

音の減衰,スピーカのインシュレータ,音の伝搬量は面積に比例,探触子に使うタングステンバックキンは減衰しない様だ,

音波のよもやま話 (その 29)

音波の音速と減衰 (5) 減衰その 2

(補)アイ・エス・エル 宇田川義夫

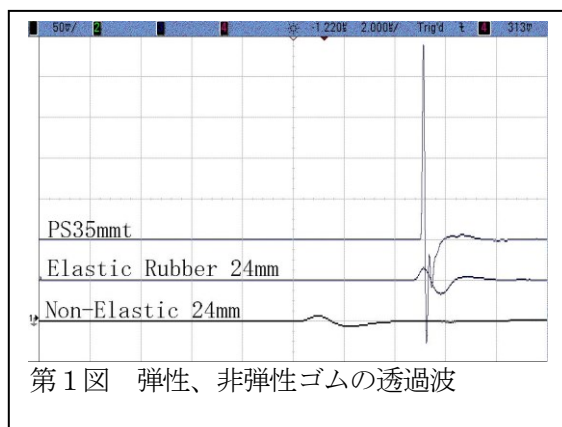
◆はじめに

前回の減衰材の例としてコンクリートと粒界の粗いステンレス鋼の話をしたが、それに続き、主に減衰が大きいと言われる材料の音速の分布(分散)特性に関して話す。

◆音の減衰の大きな材料はどういうもの?

一般に音の減衰が大きく観測されるものは、どんなものであろうか?防振ゴムと言われるように柔らかいものは一般的に減衰が多いと思われがちだが、実はそうでは無い。例えば玩具のスーパー(弾性)ボールの様によく跳ねるゴムは音を減衰しない。反発係数は1に近い。一方低反発ボール(スクイーズ)の様に跳ねないゴム・ボールは反発係数が0に近く音を良く減衰する。この反発係数が0に近く音を減衰する材料は、機械振動である音のエネルギーを、ミクロの構造変化に変換したり、或いは同じ機械振動の熱に速やかに変換する(らしい)。反発係数を持ち出したが、反発係数自体が物理的にあやふやな定数で、理想の基準になる床がないし、汎用の測定方法が無い事に注意は必要である。

5MHzの広帯域探触子で弾性(Elastic)、非弾性(Non-Elastic)ボールの透過音波を観測すると、第1図の様になる。比較の為に音の減衰が少ないと言われる探触子の遅延材に使われるポリスチレン PS の DVM 重合体と比べた。なお、超音波用に使われている PS は大半この重合体である。元々デュポンがコネクタの絶縁体用に開発したもので、今でも特注コネクタにはこの材料が広く使われる。誘電率が小さく、



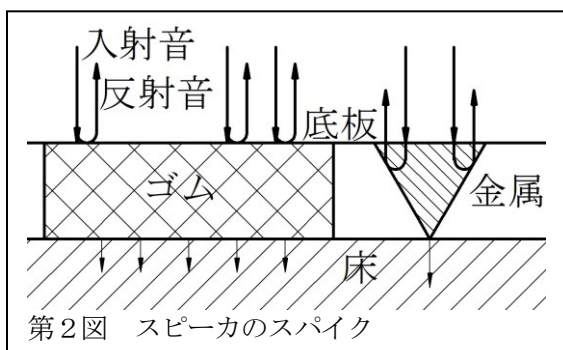
誘電損失が少なく、且つ機械加工がしやすいので、特注コネクタの絶縁体には最適である。

初動の正側半波の面積に着目し、音響インピーダンスと接触面積の差を補正すると、どの材料もほとんど同じ面積となる(音響インピーダンスは2.4:2:1.3、面積は1:約0.5:約0.5)。補正しなくても第1図から反発係数0に近い非弾性ゴムも、音は減衰していない。これらのゴムは音(振動)を熱に変換しているのではなく、短い波長を長い波長に変換して、波長の長い、低い周波数の音になって「振幅」が減衰していると観測される。ゴムをボールとして使う場合、大きな目に見える歪を伴う。一方非破壊超音波の場合歪は1μ以下で、多くの場合nmの単位である。振幅の大きさが減衰する、しないの二因であり、日ごろの物質に対する人間の感覚から判断できない。

音の減衰,スピーカのインシュレータ,音の伝搬量は面積に比例,探触子に使うタングステンバックキンは減衰しない様だ,

厚さ 0.2~10 mm 程度のドライ・カップリング・ゴムと言われる接触媒質の代わりに使われるゴムの一種は似たような性質で、音響用の音の減衰材として売られているものが使われている。大気圧中でオーディオ周波数域から数 MHz の高周波域まで減衰を示す。が、更に大気圧程度の圧力 (1kg 重/cm²) を加えると減衰があまり観測されなくなる。

ドライ・カップリング・ゴムの仲間には静圧に関係しないものも販売されている。市販ゴム系材料ではシリコン・ゴムが比較的周波数特性が良いドライ・カップリング・ゴムである。医



療用の探触子には保護膜としてシリコン系ゴムが使われている。音響インピーダンスが水 (人体) に近く、音の減衰が少ない理由である。

◆スピーカのインシュレータ

昔フロア・スピーカの下にゴムの防振用材 (インシュレータ) が敷かれていた。しかし、実際には低い可聴周波数に対して効果が無い事が判り、今ではスパイクと言う、音が減衰しないと考えられる金属の尖った形状で、音の伝わる面積を小さくしたものが使われている (第2図)。ゴムだと、柔いので面積が必要で、スパイク状より、音の伝わる面積が増える分多くの音が伝わる。高周波は減衰するが、低周波が減衰しない。特に低周波成分までアンプ等に伝わって、アンプ出力に変調をもたらす好ましくない。低周波まで減衰させようとする、分厚くなって、コンニャクの上にスピーカを置くような状態で安定して設置できない。

ゴムの音響インピーダンスは 2 MRayls 程度、鋼は約 40 MRayls と差があるが、断面積が例えば 50Φ のゴムに対して、鋼製スパイクが 2Φ ならば、等価音響インピーダンスは $40 / (50 * 50 / 2 * 2) = 0.064 \text{ MRayls}$ と面積比となる。スパイクはゴムより実効音響インピーダンスが小さく、反射による透過波の減衰効果が大いと言う事になる。0.1 MRayls 以下の固体は大半が発泡体で 50 Φ スポンジの様なものと同様にスパイク先端が似た特性と言う事が言える。スポンジでは重いスピーカを保持できないので、空気バネを使ったインシュレータが販売された時期もあった。ゴムと金属を積層して、音の透過を少なくした製品もあるが単に金属を尖らせる加工をすれば良いスパイクはコスト面で有利である。綺麗なメッキをすれば美的にも良い。何れにしても、ゴムは柔らかいが必ずしも減衰材ではない。

輪ゴム (生ゴム) を延ばして弦として音を鳴らすと、同じ長さでも延ばし方でまるっきり異なる周波数の音になる。弾性率が歪量によって大幅に変化する、非線形材料の代表である。

豆腐はやわらかいが、質の良い絹漉豆腐などは 10MHz 以下の周波数なら水と大して変わらない減衰特性を示す。豆腐は大半が水で出来ており、音が伝わる媒質の主体が水だからである。

いずれにしても、人間の感覚の柔らかい硬いは音の減衰とは関係ないようである。

◆非破壊探触子に使われる減衰の大きな材料

前章でスパイクの様に点接触の部分は大きな減衰を示すと述べた。球体の接触は同様に点接触に近い。小さな球体の様な小さな W (タングステン) 粉で構成されていたものが、探触子のバックキに使う W ダンパーである。

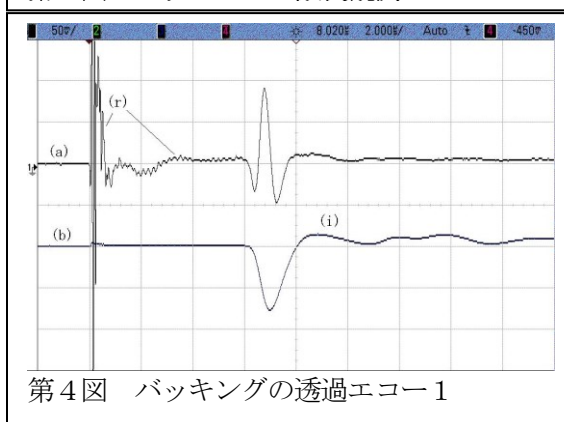
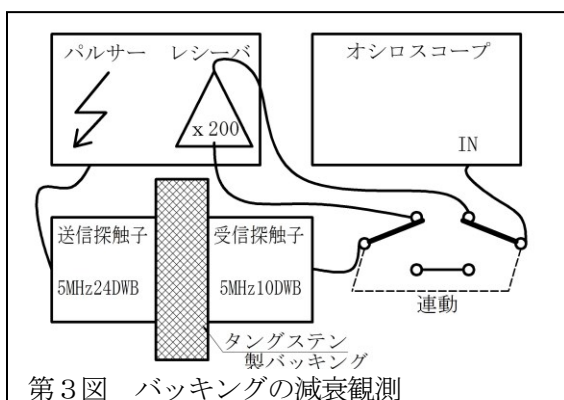
探触子のバックキ材はタングステン粒子とその集合体の隙間体積より少ない接着材で作られたものである。接着剤が多いと、音が接着剤のみを伝搬し、あまり減衰しなくなる。接着剤の音響インピーダンスはタングステンの数十分の 1 なので、音響的にはタングステン粉で出来た多孔質体とも言える。金属の多孔質体が販売されているが、点接触でないので、減衰は大き

音の減衰,スピーカのインシュレータ,音の伝搬量は面積に比例,探触子に使うタングステンバックキンは減衰しない様だ,

くない。多くは焼結材で、以前のおで記した全体がジャンカのコンクリートと同じで、減衰を実感しない。

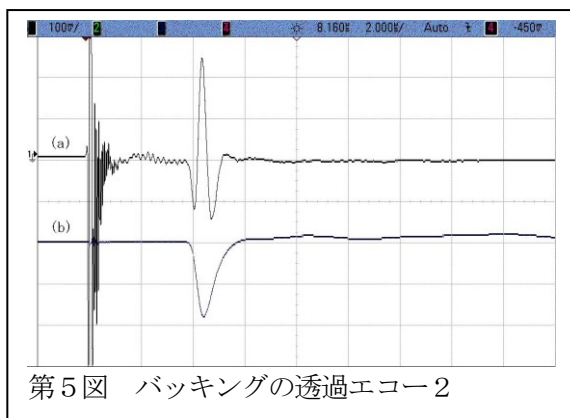
鋼の小さな粒子を密集させると、同様の高減衰材料になる。鋼は錆びる為、残念ながら水性接触媒質を使う事が多いので、探触子のバックキ材には使えない。探触子のバックキに使う材料は音響インピーダンスが高く、錆びない材料なので、タングステン、劣化ウラン、金が候補だが、タングステン以外使われた製品はない。タングステンと金は価格上昇が激しく、将来劣化ウランが使われる可能性がある。(劣化ウランは放射性的の無いウラン)

第3図の様な構成で、探触子に使うバックキ材の特性を測定した。送信は24Φ5MHz、受信は10Φ5MHzの広帯域探触子である。スイッ



チでパルサー・レシーバのアンプを使うか、使わず直接探触子をオシロスコープに繋ぐか切り替えられる。結果の波形を第4図に示す。バック

キンは径が 25Φで厚さは 8 mmである。5～20MHz の探触子にはこの程度の厚さのバックキ材が使われる。市販パルサー・レシーバを使った場合の波形を図(A)に示す。この組み合わせの下限のカットオフ周波数が2.5MHz付近でそれ以下は増幅度が下がる。その為レシーバが約200倍の増幅度があるにもかかわらず、図(b)の探触子の端子を直接オシロスコープに繋いで観測した場合と振幅に大差ない。図(a)では波形の周期が1μ秒と読み取れるので、1MHz付近の成分が観測されている。パルサー・レシーバのカタログの帯域は0.1MHz～50MHzであるが、これは抵抗50Ω系で測定した場合の値である。探触子の様な純抵抗でないセンサーを繋いだ場合の実質帯域は、広帯域探触子で精々100%、即ち公称5MHzの探触子では2.5MHz～7.5MHz程度となる。この実験の場合、パルサー・レシーバの受信回路はフィルターとなっている。また、高い周波数のノイズ(r)が観測される。これは高いパルサー電圧の高周波成分の受信回路への漏れ、振動子やケーブルなどの共振などが受信回路に電氣的に漏れたものである。通常5MHzの広帯域探触子は6～8MHzの共振周波数、7～10MHzの反共振周波数の振動子が使われ、ケーブルを繋ぐとそのインダクタンスにより高い周波数の電氣的振動が発生する。(r)はその振動である。オシロスコープ直接観測の場合は、この送信側の振動はケーブルが受信側ケーブルに近かったり、GNDが適切でないと、観測されることもあるが、一般的感度レベルでは観測されるほどにはならない。透過波の

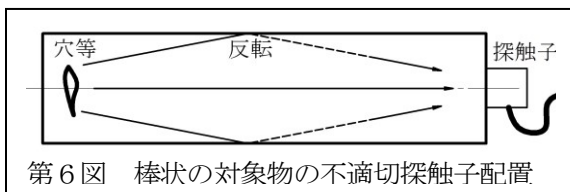


音の減衰,スピーカのインシュレータ,音の伝搬量は面積に比例,探触子に使うタングステンバックキンは減衰しない様だ,

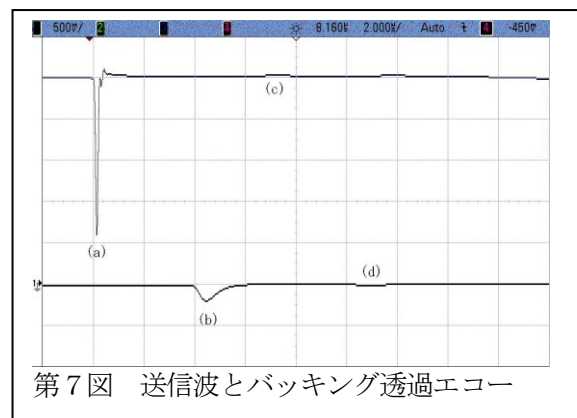
後ろに凸凹(i)が観測されるが、これはバックキンの側面からの影響 (BED を含む) や送・受信探触子内部の反射 (振動子の横振動含む) である。通常の探傷器やパルサー・レーザは 5MHz 中心の鉄鋼製品を主対象にして開発されたもので、5 MHz 付近の情報を見やすい工夫をしている。

バックキンを 5.2 mm と薄く、Φ40 と径の大きなバックキンに変えると、第 5 図の様に凸凹は殆ど観測されなくなる。主にバックキン内の BED が凸凹を作っていたと考えられる。僅かに残っている凸凹は探触子の内部波形と考えられる。Φ40 でも厚くなると側面の影響が多くでる。経験上透過法での被測定材の大きさ (径) は探触子の径より十分大きく、且つ被測定材の厚さの 3 倍以上でないと、側面の影響を受ける。

典型は丸棒形状の中心にある反射体を対面の中央に探触子を置くと測定できない (第 6 図)。



図では受信の時の側面の位相反転を示すが、送信時も中央音圧が弱くなる。コンクリートのコアではその長さの伝播時間を測ろうとすると、底面エコーが検出できない。少し中心からずらすと観測される事が多い。丸棒の中央にある欠陥が検出できない事態も発生するので、注意が必要である。

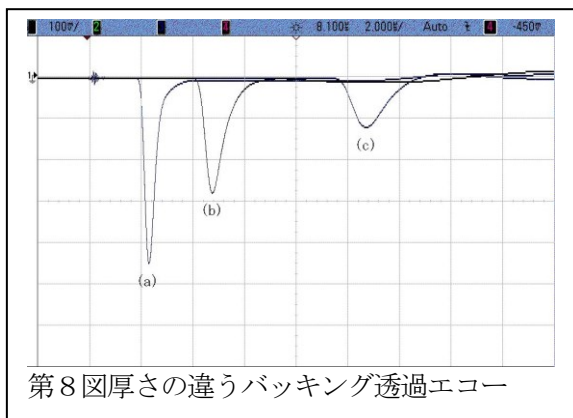


第 7 図に送・受信探触子を直接接触させ送信波形を観測した(a)と 5.2 mmバックキンを挟んだ場合(b)を観測した結果を示す。(a)(b)の振幅比は 10 倍はない。(b)は幅が広がっており負の部分のパルスの面積は(a) (b)では大差ない。探触子の振動子の音響インピーダンスは約 18MRayls であり、バックキンも 16MRayls と近い。音響インピーダンス差による透過損失は大差ない。また、保護膜はアルミナで約 40MRayls であるが、波長に比べ薄く感度への影響は少ないと考えて良からう。(c)と(d)に小さな凸凹があるが、これは探触子内の反射である。探触子のケース内の共振周波数は大きさにもよるが 10~100kHz 程度の間で、即ち 10~100 μ 秒間隔で観測される波形は探触子ケースの (共振) 反射の可能性はある。図で(d)が(b)の 3 倍の時間位置にある場合は計測対象のバックキンの多重エコーとも考えうるが、2 倍強なので探触子内部の波形であろう。広帯域で計測する難しさは探触子内部の反射など邪魔な波形が計測結果に必ず含まれていることである。なお、市販広帯域探触子、特に国産の中には、こう言った波形を除くため、低域カット・フィルターが組み込まれている探触子がある。非破壊超音波では市販探傷器に繋いで-6dB 帯域幅が 100%程度のを「広帯域」と言う常識なので、低域カット・フィルターが入っていても広帯域探触子と呼べる。この探触子を使うと観測したい波形が消失したりし、波形の理解に判断ミスを犯す事態が発生する。基礎的試験をする場合、使う探触子の構造に留意が必要である。

なお、一般物理や電子計測など多くの分野で帯域を規定する場合、エネルギーが半分の点 (圧力振幅で-3 dB) であるが、非破壊超音波ではエネルギーが 1/4 (-6dB) と成っているが、これは計測が一探触子法なので、送信と受信の往復の特性で、-3db の 2 倍にしたのではないかと思われる。

Φ40 バックキンの厚さを 2.5、5.2、12.3 mm と変えてオシロスコープ直接で測定した結果を第 8 図に示す。Φ40 で厚さ 10 mm を超えると側面の影響 (BED) の波形が出始める 12 mm 程度が

音の減衰,スピーカのインシュレータ,音の伝搬量は面積に比例,探触子に使うタングステンバックキンは減衰しない様だ,



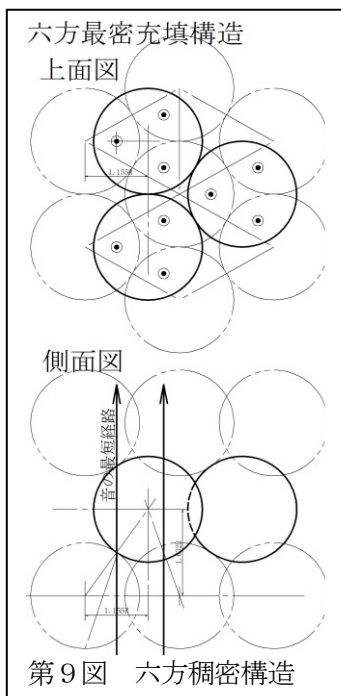
透過波を正しく計測できる限界と思われる。バックキンの厚さが厚くなると、振幅が減るが同時にパルス幅が広がる。(a)の負電圧側のパルスの面積を基準とすると、(b)は1.03倍、(c)は0.72倍となる。最大振幅は大きな変化があるが、それに比べ、面積の変化は少ない。

前回のコンクリートや鋼同様音速の分散が起きていると考えられる。

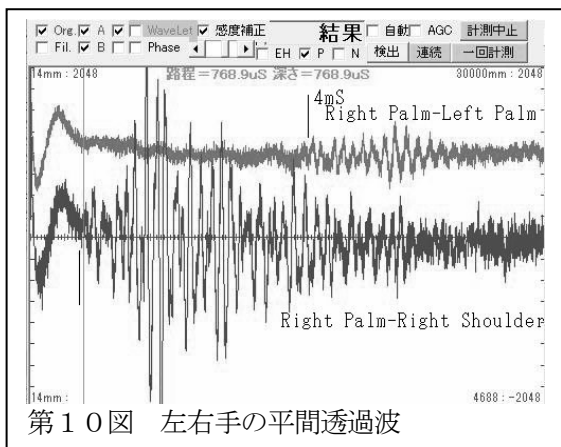
なお、この実験の実効帯域幅は 150Hz～25MHz と非常に広い計測系を構築した。

◆伝播時間(音速)分布例 ベアリング

タングステン・バックキンは大体丸い粒子の集まりである。その挙動を調べる為、精度の良いベアリング玉を六方最密充填構造に並べて、減衰挙動を見ることにした。充填率は74%である。パチンコが大当たりしたとき、ドル箱に玉が並んだ状態が六方最密構造で



ある。第9図では最下位層に玉中心が正三角形をなす様に並んでいる。その3つの玉中心に次の層が並んでいる。一つの玉は三点で下の層の3つの玉に接している。これらの接点は上の層まで同じ平面上の位置なので、音の最短経路は直線で、先端波は鋼の速度になり、前面音速は鋼と同じ筈である。6Φベアリング8層とした。本来はもっと大きなベアリング群と探触子で測定すべきだが、製作が大変なので、ベアリング集合体全体をΦ40強とし、0.5MHzΦ40振動子で挟んで透過法で計測した。ベアリングの接触面積をヘルツの式(接触面積求める一般式)で計算すると大体20μ径となる。前述のバックキング計測に使ったのと同様の計測システムでは信号が得られなかった。UCT12低周波&コンクリート用装置で試験した。右手の平に送信探触子を接触させ、左手の平に受信探触子を接触させると、人の左右の手の平の間の透過エコーが観測できる程高い感度がある。第10図の上の波形は左右の手の平間の透過エコー、下の波形

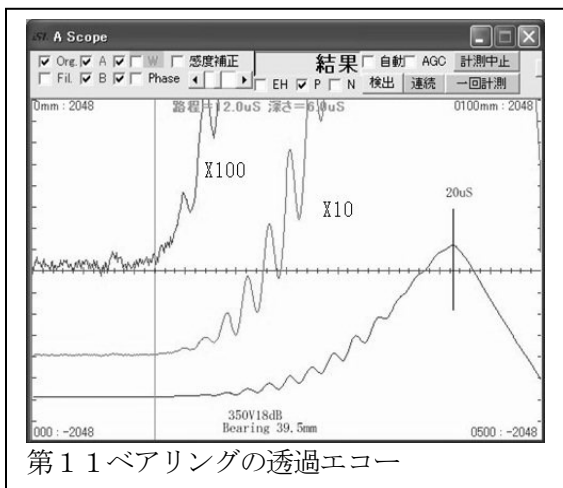


が左手の平から肩までの透過エコーで先端波よりその倍の時間の所が振幅最大になっている。振幅は人によって倍半分異なる。手の平と肩間で初動音速が約1000m/S程度と計測される。両手の平間は音速約500m/Sと計測されるが、先端波(前面音速、初動音速)は手の平と肩間同様もっと早いであろう。新しいコンクリートなら数十mを透過する能力がある。この装置の基礎実験に使う場合の欠点は低域カットオフが

音の減衰,スピーカのインシュレータ,音の伝搬量は面積に比例,探触子に使うタングステンバッキングは減衰しない様だ,

10kHz 付近である事である。その為、計測結果の波形から伝搬時間の分布の計測は意味ない可能性が高い。

環境ノイズ音はジェット機や電車、或いは工場騒音を除けば車のタイヤ(トレッドパターン)音が主である。個体が対象の非破壊超音波では、車のタイヤのトレッドが道路を叩く時の音が検査の邪魔になる。一般道近くでは 10kHz、高速



第 1 1 ベアリングの透過エコー

道路近くでは 30kHz 以下をカットするとタイヤ音は検査にあまり邪魔にならない。技術的には 1Hz と云った低い周波数までを対象にした超音波機器も設計できるが、手で探触子を走査する場合、脈拍が探触子に入ってきて、非破壊検査ができなくなる。通常探傷器やパルサー・レーザは環境ノイズを除くためもあり 100kHz 以下は増幅しない様にしている。例えば近くにショットブラスト装置があると、10k ~ 100kHz の音が多く発生し、極近くでは 5MHz 成分も観測される。超音波検査に限らず、例えばミクロン以下の超精密加工をする場合なども、車からの振動が工作機械に入ってくるので、車が通らない深夜に加工作業する事も多い。

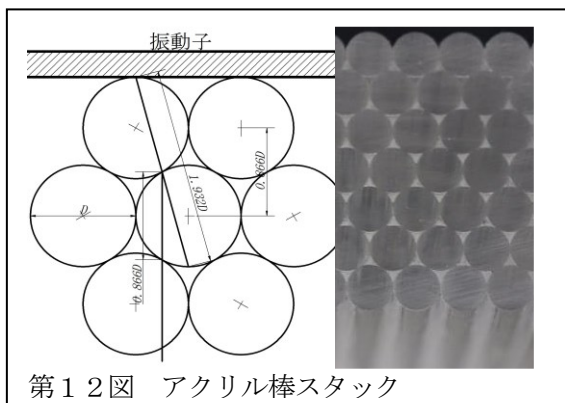
第 1 1 図にベアリング群の測定結果を示す。振幅のピークで音速が約 2000m/S (40 mm/20 μs) と 100 倍感度を上げた場合の初動は約 3300m/S 程度と読める。この装置では、これ以上感度が上がらない。より感度が高い装置なら更に早い音速が計測できるかもしれない。なお、

層数を 2 層にすると、6000m/S 近くの音速が観測される。層数を増やすと測定できななので、8 層での前面音速の測定は諦めた。面白い事に、ベアリング径相当の凸凹がエコー波形に現れ、ベアリング径を変えるとそれに応じて凸凹のピッチが変わる。

振幅のピークの音速が 2000 m/S と、鋼の横波音速 3200 m/S より遅い。この波形の中には横波による波形も含まれている可能性が高い。減衰材に於いて、横波や縦波らきし波形が観測されるが、それらは純粋な縦波や横波ではない可能性がある。

◆伝播時間(音速)分布例 円柱スタック

点接触のベアリングでは僅かしか音が透過せずまともな測定ができないので、接触面積の大きな円柱のスタックで実験した。点接触でなく線接触の分より大きな音の伝搬が期待できる。材料は φ 5.0 mm アクリルとし、接触部を安定化する為、アクリル用溶剤型接着剤を塗布し接着し



第 1 2 図 アクリル棒スタック

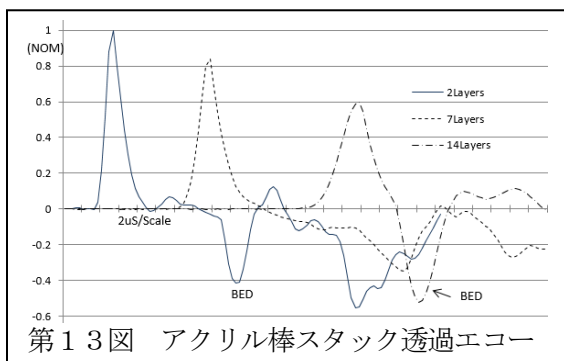
た。接着幅は 0.5 ~ 1 mm 程度である事を切断し顕微鏡で確認した。第 1 2 図の様に最短経路は 2 層の場合 1.932 × 6 = 11.6 mm、7 層で 37.6 mm、14 層では 74 mm となる。送・受信に 0.5MHz φ 40 広帯域探触子を用いて、実効帯域 1.5Hz ~ 0.5MHz の透過法でエコー観測した結果を第 1 3 図に示す。二層の初動は約 1.8 μ 秒、7 層では約 6.2 μ 秒、14 層は約 15.4 μ 秒と読み取れる。音速換算でそれぞれ 2240m/S、730m/S、580m/S と段々下がっていく。アクリルの大きな媒質内音速 2690m/S と細い棒の音速 2415

音の減衰,スピーカのインシュレータ,音の伝搬量は面積に比例,探触子に使うタングステンバックキンは減衰しない様だ,

m/S に比べ遅い。またコンクリートなど同様な音が広く分散しており、分散幅は伝搬時間が長くなるに従い、広がる。

◆伝播時間(音速)分布例 (1) コルク

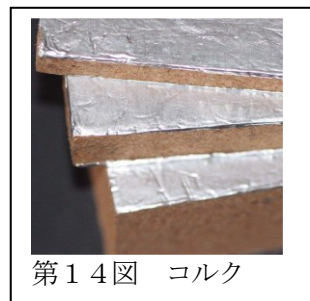
コルクは斜角探触子のバックキングやケースとの間の音響セパレータとして使われる。振動子からの音がケースに伝わるとケースの径や高さ



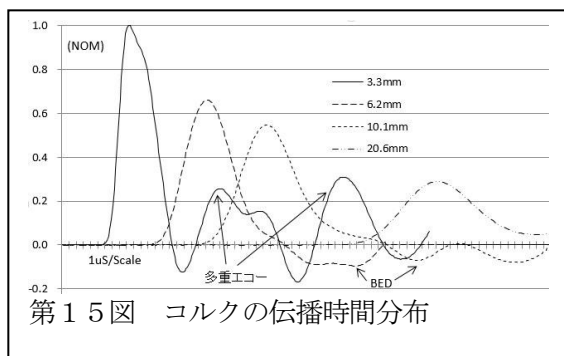
第13図 アクリル棒スタック透過エコー

相当の多重エコーが表れ妨害エコーとなり、二振動子型の探触子では送信振動子側から受信振動子への漏れエコーが妨害エコーとなる。二探触子法の腐食肉厚計では最小肉厚や減衰材用低周波探触子の性能を決める。音響セパレータとして大きな透過損失が求められる。ケースなどと音響インピーダンスが大きく掛け離れ、且つ薄くても減衰が大きな材料が選ばれる。その代表的材料はコルクである。中空ファイバーや音響インピーダンスの異なる材料の積層構造も使われる。ケース全体寸法をあまり大きくしない為厚さは0.5~2mm程度が使われる。1MHz以下の場合コルク単体の減衰は少なくなり、音響セパレータとしての性能が落ちるので、探触子内部に音響セパレータ自体を除くことが多い。良い材料が見当たらないからである。また、探触子内部の配線や電子部品との間に音響セパレータが配置される事もある。第一の目的は電気的な絶縁であるが、同時に音響的にも分離する。例えば送信振動子から強い音が、受信側振動子に繋がったコイルに伝わると、コイルが音波振動で変調を受け2倍の周波数成分を含む受信エコーが観測される。一般的探触子に使われるコ

ルクと同等の材質のブロックを4種の厚さに切断し、接触媒質が浸み込まない様に両面に薄いアルミ箔を粘着養生して透過エコーを測定した(第14図)。接触媒質が浸み込みやすい材料では、厚さが波長換算で基本周波数の1/1000程度だと経験上の養生材は実験結果にほとんど影響しない。送信には76Φ0.5MHz、受信には5Φ5MHz広帯域探触子を用い、実効帯域を15Hz~5MHzとして測定した。結果を第15図に示す。3.3mm厚さでは5.5µ秒から立ち上がり、振幅の半値幅は5.6µ秒、その中間値は10.5µ秒で尖鋭度は0.53となる。6.2mm厚では半値幅は7.4µ秒、その中間値は20.9µ秒で、尖鋭度は0.35となる。10.1mmではBEDでは重なってきている様に見えるが、半値幅は8.7µ秒、その中間値は28.8µ秒尖鋭度は0.3となる。20.6mmまでパルスの幅

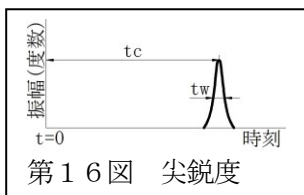


第14図 コルク



第15図 コルクの伝播時間分布

は徐々に広がると同時に尖鋭度(tw/tc)は小さくなる。尖鋭度は第16図に示される概念で次回以降の議論の対象になる。誰が測っても同じ値しか計測されなくなる理由である。

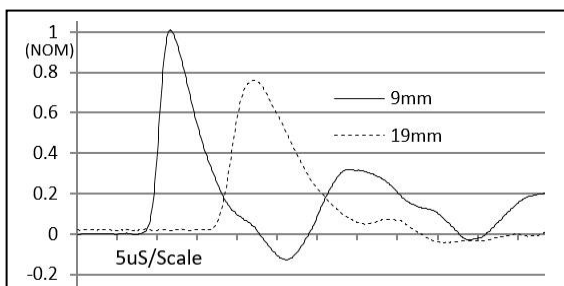


第16図 尖鋭度

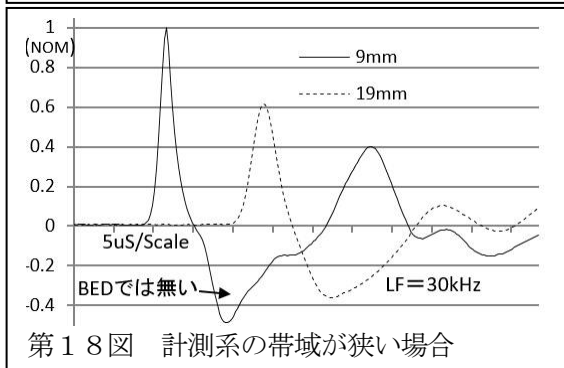
◆伝播時間(音速)分布例 発泡ウレタン

音の減衰,スピーカのインシュレータ,音の伝搬量は面積に比例,探触子に使うタングステンバックキンは減衰しない様だ,

多くの探触子のケース内部の空間は水などが溜まらない様にモールドされる。音響セパレータの目的もあって、低周波の探触子ではウレタンなど樹脂の気泡が繋がっていない発泡体で探触子内部を満たすことがある。ウレタンは直接接触探触子の保護膜に使われるなど、比較的音波の通りが良い。が、多孔質なフォームになると音響セパレータとして使える。発泡によって音響インピーダンスが下がり、減衰も大きくな



第17図 発泡ウレタンの伝播時間分布



第18図 計測系の帯域が狭い場合

る。送信にはコルクの実験と同じ $76\Phi 0.5\text{MHz}$ 探触子を用いたが、ウレタンフォームが厚い事もあり、受信の周波数下限を下げる為 $40\Phi 0.5\text{MHz}$ 広帯域を用いて実効帯域幅を $1.5\text{Hz}\sim 0.5\text{MHz}$ (帯域幅 200.0%)とした。その結果を第17図に示す。なお、帯域幅を $30\text{kHz}\sim 0.5\text{MHz}$ (帯域幅 177%)と下限が十分低くない場合は第18図の様になる。BEDと間違える様な波形が観測されるが、単に第17図をRC微分した波形であり、アンプの入力抵抗と振動子容量によるRCフィルターの影響と考えられる。低域が伸びていないと音圧を測定しているつもりが、微分された音圧の傾斜を測っている事に

なる。超音波非破壊計測での多くの場合、大雑把に言うと探傷画面でエコー高さは、音圧波形の傾斜に相当する。「エコー高さ」=「音圧波の高さ」ではなく、「エコー高さ」=「音圧波の傾斜の最大」である。さらに波形には受信振動子の特性が含まれる。パルス波の観測では低周波成分が如何に重要か判る。帯域幅は限りなく200%に近くにして実験しないと、無駄になる事が多い。第17図の9mm厚さの波形の半値幅は $10.2\mu\text{s}$ 、その中間値は $25\mu\text{s}$ 、尖鋭度は0.41となる。19mm厚さの場合、半値幅は $17\mu\text{s}$ 、その中間値は $46.5\mu\text{s}$ 、尖鋭度は0.36となる。やはりパルス幅は厚さと共に広がると同時に尖鋭度は小さくなる。

ウレタンは単体では音は比較的よく通すが、ウレタンを独立気泡で発泡比率が10以上の発泡体とすると減衰が多く観測される。低発泡比率(2程度)の場合はそれほど減衰が観測されない。極低周波で観測すると、何れも減衰は観測されない。結局カットオフ周波数が気泡率で変化している様だ。

同じ様な発泡体に近い構造に、以前述べたコンクリートのジャンカがある。が、これは音を良く通す。ジャンカとジャンカでない部分の界面では反射が観測され、ジャンカを超音波検査で見つけられるが、検査部分全体がジャンカ状の場合、ジャンカがある事に気が付かない場合が多い。ウレタン発泡体の場合、探触子間に多数の気泡があるが、ジャンカの場合その数が少ない。低発泡のウレタンでは気泡以外の部分の面積が広く、ジャンカ同様音を良く通す。この層数や音伝播の有効電面積の差により良く通す、通さないが決まるようだ。

◆あとがき

今回は一般に減衰材と呼ばれる材料の音速分散に関して述べた。

◆今回知った事

- (1) ゴムなど柔らかい物の音波減衰が大きいイメージがあるが、そうではない。

音の減衰,スピーカのインシュレータ,音の伝搬量は面積に比例,探触子に使うタングステンバックキンは減衰しない様だ,

- (2) ゴムでも減衰が観測されるものや、シリコン系ゴムの様に余り大きくないもの、圧力を加えると減衰が少なくなるものなど様々。
- (3) 最近のフロア型スピーカのインシュレータは、金属性スパイク状で、防振ゴムより性能が良い。
- (4) 広帯域探触子のバックキンは減衰材で、コンクリート同様に音速分散が観測され、厚くなるほど、分散が大きくなる。
- (5) 円柱状の物体の超音波計測では、探触子を円中央に配置すると、側面エコーの影響で低面が観測できなかつたり、中央付近の欠陥が見つからなかつたりする。探触子位置を偏芯させるのが良い。
- (6) 減衰材に於いて、横波や縦波らきし波形が観測されるが、それらは純粋な縦波や横波ではない可能性がある...
- (7) パルス波の計測では低周波成分が重要で出来るだけ低域を延ばすことが正しい実験をする基本。
- (8) 計測系の低域が伸びていないと、微分した様なエコー波形が観測される。
- (9) 微分されている場合、音波波形の判断間違いをする可能性が高い。
- (10) 超音波基礎実験では帯域幅は可能な限り 200%に近づけて実験する必要がある。
- (11) 広帯域超音波非破壊計測での多くの場合、「エコー高さ」=「音圧波の高さ」ではなく、「エコー高さ」=「音圧波の傾斜の最大」である。
- (12) ウレタンは音を良く通し、発泡ウレタンは通さない。低発泡率では音は比較的良く通る。
- (13) コンクリートのジャンカも音を良く通す。が、ジャンカと正常部分との境界で音は反射しジャンカを見つけることが出来る。

(14) 層数や音伝播有効面積の差により良く通す、通さないが決まるようだ。

(15) 減衰材では伝搬に従い、パルス幅が広がると同時に、尖鋭度が高くなる。

<参考文献>

超音波技術入門—発信から受信まで(2015/04初版2刷、日刊工業新聞社)

・
IUS2012 Doersden 423 4I-4 Wave Propagation Simulation in Coarse Grain (attenuative) Materials