

## 反射吸音特性を知る\*

岩瀬 昭雄 (新潟大学)\*\*

43.55.-n; 43.58.-e

筆者はほぼ半世紀前に建築学科を卒業した。その最後の関門として卒業論文が課せられたが、研究室選択は大学での専門課程進学先の選択に続く大きな課題であり、専門分野での自己能力と受入れ先とのマッチング判断の上で、石井聖光先生の研究室に同級生と一緒に受け入れてもらったのがその後の歩みを決めた契機と思っている。

当時の石井研究室では国内の音楽ホールの音響設計に多数携わっていて、それに関するテーマに目がとまったのである。研究室の課題の一つに前川国男氏設計の神奈川県立音楽堂の客席椅子取替改修に際して高い評価の音響特性の維持があった。ホール内の数多い椅子は、残響時間などに大きく影響を与えるにもかかわらず、多孔質材料や板材料などと違って吸音特性の定量的データや知見が乏しい状態にあり、改修前、椅子の取払い直後、更に新椅子改修後の音響特性を計測比較することで椅子の吸音特性に関する実際の知見が得られるのではとのアドバイスを石井先生からいただき、実際に改修工程を追い、特に椅子の有無、新旧変化による吸音状態が音楽ホールの音響特性に及ぼす影響を考察する内容の卒業研究から建築音響研究を開始したのであった。残響室に多くの古椅子を持ち込み、更に着席時の吸音力を計るため大勢に着座を願ったが、今や建築界の大御所の若かりし日のとある先生の顔も劇場椅子の吸音力研究の記憶に浮かぶ。建築音響学の開祖の W.C. Sabine が配置材料の種類と量と残響との関係を見出す研究の開始逸話の真似ごとのような研究であろうか。当時、劇場椅子に関して中音域周波数における減衰現象の解明も注目すべきテーマとして思い出すも、多くの方々と同様に世の高い関心に誘われて騒音問題を研究の主課題にしてしまった著者が、

折に触れ建築音響の研究トピックスに関心を持つ源は、今流に言えば研究 DNA の最初に刻まれたこの記憶であろう。

その後も研究室総出となる音楽ホールの音響計測や分析作業が、建築音響の教科書の記載内容の理解に役立ち、これまた研究室に課せられた都市内の騒音や振動の問題発生現場での計測と分析のお手伝いも、講義や一般向けの方々への騒音問題を含み講演のときに、ある程度の自信を持って話せる余談の貴重な源泉と思っている。

この幅広い経験はその後長く在職した新潟大学でも義務とされた研究への取り組みに少なからず影響を与えることになった。また、施設も計測機器もなきに等しく言うも恥ずかしい研究環境にもかかわらず研究を始めるにあたり、必要なものが存在しなければ自ら作るか代替手段を講ずるべきとの学びと実行経験にも従った。例えば赴任後わずかの頃の活動として、「移相器と掛算器による吸音率の現場計測」[1] がまず浮かぶ。吸音率の計測は残響室(什器を除いて響く居室でも可)があれば比較的簡単である。しかし、屋外のあるがままの特性を知りたいなどそこへ運び込めない試験対象は数限りない。ある材料への入射音エネルギーに対する吸音エネルギー(非反射音成分エネルギー)比との吸音率の定義どおり入射音と反射音をそれぞれ分離して把握するのは実は容易でない。これを試して思うとおりに行かないことを実感された方も多いと推測するが、この定義に沿って良好な結果を得る計測法の実現は吸音研究に今なお残るテーマと考えている。

著者が考えた材料や壁、地面の表面で重なる入射波と反射波の仮想分離法は、まず、剛板で対象を覆った全反射状態を観測し、次いで剛板覆いを取り払って入射波と反射波が重なり合う状態の観測結果から、前者の観測に基づく入射波相当を計算で引き去って反射波振幅の情報を得るものであ

\* Knowing sound reflection and absorption.

\*\* Teruo Iwase (Niigata University, Niigata, 950-2181)  
e-mail: iwase@cc.niigata-u.ac.jp

た。ただし、入射波と反射波間の複素位相関係を考慮するにはデジタル分析法が必須ながらも一般的な利用が難しい時代の話である。

そこで、原信号を対象から少し離れたスピーカから放射し、その原信号を任意移相 ( $\Delta$ ) できる回路の出力と材料表面上のマイクロホン出力とを掛算する回路を当時出回り始めたアナログ機能 IC で構成し、原信号と入射波とが同位相と直交する 2 条件で分析する代替法を考えた。入射波振幅  $p_i$ 、反射波の相対比  $r$  や位相遅れ  $\delta$  などを含む音圧や移相乗算結果は原信号を  $S$  として式 (1), (2) のとおりとなる。剛板で覆って全反射,  $r = 1, \delta = 0$  を仮定して、最大値を得る移相調整結果は入射波と同相状態  $\Delta = 0$  の, 式 (3) から入射波振幅情報を得る。出力を 0 とする調整で入射波と直交条件  $\Delta = \pi/2$  が実現できる。次いで剛板覆いを除いた対象面での上記移相状態における出力, 式 (4) の値に対し、入射波振幅相当値を引き去る演算を行えば反射波について同位相と直交の複素二成分値と、更に反射比  $r$  や吸音率が得られる。

$$p_m = p_i + p_r = p_i \{1 + r(\cos \delta + i \sin \delta)\} \quad (1)$$

$$\text{out} = |P_i||S| \{ (1 + r \cos \delta) \cos \Delta - r \sin \delta \sin \Delta \} \quad (2)$$

$$\text{out}_{\text{hard}}/2 = |P_i||S| \text{ for } \Delta = 0 \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{out}_{\text{re\_pm}} &= |P_i||S|(1 + r \cos \delta) \text{ by } \Delta = 0, \\ \text{out}_{\text{im\_pm}} &= |P_i||S|r|\sin \delta| \text{ by } \Delta = \pi/2 \end{aligned} \quad (4)$$

原信号は 1/3 オクターブバンドノイズで帯域ごとの移相調整と掛算出力の読取り、電卓計算から吸音率を求めた。試験対象として多孔質材料や孔あき板の共鳴特性などを選んだが、開孔に塗料吹き付けを施した孔あき板は板振動型吸音特性を身にまとう姿に化身の欠陥状態と判断できた。

現在の音響計測環境では、原信号対入射波や反射波間の位相差情報は FFT 法による伝達関数分析から得られ、以上に紹介した苦勞の多くは解消される。本稿を書くためにその代替手法に挑んでみた結果を図-1 に示す。原信号はホワイトノイズで、剛な面上とグラスウール面上に配置したマイクロホン出力の二つの伝達関数分析結果 ( $Trf$ ) を表計算ソフトに導いて、三角関数程度の演算を加えて容易く吸音率を得た例である。精度を問わな

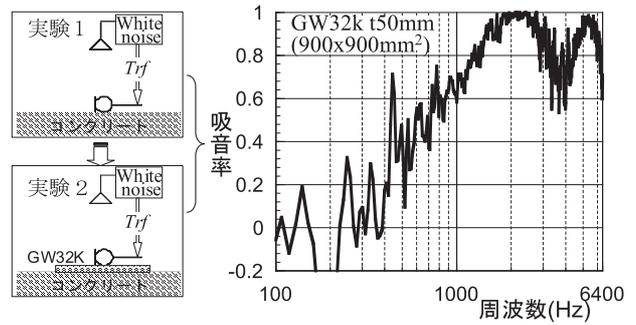


図-1 屋外で計測したグラスウール片の吸音率

ければ、原理的に音圧反射係数や比音響インピーダンスも得られる。ただし、この試みでも、入射波を仮想把握するための全反射の仮定とその条件に近づける剛板覆いは不要とならない。

材料や重要な境界面の反射吸音特性をとりわけ現場であるがまま把握する課題は、著者が建築音響や騒音の問題に取り組んで長い時を過ごした後の現在に続く重要なテーマであり、時折別の方法で具体的に取り組んできた。二つのマイクロホンによる入射波と反射波の成分を分離する音響管計測法はデジタル信号処理の音響計測への典型応用例であり、著者も多くの方々と同じく、一般居室や屋外の対象に適用を試みたが、入射・反射波の理想条件との乖離・不適合性など望ましくない条件が様々含まれ、低吸音性での計測結果の乱れ回避が難しいことも分かってきた。

著者は、このような不首尾の解消を目的に新しい計測器やセンサに関心を持ってきた。予算確保という最難関の障害物を前に諦めるのが常態ながら、レーザ振動計や粒子速度センサは例外的に利用できた。前者は非接触で軽量物の振動計測を可能とし、デジタル信号処理解析で、構造物の欠陥部の非破壊診断や音響管内グラスウール試料に生じる共振現象の発見と解明解消研究に役立った。粒子速度センサでは低吸音特性でも安定的な計測を可能とする有効な見通しを得るなど、粒子速度計測でこそ優位となる分野の新たな開発と応用に欠かせない道具となった。

最後に若い読者に、上述の内容は忘れても一見凡庸な事物にも価値ある課題を探れる耳や目と課題解決への強い意思力を磨くことを期待したい。

文 献

[1] 岩瀬昭雄, “移相器と掛算器を用いた吸音率の現場計測法,” 日本建築学会計画系論文報告集, 375, 1-10 (1987).