

超音波反射法によるアンカーボルト長さ測定

精度よく測定するために

株式会社 ジャスト 池ヶ谷 靖

菱電湘南エレクトロニクス株式会社 杉元 幸郎

1. はじめに

平成15年11月に国土交通省は、道路における落橋防止装置等のアンカーボルト定着長さ調査結果（超音波法による長さ測定）から定着不足があることが明らかになり、発生防止のためにアンカーボルト全数に対して超音波測定を義務付けた。

その際に、国土交通省は「超音波パルス反射法によるアンカーボルト長さ測定要領」（案）を各地方整備局などに通知し、それに基づく測定を超音波測定に精通した第三者機関による測定を求めている。

一般に、超音波法によって棒状のものの長さを精度よく測定することは、ある程度の超音波法に対する知識とデジタル超音波探傷器を用いれば容易と考えられがちだが、測定を行うと必ずしも容易でない場合が少なくない。

さらに、条件によっては超音波でかなり短く測定されたものを実際に削孔して確認すると、実測長さがかなり長いことがあったり、さらには、まったく長さが測定できなかつたりすることがある。

そこで、どのような場合に精度よく測定できない、あるいはまったく測定できない場合があるか説明し、さらに、超音波法によってアンカーボルト長さを精度よく測定することについて説明する。

2. 超音波法によるアンカーボルト長さ測定

超音波によるアンカーボルトの定着長さ測定は、図1に示す方法による。その場合、超音波探傷器ではアンカーボルトの全長を測定し、画面にWの数値が表示される。そこで、コンクリート外部に突き出したアンカーボルト部の長さhをスケール等で測定し、Wからhを引いて定着長さLを求める。現場測定を写真1に示す。

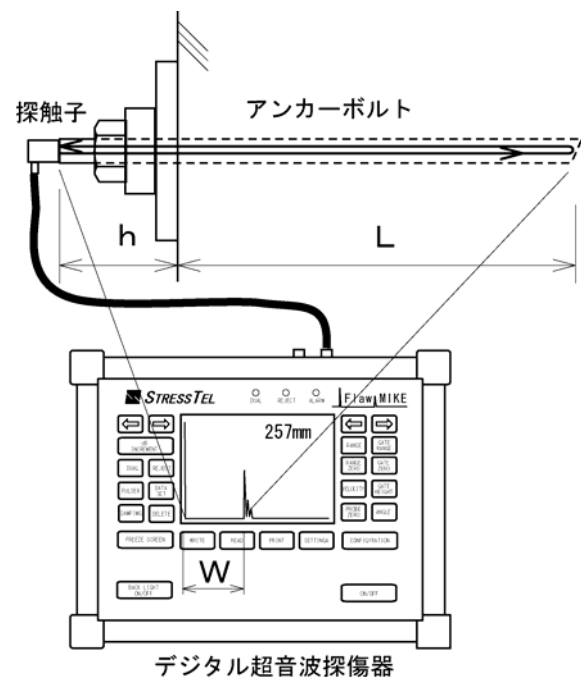


図1 アンカーボルト長さ測定法



写真2 アンカーボルト長さ現場測定法

アンカーボルト先端は軸に対して垂直に切断されている場合と45°に切断されている場合がある。さらに45°に切断されている場合は、せん断で切断している場合と機械加工で切断している場合がある。

超音波法でうまく測定できるためには、①探触子からアンカーボルトに十分に超音波が伝達される（アンカーボルトから探触子に超音波が戻る場合も同じである）②アンカーボルト中で超音波が十分に伝搬される③アンカーボルトの先端で十分な反射が得られることが必要となる。

しかし、実際の測定ではこの条件が適正な場合とは限らず、十分な精度でエコーが得られない・エコー高さが極端に低い・エコーが得られないことが起きる

そこで3つの条件に分けて説明する。

3. 探触子ーアンカーボルトの超音波伝達

アンカーボルトの頭部（この場合外部に出ている部分）は、せん断加工で切断されている場合（これが多い）と機械加工で切断されている場合がある。

機械加工で切断されている場合は表面が平滑でほとんど問題が無いが、せん断加工されている場合は、図2に示すように、頭部にくぼみがあり極端な場合は1mm以上の深さになることがある。その場合には探触子から超音波が十分に伝達されないことになる。

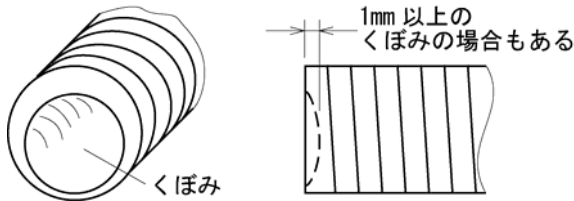


図2 アンカーボルト頭部の形状

ボルトが塗装やメッキがなされている場合はアンカーボルト自体の凹凸が無ければほとんど影響が無い。ただし、塗装がはく離している場合や何度も補修の塗装が行われてその厚さが数mmになっているような場合には超音波の伝達が阻止される。

このような場合には、頭部をディスクサンダー等で切削することになるが、最も注意することは軸に対して垂直なるように仕上げることである。さらに、仕上げ面は平滑にする必要があるが、ラップ仕上げ等の細かい仕上げは不用である。

4. アンカーボルト内の超音波伝搬

アンカーボルト内での超音波伝搬では材料自体による超音波の減衰が問題になることはない。しかし、径の細いボルト、曲がったボルト、途中で溶接があるボルト等ではアンカーボルト内を超音波の伝搬が阻害される場合がある。

先端が45°に切断された丸鋼試験体による、異なる

径での超音波波形を図3及び図4に示す。図に示すように、径が小さくなると、ノイズが大きくなり端面からのエコー小さくなる。

丸鋼でなく、異形鉄筋を実際にコンクリート部に挿入し、充填を行うと、端面からのエコーはさらに小さくなる。条件によってはエコーが検出されない場合もある。

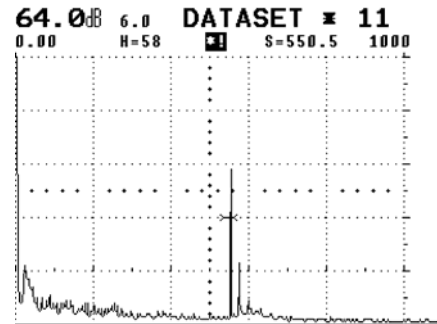


図3 φ27丸鋼の端面エコー

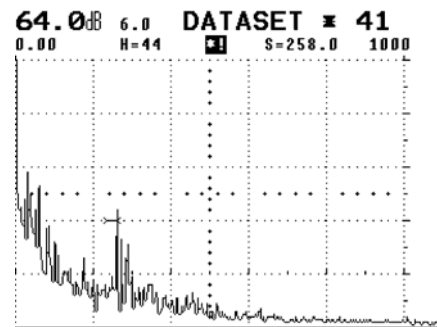


図4 φ12丸鋼の端面エコー

異形鉄筋のアンカーボルトをコンクリート試験体に施工した場合の、曲がりの有無による超音波波形の差異を図5及び図6に示す。

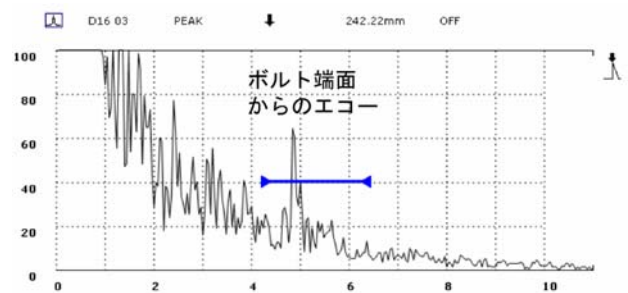


図5 D16 アンカーボルト超音波波形(曲がり 0°)

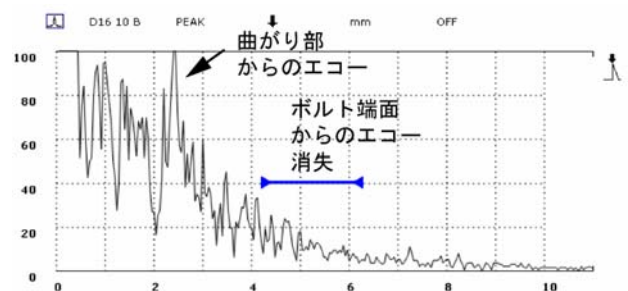


図6 D16 アンカーボルト超音波波形(曲がり 10°)

図に示すように、曲がりがない場合は端面エコーが明瞭に確認されたが、曲がりがある場合には曲がり部からのエコーが検出され端面エコーは消失した。

検出されたエコーについては、端面エコーは端峰で明確なピークを持つものであり、曲がり部のエコーは多峰で極端な場合は複数のピークが同じ程度のエコー高さであった。このことから、エコーの形状で経験的に端面からのエコーか曲がり部からのエコーかを判別することができるものと考えられる。

曲がりの角度に関しては、5°では曲がり部のエコーが現れたが端面エコーも検出できた。そのことから曲がりのあるアンカーボルトの測定可能な範囲は曲がりが5°以内程度のものと考えられる。

実際の現場測定では何らかの理由によってアンカーボルトが継ぎ足されたものがあった。その主なものは、コンクリート表面へのアンカーボルトの突き出し長さが不足してダブルナット外側にアンカーボルトが出ないために短いネジを挿入したものと径が太いために曲げることができず切断して曲げて溶接したものである。

(図 7)

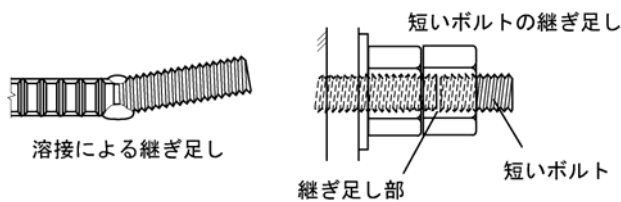


図 7 アンカーボルトの継ぎ足し

この継ぎ足しが行われた場合の超音波波形例を図 8 及び図 9 に示す。図に示すようにこのような継ぎ足しでは端面エコーが消失して継ぎ足した部分からのエコーが検出された。(ただし、溶接による継ぎ足しが完全溶込み溶接ならこのエコーが検出されない可能性が大きい)

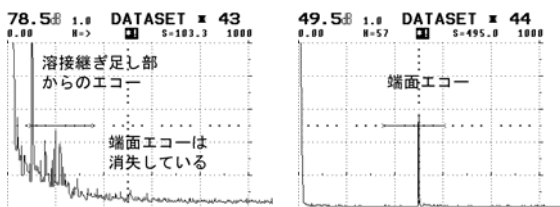


図 8 溶接継ぎ足しの有無による超音波波形

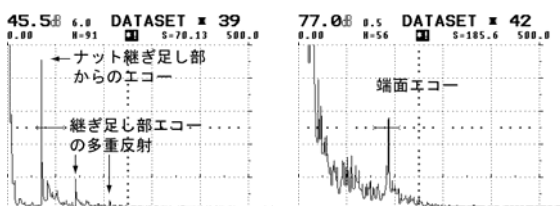


図 9 ボルト継ぎ足しの有無による超音波波形

5. アンカーボルト先端での反射

アンカーボルトの先端面が図 10 に示すように軸に対して垂直な場合と 45 度の場合の端面エコーの例を図 11 及び図 12 に示す。

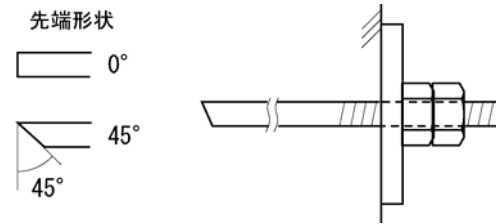


図 11 アンカーボルト先端形状

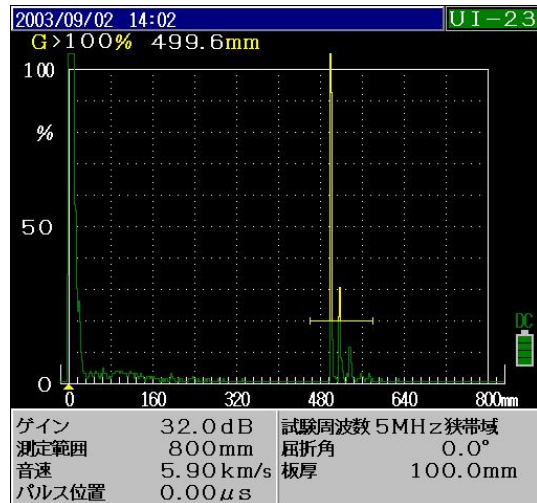


図 12 先端形状 0° の場合の超音波波形

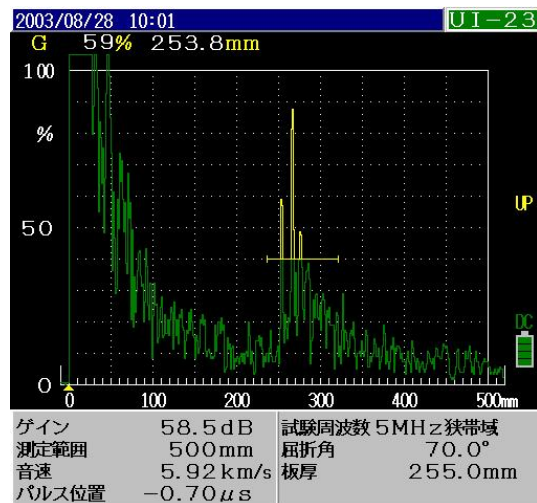


図 13 先端形状 45° の場合の超音波波形

図に示すように、端部までの距離が半分程度になっているにもかかわらず端部からのエコーは先端形状 0° に比べ 45° の場合はエコー高さが 25dB 程度低くなっている。また、エコー波形も、先端形状 0° で最初の波が大きく出現しその後の波は急激に減少する波形となりアンカーボルトの長さも容易に精度よく測定できるが、先端形状 45° では最初の波より第 2 波の方が大きくなり、最も大きな波をゲートで検出したので

はアンカーボルト長さ測定の精度が大きく低下する。

6. 測定精度が低いときにどうするか

アンカーボルトの長さ測定は通常縦波垂直探触子を用いて行われる。長さ測定精度は、先端が軸に対して垂直な場合、アンカーボルトの径が 20mm 程度以上大きく長さが 500mm 程度までなら、図 14 に示すように比較的精度よく測定することができる。(実測長さ 491mm に対して超音波法による測定長さ 493mm)

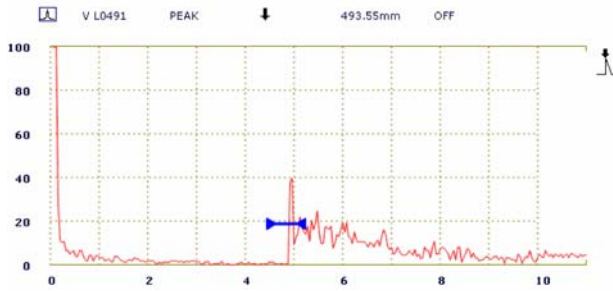


図 14 縦波垂直探触子で 491mm 長さの測定

しかし、M22 で長さが 1000mm 程度になると、図 15 に示すように、かなり小さな最初のエコーを用いて測定すれば誤差 1% 未満で測定できるが、図 16 のように最大のエコーで長さ測定を行うと実測長さ 1000mm に対して測定長さ 1056mm と 5% を超える誤差となる。

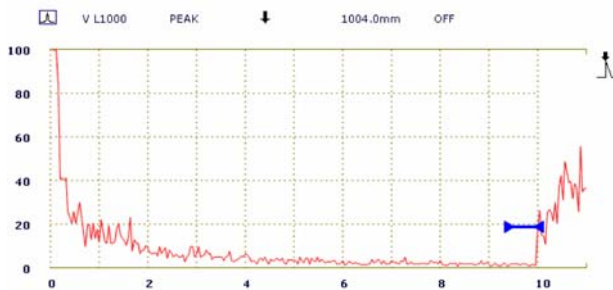


図 15 1000mm 長さの測定(最初のエコー)



図 16 1000mm 長さの測定(最大のエコー)

この誤差は、径が小さくなるほど、長さが長くなるほど大きくなる。さらに、先端の形状が軸に対して 45° の場合には、エコーが小さくなるだけでなく、このように多くのピークが出現し、かつ最初のピークがノイズレベルと同程度になるために、精度よく長さを

測定することが不可能となる。

この問題に対する解決策は波長を径に対して十分に小さくすることとボルトの側面での反射によるモード変換の影響を回避することと考えられる。

そこで、周波数を 20MHz 程度に上げると精度の向上が図れる。しかし、アンカーボルトでの超音波の減衰の問題等で長いボルトの測定は不可能となる。

それに対して、横波垂直探触子を用いると減衰やアンカーボルト側面でのモード変換の等の影響をあまり受けずアンカーボルト長さを測定することができる。

(縦波垂直探触子と横波垂直探触子の違いを図 17 及び図 18 に示す)

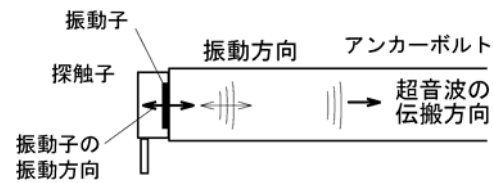


図 17 縦波垂直探触子の超音波の伝搬

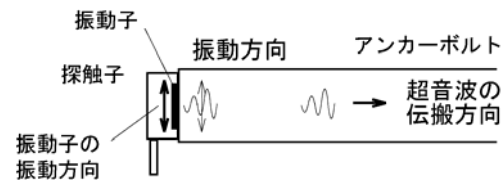


図 18 横波垂直探触子の超音波の伝搬

図 14 及び図 15 と同じアンカーボルトの測定例を図 19 及び図 20 に示す。同じ試験体を同じ超音波探傷器で測定したにもかかわらず、図に示すように、縦波垂直子の場合とは異なり、1つのピークの単純なエコーとなり、SN 比 (近傍のノイズの高さと端面エコーとの比) も大きく、その測定誤差も 1% 未満となる。



図 19 491mm 長さの測定(横波垂直探触子)

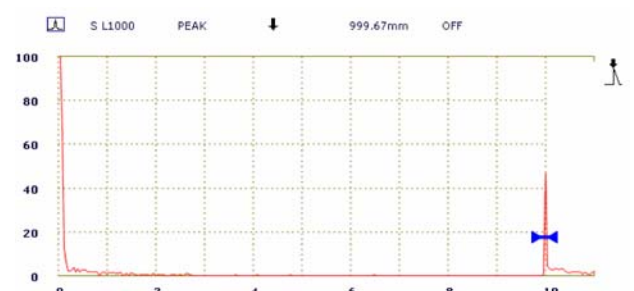


図 20 1000mm 長さの測定(横波垂直探触子)

コンクリートに施工したアンカーボルトの測定例を図 21 及び図 22 に示す。(このアンカーボルトの定着長は 15d 程度であるが全長は 599mm のものである)



図 21 D13 測定の超音波波形(縦波垂直探触子)

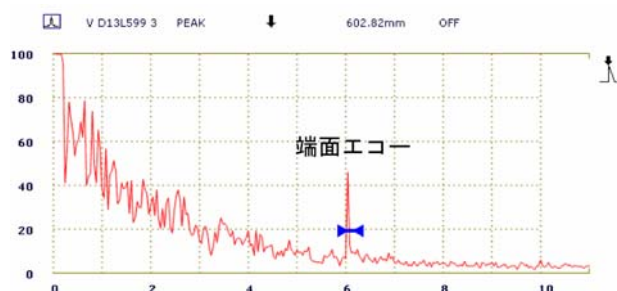


図 22 D13 測定の超音波波形(縦波垂直探触子)

図に示すように、縦波垂直探触子ではノイズと端面からのエコーが判別できなかった。それに対して横波垂直探触子では十分な SN 比で端面エコーが検出され、さらに実測長さ 599mm に対して測定長さは 602mm と十分な精度の測定を行うことができた。

7. 実際の測定で精度よく測定するために

実際のアンカーボルトの長さ測定でどのようなことに注意して測定を行えば精度よく測定できるのかについて説明する。

横波垂直探触子を用いた場合、アンカーボルト頭部の探触子が接触する面の状態によって超音波の伝搬に関して大きな影響を受ける。具体的には頭部表面の塗膜や凹凸である。また、測定感度自体も縦波垂直探触子と比較すると 20dB 程度の低くなる場合もある。

そのため、径の大きなアンカーボルトに関しては、縦波垂直探触子を用いても測定精度がそれほど落ちないことから、縦波垂直探触子を用いる方が作業性等も改善され実用的な測定と言える。

また、周波数に関しては、アンカーボルトが長くなると高い周波数では超音波の減衰を受けることからより低い周波数の選択があるが、実際には波長とボルト径が近づくために精度良い測定が出来なくなる。極端な場合は、5MHz よりかえって端面エコーが出なくなることがある。

そのため、使用する周波数は 5MHz が最適となる。

使用する超音波探傷器による差異についても実験を行ったが、感度差は確認されたが、端面エコーが検出の有無に関しては大きな差異は無かった。一方、探触子に関しては縦波垂直探触子及び横波垂直探触子のいずれの場合もアンカーボルトの測定に最適化された探触子と通常の探触子では大きな差となった。

以上のことから、実際の測定で精度よく測定するためには、以下の点に注意して測定を行う。

- (1)ポータブルタイプのデジタル探傷器を用いる。
- (2)アンカーボルトの長さ測定に最適化された周波数 5MHz 振動子径 10mm 縦波垂直探触子を用いる。(ロックボルト用という名称で市販されているもの)
- (3)アンカーボルト先端形状を予め確認しておく
- (4)アンカーボルトの頭部の表面状態に応じてグラインダー仕上げを行う。その際、直角度と平面の平滑度に注意する。
- (5)予想される長さよりかなり短い位置でのエコーが検出された場合はアンカーボルトの曲がりの可能性を検討する。(コンクリート表面では垂直でコンクリート内部で曲がっているボルトが少なくない)
- (6)アンカーボルトの径が小さい場合や長さが径に比べて極端に長い場合は横波垂直探触子を用いる。

8. まとめ

アンカーボルトの長さ測定は垂直探傷法で比較的簡単な方法と思われるが、実際、アンカーボルトがそれほど長くなく、径が大きく、アンカーボルトに曲がりがない場合は使用する超音波測定機器の選択さえ誤らなければ容易な測定といえる。

しかし、実際の現場測定は、アンカーボルトの径が小さい場合や曲がりがある場合には容易な測定でなくなってしまう。

そこで、測定する側は実際のアンカーボルトの状態を把握して、信頼できる精度良い測定を行うことに勤め、管理する側はそのような測定が行われているか確認することが重要である。