

平成14年度独立行政法人製品評価技術基盤機構委託

建築材料分野(建築部材の空気音遮断性能試験)

における不確かさに関する調査研究

成果報告書

平成15年3月

財団法人 建材試験センター

< 目 次 >

第 1 章	調査研究の目的と実施体制	1
1. 1	調査研究の目的	3
1. 2	実施体制	4
1. 3	調査研究の期間	5
1. 4	審議経過	5
第 2 章	測定の不確かさ評価に関する動向	7
2. 1	不確かさの概念の導入に関する背景	9
2. 2	ISO/IEC17025 における不確かさに関する要求事項	11
2. 3	試験における測定の不確かさ評価に関する APLAC の方針	12
2. 4	試験結果と仕様適合の表記 (APLAC TC004)	17
2. 5	仕様に対する合否判定基準 (ISO14253-1/JIS B 0641-1)	20
2. 6	JNLA 試験における測定の不確かさの要求事項に係るカテゴリー分類	22
2. 7	ISO ガイド (GUM) 及び ISO5725	23
2. 8	音響における不確かさ導入の動向	24
第 3 章	測定の不確かさ評価に関する考え方	33
3. 1	測定の不確かさとは	35
3. 2	不確かさの算出方法	35
3. 3	A タイプの不確かさ	36
3. 4	B タイプの不確かさ	36
3. 5	不確かさの合成	39
3. 6	バジェットシート	40
3. 7	分散分析	41
3. 8	回帰分析	48
3-9	参考図書について	51
第 4 章	音響試験における測定の不確かさ評価	53
4. 1	音響試験における不確かさの要因	55
4. 2	音響透過損失の試験方法	57
4. 3	測定の不確かさ評価	67
第 5 章	音響試験における不確かさ評価のまとめ (総括)	83
参考資料 (実験データ)		87

第 1 章 調査研究の目的と実施体制

- 1.1 調査研究の目的
- 1.2 実施体制
- 1.3 調査研究の期間
- 1.4 審議経過

第 1 章 調査研究の目的と実施体制

1. 1 調査研究の目的

ISO/IEC 17025「試験所及び校正機関の能力に関する一般要求事項 (General requirements for the competence of testing and calibration laboratories)」では、試験機関が国際的な信頼性の水準を満たすために、試験結果の信頼性を示す指標として「測定の不確かさ」を評価し、その結果を表明することが要求事項として明確に規定された。この規定は、2002年中に実施することが国際的に合意されており、試験所として、測定の不確かさの評価を早急に実施する必要に迫られている。しかしながら建材分野においては、「測定の不確かさ」の概念の導入が遅れており、当該分野における国際的な水準を満たす試験所認定制度を進めるために、「測定の不確かさ」の概念を普及定着させる必要がある。

建材分野の試験は、材料から構成部材にいたるまでその試験対象は広く、また試験内容についても破壊試験及び非破壊試験など多様である。

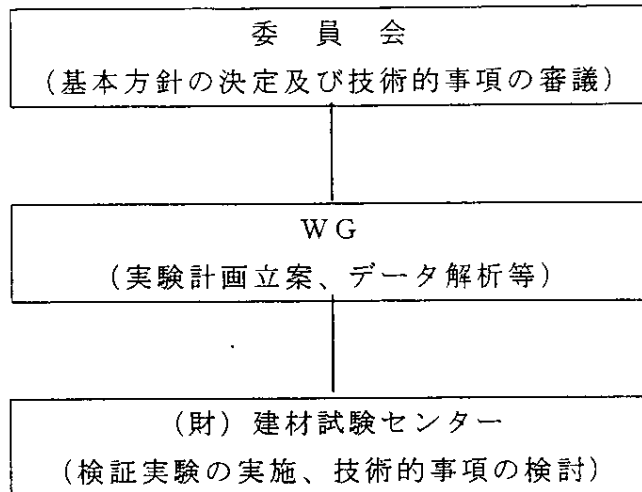
本調査研究は、建築構成部材の試験の中から、非破壊試験方法である建築材料の音響試験方法の一つとして遮音性能試験 JIS A 1416「実験室における建築材料の空気音遮断性能の測定方法」を取り上げ測定の不確かさを検討することとした。

遮音性能は、居住者の生活環境に密接なものであり、かつ社会的に試験要求の多いものである。この測定方法は、JIS規格の国際整合化の一環として2000年にISO 140-1及び140-3に整合化されているが、測定の不確かさの推定を行った事例は確認されていない。

本調査研究では、遮音性能試験における標準的な試験対象物の検討、試験室の形状による特性の影響、測定機器等を含めた測定の不確かさの評価方法を検討し、試験所認定のガイドラインに資することを目的として調査研究を行った。

1. 2 実施体制

(1) 研究組織



(2) 委員会委員名簿

[本委員会]

番号	区分	氏名	勤務先及び役職名
1	委員長	安岡正人	東京理科大学工学部建築学科 教授
2	委員	田中秀幸	独立行政法人産業技術総合研究所計測標準研究部門 物性統計科応用統計研究室 研究員
3	〃	吉村純一	財団法人小林理学研究所建築音響第2研究室 室長
4	〃	佐野浩一	経済産業省産業技術環境局認証課 課長補佐
5	〃	菅原昭栄	独立行政法人製品評価技術基盤機構 適合性評価センター認定センター 参事官
6	〃	祖父江良蔵	独立行政法人製品評価技術基盤機構 適合性評価センター認定センター 主査
7	〃	田中 学	財団法人日本建築総合試験所建築物物理部環境試験室 主査
8	〃	上園正義	財団法人建材試験センター中央試験所付上級専門職
9	〃	米澤房雄	財団法人建材試験センター音響グループ統括リーダー
10	〃	古里 均	財団法人建材試験センター音響グループ 統括リーダー代理
11	〃	越智寛高	財団法人建材試験センター音響グループ
12	〃	鶴澤久雄	財団法人建材試験センター品質管理室室長代理
13	関係者	石田康二	株式会社小野測器コンサルティンググループ
	事務局	天野 康	財団法人建材試験センター本部調査・研究開発課

*

* 第2回本委員会より委嘱

[WG委員名簿]

番号	区分	氏名	勤務先及び役職名
1	主査	安岡正人	東京理科大学工学部建築学科 教授
2	委員	吉村純一	財団法人小林理学研究所建築音響第2研究室 室長
3	〃	田中秀幸	独立行政法人産業技術総合研究所計測標準研究部門 物性統計科応用統計研究室 研究員
4	〃	上園正義	財団法人建材試験センター中央試験所付上級専門職
5	〃	古里 均	財団法人建材試験センター音響グループ統括リーダー代理
6	〃	越智寛高	財団法人建材試験センター音響グループ
	事務局	天野 康	財団法人建材試験センター本部調査研究開発課

1. 3 調査研究の期間

平成14年7月22日から平成15年3月15日

1. 4 審議経過

年月日	場所	委員会名	議事概要
平成 14年	9月4日	建材試験センター 本部事務局会議室	第1回本委員会 ・調査研究実施計画案の審議 ・WG設立について
	9月19日	建材試験センター 本部事務局会議室	第1回WG ・修正調査計画審議 ・実験計画審議
	10月1日	建材試験センター 中央試験所会議室	第2回WG ・実験経過報告
	10月31日	建材試験センター 中央試験所会議室	第3回WG ・実験経過報告 ・実験計画の修正、追加
	12月13日	建材試験センター 中央試験所会議室	第4回WG ・実験経過報告
平成 15年	1月17日	建材試験センター 中央試験所会議室	第5回WG ・実験経過報告 ・14年度報告書構成、内容の 検討
	2月25日	建材試験センター 本部事務局会議室	第2回本委員会 ・実験結果報告 ・成果報告構成案について審 議
	3月12日	建材試験センター 本部事務局会議室	第3回本委員会 ・14年度活動報告・成果報告 書の審議、承認

第 4 章 音響試験における測定の不確かさ評価

- 4. 1 音響試験における不確かさの要因
- 4. 2 音響透過損失の試験方法
- 4. 3 測定の不確かさ評価

4. 音響試験における測定の不確かさ評価

4. 1 音響試験における不確かさの要因

JIS A 1416（実験室における建築部材の空気音遮断性能の測定方法）による音響透過損失測定における不確かさの要因として次のようなことが考えられる。

(1) 試験体

- a) 試験体の軽重で、不確かさのレベルが異なることが想定される。
- b) 試験体を取り付ける開口面積は、おおよそ 10m^2 で短辺が 2.3m 以上と規定されているが、縦横のアスペクト比による不確かさが考えられる。
- c) 試験体の厚さによるフランキングロスの影響が考えられる。
- d) 小開口を使用する場合は、開口部の設置による不確かさが考えられる。

(2) 試験環境

環境条件の影響については温度、湿度、気圧など影響が考えられる。

温度は音速に関係があり、このことが等価吸音面積に影響を及ぼす。残響室が温度コントロールされていない場合は、年間の温度変動の影響を受ける。

温度及び湿度については、JIS A 1409の附属書Eにおいて温度及び相対湿度の残響時間に対する影響について規定されているが、これは適用していない。

気圧については、気圧の変動がマイクロホンに与える影響が考えられるが、音源室、受音室が同じ影響を受けるので、相対的に変動はないものとする。

(3) 測定システム

分解能、ドリフト、雑音の影響。測定結果の算出や補正に必要な定数に含まれる不確かさ等が考えられるが、これらは校正の不確かさで処理することになる。

(4) 残響室の状況

残響室の形状、構造、反射板の設置状況等による不確かさが想定される。

(5) 試験行為

マイクロホンの設置位置、スピーカの設置位置によって影響される不確かさが考えられる。測定者による設置位置の不確かさ、測定計器の操作の不確かさが考えられる。

試験体の設置状態、試験体と開口部周囲の密閉状態の影響も考えられる。

不確かさ要因の一覧表を表4.1.1に示す。

表4.1.1 不確かさの要因透過損失算定式： $R=L_1-L_2+10\log(S/A)A=(55.3/c)\cdot V/T$

	番号	因子	内容, 考えられる事柄	評価	式
試験 体及 び設 置	1	試験体の種類	音響透過損失の大きさによる不確かさの違い	×	R
	2	試験体の形状 (大きさ, 厚さ)	フランキングロス, 調整壁の影響。	×	R
	3	試験体の前後位置 (ニッシェ)	ニッシェ効果。	◎	R
	4	小型試験体の取付位置	開口部の取付位置による不確かさの違い。	◎	R
	5	粘土つめの状態	試験体の施工上の要因として扱う。	-	
試験 環境	6	温度	等価吸音面積への影響。(JIS A 1409 附属書E 温度変化の補正)	○	A
	7	湿度	(JIS A 1409 附属書E 湿度変化の補正)	-	
	8	気圧	音源室・受音室で相対測定のため影響はない。	-	-
試験 装 置	9	計測システム (パワーアンプ, イコライザー, 記録計等)	校正の不確かさ (メーカー資料)。	○	T, L ₁ ,L ₂
	10	音響校正器	校正の不確かさ (メーカー資料)。	○	L ₁ ,L ₂
	11	マイクロホンケーブル等	ノイズ等の影響 (メーカー資料)。	○	T
	12	残響室の形状・構造	ラウンドロビンによる試験所間比較試験	×	R
	13	残響室内の状況	残響室内の反射板等の設置等による違い	○	L ₁ ,L ₂
試 験	14	音響校正器によるマイクロホン調整	マイクロホン調整の個人による違い。	◎	L ₁ ,L ₂
	15	試験装置操作の熟練度	マニュアル操作。	-	-
	16	試料面積寸法	面積の取り方。寸法測定。	○	S
	17	マイクロホンの設置位置, 高さ	5点のマーキングポイントにセット。音圧の平面及び空間分布。	◎	L ₁ ,L ₂
	18	スピーカーの設置位置	設置位置 (3カ所) による不確かさ。	◎	L ₁ ,L ₂
	19	スピーカーの音の出力レベル	試験体の共振やケーブルボックスの振動。	×	L ₁ ,L ₂

◎ : 測定 ○ : 外部校正又は既存資料 - : 必要なし × : 検討課題

4. 2 音響透過損失の試験方法

4. 2. 1 音響透過損失の定義

(1) 室内平均音圧レベル

空間的及び時間的な平均2乗音圧を基準音圧の2乗で除した値の常用対数を10倍した値。

$$L = 10 \log_{10}(P^2/P_0^2) = 20 \log_{10}(P/P_0)$$

ここに、L : 室内平均音圧レベル (dB)

P : 室内平均音圧 (Pa)

$P_0 = 2 \times 10^{-5}$ Pa : 基準音圧

(2) 音響透過損失

$$R = L_1 - L_2 + 10 \log_{10}(S/A)$$

ここに、R : 音響透過損失 (dB)

L_1 : 音源室における室内平均音圧レベル (dB)

L_2 : 受音室における室内平均音圧レベル (dB)

S : 開放した試験開口に等しい広さの試料の面積 (m^2)

A : 受音室の等価吸音面積 (m^2)

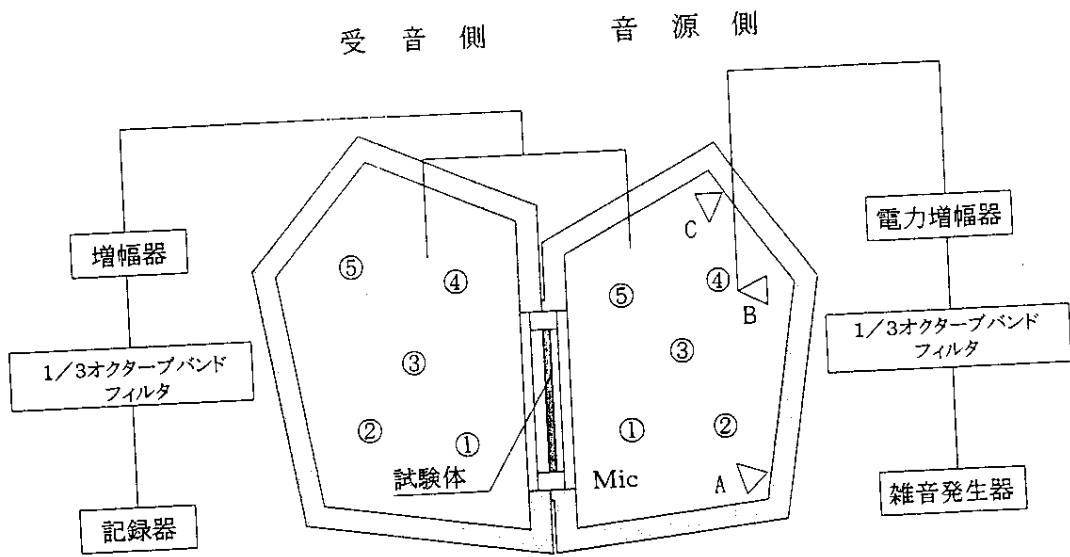
4. 2. 2 試験装置

(1) 試験室

試験室は、JIS A 1416に規定された図4.1.1に示すタイプ I 試験室 (残響室) とする。

(2) 測定システム

測定システムのブロック図を図4.1.2に示す。



A, B, C : 音源位置
 ① ~ ⑤ : 音圧レベルの測定点

室容積	225.28 m ³	197.94 m ³
開口寸法	3680 × 2730 mm	

JIS A 1416 の規定事項

[構造]

- ・長い残響時間をもち十分な拡散音場を得られる室。
- ・100³以上、望ましくは150m³。両室の差 10%以上。
- ・側路伝搬による寄与ができるだけ小さくなる構造。

[試験開口部]

- ・開口面積 おおよそ10m²、短辺 2.3m以上。

図4.2.1 試験装置の概要

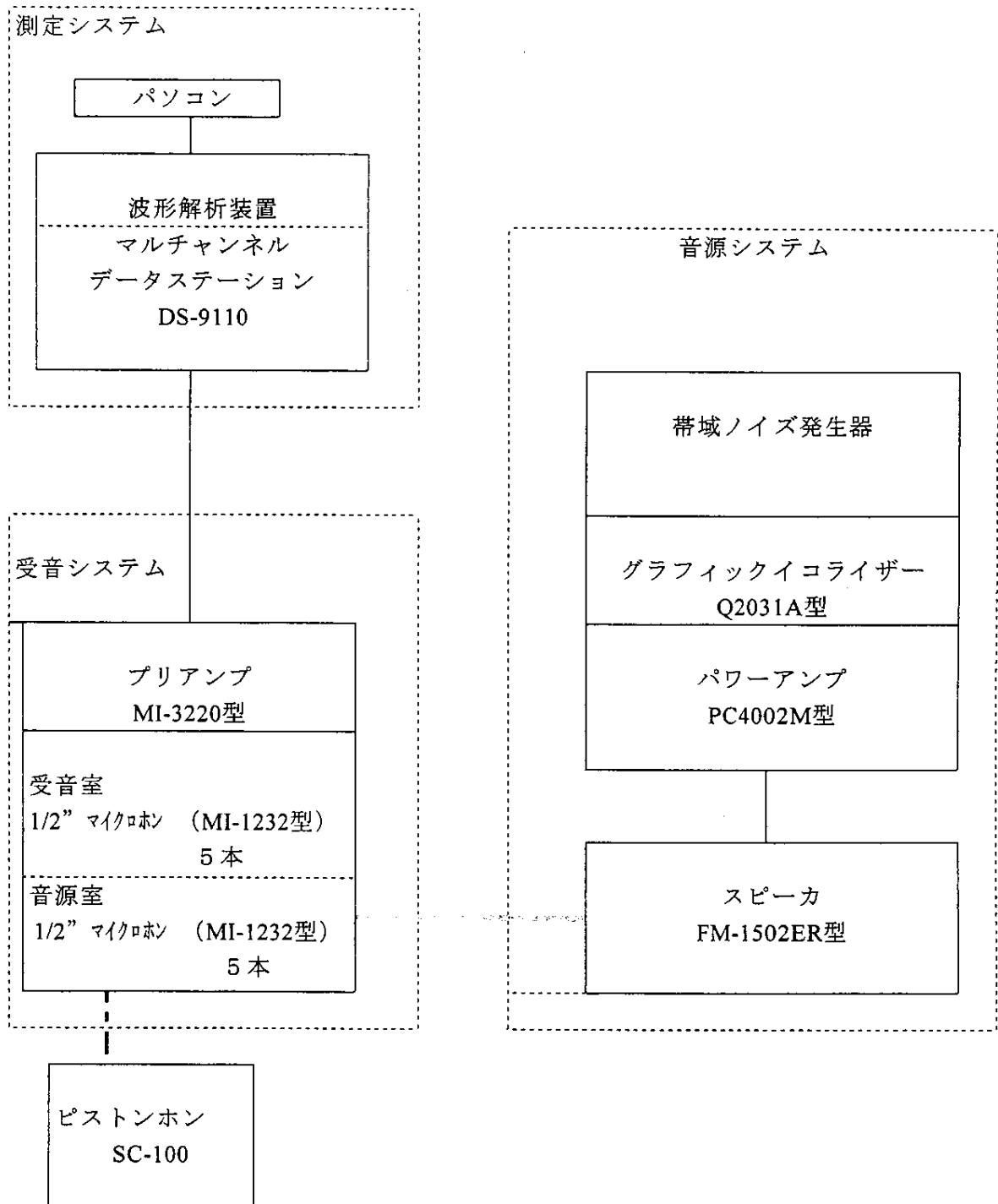


図4.2.2 試験システムブロック図

4. 2. 3 測定手順

(1) 試料の設置

試料を開口部に取り付け、開口部と試料との隙間を粘土で充填し、密閉する。

(2) マイクロホンの設置及び校正

マイクロホンを所定の位置に設置し、マイクロホンの感度補正を音響校正器を用いて補正する。

(3) 温湿度の測定

アスマン乾球湿球温度計を用いて、温度及び湿度を測定する。

(4) 音源室における音の発生

音源スピーカを予め決められた位置に設置する。

発生音は広帯域ホワイトノイズとする。

測定周波数範囲は、100～5000Hz(1/3oct.)とする。

音源室における音圧のスペクトル特性として、隣り合う周波数帯域のレベル差は6dB以上にならないようにする。

音源の音響パワーは、全ての周波数帯域で受音室内の音圧レベルが暗騒音レベルよりも15dB以上大きくなるようにする。

音源の仕様及び設置方法は附属書4による。

音源スピーカの放射指向特性が、均一な全指向特性の条件を満たすために、音源と試料及びマイクロホンとの間隔が次の式の値以下にならないようにする。

$$d_{\min} = 0.1(V/\pi T)^{1/2}$$

ここに、 d_{\min} ：音源からの距離(m)

V ：試験室の容積(m³)

T ：残響時間(s)

この距離を2倍にすることが望ましい。

音源から離れるに従って音圧レベルが大きく減衰する領域にマイクロホンを設置する。

(5) 室内平均音圧レベルの測定

固定マイクロホン法によって測定する。

室境界、拡散体などから0.7m以上離す。

音源室では、音源から1m以上離れた空間内に、互いに0.7m以上以上離れた5点以上の測定点を空間的に均等に分布させる。

平均化時間は、各マイクロホン位置に置いて、中心周波数が400Hz以下の周波数帯域では15秒、500Hz以上の周波数帯域では10秒以上とし、その間の等価音圧レベルを測定する。

(7) 残響時間の測定

受音室内の1点に音源スピーカを設置し、室内に均等な分布となるように3点以上の測定点を設ける。全ての測定点は、音源スピーカ、壁など室の境界面から1m以上離す。

ノイズ断続法によって、1/3オクターブバンドごとに残響減衰曲線を求め、その傾きから残響時間を読みとる。減衰範囲は-5~-35dBまでとすることが望ましい。

(8) 等価吸音面積の算出

$$A = 0.16V/T$$

ここに、A : 等価吸音面積(m²)

V : 受音室の容積(m³)

T : 受音室の残響時間(s)

等価吸音面積は、小数点以下1けたまで求める。

(参考) 以前のJIS規格ではAの求め方は、温度のことを考慮して下式のようになっていた。

$$A = (55.3/c) \cdot V \cdot (1/T)$$

ここに、c : 空気中の音速(m/s)

$$c = 331.5 + 0.61t$$

t : 空気の温度(°C)

(9) 暗騒音の影響の補正

室外からの騒音、受音システムにおける電氣的ノイズ又は音源室と受音室間の電氣的なクロストークなどが影響していないことを確認する。

ダミーマイクロホン、等価抵抗の利用。

(10) 室内平均音圧レベルの算出

音源室と受音室のそれぞれについて、測定周波数帯域ごとに、すべての測定点において測定された音圧レベルのエネルギー平均値(L)を次の式によって算出する。

$$L = 10 \log_{10} (1/n \sum 10^{L_i/10})$$

ここに、L_i : i番目の測定点における音圧レベルの測定値(dB)

n : 測定点の数

(11) 音響透過損失の算出

1.2項の式を用いて算出し、小数点以下1けたに丸める。

(12) 測定精度

ISO 140-2「精密データの算出、検証及び適用」が示されている。

4. 2. 4 試験体の選定

試験体は鉛直部材を対象とするが、実験で求める特性には試験体の安定性、取付け条件の容易性、質量則に沿うもの、共振系を示すものや周波数特性の不明な挙動を示すもの、音場(拡散性)への影響などが考えられる。

これら諸条件から均一で安定した構造体、取付け条件の容易性、小型試験体の取付け位置、共振系を主な検討項目として、以下に示す試験体を選定した。

試験体A：コンクリート壁パネル（残響室の測定限界に近い試験体）

コンクリート単体の厚さは200mmであり、音響透過損失は単一材料であることから質量則に沿って安定的に示すことや音圧分布の繰返し測定による音響透過損失の不確かさを算定する。（図4.2.3参照）

試験体B：小型建築部品用パネル（コンクリート壁パネルの一部に小開口寸法の試料を取付けた試験）体

小開口寸法の試料は、例えば、小窓、換気口等の小型建築部品を想定し、コンクリート壁の一部に取付、取付け位置（面内）を変化させた時の音響透過損失の違いについて不確かさを算定する。（図4.2.5参照）

試験体C：二重構造壁（可動間仕切りパネル）

二重構造壁として可動間仕切りを想定している。この試験体は、ある周波数帯域で共振系を示す音響透過損失を有する。取付け位置（面外）を変化させた時（図4.2.4参照）の音響透過損失の違い（ニッシュェ効果）について不確かさを算定する。（図4.2.6参照）

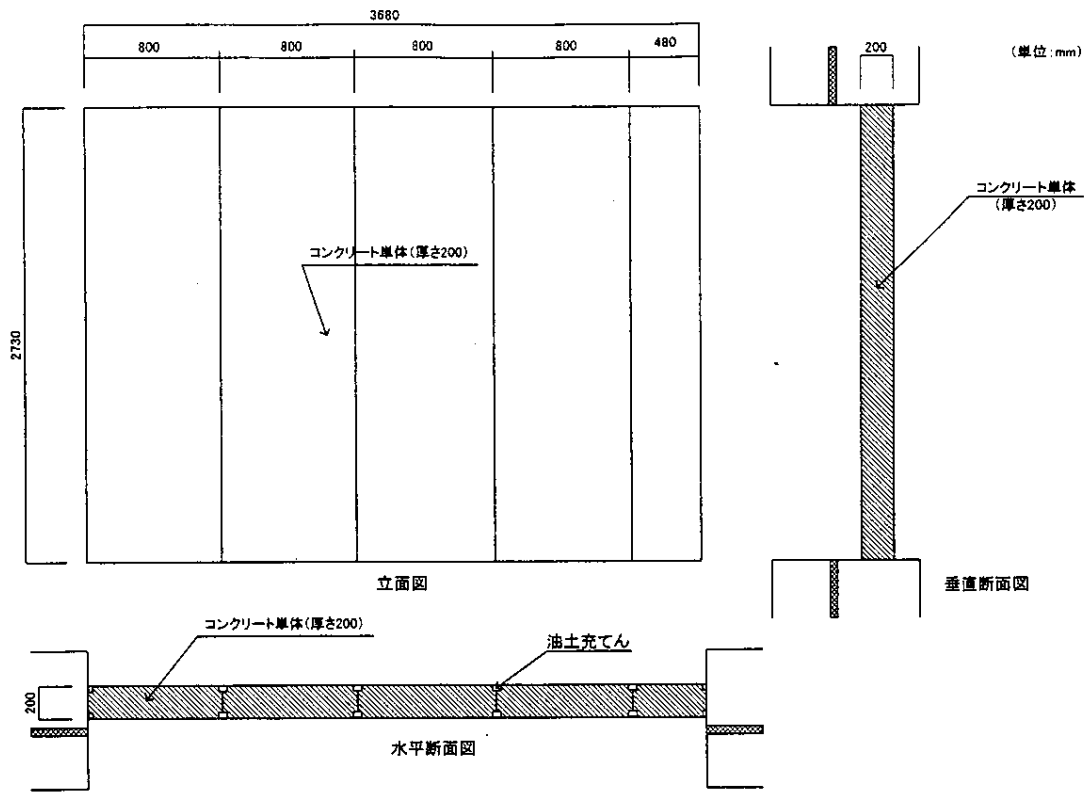


図4.2.3 試験体図 (試験体:A)

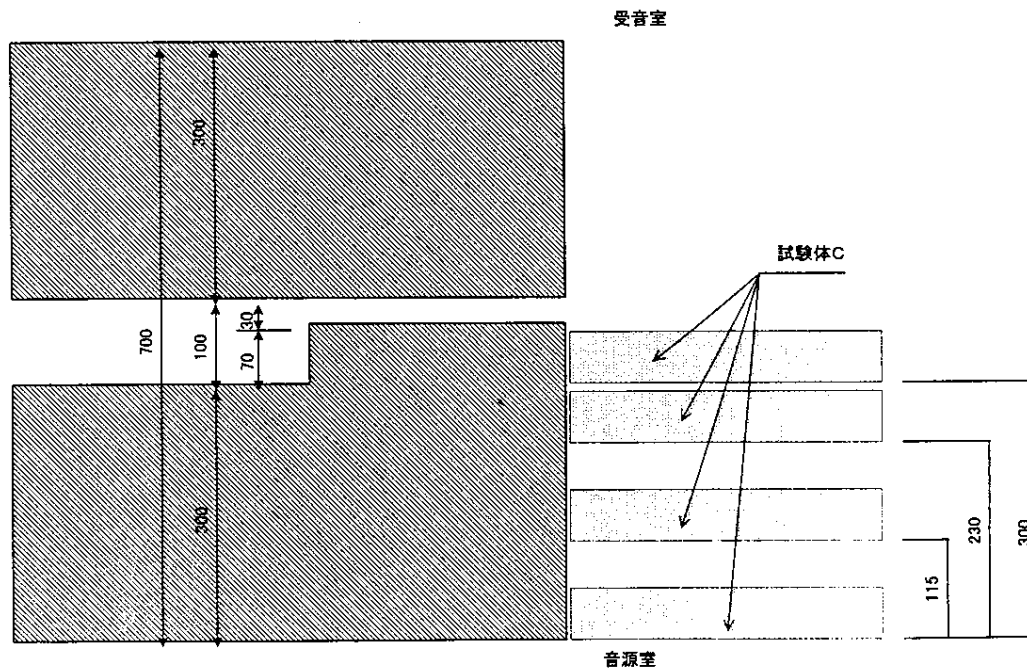
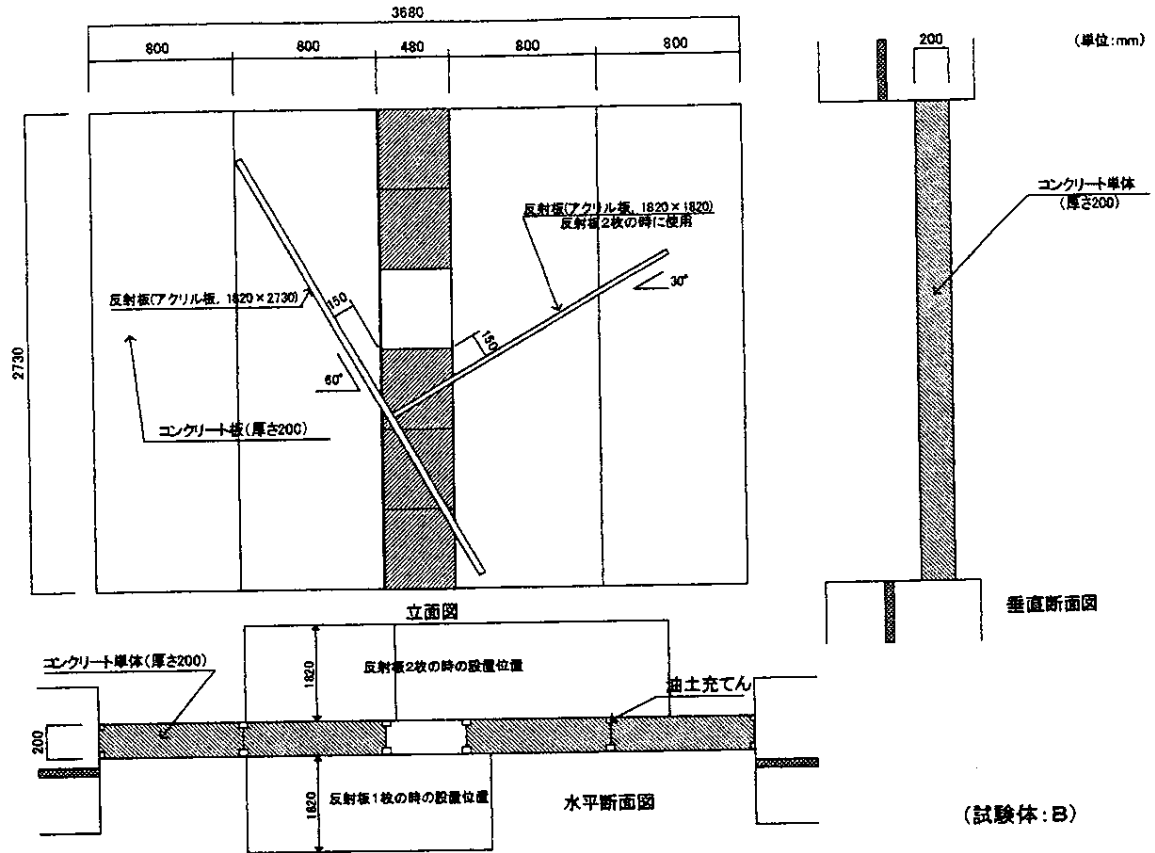


図4.2.4 ニッシェ部と試験体設置位置



小開口部設置用パネル

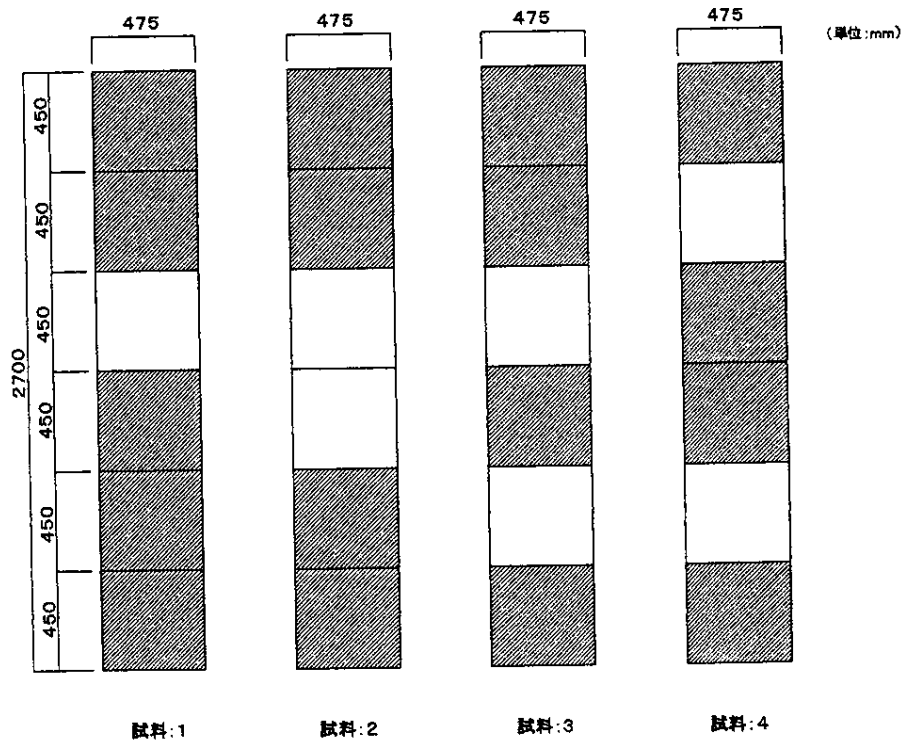


図 4.2.5 試験体図 (試験体 : B)

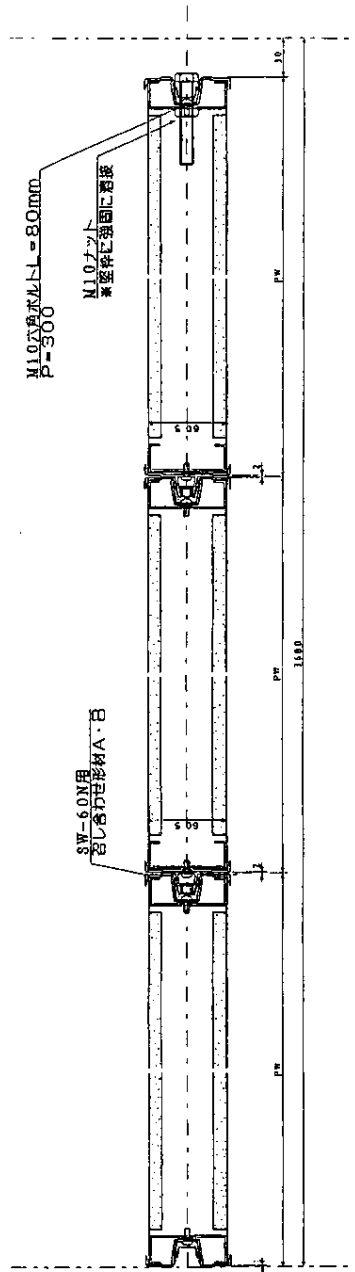
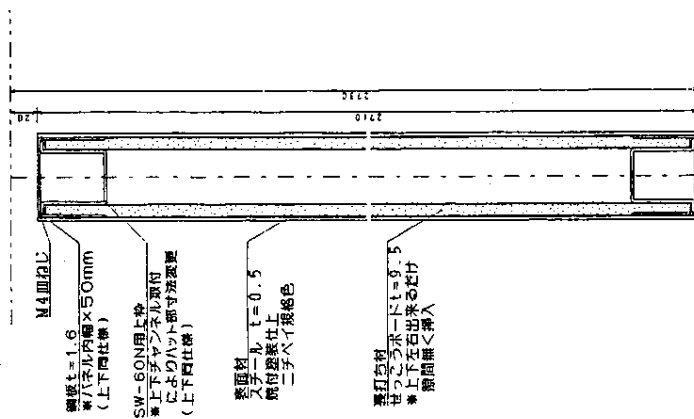
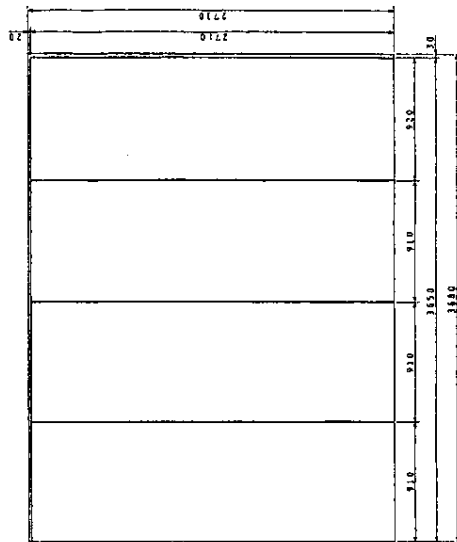


図 4.2.6 試験体図 (試験体 : C)

4. 2. 5 実験内容

(1) 音響透過損失の測定

試験体A (コンクリート壁パネル) : 残響室の測定限界に近い試験体。

3名の人がマイクロホン設定作業を各5回繰り返して測定, 3カ所のスピーカ位置について測定する。

検討する不確かさの要因 : 17, 18

試験体B (コンクリート壁の一部に小開口寸法の試料を取付けた試験体)

開口部の位置を変化 (面内方向) させた測定及び反射板を取付けた測定。

検討する不確かさの要因 : 2, 4

マイクロホン位置を変えずに, 3カ所にスピーカを移動し, 各5回測定。

検討する不確かさの要因 : 18

試験体C (二重構造壁)

ニッシュ位置 (面外方向) を変化 (4カ所) させて試験体を設置して測定。

検討する不確かさの要因 : 3

マイクロホン位置を変えずに, 3カ所にスピーカを移動し各5回測定。

検討する不確かさの要因 : 18

(2) 音圧分布の測定

試験体A (コンクリート壁パネル)

残響室を500mm間隔で測定する。垂直方向は, 1m, 1.5m, 2m, 2.5m, 3m, 3.5m, 4mとし, 残響室壁及び天井面から最低でも700mm離す。また, 試験体近傍については, 別扱いとする。測定中は, 固定点を設け, 音圧レベルの変動を観測する。

試験体B (コンクリート壁の一部に小開口寸法の試料を取付けた試験体)

残響室を1000mm間隔で測定する。

垂直方向は, 1m, 2mとする。

測定中は, 固定点を設け, 音圧レベルの変動を観測する。

試験体C (二重構造壁) : 可動間仕切を用いた試験

試験体をのニッシュ位置 (面外方向) を変化 (4カ所) させて設置して測定。

残響室を1000mm間隔で測定する。

垂直方向は, 1m, 2mとする。

測定中は, 固定点を設け, 音圧レベルの変動を観測する。

(3) 音響校正器でのマイクロホンの調整による不確かさの調査

・騒音計のマイクロホンに音響校正器を挿入し10回測定。測定者は, 3名とする。

検討する不確かさの要因 : 14

(4) 文献による調査

マイクロホンケーブルの長さによる不確かさ

検討する不確かさの要因 : 11

4.3 測定の不確かさの評価

4.3.1 不確かさの数学モデル

[A] 要因別不確かさ

(1) 音響透過損失の数学モデル

音響透過損失は、次式で定義されている。

$$R = L_1 - L_2 + 10 \log_{10}(S/A) \quad (1)$$

ここに、 R : 音響透過損失 (dB)

L_1 : 音源室における室内平均音圧レベル (dB)

L_2 : 受音室における室内平均音圧レベル (dB)

S : 開放した試験開口に等しい広さの試験体の面積 (m^2)

A : 受音室の等価吸音面積 (m^2)

$$A = 0.16 V/T \quad (2)$$

ここに、 A : 等価吸音面積 (m^2)

V : 受音室の容積 (m^3)

T : 受音室の残響時間 (s)

以前の J I S 規格では A は、空気の温度を考慮して下式のようにになっていた。

$$A = (55.3/c) \cdot V/T \quad (3)$$

ここに、 c : 空気中の音速 (m/s)

$$c = 331.5 + 0.61 t \quad (4)$$

t : 空気の温度 ($^{\circ}C$)

(1)式第3項に(3)式を代入すると、

$$\begin{aligned} 10 \log_{10}(S/A) &= 10 \log_{10}(S / ((55.3/c) \cdot V/T)) \\ &= 10(\log_{10}S - \log_{10}55.3 + \log_{10}c - \log_{10}V + \log_{10}T) \end{aligned}$$

また c は(4)式で表されるから、(1)式は、

$$R = L_1 + L_2 + 10(\log_{10}S - \log_{10}55.3 + \log_{10}(331.5 + 0.61t) + \log_{10}T - \log_{10}V) \quad (5)$$

と表され、数学モデルは次のようになる。

$$\begin{aligned} u_R^2 &= \left(\frac{\partial R}{\partial L_1}\right)^2 u_{L_1}^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial L_2}\right)^2 u_{L_2}^2 \\ &\quad + \left(\frac{\partial R}{\partial S}\right)^2 u_S^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial t}\right)^2 u_t^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial T}\right)^2 u_T^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial V}\right)^2 u_V^2 \end{aligned} \quad (6)$$

ここで、試験体面積 S についてみると、たて、よこの寸法測定に ± 5 mm 程度のばらつきが見込まれる。これを面積に換算すると、 $(3.68+2.73) \times 2 \times 0.005 m^2 = 0.064 m^2$ となり、 $10 m^2$ に対して無視できる。

受音室の容積については経験的に $\pm 0.05 m^3$ 程度と見られ $225.28 m^3$ に対して無視できる。音圧レベルの感度係数であるから、数学モデルは次のように簡略化される。

$$u_R^2 = u_{L1}^2 + u_{L2}^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial t}\right)^2 u_t^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial T}\right)^2 u_T^2 \quad (7)$$

(2) ニッシェ効果による不確かさ

第3節の解説に基づいて、回帰分析によってニッシェ効果の不確かさを求める。ニッシェの位置と透過損失の関係 (x, y) を実測して回帰で求められた式を次式で表す。

$$y - \bar{y} = \beta(x - \bar{x})$$

この式を変換して、

$$y = \beta(x - \bar{x}) + \bar{y} \quad (8)$$

ここで、 \bar{x} : x の平均 \bar{y} : y の平均 β : 回帰式の勾配

この式の y の不確かさは、

$$u^2(y) = \left(\frac{\partial y}{\partial \beta}\right)^2 u^2(\beta) + \left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)^2 u^2(x) + \left(\frac{\partial y}{\partial \bar{y}}\right)^2 u^2(\bar{y}) \quad (9)$$

$$u^2(y) = (x - \bar{x})^2 u^2(\beta) + \beta^2 u^2(x) + u^2(\bar{y}) \quad (10)$$

で表される。u(y) がニッシェ効果による不確かさ u_{niche} である。

(3) 計測システムの校正の不確かさ

音響校正器の不確かさを u_{sc} マイクロホンの不確かさを u_{mc} マイクロホンケーブルによる不確かさを u_{cable} とすると、計測システムの不確かさは、次式で表される。

$$u_{cal}^2 = u_{sc}^2 + u_{mc}^2 + u_{cable}^2 \quad (11)$$

[B] 合成標準不確かさに対する伝播則

式(7)~(9)より伝播則によって合成標準不確かさは次のように表される。

$$u_c^2 = u_R^2 + u_{niche}^2 + u_{cal}^2 \quad (12)$$

4.3.2 各要因の不確かさの見積もり

(1) スピーカ位置、測定者及びマイクロホン位置の繰り返しによる不確かさ

試験体Aのコンクリート壁体を用いて、マイクロホンを音源室内、受音室内に各5カ所設置した状態で、3名の測定者が、音源室内のスピーカ位置を3カ所順次変え、ランダムに繰り返し5回の測定を行った。表4.3.13及び表4.3.14に示す測定データを基に、三元配置法による分散分析を行った。その結果を表-4.3.1以下に示す。この表から交互作用を誤差項eにプールして再度分散分析表4.3.2を作成した。

表-4.3.1 三元配置法による分散分析(音源側)

要因	変動(s.s)	自由度(f)	分散(V)
A スピーカ	11.27235	2	5.636176
B 人	3.069699	2	1.534849
C マイクロホン	3.228949	4	0.807237
AxB	6.749045	4	1.687261
AxC	5.422448	8	0.677806
BxC	0.767848	8	0.095981
AxBxC	0.821275	16	0.05133
e	15.19064	180	0.084392
T	46.52226	224	

表-4.3.2 プーリングした分散分析(音源側)

要因	変動(s.s)	自由度(f)	分散(V)	分散の期待値
A スピーカ	11.27235	2	5.636176	$\sigma_A^2 + 75\sigma_e^2$
B 測定者	3.069699	2	1.534849	$\sigma_B^2 + 75\sigma_e^2$
C マイクロホン	3.228949	4	0.807237	$\sigma_C^2 + 45\sigma_e^2$
e	28.95126	216	0.134034	σ_e^2
T	46.52226	224		

分散の期待値から分散を求める。

$$\begin{aligned}\sigma_{A1}^2 &= (5.636 - \sigma_e^2) / 75 = 0.0732 \\ \sigma_{B1}^2 &= (1.535 - \sigma_e^2) / 75 = 0.0187 \\ \sigma_{C1}^2 &= (0.807 - \sigma_e^2) / 45 = 0.0147 \\ \sigma_{e1}^2 &= 0.134\end{aligned}$$

ここで、スピーカ位置は3，測定者は3，マイクロフォン位置は5，データ数は15の平均を取るから

$$u_{L1}^2 = \frac{\sigma_{A1}^2}{3} + \frac{\sigma_{B1}^2}{3} + \frac{\sigma_{C1}^2}{5} + \frac{\sigma_{e1}^2}{15}$$

$$= 0.0244 + 0.00623 + 0.00294 + 0.0089 = 0.0425$$

(13)

$$\therefore u_{L1} = 0.206 \text{ (dB)}$$

同様に、受信側について見ると、

表4.2.3 三元配置法による分散分析(受源側)

要因	変動(s.s)	自由度(f)	分散(V)
A スピーカ	6.300081	2	3.15004
B 人	3.877377	2	1.938688
C マイク	10.82418	4	2.706044
AxB	11.31831	4	2.829578
AxC	3.520768	8	0.440096
BxC	0.432859	8	0.054107
AxBxC	0.988853	16	0.061803
e	17.78136	180	0.098785
T	55.04378	224	

交互作用を e 項にプールして、

表4.2.4 プーリングした分散分析

	s.s	f	V	分散の期待値
A	6.300081	2	3.15004	$\sigma_e^2 + 75\sigma_A^2$
B	3.877377	2	1.938688	$\sigma_e^2 + 75\sigma_B^2$
C	10.82418	4	2.706044	$\sigma_e^2 + 45\sigma_C^2$
e	34.04215	216	0.157603	σ_e^2
T	55.04378	224		

$$\sigma_{A2}^2 = (3.150 - \sigma_{e2}^2) / 75 = 0.0399$$

$$\sigma_{B2}^2 = (1.939 - \sigma_{e2}^2) / 75 = 0.0237$$

$$\sigma_{C2}^2 = (2.706 - \sigma_{e2}^2) / 45 = 0.0566$$

$$\sigma_{e2}^2 = 0.158$$

$$u_{L2}^2 = \frac{\sigma_{A2}^2}{3} + \frac{\sigma_{B2}^2}{3} + \frac{\sigma_{C2}^2}{5} + \frac{\sigma_{e2}^2}{15}$$

$$= 0.0133 + 0.0079 + 0.0113 + 0.0105 = 0.0430$$

(14)

$$\therefore u_{L2} = 0.207$$

空気の温度は、年間を考えてほしい5℃から35℃変化するとして、平均温度が20℃、±15Kの幅で変動すると、

$$u_t = \frac{15}{\sqrt{3}} = 8.66 \text{ (K)} \quad (15)$$

感度係数は、 $R = 10 \log_{10}(331.5 + 0.61t)$ の偏微分を求めて次のようになる。

$$\begin{aligned} R &= \left(\frac{\partial R}{\partial t} \right) = \left(10 \times \frac{0.61}{(331.5 + 0.61t) \times \ln 10} \right) \\ &= 10 \times \frac{0.61}{(331.5 + 0.61 \times 20) \times 2.3025} = 0.00771 \text{ (dB/K)} \end{aligned} \quad (16)$$

残響時間は、被験者3名よる反復繰り返しによって測定した。データ表4.3.5より、残響時間の平均値を $T=11.16$ sとすると、感度係数は $R = 10 \log_{10} T$ を偏微分して

$$\left(\frac{\partial R}{\partial T} \right) = \left(10 \times \frac{1}{T \ln 10} \right) = \frac{10}{11.16 \times 2.3025} = 0.389 \text{ (dB/s)} \quad (17)$$

となる。分散は表4.2.6より、 $u_T^2 = 0.00208 \text{ (s}^2\text{)}$ であるから、音響透過損失の不確かさは、(7)式より、次のようになる。

$$\begin{aligned} u_R^2 &= u_{L1}^2 + u_{L2}^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial t} \right)^2 u_t^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial T} \right)^2 u_T^2 \\ &= 0.0424 + 0.0430 + (0.00771)^2 \times (8.66)^2 + (0.389)^2 \times 0.00208 = 0.0902 \\ \therefore u_R &= 0.300 \end{aligned} \quad (18)$$

表4.3.5 残響時間

500Hz	被験者 α	被験者 β	被験者 γ
1回目	11.08	11.15	11.08
2回目	11.18	11.12	11.21
3回目	11.14	11.17	11.21
4回目	11.21	11.22	11.16
5回目	11.17	11.12	11.18
	平均	11.16	

表4.3.6 分散分析表

変動要因	変動	自由度	分散	標準偏差
測定者間	0.000495	2	0.000248	
繰返誤差	0.028686	12	0.00239	
合計	0.029181	14	0.00208	0.0456

(2) ニッシェ効果による不確かさ
 ニッシェ効果をみるために、試験体C（可動間仕切りパネル）を試験体取付開口部に、受音側から、0mm、115mm、230mm、300mmの位置に設置して取り付け、マイクロホンの位置を3カ所かえてそれぞれ5回繰り返して測定した。

500Hz

表4.3.7 ニッシェ効果

スピーカ位置	回数	試験体設置位置			
		0mm	115mm	230mm	300mm
A	1回目	38.83	39.28	37.51	37.76
	2回目	38.71	39.25	37.51	37.76
	3回目	38.75	39.26	37.53	37.69
	4回目	38.81	39.27	37.54	37.65
	5回目	38.84	39.25	37.52	37.67
B	1回目	39.82	39.28	37.95	38.31
	2回目	39.86	39.27	37.95	38.42
	3回目	39.88	39.27	37.97	38.42
	4回目	39.88	39.28	37.98	38.43
	5回目	39.89	39.24	37.98	38.43
C	1回目	39.42	39.65	37.88	38.23
	2回目	39.39	39.62	37.87	38.23
	3回目	39.34	39.61	37.83	38.21
	4回目	39.34	39.62	37.83	38.19
	5回目	39.34	39.62	38.21	38.18
平均		39.34	39.38	37.80	38.11
標準偏差		0.458	0.176	0.225	0.306

統計処理によって以下の表4.3.8が得られる。

ここで、表4.3.8(c)のx値の係数より $\beta = -0.00535$ と、標準誤差より $u(\beta) = 0.000544$ が得られる。

さらに、表4.3.8(a)の標準誤差 σ_y と観測数60より、

$$u(\bar{y}) = \frac{\sigma_y}{\sqrt{60}} = 0.0621$$

となる。

試験体の取付位置は、試験体両側のニッシェがほぼ2:1になるように設置することが推奨されている。当試験室の場合試験体取付部の幅が700mmであり、ほぼ230mmの位置に設置するようにしている。実際の設置位置は、この位置に対して大きめに見て±5mmから±10mmと考えられる。

設置位置のばらつきが一様分布をしていると考えると、設置位置の不確かさは、

$$u(x) = \frac{10}{\sqrt{3}} = 5.77 \text{ (mm)} \quad (19)$$

通常の試験体設置位置をニッシュェの 230mm の位置とし、 $x = 230$ ，測定したニッシュェ位置の平均は $\bar{x} = 161.25$ である。

これらのデータを(10)式に代入すると、

$$u^2(y) = (230 - 161.25)^2 \times (0.000544)^2 + (-0.00535)^2 \times (5.77)^2 + (0.0621)^2$$

$$= 0.00620$$

$\therefore u(y) = 0.079$

これがニッシュェの不確かさ u_{niche} である。

表 4.3.8 回帰分析

(a) 回帰統計	
重相関 R	0.790964
重決定 R ²	0.625625
補正 R ²	0.61917
標準誤差 σ_y	0.480726
観測数	60

(b) 分散分析表

	自由度	変動	分散
回帰	1	22.39909	22.39909
残差	58	13.40367	0.231098
合計	59	35.80277	

(c) 係数と標準誤差

	係数	標準誤差	t
切片	39.52162	0.107414	367.9368
X 値	-0.00535	0.000544	-9.84504

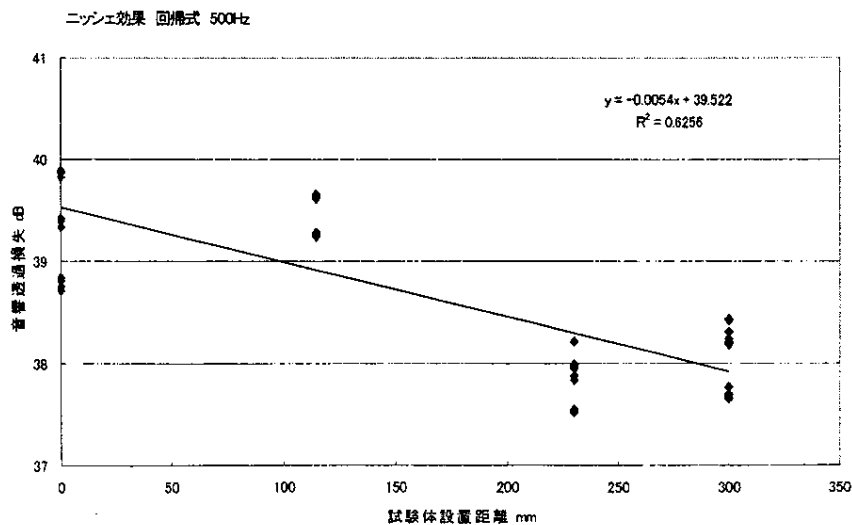


図 4.3.1 ニッシュェ効果

(3) 計測システムによる不確かさ

音響校正器の不確かさは、校正証明書から、出力音圧が± 0.2dB SPL、出力音圧安定性は± 0.1dB であるが、出力音圧については音圧差を測定することになるので、算定する必要がない。

出力音圧安定性が一様分布すると考えると

$$u_{s.c}^2 = \left(\frac{0.1}{\sqrt{3}} \right)^2 = 0.00333$$

$$\therefore u_{s.c} = 0.0577 \quad (21)$$

が得られる。

マイクロホンの不確かさは、校正証明書から誤差が-0.02dB であるから、これも一様分布と考えると、

$$u_{mc} = \frac{0.02}{\sqrt{3}} = 0.0115 \quad (22)$$

マイクロホンケーブルが長くなるほど測定できる音圧レベルと周波数が低くなる傾向のあることが知られている。ケーブルの長さが 50m 程度の場合、周波数 5000Hz において、132dB まで測定可能であり、通常の実験室における測定にはケーブルの長さによる

不確かさの無視できるものとする、計測システムによる不確かさ u_{sys} は、

$$u_{sys}^2 = u_{s.c}^2 + u_{mc}^2 = 0.0577^2 + 0.0115^2 = 0.00346$$

$$\therefore u_{sys} = 0.0588 \quad (23)$$

となる。

4.3.3 合成標準不確かさ及び拡張不確かさの算出

合成標準不確かさ u_c は (12)式より、

$$u_c^2 = u_R^2 + u_{niche}^2 + u_{cal}^2 = 0.300^2 + 0.0788^2 + 0.0588^2 = 0.0997$$

$$\therefore u_c = 0.316 \text{ (dB)} \quad (24)$$

以上の結果をバジェットシートにまとめると表 4.2.8 のようになる。この結果は、音響透過損失については試験体Aによって、ニッシュェ効果については試験体Cによって求めたものである。ニッシュェ効果については、試験体によって大きくな差はないと判断して、共通で用いても不確かさに大きな影響は与えないものとして扱っている。

表 4.3.8 バジェットシート(試験体A 500Hz) (dB)

標準不確かさ成分	不確かさの要因	各成分の標準不確かさ u_i	感度係数 $\partial f / \partial x$	標準不確かさ $(\partial f / \partial x)u_i$	タイプ
u_R	音響透過損失測定の不確かさ	—	—	0.300	
	u_{L1} 音源側音圧レベル	0.206	1	0.206	A
	u_{L2} 受音側音圧レベル	0.207	1	0.207	A
	u_t 気温の変動	8.66	0.00771	0.0668	B
	u_r 残響時間	0.0456	0.389	0.0177	A
u_{niche}	ニッシュェ効果による不確かさ	—	—	0.0788	
	$u(\beta)$ 回帰式の勾配	0.000544	230-161.25	0.0374	A
	$u(x)$ 試験体設置位置	5.77	0.00535	0.0309	B
	$u(\bar{y})$ データのばらつき	0.062	1	0.0621	A
u_{cal}	測定システムの不確かさ	—	—	0.0588	
	$u_{s.c}$ 音響校正器	0.0577	1	0.0577	B
	u_{mc} マイクロホン	0.0115	1	0.0115	B
	u_{cable} ケーブル	—	—	—	B
合成標準不確かさ				0.32	
拡張不確かさ(k=2)				0.64	

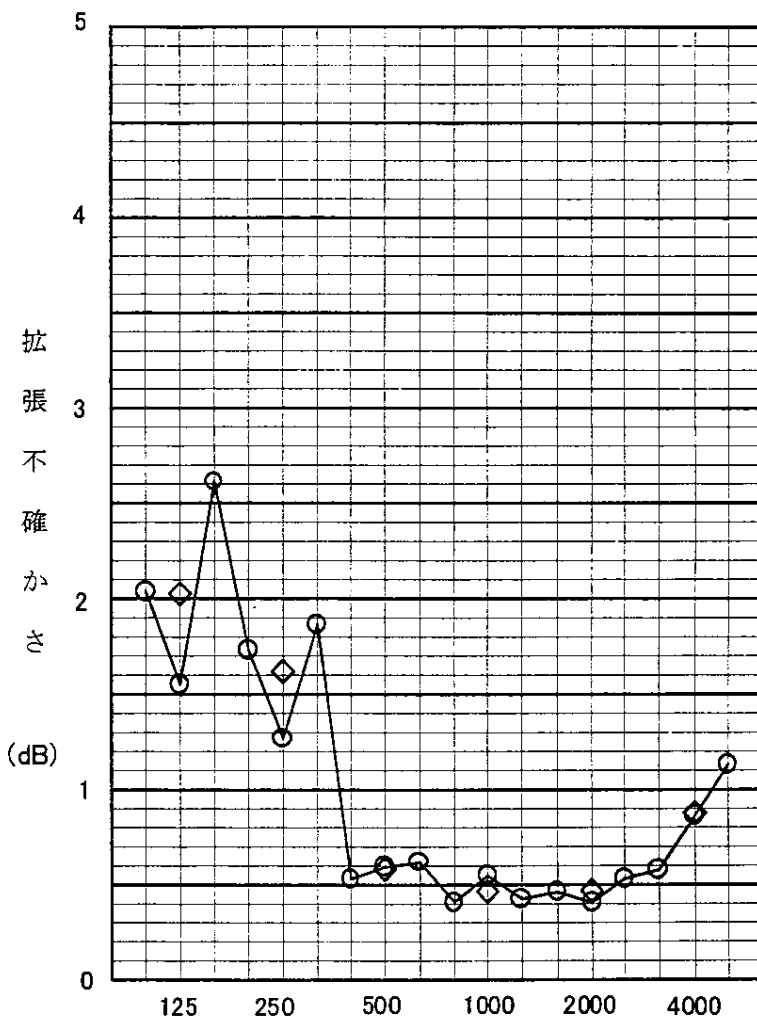
4.3.4 周波数別不確かさの算出

同様の手順で周波数別に求めた不確かさを代表的な周波数について表 4.3.9 に示す。また、周波数と不確かさの関係を図2.5.2に示す。なお、空気温度、ニッシュェ効果、校正等の不確かさについては、共通の数値を用いている。また、周波数によっては測定者による要因変動が小さいため全ての周波数で誤差項にプールして算出したため、500Hz での不確かさが、表 4.2.8 と異なっている。

表4.3.9 周波数別不確かさの算出

要 因		125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
音源室	σA	0.4768	0.4959	0.2705	0.3245	0.0297	0.0892
	σC	1.1420	0.2793	0.1211	0.1202	0.2263	0.6452
	σe	0.5237	0.5743	0.3833	0.3780	0.3121	0.4506
	$uL1$	0.5957	0.3458	0.1927	0.2180	0.1305	0.3153
受信室	σA	0.3924	0.7290	0.1992	0.1153	0.0240	0.3045
	σC	0.8108	0.6258	0.2372	0.1247	0.1454	0.4013
	σe	0.8374	0.3885	0.4171	0.2818	0.2359	0.3291
	$uL2$	0.4791	0.5153	0.1899	0.1133	0.0902	0.2652
空気温度	u_t	0.0668	0.0668	0.0668	0.0668	0.0668	0.0668
残響時間	u_T	0.0551	0.0241	0.0177	0.0212	0.0288	0.0187
透過損失の不確かさ	u_R	0.769	0.625	0.279	0.255	0.175	0.418
$U_{niche2} + U_{cal2}$		0.00967	0.00967	0.00967	0.00967	0.00967	0.00967
合成標準不確かさ	u_c	0.78	0.63	0.30	0.27	0.20	0.43
拡張不確かさ	$U (k=2)$	1.55	1.26	0.59	0.55	0.40	0.86

中心周波数 (Hz)	拡張不確かさ (dB)	
100	2.04	
125	1.55	2.02
160	2.61	
200	1.73	
250	1.26	1.62
315	1.86	
400	0.53	
500	0.59	0.58
630	0.62	
800	0.41	
1000	0.55	0.46
1250	0.42	
1600	0.46	
2000	0.40	0.47
2500	0.53	
3150	0.58	
4000	0.86	0.87
5000	1.13	



◇ : オクターブ帯域の換算値

図 4.3.2 中心周波数と拡張不確かさ

4.3.5 試験体Cについて求めた測定の不確かさ

試験体Cの間仕切りパネルについて求めた中心周波数別測定の不確かさを図 4.3.3 に示す。この不確かさは、音源側及び受信側音圧レベルの不確かさ以外は、表 4.3.9 と同じ数値を用いて算出した。

中心周波数 (Hz)	拡張不確かさ	
100	2.01	
125	2.30	2.48
160	3.71	
200	3.25	
250	1.44	2.07
315	1.97	
400	1.51	
500	0.73	1.10
630	1.00	
800	0.46	
1000	0.91	0.68
1250	0.61	
1600	0.70	
2000	0.76	0.68
2500	0.58	
3150	0.72	
4000	0.86	1.01
5000	1.38	

◇ : オクターブ帯域の換算値

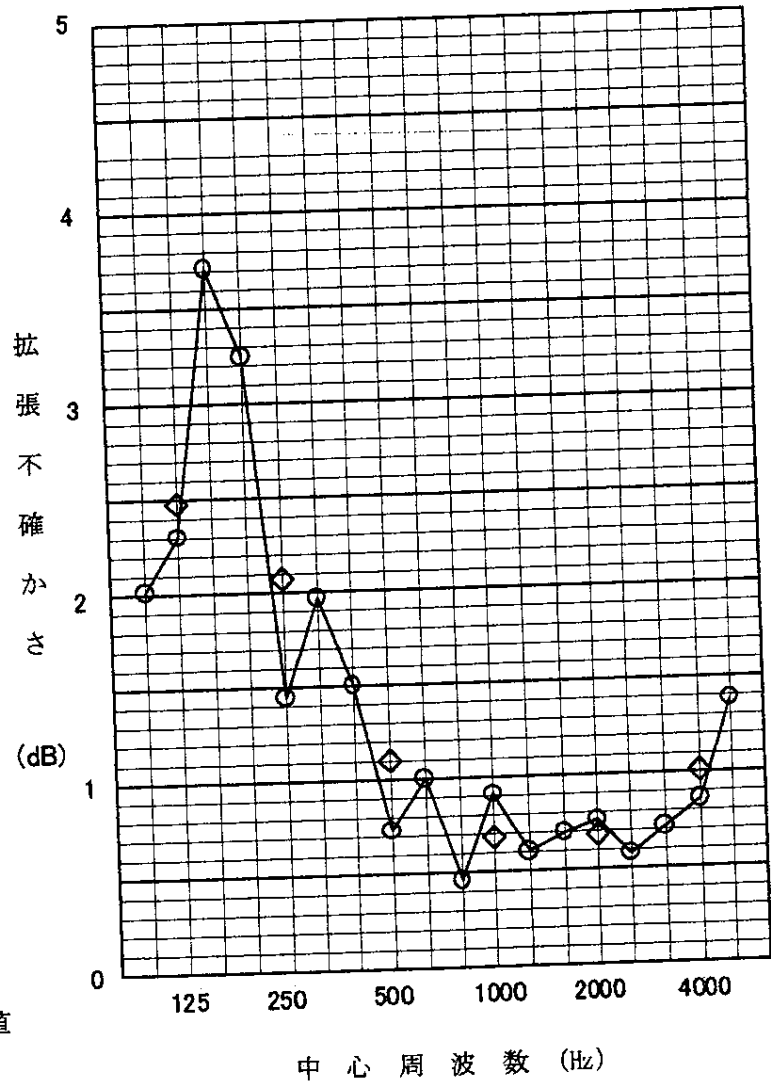


図 4.3.3 中心周波数と拡張不確かさ (試験体C)

4.3.5 小型建築部品の条件による音響透過損失の不確かさ

小型建築部品について、反射板を設置した場合と、小型建築部品の測定壁面への設置場所を変えた場合の音響透過損失の不確かさの算出結果を次に示す。なお、ニッシュ効果の不確かさは除外して算出した。

表4.3.10 小型建築部品(反射板の数)

要 因		反射板0	反射板1	反射板2	音源側
音源室	σ_{sp}	0.4463	0.4030	0.2617	0.3093
	σ_{mic}	0.0483	0.1547	0.2274	0.2903
	σ_e	0.2437	0.2363	0.0309	0.0215
	u_{L1}	0.2661	0.2503	0.1823	0.2209
受信室	σ_{sp}	0.5660	0.5086	0.1387	0.2009
	σ_C	0.2470	0.2604	0.2493	0.2908
	σ_e	0.0213	0.1746	0.0404	0.0255
	u_{L2}	0.3450	0.3191	0.1377	0.1744
空気温度	u_t	0.0668	0.0668	0.0668	0.0668
残響時間	u_T	0.0177	0.0177	0.0177	0.0177
透過損失の不確かさ	u_R	0.441	0.411	0.239	0.290
測定系の不確かさ	u_{cal}	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588
合成標準不確かさ	u_c	0.45	0.42	0.25	0.30
拡張不確かさ	$U (k=2)$	0.89	0.83	0.49	0.59

表 4.3.11 小型建築部品(試料の設置位置)

要 因		No.1	No.2	No.3	No.4
音源室	σ_{sp}	0.4463	0.2259	0.2929	0.4780
	σ_{mic}	0.0483	0.0996	0.0484	0.0670
	σ_e	0.2437	0.0241	0.0326	0.0462
	u_{L1}	0.2661	0.1380	0.1707	0.2778
受信室	σ_{sp}	0.5660	0.5798	0.1476	0.1491
	σ_{mic}	0.2470	0.1813	0.1227	0.1023
	σ_e	0.0213	0.0243	0.1460	0.1559
	u_{L2}	0.3450	0.3445	0.1081	0.1055
空気温度	u_t	0.0668	0.0668	0.0668	0.0668
残響時間	u_T	0.0177	0.0177	0.0177	0.0177
透過損失の不確かさ	u_R	0.441	0.377	0.214	0.305
測定系の不確かさ	u_{cal}	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588
合成標準不確かさ	u_c	0.45	0.38	0.22	0.31
拡張不確かさ	$U (k=2)$	0.89	0.76	0.44	0.62

表4.3.13 音源側の音圧レベルの繰り返し測定 (音源側 500Hz) (dB)

スピーカ	被験者	測定回数	mic1	mic2	mic3	mic4	mic5	
A	α	1回	110.55	110.57	110.39	110.58	110.32	
		2回	110.42	110.37	110	110.13	109.87	
		3回	110.68	110.22	110.07	110.23	110.15	
		4回	110.29	110.05	109.69	109.78	109.67	
		5回	109.9	110.36	109.84	109.69	109.43	
	β	1回	110.45	110.5	110.05	110.22	109.85	
		2回	110.65	110.64	110.2	110.28	110.15	
		3回	110.58	110.44	110.11	110.19	110.01	
		4回	110.42	110.44	110.02	109.91	109.82	
		5回	110.11	110.34	109.98	109.87	109.66	
	γ	1回	110.55	110.59	110.09	110.1	109.91	
		2回	110.6	110.3	110.08	110.26	110.03	
		3回	110.08	110.34	109.82	109.73	109.53	
		4回	110.38	110.3	109.89	109.87	109.74	
		5回	110.22	110.18	109.86	109.84	109.62	
B	α	1回	110.13	110.02	109.77	109.69	109.96	
		2回	111.36	110.64	110.95	110.93	111.14	
		3回	110.84	109.89	110.81	110.7	110.61	
		4回	110.94	110.1	110.96	110.92	110.73	
		5回	111.04	110.29	110.88	110.83	111.04	
	β	1回	111.64	110.83	111.22	110.58	111.57	
		2回	111.02	110.42	110.8	110.14	110.6	
		3回	111.47	110.73	111.01	110.57	111.2	
		4回	111.26	110.6	110.95	110.52	110.94	
		5回	110.98	110.13	110.8	110.55	110.82	
	γ	1回	111.09	110.44	110.86	110.48	111.1	
		2回	110.98	110.25	110.8	110.61	110.82	
		3回	110.62	110.08	110.46	110.19	110.32	
		4回	110.96	110.2	110.71	110.57	110.88	
		5回	110.58	110.13	110.58	110.3	110.56	
C	α	1回	111.07	111.31	111.17	111.25	110.94	
		2回	111.04	110.77	111.32	111.42	111.09	
		3回	110.66	110.94	111.1	111.25	111.23	
		4回	110.43	110.05	109.97	110.22	110.23	
		5回	110.86	110.49	111.39	111.28	111.2	
	β	1回	110.61	110.45	110.22	110.44	109.85	
		2回	110.7	110.37	110.35	110.51	110.32	
		3回	110.25	110.15	110.01	110.02	109.74	
		4回	110.36	110.06	110.04	110.19	110.04	
		5回	110.6	110.52	110.38	110.57	110	
	γ	1回	110.5	110.19	110.02	110.23	110.05	
		2回	110.3	110.05	109.78	110.07	109.87	
		3回	110.55	110.16	110.1	110.39	110.28	
		4回	110.52	110.09	110.06	110.37	110.21	
		5回	110.19	109.83	109.76	110.15	109.64	
			二乗和		2743250	和		24843.93

表4.3.14 受音側の音圧レベルの繰り返し測定 (受音側 500Hz)

		(dB)					
スピーカ	被験者	測定回数	mic6	mic7	mic8	mic9	mic10
A	α	α 1回目	62.07	61.76	61.35	62.02	61.59
		2回目	61.64	61.28	61.17	61.7	61.18
		3回目	61.65	61.34	61.14	61.66	61.28
		4回目	61.11	60.97	60.88	61.09	60.78
		5回目	61.36	61.08	60.89	61.1	60.95
	β	β 1回目	61.7	61.4	61.26	61.81	61.22
		2回目	61.91	61.34	61.25	61.82	61.4
		3回目	61.75	61.34	61.24	61.83	61.3
		4回目	61.58	61.17	61.28	61.56	61.19
		5回目	61.4	61.35	61.15	61.31	61.17
	γ	γ 1回目	61.76	61.24	61.29	61.68	61.15
		2回目	61.63	61.47	61.29	61.8	61.29
		3回目	61.26	60.87	60.9	61.18	60.73
		4回目	61.5	61.19	61.22	61.44	61.06
		5回目	61.44	61.28	61.13	61.36	61.1
B	α	α 1回目	61.49	61.19	60.24	61.02	60.46
		2回目	62.07	61.92	61.87	61.96	61.06
		3回目	61.5	61.49	61.22	61.51	60.64
		4回目	61.57	61.5	61.33	61.57	60.69
		5回目	61.63	61.87	61.66	61.81	61.12
	β	β 1回目	62.73	62.5	62.58	62.13	61.77
		2回目	61.95	61.57	61.67	61.44	60.94
		3回目	62.4	62.22	62.29	61.91	61.44
		4回目	62.07	61.94	62.01	61.74	61.26
		5回目	61.54	61.67	61.49	61.66	60.97
	γ	γ 1回目	61.94	61.98	61.89	61.9	61.25
		2回目	61.67	61.79	61.58	61.68	60.96
		3回目	61.19	61.55	61.23	61.37	60.61
		4回目	61.6	61.77	61.58	61.69	60.96
		5回目	61.14	61.52	61.3	61.41	60.78
C	α	α 1回目	62.4	62.09	61.71	62.05	61.59
		2回目	62.25	61.88	61.62	62.16	61.5
		3回目	62.18	61.96	61.75	62.28	61.14
		4回目	61.16	61.01	60.26	60.97	60.67
		5回目	62.39	61.98	61.84	62.19	61.24
	β	β 1回目	61.22	61.29	60.58	60.91	60.7
		2回目	61.55	61.43	60.78	61.27	60.97
		3回目	61.14	61.04	60.33	60.71	60.56
		4回目	61.24	61.12	60.43	60.98	60.78
		5回目	61.46	61.55	60.77	61.04	60.98
	γ	γ 1回目	61.04	61.04	60.29	60.8	60.61
		2回目	60.86	60.8	60.11	60.52	60.42
		3回目	61.32	61.19	60.45	61.06	60.83
		4回目	61.27	61.19	60.43	61.05	60.85
		5回目	60.77	60.77	60.35	60.34	60.42
			二乗和	846888.1	和	13803.53	

第 5 章 音響試験における不確かさ評価のまとめ
(総括)

第5章

我々日本人は言語的には玉虫色のあいまいな表現を好み、なあなあの世界に生きているが、数字になると不確定性原理やファジー的考え方は苦手のように、極めてデジタル的に割り切って信じてしまう。

音響の分野でも1 dB が裁判で争われることがあり、建築関連でも品確法などで、性能規定・発注が一般化して来ると、数値のもつ不確かさをきちんと明示してコンセンサスを得ておかないと收拾のつかない社会的混乱が生じる。

此度、音響関係の不確かさの問題が取り上げられたのは、まことに時宜を得たものであるが、何しろ初めてのことで、委員関係各位には多大な御奮力を強いる結果となったことをお詫びし、心から感謝する次第です。

今回対象とした建築部材の空気音遮断性能試験は、社会的ニーズが高く、関係する要因も多岐に亘ることから、テストケースとして最適のものといえる。今後、他の試験法への応用範囲が広い反面、問題が複雑で十分解明できなかった点もあるが一通りのシステム構築は出来たと考えられる。

第1章は本調査研究の目的と実施体制を述べたものである。

第2章では測定の不確かさに関する動向調査を、一般論と音響関係について、吉村純一委員らによって、ISO、JIS を中心に行い、調査研究のベースづくりを行った。

第3章は今回の測定法の不確かさ推定に必要な統計的知識を、基礎的考え方から実例への応用面まで田中秀幸委員に特別に解説して戴いたものである。

第4章が本調査研究の中核をなす部分である。

4. 1で音響試験における不確かさの要因を総論的に抽出し、取り上げるべき要因を整理している。すなわち、要因を試験体及び設置、試験環境、試験装置、試験に大別し、それぞれについて関係する要素を網羅的に示した表4.1.1は本測定法以外にも広く適用可能なものである。

要因の絞り込みに際しては当然影響の大きいものから順次取り上げるべきであるが、試験体自体の製作・施工のばらつき、試験機関・試験室装置によるばらつきについては、あまりにも大きな問題であるので、前者は試験依頼者側に委ねて、あくまでそこに施工された特定の試験対象についての測定値ということではばらつきの要因外とし、後者については、今後の課題として残し、今回は特定の試験機関・装置内でのばらつきに限定して検討することにした。

4. 2では実験計画について述べている。試験体はコンクリート壁、同小開口付、二重壁の三種とし、設置位置、音源系、受音系、測定者等の要因について検討するための具体的な実験計画を詳細に立案している。

4. 3では不確かさの具体的な評価を実施試験結果に基づいて行っている。

まず音響透過損失算出式から不確かさの数学的モデルを設定し、個々の要因のばらつきと同定方法とそれらによる合成標準不確かさの算定方法を示している。次に各要因を変化させた試行実験結果から、ばらつきを具体的に算出する手法を示して定量的に値を算定している。例えば感度校正、温度条件など、一定幅で規制されているものには一様分布、マイクロホン位置など、規定条件に対するランダムな誤差には正規分布、要因と結果に一定の関係があるものには回帰分析、いくつかの要因が関係するものには分散分析を適用するなどの具体的な例が示されている。

その結果、得られた各要因毎の標準偏差とそれらを測定対象毎にまとめた総合的な不確かさを表す標準偏差の値は1 dB 未満でこれまで経験的に合意の得られている水準と同程度である。

今回のケーススタディによって以下の知見が得られた。

- ①建築音響関係の測定法全般に適用し得る不確かさ算定の要因構造モデルが提示された。
- ②各種要因に対する不確かさを算定するための、確率分布モデルなどの具体的な適用方法が提示された。
- ③各種要因ごとの試行実験によるばらつきの実際の数値が示され、最終的に得られた総合的な不確かさの程度もリーズナブルな値となっている。
- ④今後、他の音響測定法に対しても、関係する要因を組合わせて適切な全体モデルを同定すれば、ここで示された手法が十分適用できる。
- ⑤今後の最大かつ重要な課題として、試験機関・測定装置間のばらつきの問題があり、早急に日本国内のみならずグローバルな視点から検討を進める必要がある。