

遮音試験における測定の 不確かさ推定に関するケーススタディ

越智寛高*

1. はじめに

測定の不確かさに関する要求の発端は、1977年の国際度量衡委員会において、測定結果の信頼性の表現について国際的合意の欠如が指摘され、統一的表现を定める活動が開始されたことにある。従来、測定された結果の解析には誤差論による統計的方法が用いられてきた。誤差は、「真の値」の存在が根底にあるが、「真の値」は、そもそも不可知であって誤差を表現できない。そこで、測定された結果が、種々の要因によってばらつき度合いを総合的に見積もる方法が提示され「不確かさ：uncertainty」と呼ぶことになった。

1993年にISOから出版された「Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement」¹⁾ (通称：GUM) は、「不確かさ」の概念を導入する際の指針である。この中で、「不確かさ」は「測定の結果に付随した合理的に測定量に結び付けられ得る値のばらつきを特徴づけるパラメータ」と定義し、ばらつきを「標準偏差」で表した「標準不確かさ」をその指標としている。不確かさの概念は、ISO/IEC17025「試験所及び校正機関の能力に関する一般要求事項」²⁾ では、試験所に対して、測定の不確かさを推定する手順を持ち適用することを求めている。

2. 不確かさの概念及び不確かさ推定の手順

測定の目的は、不可知である「真の値」の代わりに母集団の平均値とその標準偏差を測定量として知ることである。母集団の平均値及び標準偏差は、無限個の測定データから得られる。しかし無限回の測定は現実的でないので、何らかの方法でこれらを推定することになる。この推定された標準偏差を「標準不確かさ」と呼ぶ。

測定の結果は、母集団から有限個をサンプリングして得られた測定量の値の近似値あるいは推定値にすぎない。

測定の不確かさは、測定方法に含まれるばらつきの要因を抽出し、それらの個々の要因について不確かさを推定して、それらを合成して得られる。不確かさの推定方法には次の2種類のタイプがある。ひとつは、Aタイプの不確かさと呼ばれ、統計的方法によって見積もる方法である。標準偏差 σ の母集団から n 個のサンプルを取り出したときの平均値の不確かさ u は、次式で表される。

$$u = \sigma / \sqrt{n}$$

もうひとつは、Bタイプの不確かさといわれ、統計的方法以外の方法、例えば利用可能な既存の技術情報や経験等の見地によって見積もる方法である。

不確かさ推定のフローを図1に示す。数学モデル y は、通常は、測定量の定義式であり、入力量や影響量 x_i の関数で表されている。合成不確かさに信頼水準を表す包含係数をかけて拡張不確か

* (財) 建材試験センター中央試験所品質性能部 音響グループ

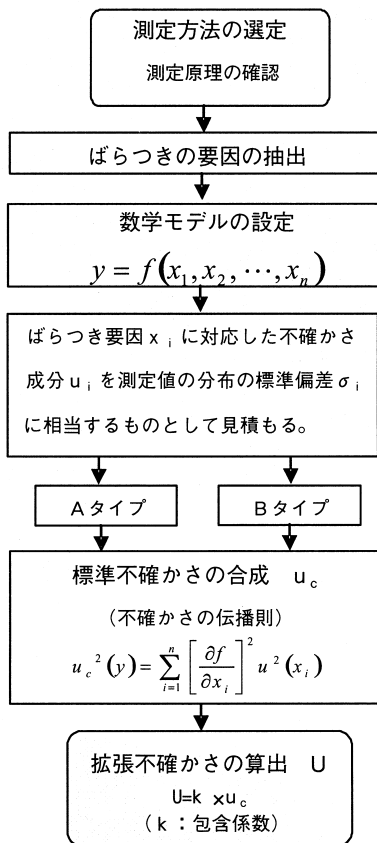


図1 不確かさ推定のフロー

さとし最終的な不確かさ結果となる。なお、包含係数は一般的にk=2を採用する。これは信頼の水準95%に相当する。

3. 遮音試験方法の概要

JIS A 1416（実験室における建築部材の空気遮断性能の測定方法）による音響透過損失測定は次のような手順で行っている。

1) 試験室

長い残響時間をもち十分な拡散音場を得られる室とする。今回の測定は図2に示すタイプI試験室（残響室）で行った。

2) 試験体

試験体は依頼者が施工することを基本とする。試験室開口部に試験体を取り付け、試験室と試験体の隙間は粘土でシールする。

3) 試験準備

マイクロホンを所定の位置に並べ、ケーブルを繋ぐ。計測器を起動させ、音響校正器でマイクロホンの校正を行う。試験室内の温湿度を測定する。

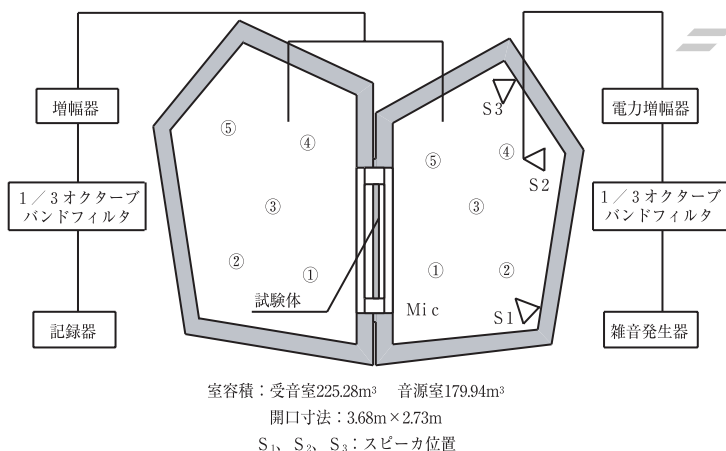
4) 試験行為

計測器で受音室側の残響時間を測定する。音源室と受音室の音圧レベル差を測定し、透過吸音面積の補正を行い音響透過損失の結果を算出する。

4. 遮音試験における不確かさの要因

測定の時間系列に不確かさ要因を加えたものを図3に示す。不確かさ要因を①試験体、②残響室を含む測定システム③試験環境④試験行為について検討し、一覧にしたものを表1に示す。

温度、湿度、気圧などは影響量として考慮した。マイクロホンやスピーカについては附属書の内容を考慮する必要があるが、ここでは設置位置や測定者による反復測定を行った。測定機器



室容積：受音室225.28m³ 音源室179.94m³
開口寸法：3.68m×2.73m
S₁、S₂、S₃：スピーカ位置

図2 試験装置・タイプ試験室（平面図）

についてはメーカーの校正証明書に記載された不確かさをを用いた。

試験体の設置位置については、ニッシュ効果による不確かさを考慮した。今回の測定は、試験方法の不確かさということで行ったため、試験体自体のばらつき、四周処理の粘土詰め等は考慮しない。

5. 試験体の選定

試験体の安定度、取付け条件、質量、共振、周波数特性、音場(拡散性)などの諸条件を考慮して、以下に示す試験体を選定した。

1) 試験体A：コンクリートパネル (図4)

コンクリート単体の厚さが200mmの壁体パネ

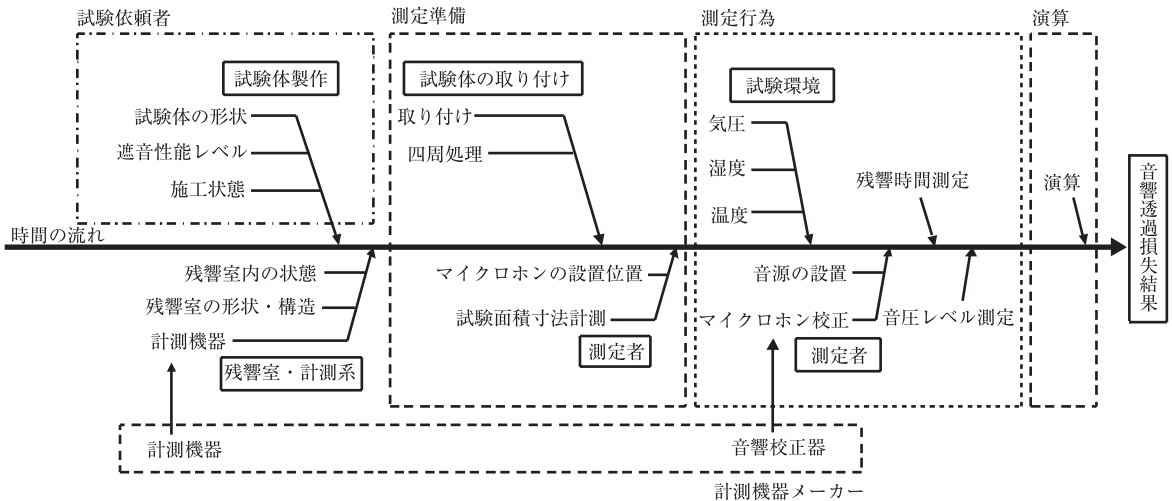


図3 音響透過損失結果までの不確かさに関係する時間系列

表1 不確かさの要因

要素	番号	不確かさの要因	内容	因子	対応
試験体	1	試験体の性能レベル	開口部調整壁の性能による補正(JIS A 1416 附属書3)	R	●
	2	試験体の形状(大きさ, 厚さ)	フランキングロスの影響	R	●
測定系 及び 残響室	3	計測機器(記録計等)	校正の不確かさ(メーカー資料)	T, L ₁ , L ₂	○
	4	音響校正器	校正の不確かさ(メーカー資料)	L ₁ , L ₂	○
	5	ケーブル等の接続	ノイズ等の影響(メーカー資料)	T	○
	6	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	●
試験環境	7	残響室内の状態	残響室内の反射板等の設置によるばらつき	L ₁ , L ₂	○
	8	温度	等価吸音面積への影響, 温度変化の補正	A	○
	9	湿度	湿度変化の補正	-	-
試験	10	気圧	音源室・受音室で同時測定のため影響はない	-	-
	11	試験体のニッシュ位置	ニッシュ効果の影響	R	◎
	12	取り付け部の密閉度	粘土詰めの状態	R	●
	13	マイクロホン調整	音響校正器によるマイクロホン調整のばらつき	L ₁ , L ₂	◎
	14	試料面積寸法	面積の取り方, 寸法測定	S	○
	15	マイクロホンの位置及び高さ	音圧の平面及び空間分布, マーキング位置, JIS A 1416 附属書4	L ₁ , L ₂	◎
	16	スピーカーの位置及び向き	反復によるばらつき, JIS A 1416 附属書4	L ₁ , L ₂	◎
	17	測定者	反復によるばらつき	L ₁ , L ₂	◎

◎：測定 ○：外部校正又は既存資料 -：除外 ●：検討課題

ル。単一材料であることから質量則に沿って安定した音響透過損失を示し、残響室の測定限界に近い試験体である。

2) 試験体B：間仕切りパネル

取付け位置（図5）を変化させた時の音響透過損失への影響（ニッシュ効果）をみるために、軽量で取扱が容易なものとした。

6. 実験計画

試験体A、Bを用いて、表2に示す実験計画を組んだ。スピーカ位置は、図2に示すS₁、S₂、S₃の3箇所を移動。マイクロホン位置は、①～⑤に固定。測定者は3名。取付け位置は、試験体Aについては通常的位置である230mm(音源室からの距離)のみ、試験体Bについては、測定者をH₁のみとしてニッシュ効果を見るために230mmのほか、0mm、115mm、300mmの位置とした。これらの組み合わせについてランダムに各5回測定したので、測定データ数は次のようになる。

試験体A：1×3カ所(S)×3人(H)×5カ所(M)×5回(n)=225

試験体B：1×3カ所(S)×1人(H)×4(N)×5カ所(M)×5回(n)=300

7. 測定データ

試験体Aによる測定データを表3に示す。残響時間については、表4に示す。また、試験体Bで行ったニッシュ効果に関する測定結果を表5及び図6に示す。ここでは、500Hzのみを示しているが、測定は、100Hzから5000Hzまで行っている。

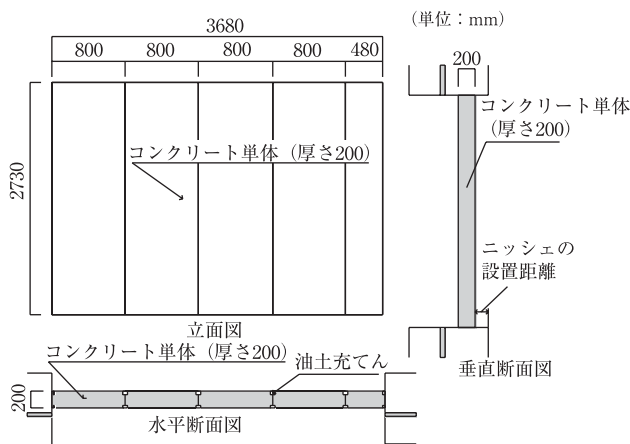


図4 試験体Aコンクリートパネル

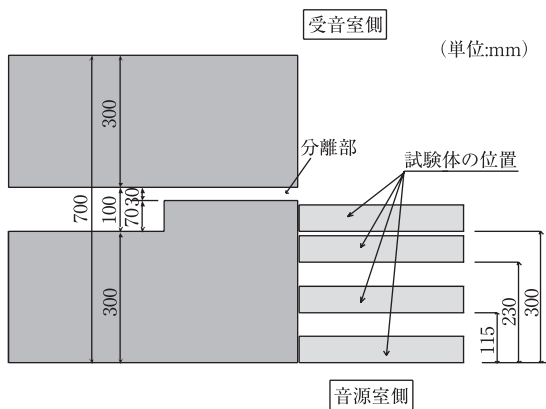


図5 ニッシュ効果測定のための取付け位置

表2 実験計画表

要因	水準				
	A	B	-	-	-
試験体	A	B	-	-	-
スピーカ位置(S)	S ₁	S ₂	S ₃	-	-
測定者(H)	H ₁	H ₂	H ₃	-	-
マイクロホン(M)	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅
取付け位置(N)mm	0	115	230	300	-
試験体A：コンクリートパネル 試験体B：間仕切りパネル					

表3 測定者、スピーカー位置、マイクの三元配置データ (音圧レベル500Hz)

dB

S	H	n	音源側					受信側										
			M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	M 7	M 8	M 9	M 10						
S 1	H 1	1	110.55	110.57	110.39	110.58	110.32	62.07	61.76	61.35	62.02	61.59						
		2	110.42	110.37	110.00	110.13	109.87	61.64	61.28	61.17	61.70	61.18						
		3	110.68	110.22	110.07	110.23	110.15	61.65	61.34	61.14	61.66	61.28						
		4	110.29	110.05	109.69	109.78	109.67	61.11	60.97	60.88	61.09	60.78						
		5	109.90	110.36	109.84	109.69	109.43	61.36	61.08	60.89	61.10	60.95						
	H 2	1	110.45	110.50	110.05	110.22	109.85	61.70	61.40	61.26	61.81	61.22						
		2	110.65	110.64	110.20	110.28	110.15	61.91	61.34	61.25	61.82	61.40						
		3	110.58	110.44	110.11	110.19	110.01	61.75	61.34	61.24	61.83	61.30						
		4	110.42	110.44	110.02	109.91	109.82	61.58	61.17	61.28	61.56	61.19						
		5	110.11	110.34	109.98	109.87	109.66	61.40	61.35	61.15	61.31	61.17						
	H 3	1	110.55	110.59	110.09	110.10	109.91	61.76	61.24	61.29	61.68	61.15						
		2	110.60	110.30	110.08	110.26	110.03	61.63	61.47	61.29	61.80	61.29						
		3	110.08	110.34	109.82	109.73	109.53	61.26	60.87	60.90	61.18	60.73						
		4	110.38	110.30	109.89	109.87	109.74	61.50	61.19	61.22	61.44	61.06						
		5	110.22	110.18	109.86	109.84	109.62	61.44	61.28	61.13	61.36	61.10						
S 2	H 1	1	110.13	110.02	109.77	109.69	109.96	61.49	61.19	60.24	61.02	60.46						
		2	111.36	110.64	110.95	110.93	111.14	62.07	61.92	61.87	61.96	61.06						
		3	110.84	109.89	110.81	110.70	110.61	61.50	61.49	61.22	61.51	60.64						
		4	110.94	110.10	110.96	110.92	110.73	61.57	61.50	61.33	61.57	60.69						
		5	111.04	110.29	110.88	110.83	111.04	61.63	61.87	61.66	61.81	61.12						
	H 2	1	111.64	110.83	111.22	110.58	111.57	62.73	62.50	62.58	62.13	61.77						
		2	111.02	110.42	110.80	110.14	110.60	61.95	61.57	61.67	61.44	60.94						
		3	111.47	110.73	111.01	110.57	111.20	62.40	62.22	62.29	61.91	61.44						
		4	111.26	110.60	110.95	110.52	110.94	62.07	61.94	62.01	61.74	61.26						
		5	110.98	110.13	110.80	110.55	110.82	61.54	61.67	61.49	61.66	60.97						
	H 3	1	111.09	110.44	110.86	110.48	111.10	61.94	61.98	61.89	61.90	61.25						
		2	110.98	110.25	110.80	110.61	110.82	61.67	61.79	61.58	61.68	60.96						
		3	110.62	110.08	110.46	110.19	110.32	61.19	61.55	61.23	61.37	60.61						
		4	110.96	110.20	110.71	110.57	110.88	61.60	61.77	61.58	61.69	60.96						
		5	110.58	110.13	110.58	110.30	110.56	61.14	61.52	61.30	61.41	60.78						
S 3	H 1	1	111.07	111.31	111.17	111.25	110.94	62.40	62.09	61.71	62.05	61.59						
		2	111.04	110.77	111.32	111.42	111.09	62.25	61.88	61.62	62.16	61.50						
		3	110.66	110.94	111.10	111.25	111.23	62.18	61.96	61.75	62.28	61.14						
		4	110.43	110.05	109.97	110.22	110.23	61.16	61.01	60.26	60.97	60.67						
		5	110.86	110.49	111.39	111.28	111.20	62.39	61.98	61.84	62.19	61.24						
	H 2	1	110.61	110.45	110.22	110.44	109.85	61.22	61.29	60.58	60.91	60.70						
		2	110.70	110.37	110.35	110.51	110.32	61.55	61.43	60.78	61.27	60.97						
		3	110.25	110.15	110.01	110.02	109.74	61.14	61.04	60.33	60.71	60.56						
		4	110.36	110.06	110.04	110.19	110.04	61.24	61.12	60.43	60.98	60.78						
		5	110.60	110.52	110.38	110.57	110.00	61.46	61.55	60.77	61.04	60.98						
	H 3	1	110.50	110.19	110.02	110.23	110.05	61.04	61.04	60.29	60.80	60.61						
		2	110.30	110.05	109.78	110.07	109.87	60.86	60.80	60.11	60.52	60.42						
		3	110.55	110.16	110.10	110.39	110.28	61.32	61.19	60.45	61.06	60.83						
		4	110.52	110.09	110.06	110.37	110.21	61.27	61.19	60.43	61.05	60.85						
			110.19	109.83	109.76	110.15	109.64	60.77	60.77	60.35	60.34	60.42						
			二乗和	2743250.335			和	24844			二乗和	846888			和	13804		

8. 遮音試験における不確かさの数学モデル

8.1 音響透過損失の定義式

音響透過損失は、次式で定義されている

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

ここに、R：音響透過損失(dB)

L₁：音源室における室内平均音圧レベル(dB)

L₂：受音室における室内平均音圧レベル(dB)

S：試験体の面積(m²)

A：受音室の等価吸音面積(m²)

$$A = (55.3 / c) \cdot V / T \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$c = 331.5 + 0.61 t \quad \dots \dots \dots (3)$$

ここに、V：受音室の容積 (m³)

T：残響時間(sec)

c：空気中の音速(m/s)

t：空気の温度(°C)

(1)式に(2)及び(3)式を代入すると数学モデルは、

$$R = L_1 - L_2 + 10[\log_{10} S - \log_{10} 55.3 + \log_{10} (331.5 + 0.61t) + \log_{10} T - \log_{10} V] \quad \dots \dots \dots (4)$$

と表され、不確かさを伝播則によって次のように表すことができる。

$$u_R^2 = \left(\frac{\partial R}{\partial L_1}\right)^2 u_{L_1}^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial L_2}\right)^2 u_{L_2}^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial S}\right)^2 u_S^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial t}\right)^2 u_t^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial T}\right)^2 u_T^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial V}\right)^2 u_V^2 \quad \dots \dots \dots (5)$$

8.2 ニッシュェ効果

ニッシュェ効果については、試験体の位置をずらして透過損失を測定し、設置位置と透過損失の関係を回帰分析することによってニッシュェ効果による不確かさを求める。回帰式を次式で表す。

$$y = \beta(x - x_m) + y_m \quad \dots \dots \dots (6)$$

ここで、x_m：xの平均

y_m：yの平均

β：回帰式の傾きの推定値

表4 残響時間 (s) 500Hz

回数	H 1	H 2	H 3
1	11.08	11.15	11.08
2	11.18	11.12	11.21
3	11.14	11.17	11.21
4	11.21	11.22	11.16
5	11.17	11.12	11.18

平均 11.16

表5 ニッシュェ効果データ (500Hz) dB

S	回数	試験体設置位置			
		0mm	115mm	230mm	300mm
S 1	1	38.83	39.28	37.51	37.76
	2	38.71	39.25	37.51	37.76
	3	38.75	39.26	37.53	37.69
	4	38.81	39.27	37.54	37.65
	5	38.84	39.25	37.52	37.67
S 2	1	39.82	39.28	37.95	38.31
	2	39.86	39.27	37.95	38.42
	3	39.88	39.27	37.97	38.42
	4	39.88	39.28	37.98	38.43
	5	39.89	39.24	37.98	38.43
S 3	1	39.42	39.65	37.88	38.23
	2	39.39	39.62	37.87	38.23
	3	39.34	39.61	37.83	38.21
	4	39.34	39.62	37.83	38.19
	5	39.34	39.62	38.21	38.18
平均		39.34	39.38	37.80	38.11
標準偏差		0.4576	0.1757	0.2247	0.3063

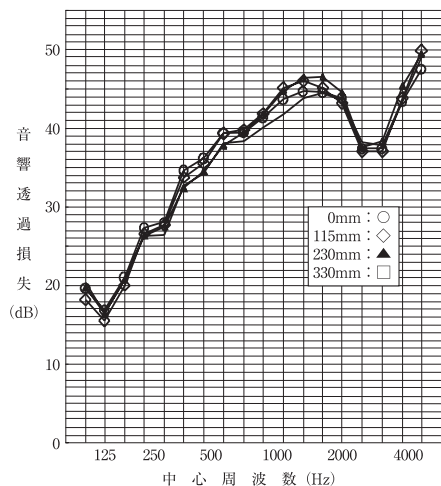


図6 音響透過損失のニッシュェ効果

この式の不確かさの伝播則は、次のように表される。

$$u^2(y) = \left(\frac{\partial y}{\partial \beta}\right)^2 u^2(\beta) + \left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)^2 u^2(x) + \left(\frac{\partial y}{\partial y_m}\right)^2 u^2(y_m) \dots (7)$$

この式の y は音響透過損失、x は試験体の設置位置である。

8.3 測定システムの校正

音響校正器の出力音圧安定性の不確かさを u_{sc} 、マイクロホンの誤差による不確かさを u_{mc} 、マイクロホン延長コードによる影響を u_{cable} とすると、測定システムの伝播則は、次式で表される。

$$u_{cal}^2 = u_{sc}^2 + u_{mc}^2 + u_{cable}^2 \dots (8)$$

8.4 合成標準不確かさ

合成標準不確かさは、(5)、(7)、(8)式による伝播則から次式で表される合成分散の平方根である。

$$u_c^2 = u_R^2 + u_{niche}^2 + u_{cal}^2 \dots (9)$$

9. 要因別不確かさの見積もり

9.1 反復測定の不確かさ

1) 音圧レベルの分散分析

因子として、スピーカ位置、測定者、マイクロホン位置を採り、それぞれ水準数を 3、3、5 としてランダムに繰り返し 5 回の測定を行い、表 3 のデータを用いて三元配置法による分散分析²⁾を行った結果を表 6 に示す。測定者の分散成分はマイクロホン位置、スピーカ位置と比べると非常に小さくなったため誤差項に含めることとした。測定者及び交互作用をすべて誤差項にプーリング（交互作用がないと判断される場合、例えばその F 値の上側確率が 0.05 よりも大きく危険率 5% で効果による反応の差はないと判断されるような場合、交互作用の項を除去し、それを残差に組み

込むこと）した音源側の結果を表 7 に、受信側の結果を表 8 に示す。分散の期待値から各因子の標準分散 σ_i^2 を求める。さらに、スピーカ位置 3、マイクロホン位置 5、測定回数 15 の平均値の標準分散を求めて合成し、平方根をとって標準不確かさを求める。

$$\sigma_s = (5.636 - 0.147) / 75 = 0.0732$$

$$\sigma_M = (0.807 - 0.147) / 45 = 0.0147, \quad \sigma_e = 0.147$$

$$u_{L1}^2 = \frac{0.0732^2}{3} + \frac{0.0147^2}{5} + \frac{0.147^2}{15} = 0.0371$$

$$\therefore u_{L1} = 0.193 \text{ (dB)} \dots (10)$$

表 6 分散分析表（音源側）

因子	変動 (s.s)	自由 (f)	分散 (V)
スピーカ S	11.2724	2	5.6362
測定者 H	3.0697	2	1.5348
マイクロホン M	3.2289	4	0.8072
交互作用 SxH	6.7490	4	1.6873
交互作用 SxM	5.4224	8	0.6778
交互作用 HxM	0.7678	8	0.0960
交互作用 SxHxM	0.8213	16	0.0513
誤差 e	15.1906	180	0.0844
合計 T	46.5223	224	

表 7 プーリング後の分散分析表（音源側）

因子	変動 (s.s)	自由度 (f)	分散 (V)	分散の期待値
スピーカ S	11.272	2	5.636	$\sigma_e^2 + 75 \sigma_s^2$
マイクロホン M	3.229	4	0.807	$\sigma_e^2 + 45 \sigma_M^2$
誤差 e	32.021	218	0.147	σ_e^2
合計 T	46.522	224		

表 8 プーリング後の分散分析表（受信側）

因子	変動 (s.s)	自由度 (f)	分散 (V)	分散の期待値
スピーカ S	6.300081	2	3.15004	$\sigma_e^2 + 75 \sigma_s^2$
マイクロホン M	10.82418	4	2.70604	$\sigma_e^2 + 45 \sigma_M^2$
誤差 e	37.91953	218	0.17394	σ_e^2
合計 T	55.04378	224		

同様に受音側では、次の結果が得られる。

$$\sigma_s = 0.0397, \sigma_M = 0.0563, \sigma_e = 0.174$$

$$u_{L2}^2 = \frac{0.0397}{3} + \frac{0.0563}{5} + \frac{0.174}{15} = 0.0361$$

$$\therefore u_{L2} = 0.190 \quad \dots\dots(11)$$

2) 空気温度の影響

(5)式の第4項について検討する。試験室内の年間の気温変動は、経験的に5℃から35℃とすると、平均温度が20℃、変動幅が±15℃となる。正弦波の変動とするとU字分布になり標準偏差は次のようになる。

$$u_t = \frac{15}{\sqrt{2}} = 10.61 \text{ (K)} \quad \dots\dots(12)$$

感度係数は、(4)式の第5項を偏微分することで得られる。

$$\left(\frac{\partial R}{\partial t}\right) = \left(10 \times \frac{0.61}{(331.5 + 0.61t) \times \ln 10}\right)$$

$$= 0.00771 \text{ (dB/K)} \quad \dots\dots(13)$$

(12)式と(13)式の結果から温度変化による不確かさを求める。

$$10.61 \times 0.00771 = 0.082 \text{ (dB)} \quad \dots\dots(14)$$

3) 残響時間

(5)式の第5項について検討する。被験者3名による反復繰り返し測定を表4のデータから標準偏差0.0456を得た。このときの平均残響時間は、11.16secである。感度係数は、(4)式の第6項を偏微分することで得られる。

$$\left(\frac{\partial R}{\partial T}\right) = \left(10 \times \frac{1}{T \ln 10}\right) = 0.389 \text{ (dB/s)} \quad \dots\dots(15)$$

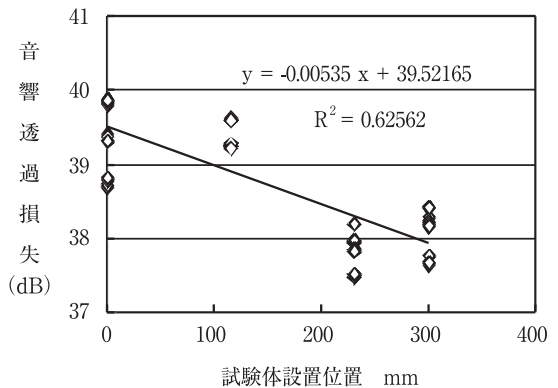


図7 ニッシュ効果の回帰式 (500Hz)

表9 ニッシュ効果の回帰分析

	自由度	変動	分散
回帰	1	22.3996	22.3996
残差	58	13.4044	0.2311
合計	59	35.8040	

	係数	標準誤差	t
切片	39.52165	0.10742	367.92716
傾き	-0.00535	0.000544	-9.84487

9.2 ニッシュ効果による不確かさ

(6)式を偏微分し、(7)式を置き換えると、

$$u^2(y) = (x - x_m)^2 u^2(\beta) + \beta^2 u^2(x) + u^2(y_m) \quad \dots\dots(16)$$

表5のデータを用いて、試験体設置位置と音響透過損失の関係を回帰分析する。

試験体の取付け位置は、試験体両側のニッシュ比を2:1になるように設置する事となっている。当試験室の場合、試験体取付け部分の幅が700mmであり、ほぼ230mmの位置に設置することになっている。ここで、通常試験体設置位置をニッシュの230mmとし、x=230mm、測定した4種類のニッシュ位置の平均はXm=161.25mmである。ニッシュ効果の回帰分析結果(表9及び図7)から、βは分散分析表の傾きの係数、u(β)は標

準誤差から求められ、それぞれ -0.00535と0.000544である。

$u^2(y_m)$ は、 y の平均の分散であるから残差(回帰式からのデータのばらつき)の分散をデータの個数で割ったもので次のようになる。

$$u(y_m) = \sqrt{0.2311/60} = 0.0621 \dots \dots (17)$$

試験体の取付位置のばらつきを±10mmとし、矩形分布を想定すると、設置位置のばらつきは次のとおりである。

$$u(x) = \frac{10}{\sqrt{3}} = 5.77 \text{ (mm)} \dots \dots (18)$$

これらの数値を(16)式に代入すると、

$$\begin{aligned} u^2(y) &= (230 - 161.25)^2 \times 0.000544^2 \\ &\quad + (-0.00535)^2 \times 5.77^2 + 0.0621^2 \\ &= 0.00620 \\ \therefore u(y) &= 0.0788 \dots \dots (19) \end{aligned}$$

この $u(y)$ は、ニッシュ効果による不確かさ u_{niche} である。

9.3 計測システムの不確かさ

1) 音響校正器の不確かさは、校正証明書から出力音圧安定性が±0.1dBと示されているので、出力音圧安定性が一様分布すると考えると

$$u_{s.c} = \frac{0.1}{\sqrt{3}} = 0.0577 \dots \dots (20)$$

が得られる。

2) 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、

$$u_{mc} = \frac{0.02}{\sqrt{3}} = 0.0115 \dots \dots (21)$$

マイクロホンケーブルが長くなるほど測定できる音圧感度が低くなり、高い周波数に影響を及ぼすことが知られているが、通常の実験室における測定音圧レベル及び測定周波数の範囲ではケーブルの長さによる不確かさは無視できる。

3) 計測システムによる不確かさ u_{sys} は、

$$\begin{aligned} u_{sys}^2 &= u_{s.c}^2 + u_{mc}^2 = 0.0577^2 + 0.0115^2 = 0.00346 \\ \therefore u_{sys} &= 0.0588 \dots \dots (22) \end{aligned}$$

となる。

10. 合成標準不確かさ及び拡張不確かさの算定

合成標準不確かさ u_c は(9)式より、

表10 バジレットシート (500Hz)

不確かさの因子	$\partial f / \partial x$	u_i	$(\partial f / \partial x) u_i$	タイプ
透過損失測定における不確かさ u_R	-	-	0.283	-
音源側音圧レベル u_{L1}	1	0.206	0.193	A
受音側音圧レベル u_{L2}	1	0.207	0.190	A
試験体の面積 u_S	-	除外	-	B
気温の変動 u_t	0.00771	10.61	0.082	B
残響時間 u_T	0.389	0.0456	0.018	A
受音室の容積 u_V	-	除外	-	B
ニッシュ効果による不確かさ u_{niche}	-	-	0.079	-
勾配のばらつき $u(\beta)$	68.75	0.000544	0.037	A
位置のばらつき $u(x)$	0.00535	5.77	0.031	B
平均のばらつき $u(y_m)$	1	0.062	0.062	A
測定システムの不確かさ u_{cal}	-	-	0.059	-
音響校正器 $u_{s.c}$	1	0.0577	0.058	B
マイクロホン u_{mc}	1	0.0115	0.012	B
ケーブル u_{cable}	-	除外	-	B
合成標準不確かさ			u_c 0.30	
拡張不確かさ (k=2)			U 0.60	

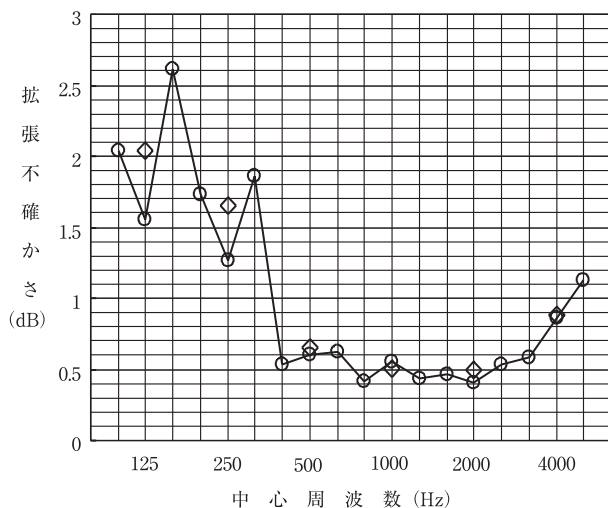


図8 周波数別拡張不確かさ

中心周波数 (Hz)	拡張不確かさ	
100	2.04	
125	1.55	2.04
160	2.61	
200	1.73	
250	1.27	1.65
315	1.87	
400	0.53	
500	0.60	0.65
630	0.62	
800	0.41	
1000	0.56	0.50
1250	0.43	
1600	0.47	
2000	0.41	0.50
2500	0.54	
3150	0.59	
4000	0.86	0.88
5000	1.13	

$$u_c^2 = u_R^2 + u_{niche}^2 + u_{cal}^2 = 0.283^2 + 0.0788^2 + 0.0588^2 = 0.0900$$

$$\therefore u_c = 0.300 \text{ (dB)} \quad \dots \dots (23)$$

以上の結果を、表10のバジェットシートにまとめる。また、周波数別に求めた拡張不確かさを図8に示す。

11. まとめ

ISO文書「不確かさの表現ガイド (GUM)」に基づいて、遮音試験における不確かさの推定を試みた。遮音試験における不確かさの要因を抽出し、要因分析に必要な実験計画を立て、測定可能なものについて測定を行った。低周波域で1.5～2.6dB、中間域では0.5dB程度、高周波域では増加傾向にあり1 dB強の数値が得られた。低周波域ではスピーカーの位置よる不確かさ要因、高周波域ではマイクロホンの位置による不確かさ要因が大きく出た。室内音圧レベル測定の不確かさに大きく依存しており、特に160Hzにおいて2.6dBと

いう他の周波数と比べると高い不確かさがでた。この試験室の特有の要因が絡んでいる可能性があるとして、旧来使用している他の残響室でも試験体1つについて繰り返しの同様の試験を行ったが、やはり160Hzで不確かさが大きくなった。2つの試験室の平均自由路程を算出すると160Hzの2波長分の距離となる。当試験所の残響室において160Hzの周波数で不確かさが大きくなる要因の一つに平均自由路程が関係している可能性がある。この平均自由路程が関係しているかについては、これから他の試験機関や研究所の残響室でも同様の試験を行わないと断定は出来ない。

測定者による測定値の違いは、マイクロホン位置、スピーカ位置の要因と比べると非常に小さかった。これはマイクロホンの設置位置ごとの音圧の差やスピーカ位置による室内の音圧レベル差が大きかった事による。室内平均で見るとそれほど違いは見られないが、個々のマイクロホンで見るとばらつきが大きくなるのが原因となった。

今回の不確かさ算出では、試験方法の不確かさ

の検討と言うことで、試験体自体の不確かさは考慮に入れていない。ユーザー（消費者）サイドから見ると、サッシやドア等の商品自体の施工状態、試験体の養生日数等の不確かさ要因についても、検討する必要があると思われる。しかし、この試験体自体の不確かさを算出するのは非常に困難である。例えばサッシを例にすると、試験の際には障子の調整の仕方、試験体四周の粘土詰め、試験体枠のコンクリートの詰め方等、不確かさ要因があまりにも多すぎて、試験体自体の不確かさを算出するのは容易ではない。今までの経験から言うと、サッシの場合は取り付け調整の仕方でも性能に大きな違いが出るので、調整のみの不確かさを求めれば他の要因は無視できると思われる。手間を減らすために調整のみの不確かさを算出すれば可能かもしれないが、この調整のみの不確かさを算出するにも試験体毎にやるとなると時間とコストが膨大にかかってしまう。このあたりを今後どうするか大きな課題である。

なお、遮音試験における不確かさの要因は、ここで取り上げた要因のほかにも考えられる。今回は特定の残響室に限定して不確かさの算定を試みたが、残響室の形状の違いによる影響については、他の試験機関等を含めた同一試験体の持ち回り試験（ラウンドロビテスト）を必要とするなど今後の課題である。

【謝辞】

この報告は、経済産業省から独立行政法人製品評価技術基盤機構へ委託された平成14年度「試験事業者認定事業委託費（認定試験事業者等への技術情報提供に係る調査研究等）に係る調査研究事業」の一部再委託を財団法人建材試験センターが受けて実施した「不確かさに関する調査研究（委員長：安岡正人東京理科大学教授）」の成果をまとめたものである。なお、不確かさ推定に必要な基礎的知識については、田中秀幸委員（独立行政法人産業技術総合研究所）に、実験計画については吉村純一委員（財団法人小林理学研究所）に多大なるご協力を頂いた。ここに記して謝意を表する。

【参考文献】

- 1) ISO 翻訳文書「計測における不確かさの表現ガイド」日本規格協会；
- 2) 分散分析入門、石川馨、米山高範共著、日化技連
- 3) JIS Q 17025 (ISO/IEC 17025 翻訳規格)

（財）建材試験センター・品質性能試験部門のお問合わせ

中央試験所 〒340-0003 埼玉県草加市稲荷5丁目21番20号

- | | | | |
|---------|---------|--------------------|--------------------|
| ・試験の受付 | 試験管理室 | TEL 048 (935) 2093 | FAX 048 (931) 2006 |
| ・材料系試験 | 材料グループ | TEL 048 (935) 1992 | FAX 048 (931) 9137 |
| ・環境系試験 | 環境グループ | TEL 048 (935) 1994 | FAX 048 (931) 8684 |
| | 音響グループ | TEL 048 (935) 9001 | FAX 048 (931) 9137 |
| ・防耐火系試験 | 防耐火グループ | TEL 048 (935) 1995 | FAX 048 (931) 8684 |
| ・構造系試験 | 構造グループ | TEL 048 (935) 9000 | FAX 048 (935) 9137 |

西日本試験所 〒757-0004 山口県厚狭郡山陽町大字山川

- | | | | |
|-------|-----|--------------------|--------------------|
| ・試験一般 | 試験課 | TEL 0836 (72) 1223 | FAX 0836 (72) 1960 |
|-------|-----|--------------------|--------------------|