

矩形閉空間の入射角度の影響を考慮に入れた 虚像法による解析

高木 直樹*** 山下 恭弘** 松井 昌幸*

(昭和62年10月31日受理)

Analysis of Sound Fields within Rectangular Enclosures by the Image Method with Incidence Angle Taken into Consideration

Naoki TAKAGI, Yasuhiro YAMASHITA
and Masayuki MATSUI

An equation containing the oblique incidence absorption coefficient as a variable was derived in accord with the image method, and used for a deduction with respect to the reflection degree. First, to obtain values of the absorption coefficient, the incidence angle at each reflection wall was obtained by using the locations of image source and receiver and the equation of the reflection wall, the absorption coefficient for the incidence angle obtained being used for the calculation. Second, the distribution of incidence angles was considered in connection with the reflection degree. Third, a consideration was paid in regard to the effect, on the incidence angle distribution, of the reflection degree, the sound source and receiver locations, and the room form. Fourth, reflection parameter t was defined by dividing a reflection wall into three sets of opposite reflection sections and used to obtain the expected value and standard deviation for incidence angles at higher reflection degrees. Finally, a use of all the information obtained allowed the image method, with the effect of incidence angle taken into account, to extend its treatable reflection degrees to infinity under statistical treatment.

1. ま え が き

従来研究されてきた虚像法計算は計算に代入する吸音率に拡散法による残響室法吸音率を使用している。これは現在、斜め入射吸音率はその測定が困難であり、極めて一部の材料についてのみしかそのデータが得られていないため、一般的な吸音率である残響室法吸

* 建築工学教室 教授
** 建築工学教室 助教授
*** 建築工学教室 助手

音率を代入している．しかし非拡散音場の解析を行なう虚像法に拡散音場を仮定した残響室法吸音率を代入することは矛盾がある．近年，吸音率の実測手法の改善により，斜め入射吸音率を実測する手法が多数報告されてきており，この面において今後大幅な進歩が予想される．こうした状況をふまえ本論文では，入射角の影響を考慮に入れた吸音率を虚像法計算に代入するための計算式の展開をしめす．またその反射次数を無限大にまで拡張する手段についても述べる．

2. ランダム入射と斜め入射

最初に音が反射面に入射する際の入射角について考察を加える．拡散音場の仮定では任意の反射面において入射してくる音はあらゆる方向から入射してくることになる．これがランダム入射になる．これに対して，本論文で解析対象としているような拡散状態を満足していない部屋においては，音の入射角はその頻度に偏りがでることが推定される．こうした部屋において音の反射を考えると，音の入射してくる角度を考慮しなければならない．図1にランダム入射と斜め入射について概念図を示す．

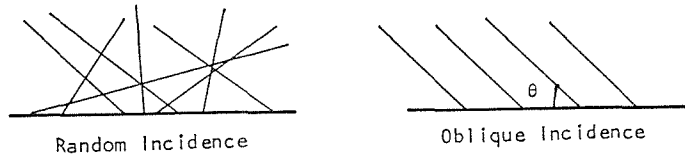


Fig. 1 Random incidence and oblique incidence.

3. 斜め入射吸音率

平面波が媒質 I の方から入射角 θ_i で媒質 II との境界面に入射する場合を考える．境界面の両側の音圧は相等しく，粒子速度も相等しい．従って入射音，反射音，透過音の音圧をそれぞれ P_i ， P_r ， P_t ，粒子速度を v_i ， v_r ， v_t ，角度をそれぞれ θ_i ， θ_r ， θ_t とすると以下の関係がある．

$$P_i + P_r = P_t \quad (1)$$

$$v_i \cos \theta_i - v_r \cos \theta_r = v_t \cos \theta_t \quad (2)$$

また Z_1 ， Z_2 を媒質 I，II の音響インピーダンスとし，入射角と反射角が等しいとすれば，以下の関係が得られる．

$$\frac{\cos \theta_i}{Z_1} (P_i - P_r) = \frac{\cos \theta_t}{Z_2} (P_i + P_r) \quad (3)$$

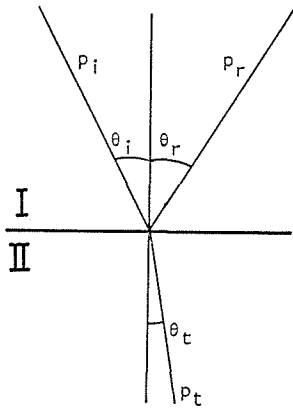


Fig. 2 Incidence and reflection.

$$\left(\frac{\cos \theta_i}{Z_1} - \frac{\cos \theta_t}{Z_2}\right)P_i = \left(\frac{\cos \theta_i}{Z_1} + \frac{\cos \theta_t}{Z_2}\right)P_r \quad (4)$$

音圧反射係数を r_p とすると、式(4)から r_p は以下のようになる。

$$r_p = \frac{P_r}{P_i} = \frac{Z_2 \cos \theta_i - Z_1 \cos \theta_t}{Z_2 \cos \theta_i + Z_1 \cos \theta_t} \quad (5)$$

従って入射角に対する境界面での吸音率は、

$$\alpha_{\theta_i} = 1 - |r_p|^2 = 1 - \left| \frac{Z_2 \cos \theta_i - Z_1 \cos \theta_t}{Z_2 \cos \theta_i + Z_1 \cos \theta_t} \right|^2 \quad (6)$$

ここで入射波の音圧によって材料内部の粒子速度が表面に垂直な方向にのみ生ずるといふ仮定(局部作用の仮定)を与える。式において $\theta_t = 0$ になり、 Z_1 を空気のインピーダンス ρc 、 Z_2 を材料の垂直音響インピーダンス Z に置き換え、入射角を θ とすると以下の式が得られる。

$$\alpha_\theta = 1 - \left| \frac{Z \cos \theta - \rho c}{Z \cos \theta + \rho c} \right|^2 \quad (7)$$

また音響インピーダンス比は以下である。

$$Z = \frac{R_1}{\rho c} + j \frac{X_1}{\rho c} = r_1 + jx_1 \quad (8)$$

従って吸音率 α_θ は以下になる。

$$\alpha_\theta = \frac{4r_1 \cos \theta}{(r_1 \cos \theta + 1)^2 + (x_1 \cos \theta)^2} \quad (9)$$

以上のように局部作用の仮定を与えることにより、斜め入射吸音率 α_θ は音響インピーダンスの実数部、虚数部および入射角 θ により決定できることになる。

音響インピーダンスに関する資料は未だに少なく、一部の材料についてのみしかない。ここでは M. E. Delany と E. N. Bazley が多孔質材料についての実験により求めた¹⁾以下の式を使って解析を進める。

$$\begin{aligned} \frac{R_1}{\rho c} = r_1 &= 1 + 9.08 \left(\frac{f}{R_s} \right)^{-0.75} \\ \frac{X_1}{\rho c} = x_1 &= -11.9 \left(\frac{f}{R_s} \right)^{-0.73} \end{aligned} \quad (10)$$

ここで f は周波数 (Hz)、 R_s は流れ抵抗 (cgs unit) である。

式(13)を式(12)に代入すれば入射角 θ による斜め入射吸音率が求まる。これを図3に示す。さまざまな流れ抵抗に対する角度毎の吸音率を周波数 2000Hz について示す。あらゆる方向から一様に平面波が入射する場合に、入射角に対して統計的に平均化した吸音率を

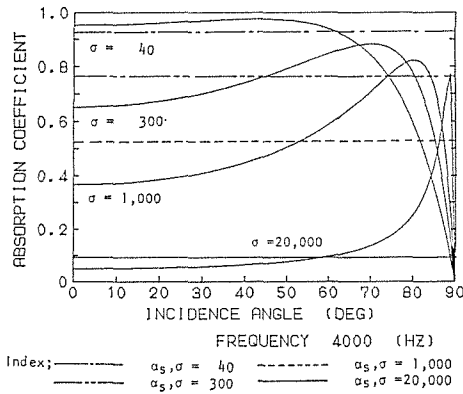


Fig. 3 Oblique incidence absorption coefficient α_θ

統計吸音率 α_s と呼び図中に直線で示す。図を見ると斜め入射吸音率は流れ抵抗が小さい場合は全体的には大きな値であり、流れ抵抗が大きくなると0に近くなる。さらに流れ抵抗により違いますが、全体としては入射角が0度から60度程度までは比較的变化しないかあるいは漸増の傾向を見せ、入射角70度程度から急激に大きくなり、85度程度で極大値を持ち、そこからは急激に減少することが分かる。このことから入射角度が60度程度までの場合は角度による影響は少ないが、入射角がそれ以上の場合には入射角度の影響が吸音率に大きくでることが分かる。

4. 斜め入射吸音率を代入した虚像法

ここでは虚像法計算に斜め入射吸音率を代入する計算式の展開について示す。図4に示すように音源 $S(X_s, Y_s, Z_s)$ 、受信点 $R(X_r, Y_r, Z_r)$ とする。ここで虚音源 S' から任意の反射面への入射角 θ を求める。平面の方程式は下記で表わされる。

$$ax + by + cz + d = 0 \tag{11}$$

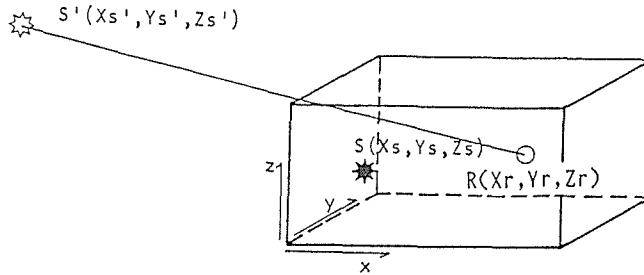


Fig. 4 Location of sound source, image source and receiver.

この法線ベクトルは、以下である。

$$\vec{u} = (a, b, c) \tag{12}$$

虚音源 S' と受信点 R 間のベクトル $\vec{S'R}$ は、以下のようになる。

$$\vec{S'R} = (X_r - X_s', Y_r - Y_s', Z_r - Z_s') \tag{13}$$

$\vec{S'R}$ と \vec{u} のなす角を θ とし、ベクトルの内積から下記の関係が得られる。

$$(\overrightarrow{S'R}, \vec{u}) = |\overrightarrow{S'R}| |\vec{u}| \cos \theta \quad (14)$$

$$(\overrightarrow{S'R}, \vec{u}) = a(X_0 - X_s') + b(Y_0 - Y_s') + c(Z_0 - Z_s') \quad (15)$$

$$|\overrightarrow{S'R}| = \sqrt{(X_0 - X_s')^2 + (Y_0 - Y_s')^2 + (Z_0 - Z_s')^2} \quad (16)$$

$$|\vec{u}| = (a^2 + b^2 + c^2)^{1/2} \quad (17)$$

$$\cos \theta = \frac{a(X_r - X_s') + b(Y_r - Y_s') + c(Z_r - Z_s')}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2} \sqrt{(X_r - X_s')^2 + (Y_r - Y_s')^2 + (Z_r - Z_s')^2}} \quad (18)$$

この式は繁雑であるが、実際には反射面は3軸に平行ないしは垂直な平面なので、(11)式における定数は表1のようなになる。

Table 1 Coefficients a , b , c and d

Wall No.	Equation	a	b	c	d
1	$z = ZH$	0	0	1	$-ZH$
2	$y = 0$	0	1	0	0
3	$y = YH$	0	1	0	$-YH$
4	$x = 0$	1	0	0	0
5	$x = XH$	1	0	0	$-XH$
6	$z = 0$	0	0	1	0

このようにして任意の虚音源 S' から反射面への入射角が求まり、斜め入射吸音率が求まれば虚像法計算に斜め入射吸音率を代入できることになる。さらに実用的には式(10)を用いれば斜め入射吸音率が求まり、それを代入して虚像法計算が可能になる。

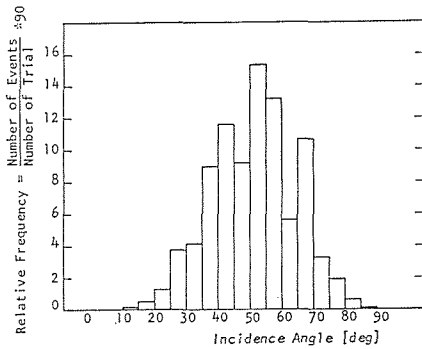
5. 反射次数の拡張

虚像法においては計算する反射次数を高く取れば取るほど理論的には計算の精度が上がる。しかし反射次数を高く取ることには計算機の容量、計算時間等を大量に必要とするため、実用的でなくなる。そこで本論文では入射角の影響を考慮に入れながら、反射次数を無限大に拡張する計算式の導入を行なう。拡張方法としては基本的には入射角の影響を考慮に入れない虚像法で拡張する場合と同様であるが、入射角の影響を考慮に入れるためには、高次反射になり、反射次数毎に平均的に考える際の入射角の期待値を求める必要がある。そこで最初に入射角の頻度分布を求め、反射次数、部屋の形状、音源、受音点位置等により頻度分布がどのように変化するかを検討する。頻度分布の求め方としては、虚音源の位置と反射面の方程式、受音点の位置から式(18)により入射角 θ を求め、それらの累積頻度分布を求める。

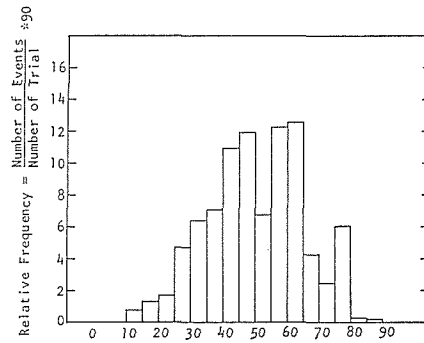
a) 反射次数の影響 入射角の頻度分布の反射次数による影響を検討するために、12次反射と17次反射における入射角の頻度分布を求めた。想定した部屋は $50 \times 53.66 \times 57.07 \text{ m}^3$ の部屋であり、音源、受音点は固定してある。結果を図5に示すが、17次反射の方が

分布の中心に集中する傾向があるが、分布の形状は似ており、これらの分布の期待値 m_θ 、標準偏差 σ を求めると、差はほとんどない。

b) 受音点の位置の影響 受音点の位置による頻度分布への影響を検討するために、おなじ部屋で、受音点の位置を変えて検討した。想定した部屋は直方体の部屋から極端な廊下状の部屋まで5タイプあり、音源を固定して、受音点の位置をそれぞれ3通り変えて頻度分布を求めた。結果の一部を図6に示す。これは極端な形状の部屋 ($50 \times 10 \times 1 \text{ m}^3$) に

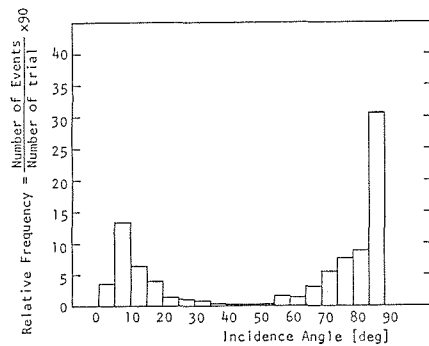


Reflection Degree ; 17
Expected Value m_θ ; 51.43 (deg)
Standard Deviation σ ; 13.03 (deg)

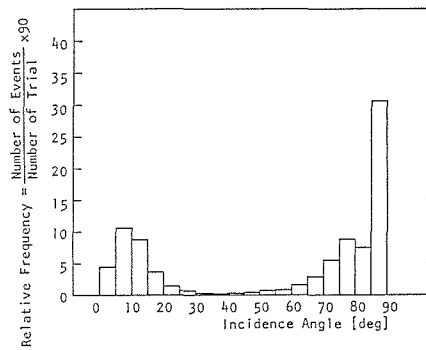


Reflection Degree ; 12
Expected Value m_θ ; 50.23 (deg)
Standard Deviation σ ; 15.09 (deg)
Dimensions of Room
 $50.00 \times 57.07 \times 53.66 \text{ (m}^3\text{)}$

Fig. 5 Difference in the distribution of incidence angle between different reflection degrees.



Position of Observation
 $48.00, 5.00, 0.50 \text{ (m)}$
Expected Value m_θ ; 57.85 (deg)
Standard Deviation σ ; 34.26 (deg)

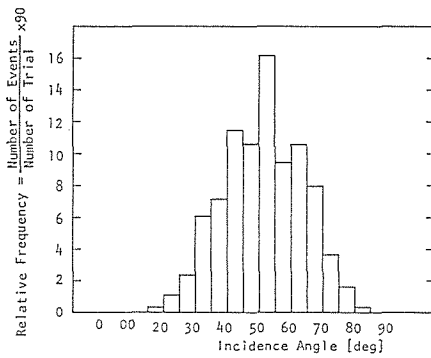


Position of Observation
 $25.00, 5.00, 0.50 \text{ (m)}$
Expected Value m_θ ; 57.86 (deg)
Standard Deviation σ ; 34.26 (deg)
Dimension of the Room
 $50.00 \times 10.00 \times 1.00 \text{ (m)}$

Fig. 6 Difference in the distribution of incidence angle between different position of observations.

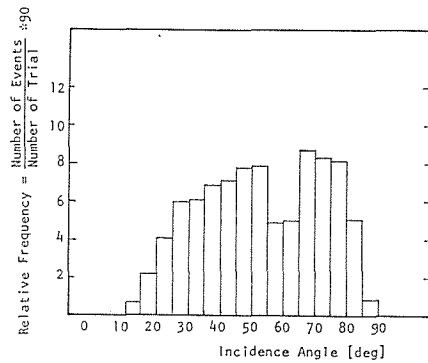
Table 2 Expected value and standard deviation of oblique incidence at the 17th. reflection degrees. (sum for 6 reflection walls)

No.	Room dimensions	Sound source	Observer position	E.V. m_θ	S.D. σ
1	50.0, 50.0, 50.0	25.0, 25.0, 25.0	26.0, 25.0, 25.0	51.32	12.55
			28.0, 25.0, 25.0	51.36	12.56
			48.0, 25.0, 25.0	51.36	12.64
2	30.0, 25.0, 10.0	2.0, 10.0, 2.0	3.0, 10.0, 2.0	52.91	18.98
			10.0, 10.0, 2.0	52.94	18.95
			28.0, 10.0, 2.0	52.97	18.99
3	40.0, 10.0, 4.0	2.0, 5.0, 1.0	3.0, 5.0, 1.0	56.08	30.62
			20.0, 5.0, 1.0	56.09	30.60
			38.0, 5.0, 1.0	56.07	30.60
4	45.0, 45.0, 3.0	2.0, 20.0, 1.0	3.0, 20.0, 1.0	55.86	25.15
			20.0, 20.0, 1.0	55.84	25.08
			40.0, 20.0, 1.0	55.85	25.14
5	50.0, 10.0, 1.0	2.0, 5.0, 0.5	3.0, 5.0, 0.5	57.83	34.31
			25.0, 5.0, 0.5	57.86	34.26
			48.0, 5.0, 0.5	57.85	34.26



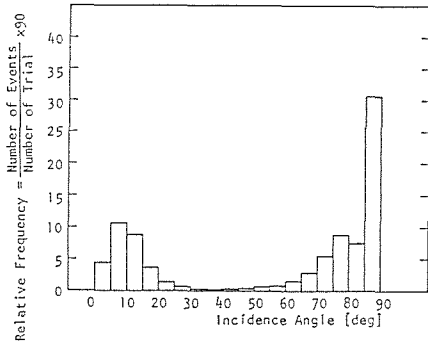
Position of Observation
 48.00, 25.00, 25.00 (m)
 Expected Value m_θ ; 51.36 (deg)
 Standard Deviation σ ; 12.64 (deg)
 Dimension of the Room
 50.00 x 50.00 x 50.00 (m)

Fig. 7 Distribution of incidence angle



Expected Value m_θ ; 52.97 (deg)
 Standard Deviation σ ; 18.99 (deg)
 Dimensions of Room
 30.00 x 25.00 x 10.00 (m)

Fig. 8 Distribution of incidence angle.



Position of Observation

25.00, 5.00, 0.50 (m)

Expected Value m_θ ; 57.86 (deg)

Standard Deviation σ ; 34.26 (deg)

Dimension of the Room

50.00 × 10.00 × 1.00 (m³)

Fig. 9 Distribution of incidence angle.

おける結果であるが、受音点の位置を変えても頻度分布は同様な傾向であることが分かる。表2に5タイプの部屋で求めた結果を標準偏差、期待値で示すが、全ての部屋で殆ど差がないことが分かる。また同様に音源位置を変えてもほとんど差がないことが分かった。

c) 部屋の形状による影響 部屋の形状を変化させた場合の頻度分布を検討した。部屋の形状としては表2に示した10タイプである。結果の一部を図7、図8、図9に示す。部屋の形状により頻度分布は大きく変化することが分かる。形状が立方体に近い場合は頻度分布は中央(45度)近くに分布のピークを持ち、天井高さが低くなる図8の場合はピークが広がる。最も極端な図9の場合は10度近くと90度近くに高いピークができる。

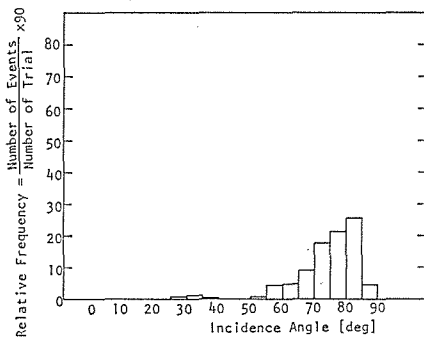
d) 対峙する3組の反射面への分割 部屋の形状によって入射角の頻度分布は複数のピークを持つことが図7～図9により分かった。このような分布は解析が困難になるので、反射面一面毎に頻度分布を求める。表3にその結果のうち図7～図9に示した3タイプの部

Table 3 Expected value and standard deviation of oblique incidence at the 17th reflection degrees. (for 6 reflection Walls)

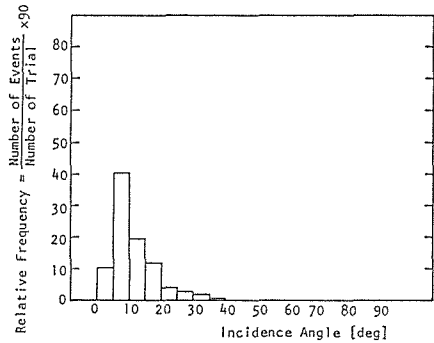
	Room Dimensions	Sound Source	Observer Positions	Wall	m_θ [Deg]	σ [Deg]
1	50, 50, 50	25, 25, 25	48, 25, 25	$x = 0$	51.24	12.61
				$x = XH$	51.61	12.80
				$y = 0$	51.32	12.62
				$y = YH$	51.32	12.62
				$z = 0$	51.34	12.61
				$z = ZH$	51.33	12.61
2	30, 25, 10	2, 10, 2	28, 10, 2	$x = 0$	39.03	13.96
				$x = XH$	39.04	13.96
				$y = 0$	47.22	14.30
				$y = YH$	47.05	14.22
				$z = 0$	72.87	8.01
				$z = ZH$	72.62	7.96
3	50, 10, 1	2, 5, 0.5	48, 5, 0.5	$x = 0$	11.35	7.40
				$x = XH$	11.35	7.40
				$y = 0$	73.82	10.76
				$y = YH$	73.82	10.76
				$z = 0$	88.39	1.23
				$z = ZH$	88.39	1.23

屋の結果を示す。これを見るとピークが複数あるような分布も反射面が対岐する3組の反射面毎（例えば天井と床）にはピークが一つで殆ど同じ分布になっていることが分かる。図10には図9の頻度分布を6面の反射面に分けて示すが、これを見ても6面の反射面は3組の同様な傾向を持つ組に分類できることが分かる。そこで以降は3組の対岐する面に分割してそれぞれの組において入射角の頻度分布を考える。ここで面を表わすパラメータを導入する。図4に示したような部屋を考えたとき、6つの反射面は以下の式で表わされる。

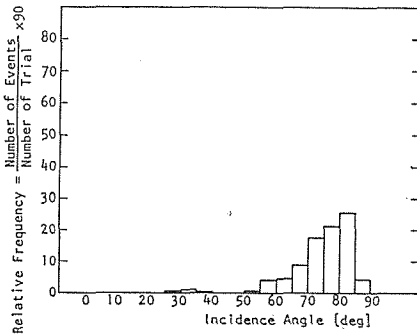
$$x = 0, x = XH, y = 0, y = YH, z = 0, z = ZH \quad (22)$$



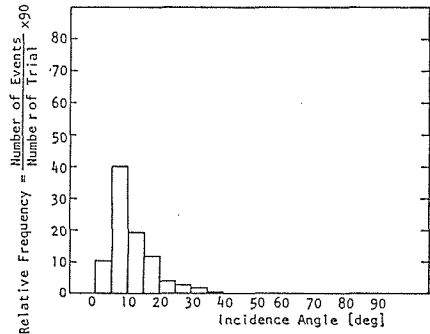
Reflection Surface Observed ; $y = 0$
 Expected Value m_θ ; 73.82 (deg)
 Standard Deviation σ ; 10.76 (deg)



Reflection Surface Observed ; $x = 0$
 Expected Value m_θ ; 11.35 (deg)
 Standard Deviation σ ; 7.40 (deg)



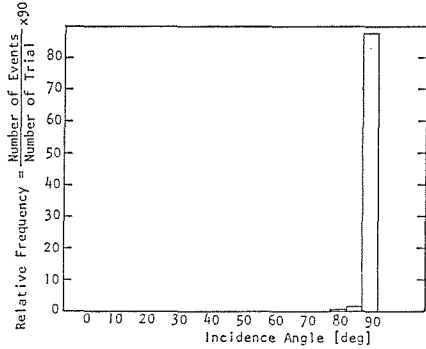
Reflection Surface Observed ; $y = YH$
 Expected Value m_θ ; 73.82 (deg)
 Standard Deviation σ ; 10.76 (deg)
 Dimension of the Room
 $50.00 \times 10.00 \times 1.00$ (m³)



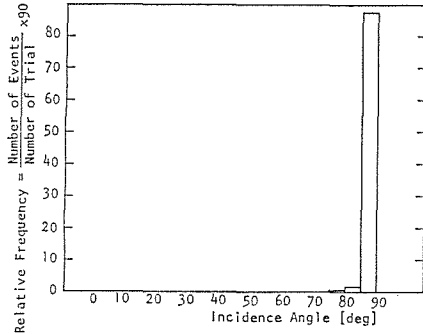
Reflection Surface Observed ; $x = XH$
 Expected Value m_θ ; 11.35 (deg)
 Standard Deviation σ ; 7.40 (deg)
 Dimension of the Room
 $50.00 \times 10.00 \times 1.00$ (m³)

Fig. 10-1 Difference in the distribution of incidence angle between different reflection surfaces observed.

Fig. 10-2 Difference in the distribution of incidence angle between different reflection surfaces observed.



Reflection Surface Observed; $z = 0$
 Expected Value m_θ ; 88.39 (deg)
 Standard Deviation σ ; 1.23 (deg)



Reflection Surface Observed; $z = ZH$
 Expected Value m_θ ; 88.39 (deg)
 Standard Deviation σ ; 1.23 (deg)
 Dimension of the Room
 50.00 × 10.00 × 1.00 (m³)

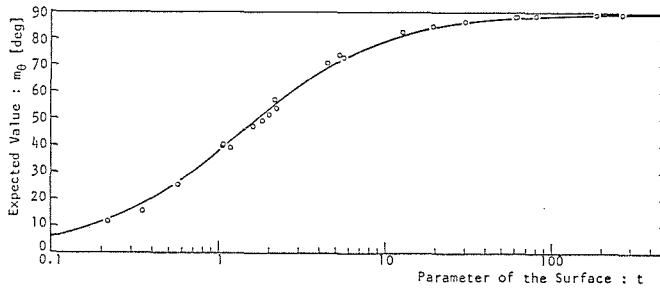
Fig. 10-3 Difference in the distribution of incidence angle between different reflection surfaces observed.

これらを3組に分けそれぞれの組でパラメータ t を考える。

反射面

$$\begin{aligned} x = 0, x = XH : t = t_1 &= (YH + ZH)/XH \\ y = 0, y = YH : t = t_2 &= (ZH + XH)/YH \\ z = 0, z = ZH : t = t_3 &= (XH + YH)/ZH \end{aligned} \quad (23)$$

このパラメータ t ($t_1 \sim t_3$) により各部屋各反射面毎の入射角の期待値 m_θ , 標準偏差 σ の回帰を試みる。



$$\begin{aligned} \text{Surface: } x = 0, x = XH ; t &= \frac{YH + ZH}{XH} \\ y = 0, y = YH ; t &= \frac{ZH + XH}{YH} \\ z = 0, z = ZH ; t &= \frac{XH + YH}{ZH} \end{aligned}$$

Fig. 11 Values of incidence angle calculated for both of the opposite surfaces of a rectangular room, with the degree of reflection being 17 and t representing the opposite surfaces. The curve shows m_θ approximately as a function of t .

図11にパラメータ t と m_θ の関係を示す。これは入射角の頻度分布の計算を行なった部屋の頻度分布を3組の反射面毎に t と m_θ の関係を図に示したものである。さらにこの図には回帰曲線を示す。曲線の近似関数は以下で与えられる。

$$m_\theta = \frac{66.2}{1 + 0.74t} \quad (\text{deg}) \quad (24)$$

次に標準偏差 σ の回帰を行なう。図14に $\log t$ と σ の関係を示す。これも図13と同様に計算した部屋の頻度分布を3組の反射面に分けて t で表示したものである。この近似関数は以下で与えられる。

$$\sigma = \frac{14.5}{1 + 2.03|\log_{10} t - 0.01|^{2.25}} \quad (\text{deg}) \quad (25)$$

こうして得られた m_θ , σ は反射次数、音源位置、受音点位置の影響は無視できるので、任意の形状の部屋において高次反射における入射角 θ の頻度分布の期待値と標準偏差を知ることができる。

e) 高次反射における壁面の平均吸音率

壁 j の斜め入射吸音率を $\alpha_j(\theta)$ とし、その頻度分布から得られる確立密度関数を $f_j(\theta)$ とすれば、各反射面の平均吸音率 G_j は以下の式で得られる。

$$G_j = \int_0^{\pi/2} \alpha_j(\theta) f_j(\theta) d\theta \quad (26)$$

また各反射面で起こる反射の入射角 θ の確立分布を正規分布で近似できるとすると、 $f_j(\theta)$ は以下の式になる。

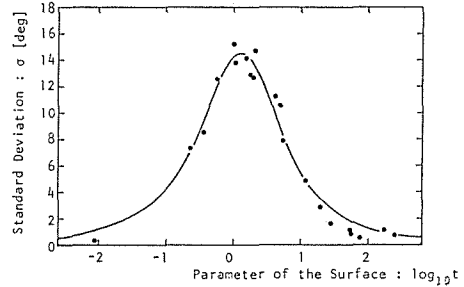
$$f_j(\theta) = \frac{1}{2\pi\sigma} \exp\left[-\frac{(\theta - m)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (27)$$

ここで簡単のため、 G_j を1度毎に区分して考え G_j' とすると以下の式になる。

$$G_j = G_j' = \sum_{k=1}^{90} \left\{ \alpha_j\left(\frac{(n-0.5)\pi}{180}\right) \right\} f_j\left(\frac{(n-0.5)\pi}{180}\right) \frac{\pi}{180} \quad (28)$$

以上により、任意の部屋の高次反射における平均吸音率を $\bar{\alpha}$ とし、 $\bar{\alpha}$ を6面の平均と考えると以下になる。

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{6} \sum_{j=1}^6 G_j'$$



Surface:

$$x = 0, x = XH; t = \frac{YH + ZH}{XH}$$

$$y = 0, y = YH; t = \frac{ZH + XH}{YH}$$

$$z = 0, z = ZH; t = \frac{XH + YH}{ZH}$$

Fig. 12 Standard deviation of incidence angle. The curve shows σ approximately as a function of t .

$$= \frac{1}{6} \sum_{j=1}^6 \sum_{n=1}^{90} \left[\left\{ \alpha_j \left(\frac{(n-0.5)\pi}{180} \right) \right\} f_j \left(\frac{(n-0.5)\pi}{180} \right) \frac{\pi}{180} \right] \quad (29)$$

このようにして得られた $\bar{\alpha}$ を用いれば、入射角の影響を考慮に入れない虚像法においては反射次数を無限大にまで拡張した手法をそのまま本論文においても導入できることになる。

$$E = \frac{W}{c4\pi d_0^2} \exp(-md_0) + \sum \sum \frac{W}{c4\pi d_s^2} \prod_j (1 - \alpha_j(\theta))^{N_j} \\ \times \exp(-md_s) + S_{15-\infty} \text{ (watt}\cdot\text{sec/m}^3\text{)} \quad (30)$$

こうして式(30)により入射角の影響を考慮に入れた虚像法においても反射次数を無限大にまで拡張することが可能になる。

6. ま と め

本論文は虚像法計算をより厳密に適用するために、斜め入射吸音率を代入するための式の展開について示した。さらに計算する反射次数を無限大にまで拡張するための手法を示した。

拡散音場の仮定を比較的満足する部屋においては拡散法による計算はその簡便さ等により有利であるが、部屋の形状、吸音率等が拡散音場の仮定を満たさない場合は虚像法計算を行なう必要がある。この場合も、部屋の形状が余り極端でなければ入射角の影響を考慮に入れる必要は少ないが、極端な場合は入射角の影響を考慮に入れる必要が出ると考えられる。現状では斜め入射吸音率はその実測データも少ないため、計算に代入することは困難な面もあるが、将来的にデータが得られれば、本論文に示した入射角の影響を考慮に入れた虚像法計算はより実用的になると考える。

参 考 文 献

- 1) M.E. Delany, E.N. Bazley, "Acoustical Properties of Fibrous Absorbent Materials", Applied Acoustics 3, '70, p105.
- 2) 矢野, 石井" 入射波の分離による吸音特性の測定法", 日本音響学会講演論文集(Ⅱ), '80, 5
- 3) 村田俊二" インパルスレスポンス法による多孔質材料および剛壁の斜め入射吸音特性について", 日本音響学会建築音響研究会(資料番号 AA80-25), '80