

# AAB 建築工法による建築構造物の遮音効果

増田隆\*

## Sound Insulation Effect of Building Structures by the AAB Architecture Method

Takashi MASUDA

### Synopsis

The AAB architecture method is the method developed in Canada. This method uses 180mm reinforced concrete and 55mm styrene foam. Features are soundproofing, adiabaticity it is dampproof. Then, in this study, sound insulation effect of wood method wall and AAB method wall was compared and was examined. By the field measurement, the merit of the AAB method was confirmed. The equation was calculated by the experiment.

### 1. まえがき

近年, 生活レベルの向上に伴い居住環境の質的向上が求められている. 音が異なった媒質へ伝わるとき, 媒質の物理的性質の違いによってその境界面で反射, 屈折, 吸収及び透過現象が起こる. 媒質の境界面に入射する音のパワーは媒質によって反射されるパワー, 屈折, 吸収及び透過されるパワーに区分される. そこで, 遮音のメカニズムを図 1 に示した. 音の性質を考えると, 音の波長すなわち周波数の違いによって, その伝搬の仕方が異なる. 音の屈折は音が進行する方向が変化する現象で媒質の密度変化などにより媒質の境界面で起こる. 音の吸収は媒質に音が入射したとき, 反射して返ってこない音のエネルギーの定義である. 音の透過は媒質に入射した音が反対側へ透過する現象で質量則(mass law)に従う.

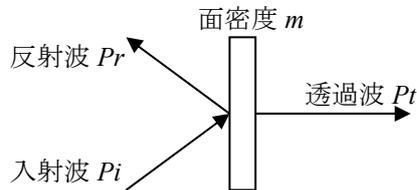


図 1 単層構造壁の遮音メカニズム

AAB 工法は, 先ごろカナダで開発された鉄筋コンクリートの壁式構造を重視した建築工法で, 厚さ 180mm の鉄筋コンクリートを, 厚さ 55mm の発泡断熱材でサンドイッチにした特徴を持つ建築工法である. この工法は, 遮音効果が大きく

地震等に強く防湿性や断熱性に富んでおり, 工期が短縮出来るなど多くの特徴を有している. そこで, 本論では遮音性の面から建築構造物図面を基に壁面モデルを設定し, 木質工法建築構造物と AAB 工法建築構造物の総合透過損失を算出し, 遮音性能を検討評価した.

### 2. 遮音設計<sup>1), 2)</sup>

総合透過損失の算出にあたり壁, ガラス戸及び窓ガラス等の理論値算出に必要な諸条件から, 壁の透過損失, ガラス戸及び窓ガラスの透過損失を算出する. 次に, 測定現場の壁面構造から一方向面の総面積を割り出し, 個々の壁面材の物性表をもとに総合透過損失を算出する.

#### 2-1. 壁面の透過損失

図 1 に示すように, 無限大の単層構造壁に角度  $\theta$  で入射する平面音波を考える. このときの入射波, 反射波及び透過波を  $P_i$ ,  $P_r$  及び  $P_t$  とおく. そこで,  $Z_m$  を単層構造壁の単位面積当たりの機械インピーダンスとすると, 入射角  $\theta$  に対する単層構造壁の透過損失は(1)式のように表せる. また, 単層構造壁の音響透過率を  $\tau_\theta$ , 空気の密度を  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>], 空気中の音速を  $c$  [m/s] とすると, 一般的に  $Z_m$  は  $j\omega m$  とおけるから(1)式の透過損失は, 音波の入射角と周波数及び単層構造壁の面密度で決定される.

$$\begin{aligned}
 TL_\theta &= 10 \log \frac{1}{\tau_\theta} = 10 \log \left| \frac{P_i}{P_t} \right|^2 \\
 &= 10 \log \left| 1 + \frac{Z_m \cos \theta}{2\rho c} \right|^2 \quad (1)
 \end{aligned}$$

\* 電子工学科

そこで、壁の面密度を  $m[\text{kg/m}^2]$  とすると、入射波が垂直入射波の場合の基本形では透過損失は(2)式で求められる。

$$TL_0 = 10 \log \left[ 1 + \left( \frac{\omega m}{2\rho c} \right)^2 \right] \quad (2)$$

また、 $\omega m \gg 2\rho c$  の条件が適用出来るときは(3)式で表される。

$$TL_0 \cong 10 \log \left( \frac{\omega m}{2\rho c} \right)^2 \quad (3)$$

2重サッシのガラス戸は、板ガラスと板ガラスの間に 70mm 程度の間隔(中空層厚)があると仮定し、垂直入射波に対する透過損失を算出する。また、一般的に空気密度は  $1.3[\text{kg/m}^3]$ 、空気中の音速は  $340[\text{m/s}]$  とする。

壁面材の密度、面密度は材料の物性表の数値を用いて算出する。尚、EPS 板にもある程度の透過損失は存在するが、AAB 工法ではコンクリート厚による遮音性能が高いので、本論では EPS 板の透過損失は考えないことにした。

次に、ランダム入射波に対する透過率  $\tau$  は(4)式で定義される。

$$\tau_r = \frac{\int_0^{\pi/2} \tau_\theta \cos \theta \sin \theta d\theta}{\int_0^{\pi/2} \cos \theta \sin \theta d\theta} \quad (4)$$

また、(1)式の  $\tau_\theta$  を(4)式に代入すると、入射波がランダム入射時の透過損失は(5)式のように表せる。

$$\begin{aligned} TLR &\cong 10 \log(1/\tau_r) \\ &= 10 \log \left( \frac{\omega m}{2\rho c} \right)^2 - 10 \log \left\{ \ln \left[ 1 + \left( \frac{\omega m}{2\rho c} \right)^2 \right] \right\} \end{aligned} \quad (5)$$

### 2-2. コインシデンス現象

壁面(板ガラス)は、様々な角度で入射する音圧の強弱によって強制屈曲振動が起こる。強制屈曲振動が発生したときの波長( $\lambda \sin \theta$ )が、壁面(板ガラス)が自由屈曲振動する場合の屈曲波の波長( $\lambda_0$ )と等しくなると、壁(板ガラス)は振動しやすくなり、その透過損失は著しく低下する。この現象をコインシデンス現象という。そこで、透過波と垂直な成分の波長  $\lambda$  に対し、屈曲波の伝搬方向の波長は  $\lambda_0$  であるから、コインシデンスの生じる

周波数は(6)式のようになり、音波の入射角によって変化する。

$$f = \frac{c^2}{2\pi \sin^2 \theta} \sqrt{\frac{m}{B}} \quad (6)$$

また、コインシデンスの生じる最低の周波数をコインシデンス限界周波数といい(7)式で表される。

$$f_c = \frac{c^2}{2\pi} \sqrt{\frac{m}{B}} \quad (7)$$

### 2-3. 共鳴透過現象

窓ガラス等に使用される中空二層構造の組板ガラスをペアガラスという。この中空二層構造のペアガラスには通常共鳴透過が発生し、その周波数帯域(基本的に低域周波数帯域)では透過損失が低下する。この現象を共鳴透過現象という。そこで、中空層厚を  $d[\text{m}]$  とすると、中空二重構造ペアガラスの共鳴透過周波数は(8)式のように表される。

$$f_r = \frac{1}{2\pi \cos \theta} \sqrt{\frac{2\rho c^2}{md}} \quad (8)$$

### 2-4. 壁面の総合透過損失

建築構造物内の音圧は、全ての壁面方向や床面及び天井面からの入射音が影響する。そこで、測定では音源方向からの音圧に比べ、他の方向からの音圧に大きな差が生じるように、音源の音圧レベルを強くして測定する。このようにすると、音源に面した方向のみの壁面から影響する音圧によって透過損失が決まり、総合透過損失を精度よく測定出来る。そこで、総合透過損失には壁面以外の部位が大きく左右する事になる。また、壁面の透過率を  $\tau$ 、壁面の面積を  $S$  とおくと、各壁面の総合透過損失  $TL$  は(9)式で表せる。

$$TL = 10 \log \left( \frac{\sum S_i}{\sum \tau_i S_i} \right) \quad (9)$$

### 3. 現場測定法<sup>1), 3) ~ 9)</sup>

建築現場における測定は、一般的に以下の項目について測定される。測定は3現場で実施した。そこで、音圧測定と音波発生の様子を図2及び図3に示した。次に、環境騒音の測定方法とAAB工法建築構造物における総合透過損失の測定方法について述べる。

○環境騒音の測定



図 2 屋外二階部の音圧測定の様子



図 3 屋外一階部の音波発生の様子

- 室内のメッシュレベル測定
- 外壁の透過損失
- 室内音圧のレベル周波数分析
- 残響時間の測定
- 間仕切り壁の透過損失

### 3-1. 環境騒音の測定

JIS に基づく測定法で、宅地境界線上 1.2m にサウンドレベルメータ (SLM) を設置し、オクターブバンドアナライザ (OBA) で周波数分析する。周波数分析では、音圧レベル ( $L_p$ ) 及び騒音レベル ( $L_A$ ) を測定する。

### 3-2. 室内のメッシュレベル測定

JIS に基づく測定法で、測定室の基準点から 50cm 間隔に縦横にメッシュ線を引き、その交点を測定点とする。音源スピーカ (SP) からホワイトノイズ (WN) を発生させ、測定点で  $L_p$  及び  $L_A$  を測定する。

### 3-3. 外壁の透過損失

JIS に基づく測定法で、SP から WN を発生させ、外壁の内外 1m、測定室中央、間仕切り壁 1m の

測定点において、SLM で  $L_p$  を測定し OBA で周波数分析する。

### 3-4. 室内音圧のレベル周波数分析

JIS に基づく測定法で、SP から WN を発生させ、測定点において周波数毎の  $L_p$ 、 $L_A$  及びオーバーオールレベル ( $L_o$ ) を測定する。

### 3-5. 残響時間測定

JIS に基づく測定法で、SP から WN の断続音を発生させ、測定室の中央部に置かれたマイクロホンで  $L_p$  を測定し、OBA で周波数分析しレベルレコーダ (LR) で残響時間特性を描く。LR の残響時間特性より残響時間を算出する。実際の残響時間の定義は 60[dB]減衰した時間であるが、JIS の測定値処理法を用いる測定では、30[dB]減衰した時間を 2 倍した時間を残響時間としている。

### 3-6. 間仕切り壁の遮音効果測定

JIS に基づく測定法で、建築物の測定室間の壁を間仕切り壁といい、片方の部屋に SP をセットし、もう一方の測定室を受音室として間仕切り壁の  $L_p$  及び  $L_A$  を測定する。

## 4. 建築構造物壁面構造<sup>1), 4), 5), 10)~13)</sup>

各現場の音源方向に対する壁面構造を図 4~図 10 に示した。図 4 は A 現場一階南側で居間と玄関の壁面構造を示している。図 5 は A 現場一階西側で居間と玄関の壁面構造を示している。図 6 は A 現場二階南側で洋間と廊下の壁面構造を示している。図 7 は A 現場二階西側で洋間 1 と洋間 2 の壁面構造を示している。図 8 は B 現場一階南側で寝室と浴室の壁面構造を示している。図 9 は B 現場一階西側で居間、玄関と寝室の壁面構造を示している。図 10 は B 現場二階西側で洋間とホールの壁面構造を示している。

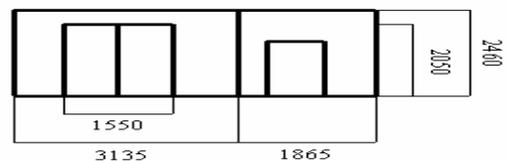


図 4 A 現場一階南側壁面

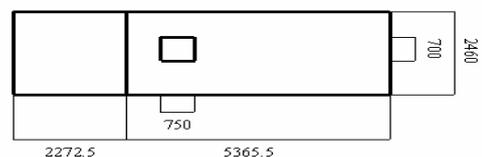


図 5 A 現場一階西側壁面

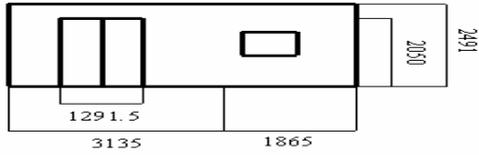


図6 A現場二階南側壁面

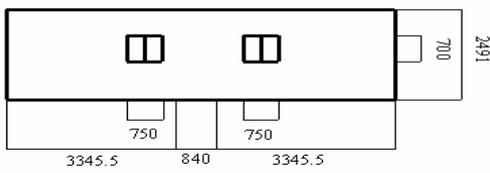


図7 A現場二階西側壁面

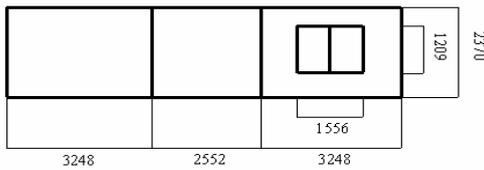


図8 B現場一階南側壁面

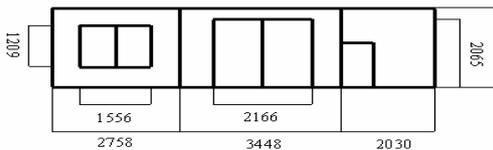


図9 B現場一階西側壁面

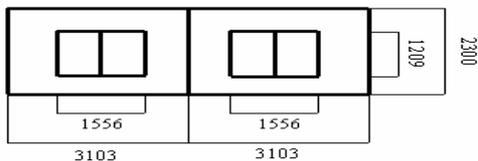


図10 B現場二階西側壁面

5. 測定結果及び検討

前述3の現場測定法に基づき、A現場では一階及び二階の4箇所、B現場では一階及び二階の3箇所でJISの測定法で透過損失を測定した。この測定は、建築構造物の床面（FL）1.2mの高さにマイクロホンを設置し、SLMを用いて外壁内外のOBのLpを測定し、その差を総合透過損失の

実測値とした。

5-1. AAB工法建築構造物現場の透過損失

AAB工法建築構造物の総合透過損失について、各現場の各壁面における総合透過損失を算出し、その特性図を図11～図17に示した。その中で図11～図14は、マンション形体の建築構造物の特性で、図15～図17は、一戸建形体の建築構造物の特性である。理論値は設計図を基に諸条件を適用して算出した。A現場及びB現場のAAB工法建築構造物の総合透過損失は、図11～図17図の特性から、理論値に比べ実測値の透過損失が

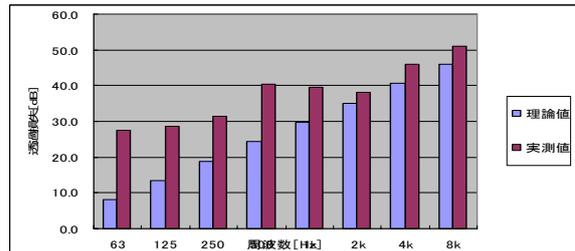


図11 AAB工法建築構造物の総合透過損失 (A現場一階南側音源)

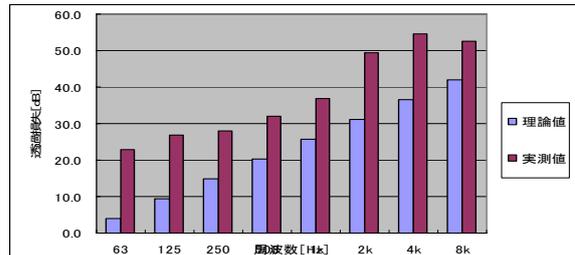


図12 AAB工法建築構造物の総合透過損失 (A現場一階西側音源)

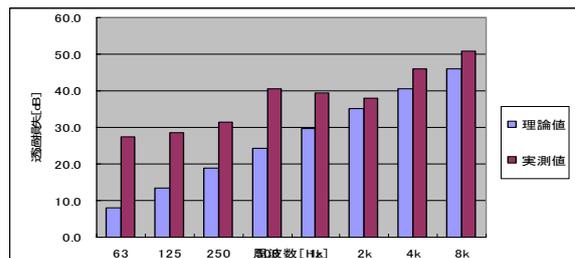


図13 AAB工法建築構造物の総合透過損失 (A現場二階南側音源)

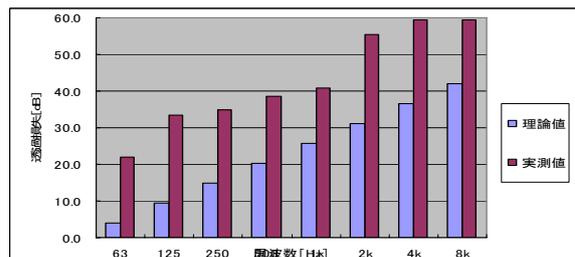


図14 AAB工法建築構造物の総合透過損失 (A現場二階西側音源)

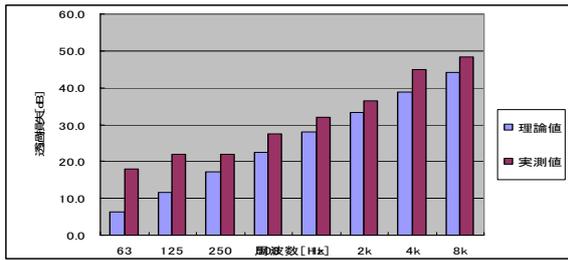


図 15 AAB 工法建築構造物の総合透過損失 (B 現場一階南側音源)

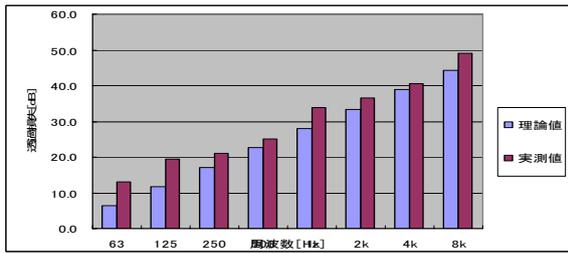


図 16 AAB 工法建築構造物の総合透過損失 (B 現場一階西側音源)

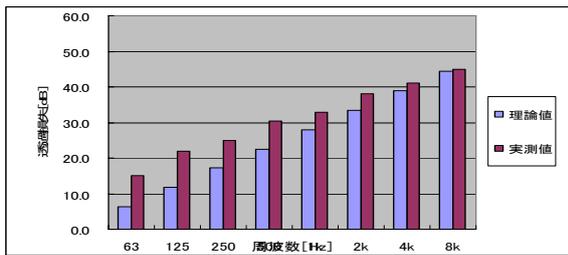


図 17 AAB 工法建築構造物の総合透過損失 (B 現場二階西側音源)

数[dB]~20[dB]程度大きく算出された。また、現場間の比較では建築構造形体が異なるため、単純には比較出来ないが A 現場の透過損失が B 現場の透過損失に比べ、相当大きな透過損失が算出された。この事は、透過損失の面から判断すると、マンション形体の建築構造物が、一戸建形体の建築構造物に比べ、遮音性能が優れている事が言える。次に、周波数の面から検討すると、音の性質から低い周波数では透過損失が小さいが、周波数の上昇と共に透過損失が大きくなり、63[Hz]と8k[Hz]について比較すると、透過損失の小さい壁面構造体で1.8倍程度、透過損失の大きい壁面構造体で3.7倍程度となり、一般的に周波数が高くなると透過損失が大きくなり、遮音性能が良くなる事が言える。現場間の比較でもこの傾向は同じである。さらに、コインシデンス現象については両現場共多少発生している事が実測値の特性から伺える。この現象は、建築構造物の壁面材によ

りコインシデンスの限界周波数や透過損失量が変化する。これは、薄い単層構造体に見られる現象で、建築構造物のガラス戸やガラス窓に発生し易い。壁が薄い場合は壁にも僅かに発生する。

### 5-2. AAB 工法と木質工法の総合透過損失比較

AAB 工法建築構造物と木質工法建築構造物の総合透過損失について、各現場の総合透過損失の実測値を算出した。理論値については、設計図を基に諸条件を適用して算出した。その特性図を図18~図21に示した。

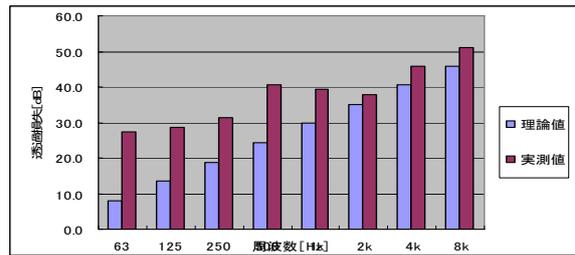


図 18 AAB 工法建築構造物の総合透過損失 (A 現場一階南側音源)

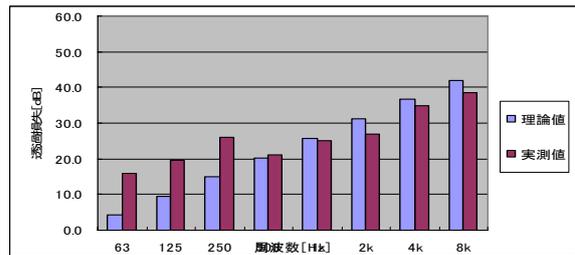


図 19 木質工法建築構造物の総合透過損失 (C 現場一階南側音源)

図18~図19は、AAB 工法建築構造物と木質工法建築構造物一階部分の透過損失比較、図20~図21は両工法の二階部分の透過損失比較である。図18~図19の一階部分の実測値の透過損失比較では、AAB 工法の透過損失が木質工法の透過損失に比べ10[dB]~20[dB]程度大きく算出された。また、AAB 工法の透過損失が理論値に対応していないのに対し、木質工法の透過損失は周波数が500[Hz]以上では理論値によく対応している。

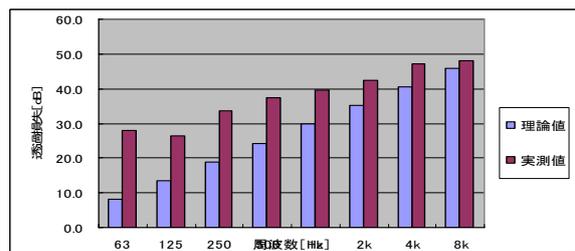


図 20 AAB 工法建築構造物の総合透過損失 (A 現場二階南側音源)

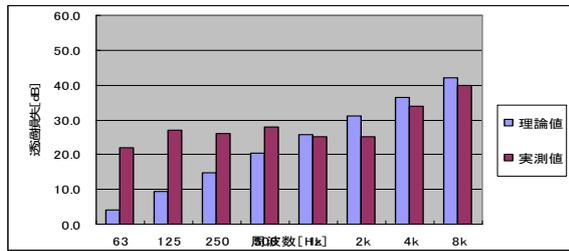


図 21 木質工法建築構造物の総合透過損失  
(C 現場二階南側音源)

次に、図 20～図 21 に示した両建築構造物の二階部分の実測値の透過損失では、AAB 工法の透過損失が木質工法の透過損失に比べ、数 [dB]～15 [dB]程度大きく算出された。また、AAB 工法の透過損失が理論値に対応していないのに対し、木質工法の透過損失は、周波数 1k [Hz]以上では理論値によく対応している。尚、図 18 と図 20 に示した透過損失特性は、同現場の一階部と二階部の間取りが、音源方向から見ると殆ど同じ AAB 工法建築構造物で、実測透過損失も非常によく似た特性になった。

## 6. 近似式

また、本論の理論値算出に用いた透過損失の算出式は、周波数が 500 [Hz]以上で木質工法の透過損失の算出には概ね適用出来るが、AAB 工法の透過損失の算出には全面的に対応しなかった。このことから、透過損失の理論式は、本来木質工法の透過損失の算出に対応する理論式と解釈出来る。従って、最近開発された AAB 工法のような工法の建築構造物における透過損失の算出が必要な場合には、実測値に対応する理論式が必要である。そこで、壁の面密度を  $m$  [kg/m<sup>2</sup>]、音波の周波数を  $f$  [Hz]とし、壁面に対するガラス戸やガラス窓の割合を  $r$  とすると、マンション形体の AAB 工法建築構造物に限定した近似式は (10) 式、一戸建て AAB 工法建築構造物に限定した近似式は (11) 式、そして、一般的な木質工法建築構造物に限定した近似式では (12) 式のように表せる。

$$TL_m = 15 \log \left( \frac{mf}{r} \right) - 33 \quad (10)$$

$$TL_s = 11 \log \left( \frac{mf}{r} \right) - 9 \quad (11)$$

$$TL_w = 11 \log \left( \frac{mf}{r} \right) - 18 \quad (12)$$

## 7. むすび<sup>14), 15)</sup>

昨今は、幾多の工法による建築構造物が建造されている。本論では、A 現場及び B 現場の AAB 工法建築構造物において理論値と実測値の透過損失から遮音性能を比較検討した。その結果、全ての測定箇所、透過損失の実測値が理論値を大きく上回った。また、AAB 工法建築構造物と木質工法建築構造物の遮音性能を比較検討すると、AAB 工法建築構造物の透過損失が木質工法建築構造物の透過損失を大きく上回った。その結果、以下の事が判明した。AAB 工法建築構造物は木質工法建築構造物に比べ総合透過損失が大きく遮音性能が優れている。つまり、AAB 工法建築構造物は外部騒音による建築構造物内での騒音影響が非常に少なく快適度が良いと言える。

また、本論の理論値算出に用いた透過損失の算出式は、周波数が 500 [Hz]以上で木質工法の透過損失の算出には概ね適用出来るが、AAB 工法の透過損失の算出には全面的に対応しなかった。このことから、透過損失の理論式は、本来木質工法の透過損失の算出に対応する理論式と解釈出来る。従って、最近開発された AAB 工法のような工法の、建築構造物における透過損失の算出が必要な場合、実測値に対応する理論式が必要である。そこで、マンション形体の AAB 工法建築構造物に限定した近似式は (11) 式、そして、一般的な木質工法建築構造物に限定した近似式は (12) 式のようになり、複雑な計算を伴わないので簡易的に透過損失を算出する場合は有効であると考えられる。

また、この度の研究を通して感じた事は、平成 15 年の建築基準法の改正により、人間が居住する建築構造物には必ず換気設備の設置が義務づけられている。現在、建築構造物設置の換気装置は、換気のみが目的の製品も多く、換気口からの入射音による遮音性能の低下が問題である。しかし、遮音性能がある換気装置は相当高額で、一般の住宅には普及し辛い現状である。このため、安価な換気装置の開発が待たれる。

## 謝 辞

研究内容の提供と御協力を頂きました(株)神託組及び詫間正章社長に感謝申し上げます。また、測定に協力頂いた卒業生の岡田英男氏、山本直人氏に感謝致します。

### 参考文献

- 1) 騒音対策ハンドブック, 日本音響材料協会編纂(1975).
- 2) 音の環境と制御技術, 第 1 巻, 基礎技術, 監修(財)空港環境整備協会航空環境研究センター所長時田保夫(2000).
- 3) JIS ハンドブック, 52, 環境測定, 大気・騒音・振動, 日本規格協会(2001).
- 4) JIS ハンドブック⑧, 建築 I, 材料, 日本規格協会(2005).
- 5) JIS ハンドブック⑨, 建築 II, 試験・設備, 日本規格協会(2004).
- 6) 建築音響関係 JIS 解説(試料・関係法令抜粋), 社団法人日本音響材料協会(1979).
- 7) JIS: Z8731, 環境騒音の測定方法(1999).
- 8) JIS: A1417, 建築物の空気音遮断性能の測定方法(2000).
- 9) JIS: C1508, 騒音計のランダム入射及び拡散音場校正方法(2000).
- 10) JIS: R5210, ボルトランドセメント(2003).
- 11) JIS: R5212, シリカセメント(1997).
- 12) JIS: R3205, 合わせガラス(1998).
- 13) JIS: R3209, 複層ガラス(1998).
- 14) 2005 年度版, 建築基準法令集, オーム社編(2005).
- 15) 改正基準法に対応した建築物のシックハウス対応マニュアル, 国土交通省住宅局建築指導課(2005).