

鉄筋探査機でのかぶり厚さ測定に関して

～ 極浅かぶり厚さの測定誤差編 ～

市販の鉄筋探査機で実測かぶり厚(ノギスや直尺等で測る)が10mm以下の極浅い鉄筋のかぶり厚を測定する場合に於いて、かぶり厚によっては測定が出来ない、または誤差が通常よりも多く発生する場合がありますので注意が必要です。誤差の原因や測定限界値等を探査方式別で次以降にて解説します。

1. 電磁波レーダ法 (日本無線 ハンディサーチ NJJ-200/NJJ-200K) の場合

※ハンディサーチ NJJ-105K、ストラクチャスキャン SIR-EZ/LT/HR/LXT/XT 等 電磁波レーダ法は全て同様のこと言える。

電磁波レーダ法は、電磁波の伝搬速度(反射時間)を測定することで、反射物の深さを特定することが出来ます。但し、実際は電磁波の伝達媒体の種類や含水量、密度、均一性等によって伝搬速度は変わってまいります。

そこで、現場では鉄筋等の反射物を研り出して深さの実測値を測定し、その値を装置へ代入することで、探査箇所の比誘電率を推定することが出来ます。その他にも、双曲線法やマイグレーション推定、柱の角での推定方法や電磁誘導法の鉄筋探査機との併用によって比誘電率を推定することが可能です。

比誘電率の推定の際に注意しなければならないのは、これらはいくまでも構造物全体の比誘電率を示す値ではなく、推定箇所一点でのピンポイント補正の結果にでしかないということです。実際にはコンクリート面の日当たりや潮風での塩害状況、火害で炭化した面、打設日の違い、モルタルやグラウト、また特殊繊維等で表面が補修された箇所、反射物の深さが比誘電率を推定した箇所と大きく違う箇所での適応等、考慮しなければならない条件が多くあります。比誘電率の推定値を一点(一箇所)で求めて、その値を測定構造物全体に適応させる場合には特に注意が必要です。

しかしながら、比誘電率の推定を正しく行っても、反射物の深さが極浅い場合に於いては、実際の深さとRCレーダ探査機の測定値が大きく異なる場合があります。その原因を次頁にて解説します。

※極浅い深さの鉄筋を用いて比誘電率を補正した場合、補正後でも測定誤差が大きくなります。

電磁波レーダ法の反射時間と表示深さを NJJ-200 の一カーが作成し、配布している資料【装置仕様書】にて、確認する。

NJJ-200K 装置仕様書より抜粋

AN-2060043 (5/7)

4. 機能・性能

表3にハンディサーチNJJ-200Kの機能、表4に性能を示します。

表3 機能

項目	性能
方式 主要探査対象物 表示モード	電磁波レーダ方式 コンクリート構造物内の鉄筋、電気配線管及び空洞など Bモード（垂直断面図） BAモード（垂直断面図、反射波形表示）
画像処理(探査時)	リアルタイム自動表面波処理 リアルタイムユーザー表面波処理 リアルタイムマニュアル表面波処理
画像処理(非探査時)	マニュアル表面波処理、ピーク処理、原画再生処理、平均波処理 固定表面波処理、減算処理、ユーザー表面波処理
比誘電率設定 最大走査速度	2~20 0.1ステップ（探査対象の比誘電率を設定） T標準・U標準：約40cm/s T倍速・U倍速：約80cm/s T高速：約160cm/s 速度超過ブザーあり
制御機能	画面反転、カーソルマーク（最大297点）、バッテリー容量表示、画面縦横表示、鉄筋自動検出機能、鉄筋検出アシスト機能
データ保存機能	スマートフォン内蔵メモリーカードにデータ出力
無線LAN規格	IEEE802.11 b/g (2.4GHz)
使用温度範囲	0~+50°C 80%以下（結露しないこと）
電源	専用バッテリーパック（6.0~8.4V）
連続使用時間	7時間以上 （常温、満充電バッテリーパック使用、スマートフォン除く）
防塵・防滴構造	IP54
寸法	149±2.5(W)×207±2.5(D)×134.5±2.5(H)mm （ハンドル、車輪を含む）
質量	約1kg（バッテリー含む、スマートフォン除く）

表4 性能

項目	性能
送信出力	約4V（パルス出力電圧）
検出鉄筋径	6mm以上
かぶり深度	5~450mm（コンクリートの比誘電率 6.2、鉄筋径6mm以上で上端筋の場合） ^{*1 *2}
かぶり探査精度	±5mm以下（かぶり深度10mm以上200mm以下の範囲） ^{*3}
かぶり深さ分解能	±10mm以下（かぶり深度200mm超え、450mm以下の範囲） ^{*3}
近接する鉄筋の中心間距離	1~2mm（表示レンジ、比誘電率により変化） 深度75mm未満にある探査対象物：75mm以上 深度75mm以上にある探査対象物：深度以上の間隔 （深度75mm時に鉄筋のあき15mm、深度175mm時に鉄筋のあき40mmの鉄筋を判別可能）
水平方向距離分解能	
鉄筋検出位置精度	T標準：2.5mm/T倍速・U標準：5.0mm/T高速・U倍速：10.0mm ±10mm以内（鉄筋直上位置に対して）

* 1：探査媒質（コンクリート）内の比誘電率が均一である場合。

* 2：探査媒質（コンクリート）内の鉄筋が上端筋の場合。

* 3：探査媒質（コンクリート）内の比誘電率が均一であり、比誘電率設定値を正しく設定した場合。

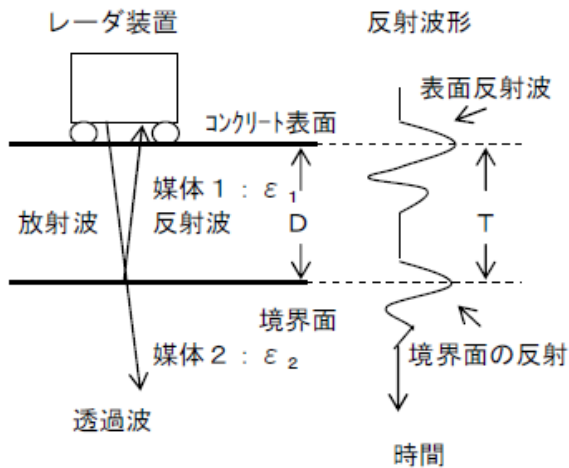
上記によると、そもそも 0~4.9mm の深さの反射物は『探査出来る』と保障していない。深さの測定精度に関しては、0~9.9mm は精度保障範囲外とされている。

何故、極浅い深さの鉄筋の測定が難しいのか？ 電磁波レーダ法の原理を用いて解説します。下記は、メーカーまたはその代理店が作成・配布している資料から抜粋したものです。

電磁波レーダの原理

日本無線株式会社
株式会社 計測技術サービス

基本原理



レーダ方式での深さ／厚さ測定については、図-1に示すように、材質（比誘電率：電気的特性の一種）の異なる境界面での電磁波の反射を利用しています。

深さDは式（1）により、求められます。式からわかるとおり、電磁波がコンクリート表面に放射され、境界面で反射して、再び表面に戻ってくるまでの時間を利用しています。ここで、式の中の記号は以下となります。

- ϵ_1 : 媒体 1 の比誘電率
- ϵ_2 : 媒体 2 の比誘電率
- D : 表面から境界面までの深さ
- V : 電磁波の速度 (m/s)
- T : 反射時間 (s)

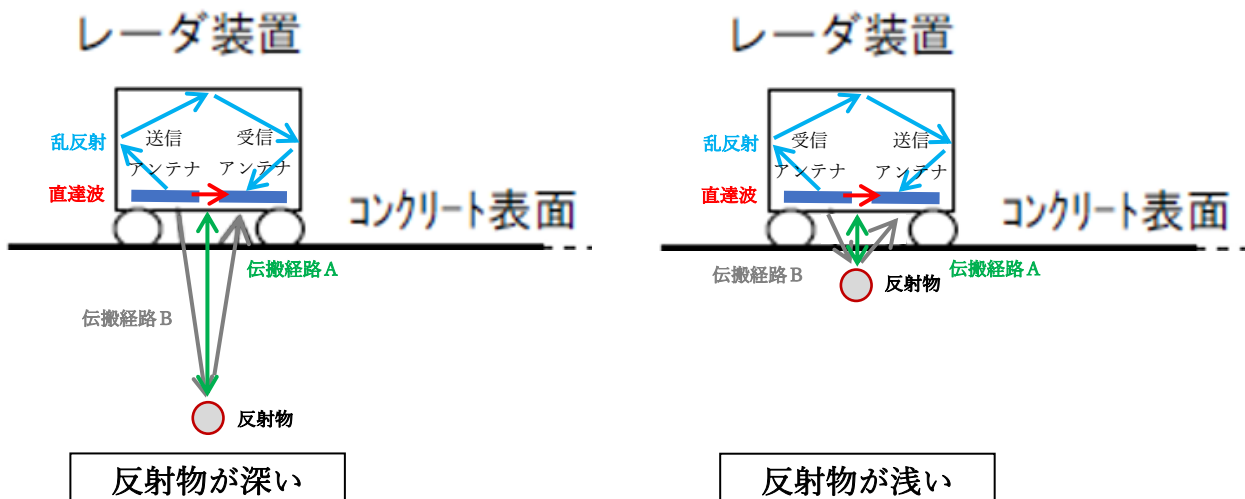
図-1 レーダ装置の原理図

$$D = (1/2) \times T \times V$$

$$= (1/2) \times T \times (3 \times 10^8 / \sqrt{\epsilon_1}) \text{ (m)} \dots \dots \dots (1)$$

次に、上記内容をもう少し詳細に、厳密に解説します。

電磁波レーダ法の探査機には、下図のように反射波と直達波、乱反射があります。電磁波の反射時間を深さ(D)に換算する公式 $D = 1/2 \times T$ は下図のAの伝搬経路を示していて、実際に起こっている電磁波の伝搬経路Bではありません。



また、レーダ探査機の伝搬経路 B は反射物の深さが浅くなるほど伝搬経路 A との反射時間の差が大きくなる為、理論値の $D = 1 / 2 \times T$ との差も大きくなる。

最新型のレーダ探査機に於ける電磁波の発信スイッチ速度が ns (ナノ秒) オーダーで押されていることから、一瞬の間に何回もの電磁波が放出されています。電磁波の速度は光の進む速度と同等とされていることを合わせて考慮すると、一瞬の間に電磁波が何度も放出され、それらを分解して受信することが出来る装置であり、とても高度な技術が用いられています。

但し、反射物の深さが極浅い場合においては、反射波と直達波、乱反射等のノイズとの区別が装置内で出来なくなる為、電磁波レーダ法での極浅いかぶり厚の鉄筋は、その原理・仕様上の理由により精度良く測定出来ないということになります。

※精度の良い測定は出来ませんが、精度の良い探査が可能かどうかは別です。

※乱反射の伝達経路はイメージであり、実際の装置毎の内部構造により異なります。

日本無線の RC レーダ探査機 NJJ-200 の場合に関して、浅い鉄筋のかぶり厚を測定、及び比誘電率の補正を行う際は下記項目に注意して実施することで、(装置の使用仕方) 測定精度を高めることが可能です。

1-1.表示レンジを『浅モード』に設定する。

このことにより、横カーソルの分解能がより細かくなる。

1-2.前頁の図には記載していないが、実際には探査面の表面からの反射である『表面波』のノイズも装置は受信しています。表面波は浅い鉄筋の測定に強く影響を及ぼす為、『表面波』というノイズを正しく処置することで、より正確な補正・測定が可能です。

1-3.探査面が平滑になるように、または平滑にした箇所で補正・測定を行う。各構造体の中心位置をなるべく選定する。

1-4.鉄筋のかぶり厚さが 0~10mm 間 / 70mm 以上、かつ鉄筋間隔が 150mm 以下の配筋状況では補正を行わない。

1-5.測定対象となるコンクリートの材齢が 1 年以内の場合、比誘電率の変化が日々、また面毎に大きく変化する為、補正箇所と測定箇所のミスマッチが生じないように注意する。

2. 電磁誘導法（PROCEQ プロフォメータ PM-630AI/650AI）の場合

※PROCEQ プロフォメータ 5+、KGS 鉄測 EM-01A、HILTI フェロスキャン PS200/PS300 等 電磁誘導法は全て同様のことと言える。

電磁誘導法の鉄筋は、鉄筋の二次誘導により電流量と磁界強度を装置のセンサーで受信することで鉄筋のかぶり厚さを測定する探査機です。

電磁誘導法の探査機には、鉄筋径と深さ毎のAD値というパラメータが設定されていて、AD値を深さ数値に変換してかぶり厚さを表示しています。その為、事前に鉄筋径を確認し、機器の設定画面で入力する必要があります。※鉄筋径を入力しないまま測定すると、測定誤差が大きく発生します。

電磁誘導法は、鉄筋の深さを測定する場合においては、非常に優れていますが、測定する際には誤差を発生させてしまう要因が多い為、取り扱いには十分な知識と十分な注意が必要となります。

要因1. 世界各国に於ける鉄筋径の規格の違い

電磁誘導法の鉄筋探査機は、AD値の僅かな違いを区別してかぶり厚さに変換して表示している為、鉄筋径によつての僅かな差が誤差を発生させる。特に鉄筋径の推定機能に関しては、より顕著に誤差が発生する。

電磁誘導法に於ける先駆者（メーカー）は、プロセク社とヒルティ社が日本では有名で、古くから広く認知されています。

どちらもヨーロッパのメーカーで、鉄筋径の規格もヨーロッパの基準でパラメータ設定がされている。

日本の鉄筋規格とヨーロッパの規格には違いがあることから、日本では電磁誘導法 鉄筋探査機での鉄筋径の測定は、精度良く測定することが出来ないことから、『測定』ではなく『推定』する。という表現で定義付されている。また、非破壊検査全般で考えた場合でも鉄筋径の測定方法は無く、他の方法ではX線透過法による鉄筋径の推定方法がある。ただ、実際に現場レベルでは鉄筋探査後に鉄筋が交差している箇所を斫り出す方法が最も信頼性があり、多く用いられる方法です。

要因2. 日本国内に於ける構造物の鉄筋量の増加

昨今、日本のコンクリート構造物の鉄筋量が多く、鉄筋間隔がより狭く、二層、三層に配筋されている構造物が多くなっていると聞きます。世界各国と比較しても鉄筋がより密に造られて

いるようです。

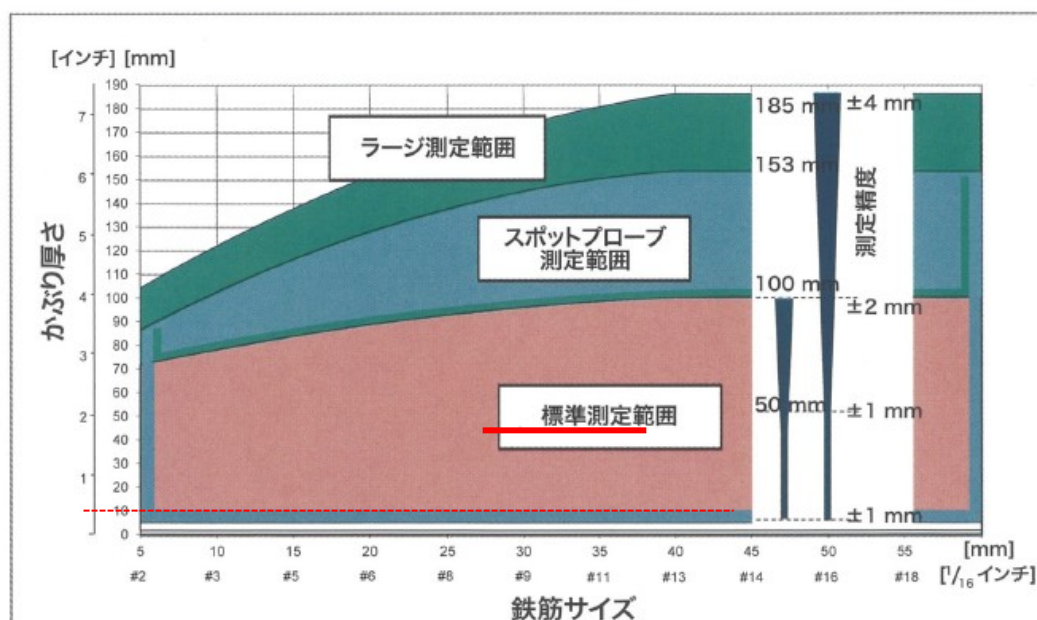
電磁誘導法 鉄筋探査機を使用する上で精度良くかぶり厚さを測定出来る配筋状況は、鉄筋ピッチが1:2 (深さ 対 間隔)以上で深さ 70mm の場合、鉄筋間隔が 140mm 以上必要ということになります。※但し、探査という意味での分解能は 1:1.2 程度となる。また、鉄筋径にもよりますが、おおよそ深さ 65mm を越えた深さから、鉄筋が深くなるほど測定誤差が顕著に大きくなる傾向がある。

現場で実際に探査機を使用する際には、センサーのキャリブレーション (初期化) を正しく行うことも重要となります。特に電磁誘導法 鉄筋探査機は、センサーと本体をケーブルで接続している探査機が多く、現場での使用方法から、ケーブルの断線が最も多い故障原因となります。接続ケーブルが断線すると測定が出来なくなる、もしくは受信する信号レベルが弱くなり、測定誤差が大きく発生する原因となります。

『始業前点検』『初期化』『鉄筋径の設定』は重要な作業フローなので、忘れずに行ってください。

下記は、PM-630AI/650AI のカタログ (FTS) から抜粋した仕様です。

探査範囲と測定精度



上記仕様から、エンコーダを使用しての測定の場合は、測定範囲が深さ 10mm 以上とされている。エンコーダを使用しないで測定した場合でも深さ 4mm 以上からが測定範囲とされている為、測定精度の

保障がされていない。実際に仕様以下のかぶり厚さの鉄筋を測定した場合、10 mm以下 や 4mm 以下という表示となり、測定出来ない。

電磁誘導法の鉄筋探査機では、AD 値が鉄筋までの最短距離の二乗に反比例するように値が表示されます。センサーが鉄筋に近くなる程(かつ鉄筋径が小さくなる程)その変化を検知することが難しくなる。このことから、極浅い深さの鉄筋のかぶり厚さ測定は出来ない。

現場での運用方法として、どうしても極浅い鉄筋のかぶり厚さを精度良く測定したい場合は、センサーに厚さが変わらない硬さの非金属材料(例えば、10mm 厚のプラ板等)を貼付けて測定し、測定値から10mm 差し引くことで、極浅い鉄筋のかぶり厚さを精度良く測定することが出来る。

※この方法は、知識ある技術者によっては非常に有効な方法と考えられるが、知識や経験の少ない現場監督や役人が見た場合データ偽造と見られ兼ねない方法であることから、事前に詳細に説明し納得して頂く必要がある。

※残念ながら、上記方法はエンコーダ(タイヤ)付の電磁誘導法の鉄筋探査機ではその特性上用いることが出来ない為、現場の測定面に固いプラ板等を敷いて測定する(その分測定に多くの人が必要)方法も検討する必要がある。※現場のお金と時間のご都合次第