳覆い形ヘッドホンを使用している。なお、本システムでは、ヘッドホン再生を前提としたシステムではあるが、室内の残響特性を無視できるような場合には、試聴を行う室内の受音位置で基準再生のレベルを設定することで、スピーカによる試聴音の再生も可能となっている。システムの写真を写真-1、システム構成を図-1に示す。改良したシステムは、これまでのシステムよりコンパクトな形状となっている。

遮音性能の予測計算および試聴音の作成はノート型コンピュータで行い、オーディオインターフェイスを介してヘッドホンで試聴音を再生する。使用しているハードウェア（ノート型コンピュータ）は Windows98



写真-1 遮音性能評価システム

\*技術研究所 \*\*東京支社建築設計部 \*\*\*関西支社建築設計部

以上の OS を搭載し USB 端子を有するパソコンであれば動作可能となっている。また、単一人ではなく、同時に複数の人が音環境の評価を行えるように、ヘッドホンを最大5個連結することができる。

試聴音の再生レベルは、実際に聞こえる騒音のレベルに近似させるため、音響実験施設の無響室において、①基準再生音に対するダミーヘッド実験、②スピーカおよびヘッドホンによる被験者実験により検証を行っている。

### 3.2 ソフトウェアの構成

ソフトウェア全体構成を図-2に示す。ソフトウェアは建物各部の音環境性能（遮音性能）の予測計算部と試聴音の再生部で構成されている。予測計算部と試聴音の再生部は独立しており、予測計算部を設計時に使用することを可能とした。

### 3.3 対象騒音源と予測法の概要

各騒音源に対する予測方法の概要を以下に示す。

#### a. 外部騒音

建物外部の道路交通、鉄道、工場などの騒音源に対する建物外周壁（外壁、開口部）の遮音性能を予測する。また、集合住宅やホテル客室では、自然給気口が設置されることが多い。これについても給気口の音響透過損失を定義することで考慮可能となっている。

#### b. 隣室騒音

隣接した2室間について、図-3に示すような各伝搬経路の影響を含んだ遮音性能を予測する。これまでの遮音設計では、図-3中の戸境壁の直接透過音のみを対象としていた。実際には、窓からの廻り込み音や外壁固体伝搬音などの側路伝搬音の影響により、期待していた戸境壁の遮音性能が得られないことが多い。そのため、当社では、音響実験施設内の側路伝搬音実験室<sup>2)</sup>において、これら側路伝搬音の影響に対する予測手法<sup>3), 4)</sup>を研究し、窓からの廻り込み音や外壁固体伝搬音を定量的に把握することができるようになってきている。本システムでは、これら側路伝搬音の影響を考慮した総合的な遮音性能を解析することによって、精度の高い予測計算が可能となっている。

#### c. 床衝撃音（標準加振源）

床衝撃音の評価に用いる標準加振源（重量：バングマシン、軽量：タッピングマシン）による床衝撃音遮断性能を予測する。また、近年採用されることが多くなってきた大型スラブ（ボイドスラブ）や、重量

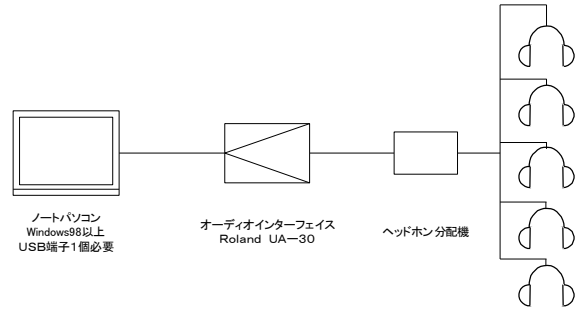


図-1 システム構成

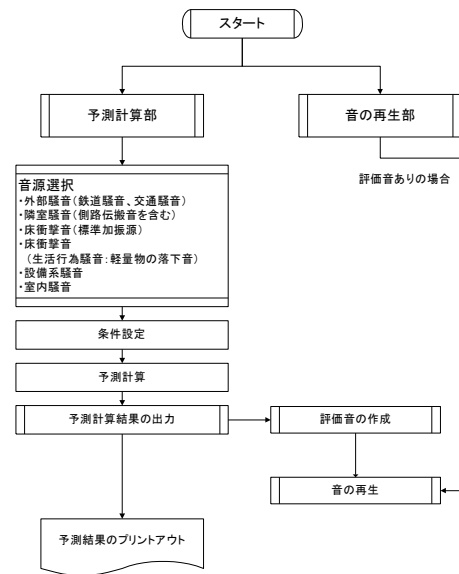


図-2 ソフトウェアの概要

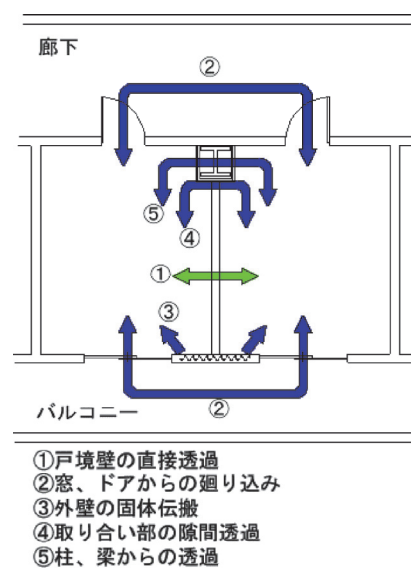


図-3 2室間の音の伝搬経路

加振源で床衝撃音レベルを増幅する要因となることが多い天井懐を持った仕上げ天井の影響を考慮した予測計算も可能となっている。

d. 床衝撃音（軽量物の落下音）

前記した床衝撃音レベルは建物の音環境性能を示す一般的な指標値であるが、実際に問題となる子どもの走り回る音や食器などが床に落下したときの床衝撃音遮断性能を予測する。

そのために、一般的に使用される各種床下地構造（直貼り床、発泡プラスチック床、乾式遮音二重床）に対して、当社音響実験施設内の床衝撃音実験室に前記した各種床仕上げを施工し実験を行った。実験状況を写真-2に示す。ゴルフボールやスプーンなどの軽量物が落下する場合について、床仕上げ施工前（裸スラブ）と床仕上げ施工後の床衝撃音レベルを測定し、床衝撃音レベル低減量（床材での対策効果）を実験で求めた。裸スラブと仕上げ後の床衝撃音レベルの差（床衝撃音レベル低減量）について、軽量床衝撃音発生源（タッピングマシン）と実衝撃源（ゴルフボール）での床衝撃音レベル低減量の差を比較した結果の一例を図-4に示す。直貼り床では、軽量床衝撃源でのレベル低減量が実衝撃源に比べ大きくなっていることがわかる。さらに、同様な実験を実現現場でも行っており、これらの実験結果をもとに実衝撃源に対する試聴音の予測計算を行っている。なお、軽量物落下音に対する床材の床衝撃音レベル低減量については、

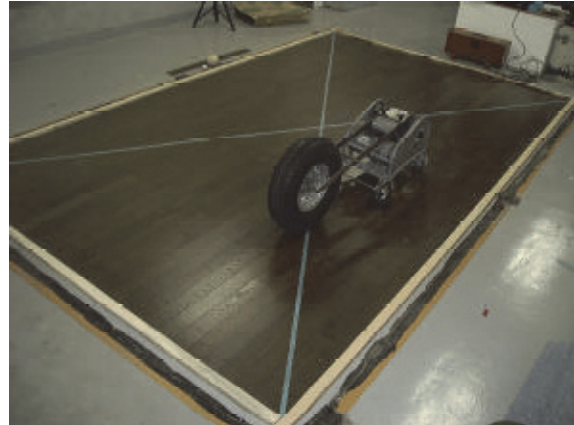


写真-2 床仕上げの影響に関する実験状況

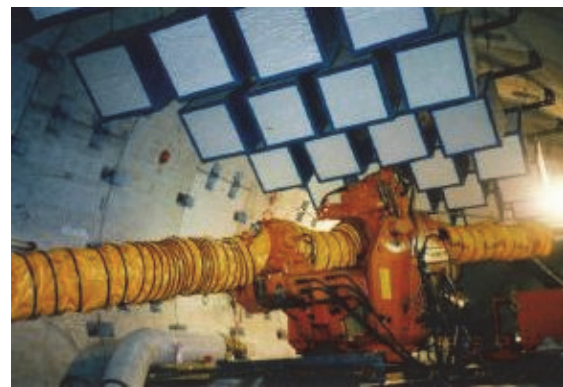


写真-3 吊り下げ吸音体  
（シールドトンネル内施工例）

今後も継続して実験を行いデータの充実を図っていく予定である。

e. 室内騒音

工場の機械音など室内で発生する騒音に対して音圧レベルを予測する。工場内の吸音対策効果や吊り下げ吸音体<sup>5)</sup>（写真-3）を用いた場合の効果を聴感的に確認することができる。

3.4 試聴音の作成

予測した結果をもとに、対象となる各部の減衰量に応じた周波数ごとのバンドパスフィルターを作成し、それらを合成することにより FIR フィルター係数を求める。体験したい騒音源データを選択し、騒音源データ（波形）と FIR フィルター係数の畳み込み演算により試聴音を作成する。

3.5 試聴音の再生

作成した試聴音データは、図-5に示す画面で単独もしくは組み合わせを選択して試聴することができる。事務室や会議室では、空調騒音と他の騒音の組み合わせ、集合住宅では、外部騒音と床、隣室などの騒音を

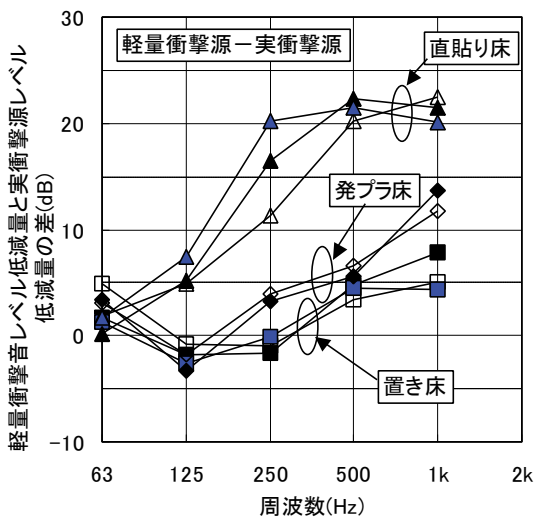


図-4 軽量衝撃源によるレベル低減量と実衝撃源によるレベル低減量の差の一例



図-5 試験音の選択画面

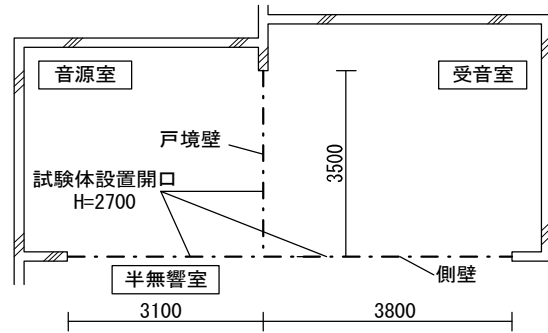


図-6 実験室の概要

組み合わせて評価することにより、対象室内もしくは周辺環境の影響を含んだ現実的な評価を可能とした。

#### 4. 外壁固体音の実験結果とシステムへの適用<sup>4), 6)</sup>

近年、超高層集合住宅では、外壁部材にALC版を採用することが多い。この場合、3.3節bに示した隣室騒音の伝搬経路の中でも外壁を振動伝搬し室内で放射する外壁固体伝搬音(図-3の③)の影響が大きくなる懸念されるため、外壁固体音に対する対策法を詳細に検討する必要がある。

そこで、外壁がALC版である場合における外壁固体音の影響について、外壁側内装壁下地仕様の違いに着目した遮音性能の測定例を用いて、本システムでは、これらの仕様の違いを試聴できるようにした。本章では、外壁固体伝搬音の影響度合いについての実験結果について述べる。

##### 4.1 実験概要

図-6に示す実験室<sup>2)</sup>に外壁(ALC版100mm厚)、戸境壁(自立型乾式遮音二重壁(カタログ性能:Rr-55相当))からなる試験体を製作し実験を行った<sup>3)</sup>。この試験体の内装下地には、ALC版(100mm厚)に現場発泡ウレタンを20mm吹き付け後、図-7に示すような直貼り工法(Type1)、木下地(Type2)、軽量鉄骨下地(Type3、Type4)といった実施工でよく用いられるものを施工した<sup>4)</sup>。なお、Type4の改良型スタッドとは、ALC版の変形に追従できる特殊な鋼製下地である。音源室および受信室に対する内装下地の組み合わせを表-1に示す。

##### 4.2 遮音性能の測定結果

表-1に示した各Caseにおける室間音圧レベル差の測定結果を図-8(Case1~Case4)、図-9(Case5、6)に示す。なお、図中には、内装壁未施工時(ウレ

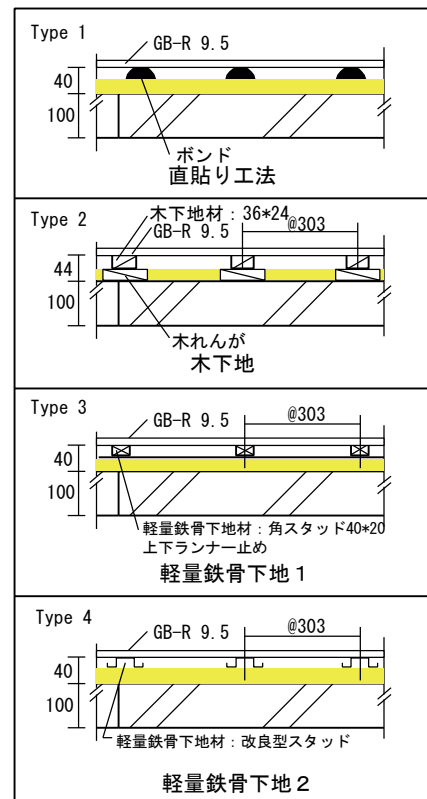


図-7 試験体の概要

表-1 試験体の組み合わせ

	音源室	受信室
Case1	Type1 直貼り工法	Type1 直貼り工法
Case2	Type2 木下地	Type1 直貼り工法
Case3	Type3 軽量鉄骨下地1	Type1 直貼り工法
Case4	Type4 軽量鉄骨下地2	Type1 直貼り工法
Case5	type2 木下地	type2 木下地
Case6	Type3 軽量鉄骨下地1	Type3 軽量鉄骨下地1

タンは施工済み) およびCase1 に石こうボード9.5mmを増し貼りした場合の遮音性能測定結果を併せて示した。

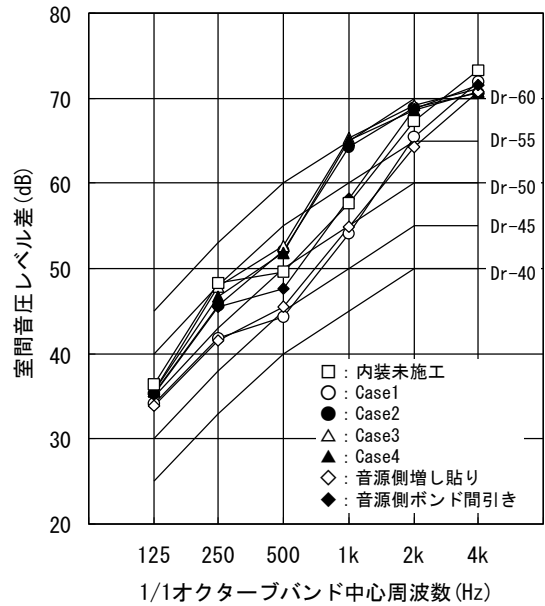
まず、**図-8**の音源室の内装壁下地を変化させた場合の結果をみると、内装壁未施工時と比べ、Case1 では外壁固体音の影響により遮音等級で1ランク性能が低下している。音源室側に石こうボードを増し貼りした場合には、若干の効果は現れているものの、遮音等級を改善するには至ってはならず、片側だけの増し貼りでは有効な対策とは言えない。しかし、音源室側を直貼り工法から他の内装下地に変更 (Case 2~Case 4) すると、直貼り工法で遮音欠損が生じていた250Hz、500Hz 帯域および1kHz 帯域での遮音性能が改善されるようになる。直貼り工法に比べ遮音等級では1ランクの改善となっており、内装材未施工時と同程度まで改善されている。

つぎに、両室内を直貼り工法から他の下地に変更した場合 (**図-9**) では、**図-8**に示した結果よりも、500Hz 帯域ではさらに遮音性能を改善することができる。直貼り工法 (Case1) の両室に増し貼りをした場合でも、他の Case に比べれば改善効果は若干劣るものの遮音等級で1ランク程度の改善は期待できそうである。

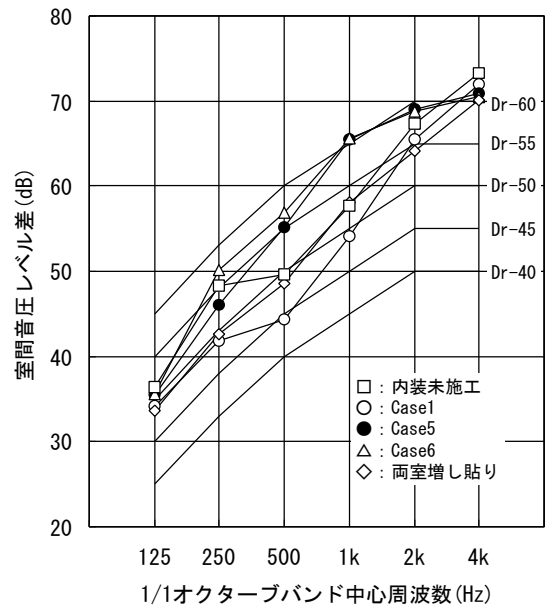
**4.3 外壁ALC版をカットした場合の効果**

外壁ALC版の界壁部分 (T字交差部分) をカットしたことによる効果を示す。カットは、ALC版が設置された状態で行い、丸鋸 (カッター幅2mm) にて切断した。なお、ALC設置用に設けられる上下のLアングルについてはカットしていない。カット幅は2mmと40mmとし、40mmの場合にはスリット部分にグラスウールを充填し、表面をシール処理した。**図-10**にALC版カット部の詳細を示す。

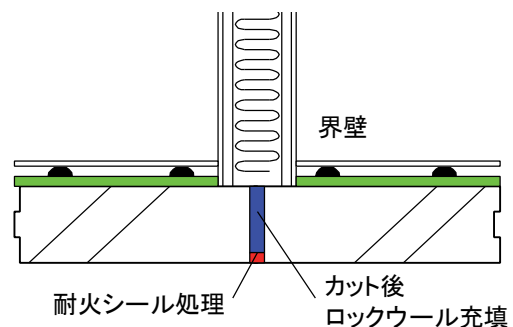
Case1 (両室直貼り工法) における外壁ALC版の戸境壁付近の振動測定結果を**図-11**に示す。カットしなくても戸境壁と外壁の交差部分では、戸境壁へのエネルギー伝達 (交差減衰) や、外壁ALC版の剛性が低いため戸境壁が支点として作用していることなどが要因と考えられるレベル差が生じている (250Hz で10dB程度、500Hz で5dB程度)。ALC版をカットした効果は、2mmカット、40mmカットの双方で得られており、2mmカットでも250Hz で7dB、500Hz、1kHz で5dB程度ある。



**図-8 実験結果 (Case1 から Case4)**



**図-9 実験結果 (Case5、Case6)**



**図-10 カット部の概要**

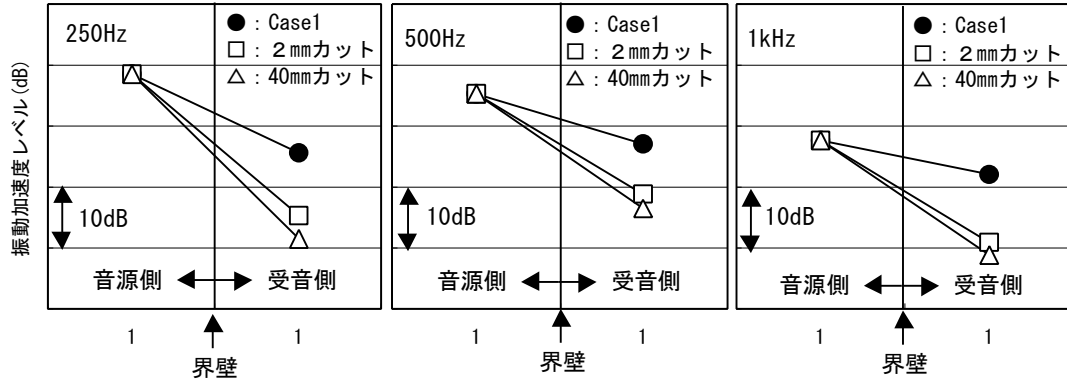


図-11 カット部における振動測定結果

カット後における遮音性能測定結果を図-12 に示す。受信室に伝搬する振動が少なくなるため、室間音圧レベル差は向上している。無対策時とカット後のレベル差（対策効果）は、図-11 に示した外壁ALC版での振動低下量と同程度であり、2mm程度のカットでも遮音等級で1ランク程度の改善が図られている。

4.4 本システムへの適用

遮音性能評価システムでは、図-3 に示した側路伝搬音を考慮した予測を行うことができる。当社の予測手法では、各伝搬経路の影響を分割して計算するため、本章に示した測定例を用いて、外壁固体伝搬音に対する外壁側内装下地仕様の違いを聴き比べることが可能である。

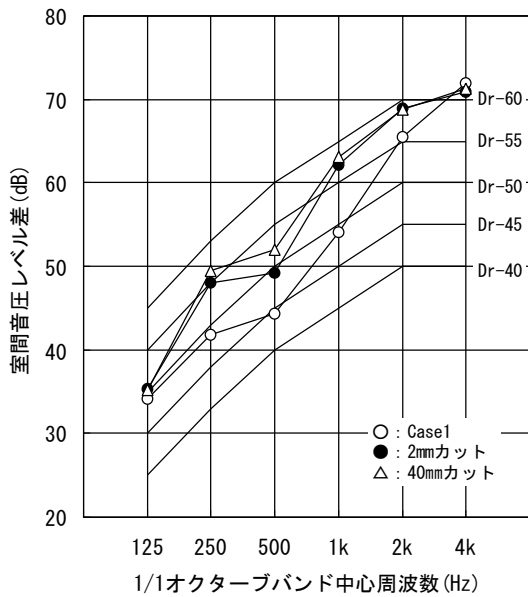


図-12 カット後の遮音性能測定結果

5. あとがき

本稿では、今回改良した遮音性能評価システムについて報告した。実務において、本システムは以下の場面に適用が可能であると考えられる。

- ① 建物の基本計画および実施設計における音環境性能の確認
- ② 専門的知識を持たない方への音環境性能のプレゼンテーション
- ③ 仕様変更時など提案仕様の妥当性検討およびプレゼンテーション

さらに、音の再生時に動画を組み合わせて、物が落下する様子をビジュアルに表現することも検討中であり、わかりやすく騒音の影響をプレゼンテーションできるツールとなるように改良を進めていく予定である。

【参考文献】

- 1) 飛松、稲留ほか、「遮音性能評価システムの開発」、奥村組技術研究年報、1997
- 2) 飛松ほか、「音響実験棟の音響性能」、奥村組技術研究年報、1993
- 3) 稲留、飛松、「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—」、奥村組技術研究年報、2000年
- 4) 稲留、飛松、「側路伝搬音の予測手法に関する研究—その2 外壁固体音の入射・放射面積と対策法に関する研究—」、奥村組技術研究年報、2001年
- 5) 飛松、稲留ほか、「吊り下げ吸音体の開発」、奥村組技術研究年報、1995
- 6) 稲留ほか、「外壁側内装壁下地仕様の違いによる遮音性能測定例」、日本騒音制御工学会研究発表会、2000.9