

## 前川チャートの由来\*

前川 純一 (名誉会員・神戸大学名誉教授)\*\*

43.20.El

「塀を立てるとどれほど静かになりますか？」と聞かれて調べたが使える計算法が見つからない。半世紀以上前のこと、敗戦後の高度成長が始まり、工場騒音や交通騒音が酷くなった頃である。私はその数年前に、京都大学から神戸大学に移り、音響実験室を立ち上げていた。

神戸大学は経済・経営・法学部は旧神戸商大だが、工学部は高等専門学校が新制大学に昇格したばかりで、戦災焼け跡の仮学舎だった。建築と土木学科は鉄筋コンクリートの小学校程度の校舎で、実験室は体育館を、「仲良く分けて使うように」言われた。研究費もなく構造学の先輩教授が5万円を工面して「これで研究を始めて下さい。領収書は不要です」というところから始まった。それは騒音計1台の値段。それで実験に必要な測定器はできるだけ自作することにした。

まずペンチ一丁金槌一丁と、ガード下の露店で古道具を買い集め、オーディオの部品でCR発信機や騒音発生器を作ることから始めた。2-3年の間に新しく買ったのはオクターブ分析器1台。騒音調査のための録音機はテープレコーダのキットを利用して、繰返し分析できるように工夫した。

その頃、建築設備の講師をお願いした会社の役員さんに「空調ダクトの騒音をなくす方法は？」と聞かれたので、「ハンドブックの設計法がどれほど正しいか実験しましょう」ということになり、各種の実験用ダクトをたくさん作っていただいた。ダクトは1次元の音場であり、3次元の室内音場を扱う前に大変勉強になった。その実験結果は2-3年にわたって建築・音響両学会に発表して神戸大学の新しい音響研究室のデビューになり、そのデータは新しく開発した設計法を含めて、今も教科書[1,2]の中に生きている。

塀の相談を受けたのはその研究が終わる頃だった。これは3次元の空間でそう簡単ではない。材料の吸音率を測定する残響室は、コンクリートブロックを積み上げてモルタルを塗るだけで、大いに活用していたが、無響室はもちろんない。「設備や金はない方がよい。あればそれに縛られ自由な研究ができん。大学は頭で勝負！」と京都大学の恩師・前田敏男先生に常に言われていた。

無響室なしで、音の回折をどうして測定するか？ 試行錯誤の末、測定したい信号と邪魔になる反射音を分離できればよい。空間で分離が無理なら、時間軸上の分離ではと考えた。適当に短い波長で数波の短音(トーンバースト)を測定信号とし、遅れてくる反射音が到達するまでに測定を終わればよい。この実験にはホールの模型実験用に自作した超音波領域のフィルタと、前から作りかけていたブラウン管式残響計が役に立った。受信信号のレベル波型がブラウン管面の基準点に一致するように受信回路に挿入した精度0.1dBのアッテネータを加減すれば、その減衰値が測定値になる。これで塀の裏側を含む周辺の音圧分布の測定は実に快適に進んだ[3]。反射音の影響がない、ということは、理想的な完全無響室だ。無限大の空間で実験した測定値に等しい。

塀の試験体はホモゲンボードの縁に3角形断面の木製ナイフエッジを付け、エッジを垂直に立てて、測定面を水平にした。これでマイクの移動は楽になったが、測定点を正確に決めることには苦勞した。マイクスタンドを小さなトロリーに載せ、レールの上で移動したり、細いワイヤを張って懸垂したマイクをスライドさせたり、これが一番手間のかかる面倒な仕事だった[3]。

次はデータの整理。その目的は最も簡単で妥当な設計法の提案だ。これまでに提案されているのはキルヒホフの近似式だけ。その近似回折理論を探すと、音や波動でなく物理光学の本[4]に出てい

\* Short history of the "Maekawa Chart."

\*\* Dr. Zyun-iti Maekawa (Honorary Fellow, Professor Emeritus Kobe University) e-mail: z@maekawa.com

た。高度の物理数学で巧妙な近似操作をし、最終的には函数（数値）表のあるフレネル積分を使うので計算は楽だ。しかし近似条件が天体観測のためのもの。天体間の超大距離に対して光の波長は無視できるほど小さい。ところが防音塀の場合は、音の波長が塀の寸法より大きな場合もあり、その近似は到底成立しない。それで、その近似値と私の実験値がどれほど差があるか、比較のためいろんなグラフを書いて考えた。フレネル積分の変数を、音源・受信点間の伝搬距離が塀を迂回するために伸びる経路差  $\delta$  と、波長  $\lambda$  に注目して変数変換をすれば、「フレネル（輪帯）ナンバ」： $N = \delta/\lambda/2$  すなわち経路差  $\delta$  が半波長： $\lambda/2$  の何倍か、と言う簡単な数値を横軸にすればよいということが分かった [5]。ここで回折減衰値とは音源 S による受信点 P の音圧が、塀の有無により変化する値であり、横軸（対数）に  $N$  の値を取る。すると  $N > 1$  の範囲では右肩上がりの一直線になる。ところが  $N$  の値は 1 以下で 0 から負（マイナス）の値まで取る必要がある。負の値は受信点から音源を見通せる範囲だが、塀の影響がある部分だ。対数では表せない。そこで使い易い設計チャートと言う目的に突進！した。まず、散らばる実験値を 1 本の直線にまとめるため、ほぼすべての実験値が  $> -1$  dB の範囲に入るように、 $N > 1$  の範囲で近似値に平行線を引き、その直線を下に 0 dB まで伸ばしてから、 $N < 1$  の範囲の横軸に実験値に対する目盛りを入れた。対数ではなく、0 もマイナスもある。

これが前川チャートだ。私が物理や数学に強くて、また、建築の現場仕事に関わっていなければできなかったと思う。ここで十分注意が必要なのは、適用条件である。無限の自由空間を半分仕切る半無限の塀で、地面その他反射物は一切ない条件だ。実際の現場には地面のほかにも反射物がある。その影響をすべて計算して合算しなければ、正しい予測はできない。これは国際委員会の最終報告でさえ、地面があるように誤解しているくらいだ。ぜひ忘れてはならない。

続いてこのチャートがどれほど実際に役に立つのか、道路と校庭のグラウンドを仕切る実物の、高さ 2.3 m のコンクリート塀で測定した。道路に置いた音源スピーカの音が校庭でどのように分布

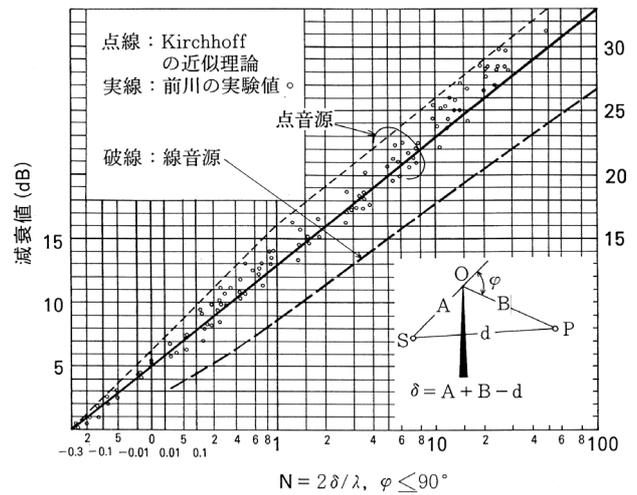


図-1 自由空間の薄い半無限の塀による回折減衰値  
点音源 S による受信点 P における音圧レベルの塀の有無による差。線音源は点 S を通り塀のエッジ O に平行な直線上に無数の点音源を仮定した 3 次元の場合の計算値。 $\lambda$ ；音の波長、 $\varphi$ ：回折角、 $\delta$ ：経路差（図示）。

するか、水平面だけでなく、高さ 4.5m 迄実測して確かめた。同時に地面の反射を計算する方法も示し、騒音対策に有用であることを実証した [6]。

次にこのチャートを使って有限の寸法の塀の効果計算する方法を考案して第 2 報とした。続けて塀のエッジの形、吸音等の効果の実験研究を進め、成果はすべて補正值として教科書 [2] にまとめた。

英文では 65 年に工学部紀要に全文を掲載し、第 5 回 ICA (国際音響学会議：ベルギー) で発表した。反響により、国際論文誌「Applied Acoustics」の Co-Editor や第 8 回 ICA の一般講演に招待され、また 1984 年より 6 年間 ICA の実行委員として毎年欧米に出張するきっかけになった。

電卓もなかった時代だからできた、とも言える昔話だが、何等かの参考になれば幸いである。

文 献

[1] 前川純一, 建築音響 (共立出版, 東京, 1968).  
 [2] 前川純一, 阪上公博, 森本政之, 建築・環境音響学 (共立出版, 東京, 1990-2013).  
 [3] 前川純一, “短音による半無限障壁の音響回折実験 (その 1), (その 2),” 音講論集, pp. 133-136 (1960.10); 前川純一, 小西一生, “短音による障壁の音響回折に関する実験,” 建築学会論文報告集, 66 号, pp. 193-196 (1961.10).  
 [4] M. Born and E. Wolf, *Principles of Optics* (Pergamon Press, London, 1959), p. 382.  
 [5] [1], [2] と同じ, 索引: フレネル (Fresnel) 積分の解釈.  
 [6] 前川純一, “障壁 (塀) の遮音設計に関する実験的研究,” 音響学会誌, 18, 187-196 (1962).