

有限会社シー・アイ・エス

〒330-0854

埼玉県さいたま市大宮区桜木町4-1002-101

TEL048-658-5322

FAX048-658-5323

<http://c-i-s.co.jp>

朝井郁雄 2021年10月

2025年9月22日 簡易版

ガードポール長さを超音波で測定するときの注意点

ガードポールの長さ測定案が国土交通省からでました。これから測定依頼が多くなると思いますので各自勉強しておきましょう。方法は難しいものではありません。理論的に説明できるようにしてください。装置は汎用機で十分です。探触子は特殊系を使ってください。感度等足りない、SNが悪い場合は送信、受信のパラメーターを調整するか下文を参照してください。専用機が販売されていますがネットで確認する限り素人用です。装置系他ブラックボックスになっています。顧客に理論的説明が出来ない装置は使わないでください。装置の性能(カタログスペック)を確認しても意味が無いです。

測定に関して

側面入射で測定する場合、通常横波(SH波)による方法が用いられます。他にSV波や表面波の手法もあります。いずれの方法でも各種減衰により難しくなります。また、全ての手法に使えることは締め固まっている場合は測定不可能の場合が多いことです。ガードポール(鋼)のインピーダンスと締め固まった土砂のインピーダンスが近くなり、音が土砂の方に逃げてしまい受信し難しくなります。簡単に言うと動かない物(振動しない物)は測れない。

接触媒質について

横波(SH)を用いる場合、接触媒質が重要になります。基本的に粘度が高くなければ伝わっていきません。これは横波が剪断波だからです。探傷に用いられる横波用の接触媒質は200kcps～4Mcps程度の粘度があります。粘度が高いと言うことは探触子の走査ができないことを意味します。目的の波形が得られない場合は別の場所で探触子を押しつけなければならないと言うことです。縦波の場合、圧縮波なので通常、粘度は気になりません。超音波を送受信する場合、探触子を強く押しつけるとその分感度が上がります。それは、接触媒質層が薄くなること、バックングの機能が上がることなどによります。探傷に大きな影響を及ぼす要因は、接触状態と探触子(センサー)です。装置は現在の市販機ならばそれほど違いはありません。

探傷面の曲率について

点あるいは線接触の場合、音はビームが広がる挙動を示し、音圧・指向性が低下します。また、周波数も低くなります。振動子から送信される音を効率よく伝えるためにはいくつかの方法があります。簡単な方法は探触子の接触面を曲率に合わせて加工することです。この方法の問題は設計・加工精度が悪いとモード変換が多くなること、境界面エコーが大きくなること、ビームの偏りが無視できなくなるなどです。他の方法は振動子を曲率に合わせて曲げることです。この方法だと縦長あるいは横長の振動子や大面積の振動子を使い音圧を高くすることも出来ます。しかし製作に高い精度が要求されるため、まともに造れるメーカーは世界に1, 2社しかなく高価になります。結局は、曲率の影響が少ないケースの小さい探触子が実用的です。

音速について

鋼材の縦波音速 $\approx 5900\text{m/s}$ 、横波音速 $\approx 3200\text{m/s}$ 、表面波音速が横波程度。縦波は距離に従い減衰やモード変換が大きく、次第に弱くなります。横波(SH)は気中ではモード変換が少ない分ある程度の距離でもSN良く通ります。ですが、ポールが水などと接触している場合はその性質で急速に感度が低下し測れなくなります。ポールのような地中に拘束された状態だと表面波は難しいです。

ポールを気中で音速測定すると(条件にもよるが)縦波で $4500\sim 5900\text{m/s}$ 程度になる場合が多いです。この理由は様々な経路を通るための遅延現象や減衰により低域側にシフトするためです(ガイド波になる)。また拘束が強い場合音速が上がる現象も起きます。

周波数、帯域について

探触子(市販品)には周波数が明記されています。例えば 5MHz や 2MHz 等です。しかしそれは振動子の周波数を表しているものではありません。あくまでも探触子の周波数(共振周波数)です。

圧電振動子材料には水晶、PZT、ニオブ、ポリマーなどがあり、水晶以外は分極して圧電効果を発生させています。

通常、公称 5MHz の探触子に使われている振動子の周波数は $1.5\sim 2$ 倍程度です。これが探触子になると 5MHz 程度になるように設計(?)されています。

周波数による差は溶接検査の場合ほとんど無いと言っていいです。普通の探傷範囲であれば周波数は気にしなくともいいのです。それよりも結果に直結するパラメーターは帯域です。広帯域探触子を使うと今まで確認されなかったキズが検出されたりします。(ただしそれなりのパルサーレシーバが必要です。最近の装置はデジタルフィルターを搭載していますがデータ取り込み数が多くなければそのメリットは少ない。また帯域が狭く、特殊材の検査には不向きです。)

一般的広帯域探触子の帯域幅は 100% 以下でそれほど広くありませんが狭帯域よりもましです。

最近の探傷器はスクエアパルサ搭載機器が多くなりました。立ち上がり立ち下がり電力を供給するので良さそうに思えるが、実際は帯域が狭いです。

パルス幅を調整できる機器ならば疑似的にスパイクに近い音が出せます。

最近の振動子は感度が高く、高電圧では飽和してしまうので装置の電圧は低くなっているが、汎用ICを使用しているためどの装置も電圧はほとんど一緒。

他の方法

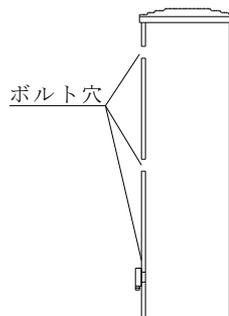
もう少し感度がほしい場合や感度を上げるとSNが悪くなったりする場合にプリアンプ、低周波アダプター等を通すと改善する場合があります。送信や受信の電圧を増幅させ感度を上げるとともにインピーダンスのマッチングを改善させます。ただし、倍率を上げすぎると振動子の割れや剥離が起こる場合があります。また、装置接続には注意が必要です。送信受信を間違えると、最悪の場合装置が壊れます。ケースバイケースで使用してください。

送信、受信を分ける2探触子で行う方法があります。この場合、送信に高い周波数の振動子を用い、受信に低い周波数の振動子を使います。

上記発展系として、送信・受信複数チャンネルという方法もあります。ただし、探傷器がそれぞれの振動子を励振できる能力が無ければなりません。

側面入射でうまくいかない場合、ボルト穴から縦波超音波を入射させる方法を使います。ポールのキャップがとれる場合は上端面からの探傷が有効ですが、溶接で留まっているため不可能な場合が多いのでボルト穴を使います。ガードポールの肉厚は 4.5mm 程度なので幅の狭い振動子を使います。通常この手の探触子の市販品はありません。別用途の曲面に密着するゴム状の市販探触子がありますが長距離探傷には不向きです。バック材が無くノイズが多くSNが悪くなります。

ボルト孔用探触子

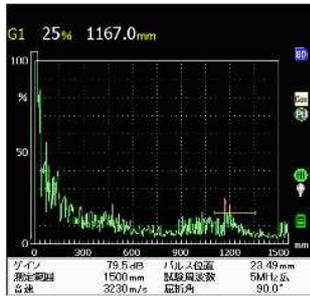


・測れない場合

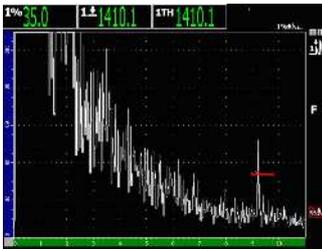
先端部が変形している、あるいは土圧がかかりすぎている場合、先端エコーを得ることは不可能になります。一般的な方法では無理ですし、下記方法でも無理な場合が多いことを理解してください。

特殊な手法で可能な場合があります。それは送信受信帯域を非常に広くした低周波超広帯域装置で測定するというものです。この場合波長が長く誤差が少し大きくなりますが、ある程度の変形にも適用できます。帯域を非常に広くするメリットは、受信できる音の帯域が広がることです。条件によってある周波数成分が多く戻ってきてもそれを受信できなければ測定できなくなります。あるいはSNが悪くなります。この多く戻ってきた周波数成分を受信できるようになるのです。

亜鉛メッキ品では計測が難しくなる。この理由はメッキと鋼のインピーダンスに違いがあり、SHで送信した場合、メッキ層(合金層)を伝搬し(合金層で減衰)、内部(鋼)は伝搬しないとされる。伝搬量がかなり少ないようだ。



メッキ波形 SH5MHz φ60
増幅79.5db これだけ増幅してもノイズは低い。音が入っていないから？



メッキ波形 SV5MHz (プリアンプ使用)
SN悪いが誰が見てもわかる波形が得られた。(SNが悪いのは雨の影響と思われる)

一般的に全ての超音波探傷では、2探触子(2振動子)で行った方が良い結果を得られる場合が多い。理由は、電氣的干渉を避けられるので、帯域や感度を高くできる。探触子からは、構造と音響マッチングによるが10%程度が音として出る。容量が大きい(周波数が高い)程送信音は大きいため、送信振動子は電流飽和しない範囲の高い周波数の振動子を使う。受信については長距離を伝搬する高い音は低周波側に移行し伝わりやすい波に変換していくため、受信振動子はその周波数を拾える物を使う。

現場で2個以上の探触子を使用するのは大変で、1人では難しい。その場合は治具を作成するか積層振動子を使う。送信に高めの周波数振動子、受信にガイド波相当の周波数振動子を2枚貼り付けた物を使う。

具体的にどうしたら測定できるかと言うと、

1. 塗装品で設置から日が浅いものは、側面から1振動子SHで行う。探触子は管径が大きい場合は25×15mmのケースを小さい場合は18×12mm、10×8mmケースを使う。接触媒質は横波用かHIGHZを使う。ただし雨天の場合は難しくなる。
2. ボルト孔がある場合は、ボルトを外し孔から縦波で行う。接触媒質はグリセリンやULTRAGELL IIなどで良い。予め塗布しておくこと結合状態が良くなる。
3. メッキ品や古いガードポールを探傷する場合、送信・受信を別にしたSH2振動子、SV1振動子,2振動子で行う。屈折角は90,70,60,45で試してみる。感度が足りない、SNが悪い場合はトランスやアダプター等を使う。装置電圧は最低値にして波形を見ながら調整する。ゴーストが気になる場合はPRFを低くする。感度が足りない場合はプリアンプを使う。それでもSNが悪い場合はアクティブ探触子を使う。
4. 先端から測れる場合は、端面から縦波で行う。わからない場合は2探で行う。
5. 波形が確認できないときは設置場所を変える。(変形がある可能性) (回転できる治具を用いて1周させると良い)
6. 何を試してもだめな場合は他のポールを測る。