

窒素を媒質とする音響模型実験の研究

Scale Model Experiment of Acoustics in Nitrogen Gas

石井 聖光・平野 興彦・橋 秀樹

Kiyoteru ISHII, Okihiko HIRANO and Hideki TACHIBANA

I. は し が き

1/n の模型実験では相似則を満たすために 1/n の波長の音, すなわち n 倍の周波数の音を用いるので超音波帯域に及ぶことが多く, このような高音域では空気音響吸収が問題となり, 相似則が成り立たなくなることがある. この点を解決する一つの方法として窒素を媒質とする実験を行ない, 実用に利用できる見通しをえた.

II. 相似則の立場からみた空気音響吸収

幾何学的な発散による減衰のない強さ I_0 の平面波の音が空气中を距離 x メートル進むとその強さ I_x はつぎの(1)式で示される.

$$I_x = I_0 e^{-mx} \quad (1)$$

m は 1 メートル当たりの吸収率である. この m の値に古くは Knudsen¹⁾, 新しくは Harris²⁾ による実測値が有名であるが, いずれも可聴周波数についてのもので超音波帯域に及ぶデータは少ない.

理論的にはこの減衰率 m はつぎの二つの部分から成り立っており, (2)式で示される.

$$m = m_1 + m_2 \quad (2)$$

m_1 は空気熱伝導および粘性によって波動がエネルギーを失う部分で古典吸収と呼ばれ Stokes が理論的に求めた結果はつぎの(3)式ようになる.

$$m_1 = 27 \times f^2 \times 10^{-12} (\text{m}^{-1}) \quad (3)$$

ただし f : 音の周波数

しかし種々の実験結果はこの式の値より若干大きく, Sivian³⁾, Beranek⁴⁾ らはつぎの(4)式, (5)式を与えており, これらは図 1 の右の直線のようなのである.

$$m_1 = 37 \times f^2 \times 10^{-12} (\text{m}^{-1}) \quad (\text{Sivian}) \quad (4)$$

$$m_1 = 42.4 \times f^2 \times 10^{-12} (\text{m}^{-1}) \quad (\text{Beranek}) \quad (5)$$

m_2 は空気中の酸素分子の振動エネルギーとして吸収されるもので空気温度と湿度に関係する. この値は可聴周波数については種々発表されているが超音波帯域に及ぶものは非常に少なく, Kneser⁵⁾ の研究が有名である.

m_1 と m_2 の和である m の値のうち 20°C 相対湿度 60% における値は図 1 の左の曲線のようなのである. したがって 1/n 模型については周波数が n 倍, 音の伝搬距離は縮尺と同じ 1/n となるので, n 倍の周波数の音に対する m の値を n 倍とすればよく, 図 1 の左の m の

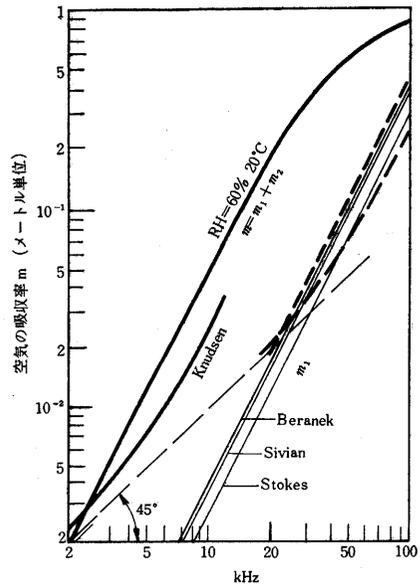


図 1 空気音響吸収

曲線を 45° の方向に平行移動すれば相似則が満たされ, 1/10 模型については図 1 の破線のようになり, m_1 の直線にはほぼ一致する. したがって $m_2 \approx 0$ とすれば相似則が成立つわけで, その方法として Spandöck⁶⁾ NHK 技研⁷⁾ などでは相対湿度 2% の空気を使用しているが, 筆者らは m_2 は空気中の酸素分子によるものであることに着目し, 空気中から酸素を除いて窒素のみにすれば温湿度

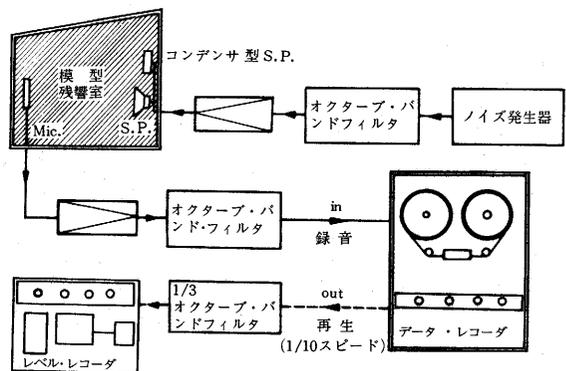


図 2 残響測定構成図

表 気体の音に関する諸定数 (東大基礎工学必携より)

気体	分子式	音速 (m/s)		γ 常温 常圧	固有音響抵抗 0°C・760mmHg (dyn·s/cm ²)	粘性係数 ミクロポアズ μP (dyn·s/cm ²)	密度 0°C・760 mmHg ρ (g/l)
		0°C	20°C				
空気		331.5	340.4	1.403	42.86	181	1.293
窒素	N ₂	337.0	349.3	1.404	42.1	174	1.250
酸素	O ₂	317.2	328.8	1.401	45.3	200	1.429

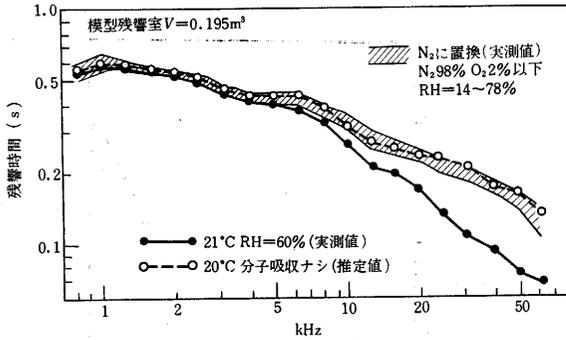


図 3 媒質が空気と窒素の場合の模型残響室内の残響時間の比較

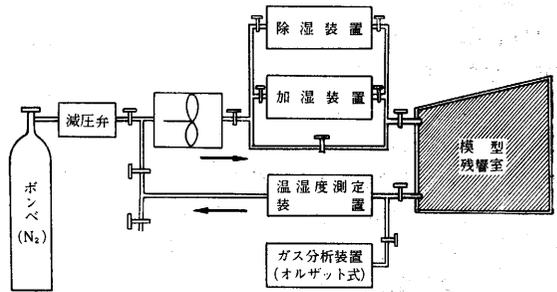


図 4 ガス循環系統図

に関係なく、 $m = m_1$ とすることが可能であり、しかも表に示すように空気と窒素とはその音響的性質が類似しているので、 m_1 の値の変化はほとんどない。しかも窒素は人体、マイクロホン等の機器に対する危険性もなく模型実験の媒質として適当なものと考えた。そこで窒素を媒質とすれば本当に m_2 を考えずに実験が行なえるか否かを確かめるためにつぎの実験を行なった。

III. 実験とその結果

まず生研に実在する残響室(室容積 = 195m³)の 1/10 模型を作り、空気を媒質として 21°C, RH=60% のときに模型残響室内の残響時間を測定した。測定法の構成は図 2 のように 1/3 オクターブバンドノイズを音源とした。この測定結果は図 3 の●印の実線のものであった。そこで酸素による分子吸収をなくし $m_2 = 0$ とすることができたら、この模型残響室内の残響時間はどうなるかを推定した。すなわち一般に残響時間はつぎの(6)式で示される。

$$T = \frac{0.162V}{A + 4mV} \quad (6)$$

T: 残響時間(s), V: 室容積(m³)

A: 室内総吸音力(m²)

そこで Kneser のノモグラフから m_2 の値, Sivian の式(4)から m_1 の値を求め、 $m_2 = 0$ とした場合の残響時間を計算した結果は、図 3 の○印の破線のようになった。

さて模型内の空気を窒素に置換したときの残響時間がこの○印の破線と一致すれば、窒素を媒質とすることによって図 1 の右の破線のような吸収率がえられたわけで、相似則が成立つことが証明される。しかも湿度には関係がないはずである。そこで図 4 のようなガス循環方法によって模型内の空気を窒素に置換し、酸素量を 2% 以下に保ち、湿度を 14% から 78% まで変化させて模型内の残響時間を測定した。この結果はすべて図 3 の斜線の範囲にあり、実験誤差と思われる範囲で○印の破線と一致した。なおこの測定の際湿度はアスマンの湿度計、ガス分析はオルザットの分析器を使用した。

IV. 結論

以上の実験結果から窒素ガスを媒質とし酸素を 2% 以下に保てば、酸素分子による音響吸収を無視することができることがわかった。また常温では m_1 に対する温度の影響はきわめて小さいので、1/10 模型を用いれば温湿度に特別の注意を払わなくとも相似則を満たした実験が可能である。(1968年 5 月 2 日受理)

文 献

- 1) V. O. Knudsen: JASA, 5, 112(1933)
- 2) C. M. Harris: JASA, 35, 11(1963)
- 3) L. J. Sivian: JASA, 19, 914(1947)
- 4) L. L. Beranek: "Acoustics" McGraw-Hill 309(1954)
- 5) H. O. Kneser: JASA, 16, 273, (1945)
- 6) F. Spandöck: "General Conferences Reports of ICA 1965" 313
- 7) 山本照二, 若栗 尚: NHK 技研月報, 8, 8, 42 昭 40. 8