

第8回 鉄筋・かぶり厚さ・埋設物

講師：松井 義昌

1. はじめに

既存コンクリート構造物の健全度調査を行う場合、構造物を傷つけることなく情報収集が可能な方法として非破壊検査手法が多用されています。しかし、劣化状況によっては、はつり作業により実際の配筋の状態・鉄筋の腐食状態を確認することもあります。この場合、鉄筋の位置を事前に把握しておくことが大変重要となります。また、コンクリートの物性試験用のコア採取を行う場合には鉄筋位置は必要不可欠な情報です。

また、鉄筋の配筋状態やかぶり厚さは、鉄筋の腐食状態、鉄筋位置における塩化物イオン量、かぶりと中性化深さの関係を知るうえでも不可欠な測定項目であり、中性化や塩害による劣化度を把握するうえで基本となる情報です。

これらの情報を得るための非破壊検査手法として、①電磁誘導法、②電磁波レーダ法および③X線透過撮影法があります。今回は、これらの非破壊検査手法について、その原理・特徴と調査方法について解説します。

2. 電磁誘導法

2.1 概要

電磁誘導法は、鉄筋などの金属材料の存在による磁束の変化を利用するため、コンクリート中に空げきやジャンカ等があっても鉄筋の位置を推定することが可能となります。また、鉄筋の正確な位置が把握できれば、鉄筋径の推定が可能です。本方法の適用範囲は、①コンクリート中の鉄筋探査（位置、かぶり厚さ、鉄筋径）、②鉄筋以外の埋設金属の探査、となります。

2.2 測定原理

電磁誘導法の原理を図-1¹⁾に示します。同図のように、導線を円形に巻いた励磁コイルに交流電流を流すと、時間的に変化する磁束が発生します。この磁束は検出コイルを貫きます。この磁界内に、調査対象物である鉄筋（または金属や強磁性体材料）を配置すると、励磁コイルのつくる磁束は鉄筋に浸透します。鉄筋の電磁気的特性など、何らかの原因によって磁束が変化すると、検出コイルの起電力が変化します。

これが信号となり、鉄筋の位置を推定することが可能となります。

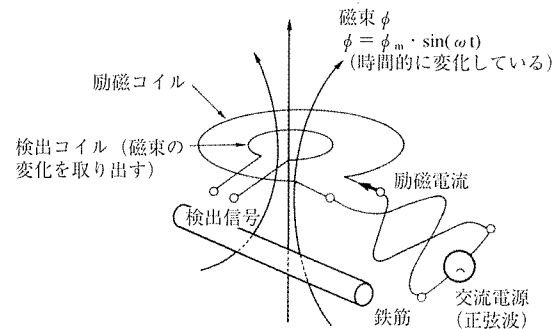


図-1 電磁誘導法の原理図

計測される信号に影響を与える要因には、電磁誘導現象によって鉄筋に発生する渦電流の影響と、鉄筋の有無による透磁率の変化があります。電磁誘導現象によって鉄筋に発生する渦電流は、作用する交流磁束の周波数が高い方が多く発生します。直流ではゼロです。周波数を低くすると渦電流が減少するため、鉄筋の透磁率の変化が支配的になります。このような状態では、主に鉄筋の磁気的な特性のみに影響を受けるので磁氣的試験法となります。一方、周波数が高い場合は、対象物に発生した渦電流が主体となって磁束に変化を与えるので過流試験法となります。

コンクリートの非破壊試験装置として市販されているものは、一般的に磁氣的試験法に属するものが多いようです。最近では、鉄筋からの距離と磁束の変化の関係から、両者を同時に推定する機種も実用化されています。

2.3 測定方法

本手法を利用した鉄筋探査機器には、非常に多くの市販品があります。その性能および機能も一律ではなく、それぞれ特徴を持っています。写真-1はその一例です。

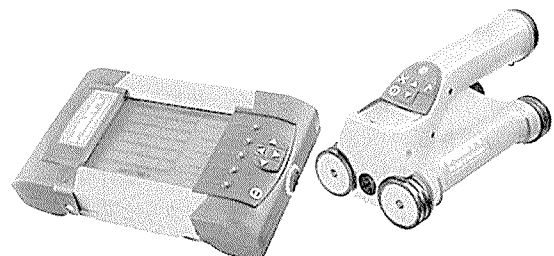


写真-1 電磁誘導法による鉄筋探査機器の一例

一般的な装置の場合は、探査部分であるプローブを用いて鉄筋に直交する方向に探査範囲内を走査し、鉄筋を検知します。プローブが鉄筋に近づくと、かぶり厚さの表示値が小さくなり、鉄筋の直上でブザー等にて知らせます。鉄筋より遠ざかるとかぶり厚さの表示値が大きくなり、ブザー等も止まります。この作業を数回繰り返すことにより鉄筋位置を精度良く探査します。この場合、鉄筋径あるいはかぶり厚さのどちらかが既知量であれば、他方の未知量を比較的良く推定できます。写真に示す機器では、図-2のように水平・鉛直のスキャンを所定回数繰り返すことにより、コンクリート中の配筋状態を平面的に示すことが可能です。図-3に探査結果の一例と写真-2に測定状況例をそれぞれ示します。

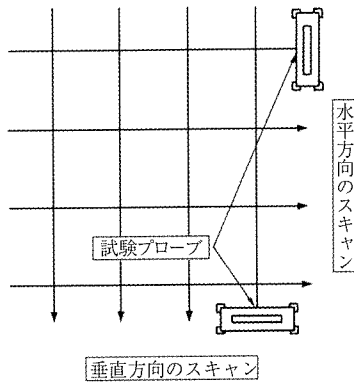


図-2 電磁誘導法による二次元探査の方法

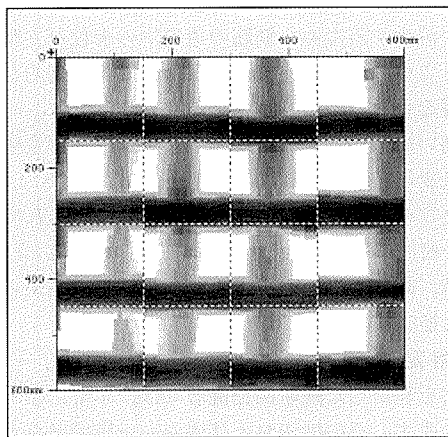


図-3 電磁誘導法による探査結果例

2.4 特徴

電磁誘導法の特徴を以下に示します。

- ① かぶり厚さが既知である場合、比較的正確な鉄筋径が測定できる。
 - ② 非磁性体であれば、仕上げ材の影響を受けない。
 - ③ コンクリート中に、空洞、ジャンカなどの物理的欠陥があっても鉄筋探査が可能。
- 一方、本手法には適用上の限界があります。
- ① 励磁コイルのつくる磁束は、指向性に乏しいため、配筋ピッチが密な場合、周囲の鉄筋の影響を受け、正確

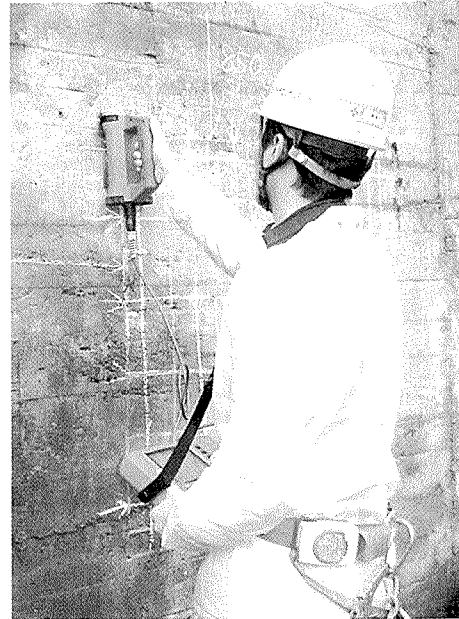


写真-2 電磁誘導法による測定状況例

な測定が困難な場合がある。

- ② 金属材料に反応する現象を用いるため、空洞、ジャンカ、剥離などの探査には使用できない。また、非磁性体の管などの探査にも使用できない。
- ③ ダブルでの配筋の場合、検出できるのは表面側の鉄筋のみとなる。

3. 電磁波レーダ法

3.1 概要

電磁波レーダ法は、コンクリート構造物内部の埋設物（鉄筋、PC鋼材など）およびコンクリートの性状（躯体厚、空洞等）を調査する手法です。同方法は、取り扱いが簡単でかつ、広範囲を短時間で探査することが可能なうえに、X線透過撮影法のような特別な資格・免許等の必要性がありません。しかし、簡便な手法であるため実施作業者の技量や経験に成果が依存するところの多い手法でもあります。

3.2 測定原理

電磁波レーダ法は、電磁波を利用した調査方法です。電磁波レーダ法の原理は一般に用いられているレーダと基本的には同じです。コンクリート用電磁波レーダは、パルス状の電磁波をコンクリート内へ放射（送信アンテナ）し、その電磁波がコンクリートと比誘電率・導電率などの電気的性質の異なる物体（鉄筋、埋設管、空洞など）との境界面で反射します。その反射波を受信（受信アンテナ）し、それにかかる往復の伝搬時間から反射物体までの距離を計算します。これを連続して行うことによりその位置を求めます。同方法の原理を図-4りに示します。

アンテナをコンクリート面上で移動させることにより、サンプリングした受信信号を順次走行方向へ並べていくと、鉄筋からの反射信号部分が二次曲線の形に表示されます。（ディスプレイ状では笠状に見える）この曲線の頂点位置の座標が鉄筋の位置および深さを表すこととなります。躯体

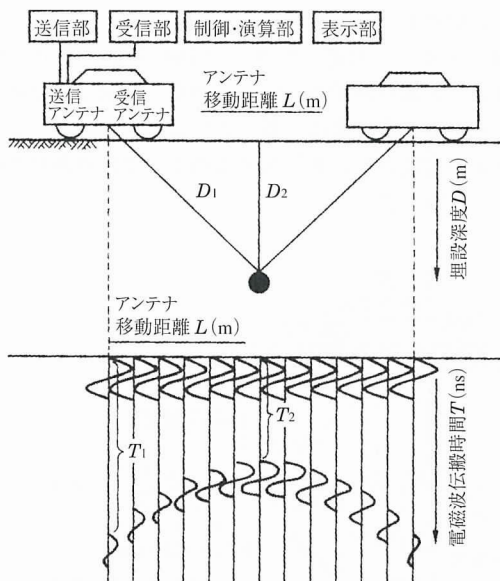


図 - 4 電磁波レーダ法の原理図

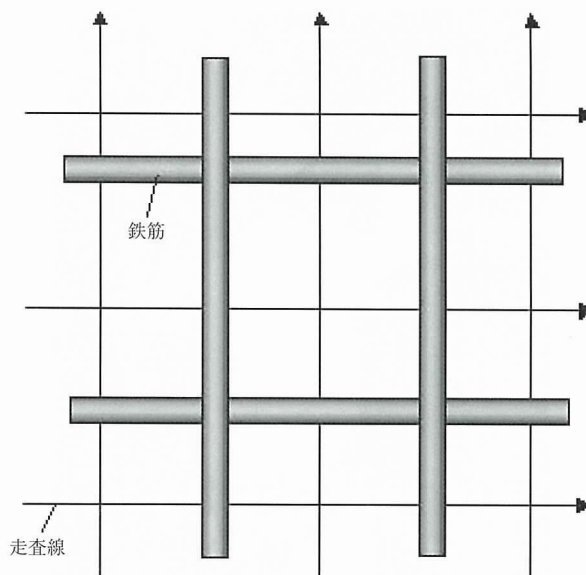


図 - 5 電磁波レーダ法による埋設物探査の走査線

厚さの場合は、この頂点の反射信号が連続的に表示されると考えられます。

比誘電率は、その物質の電気的特性を表すパラメータで、これにより物質の電磁波の伝搬速度が決定されます。水のそれは81、空気は1であるため水中での電磁波の伝搬速度は、気中の1/9となります。

また、電磁波はその周波数により特性が決まります。

- ① 周波数が低い場合：減衰が小さく、遠くの物体を探索できる。しかし、小さなものは探索できない。
- ② 周波数が高い場合：減衰が大きく、近いものしか探索できないが、より小さなものを探索できる。

3.3 測定方法

本手法を利用した鉄筋探索機器には、周波数の異なるもの、プローブと本体が一体となったハンディタイプのものが市販品としてあります。写真 - 3 はその一例です。

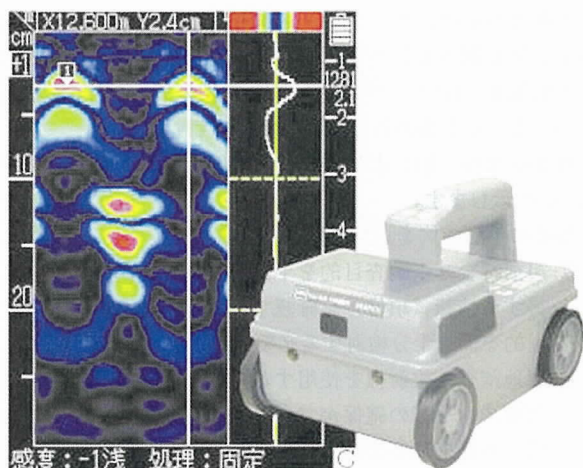


写真 - 3 電磁波レーダ法による鉄筋探索機器の一例

埋設物探査における基本的な走査線の位置図を図 - 5 に示します。

走査線の方法は、縦方向の操作で横方向の埋設物を、横方向の操作で縦方向の埋設物を探索します。調査対象範囲の上下、左右で走査し、埋設物位置の推定を行います。調査対象範囲の中央部での確認走査は必須です。これら上下左右の結果を結ぶことにより、埋設位置を特定します。また、その埋設物が斜めに入っている場合もあることより、走査線の設定を状況に応じて検討する必要があります。図 - 6 に探索結果例を、写真 - 4 に測定状況例を示します。

3.4 測定精度

電磁波レーダ法の測定精度について以下に示します。

- ① 平面的な位置の測定精度：各メーカーによりその表現などは異なるが、おおよそ±10 mm または±1.0 % と考えられている。
- ② かぶり厚さの精度：平面的な位置と同様に各メーカー

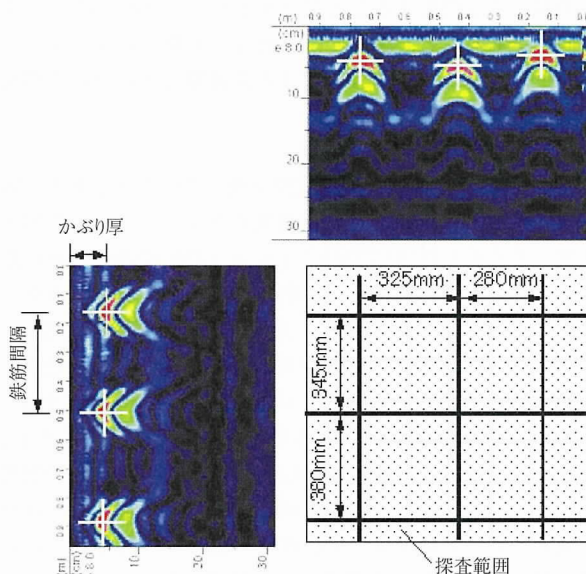


図 - 6 電磁波レーダ法による探索結果例

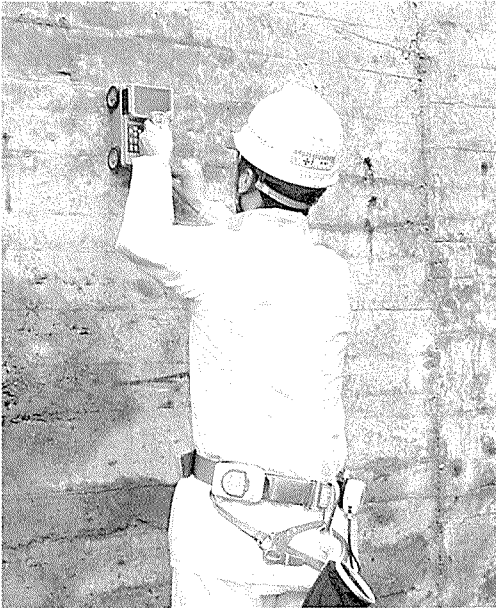


写真-4 電磁波レーダ法による測定状況例

により異なるが、±(5 mm+実かぶり厚さの0.1%)以内、または、±5.0%以内のいずれか精度の低い方とされている。

4. X線透過撮影法

4.1 概要

X線透過撮影法は既存コンクリート構造物の内部をほぼ実態に近い状態で確認できる唯一の非破壊検査方法です。既存コンクリート構造物の場合、鉄筋や配管などの埋設物および空洞などのコンクリートの変状を検出することができます。ただし、透過撮影された写真(透過写真)は点光源による投影図のような二次元画像であるため、三次元的なデータを得るには、撮影方法と情報解析の必要があります。

透過写真はγ線源(イリジウム192, コバルト60など)を利用しても撮影することができますが、原理的にはX線と同じであること、国内では一般的にX線が利用されていることから、ここではX線による透過撮影法について解説します。

4.2 測定原理

X線による撮影概要の模式図を図-7に示します。撮影被写体の一方側にX線発生装置をセットし、撮影被写体を挟んでその反対側にX線フィルム(放射線透過撮影に使用するフィルムの総称)が装填されたカセットを躯体面に密着して撮影を実施します。X線は物体を透過する際に、その強さは指数関数的に減弱するため、透過写真を撮影する際にはコンクリートの厚さに応じてX線のエネルギー、強さおよび照射(露出)時間を制御する必要があります。エネルギーは電圧(管電圧)によって、強さは電流(管電流)によって、また、露出時間はタイマーによってそれぞれ制御することができます。非破壊調査で多用されている携帯型の工業用X線装置では、管電流が固定されているため、管電圧およびタイマーにより撮影条件を制御している

のが一般的です。

X線フィルムは透過してきたX線の強さに応じて黒化し、また、X線の減弱量は物質の密度に比例するため、コンクリートの透過写真は、図-7に示すように、コンクリートより密度の高い鉄筋の像は白く、逆に空洞の像は黒く写し出されます。

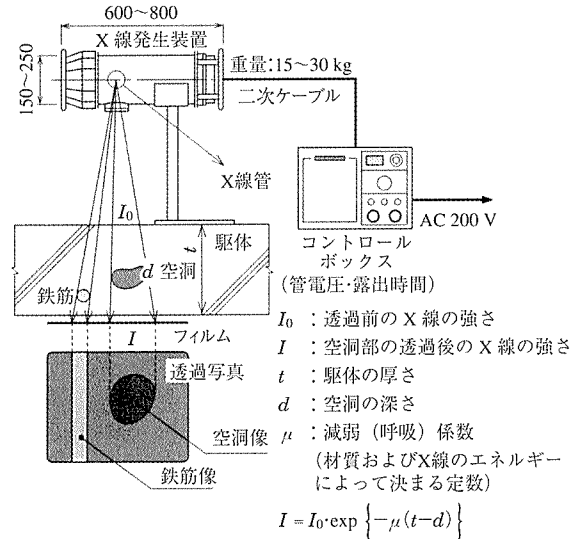


図-7 X線透過撮影概要の模式図

放射線が太陽光のように平行光線であれば被写体の実態の投影像および被写体間の正確な相対位置が得られますが、X線を光源とした場合は、X線は点光源となるため、得られた透過写真は幾何学的に拡大された投影像となります。したがって、透過写真から得られる情報は、被写体の輪郭と相対的な密度、および被写体間の拡大された相対的な位置関係であり、被写体表面の情報は得られません。そのため、寸法が既知な照合用の部材を調査対象と同じフィルムに写し込み、対象物の寸法を推定します。

4.3 調査方法

本調査方法は、コンクリート構造物における鉄筋の形状および径を調べることを目的とした場合、または、定量区間の鉄筋量、PCケーブルシース内のグラウトの充てん状況を調べることを目的とした場合は有効です。

調査結果の一例および測定状況の例を写真-5および写真-6に示します。

調査の手順の例を以下に示します。

- ① 事前打合せ: 調査目的を十分に把握し、調査により取得する情報(項目)を確認する。工程的な面および費用的な面も十分検討する必要がある。
- ② 現地踏査: 放射線を使用するため、安全管理を含めた作業スペースの確保ができるかを確認する。放射線防護上の安全管理について十分説明する。
- ③ 調査位置の墨出し: 線源とフィルムは被写体を挟んでの設置となるため、位置の確認を十分に行い、墨出しを行う。
- ④ 撮影作業: 本撮影の前に確認撮影を実施し、撮影条件、

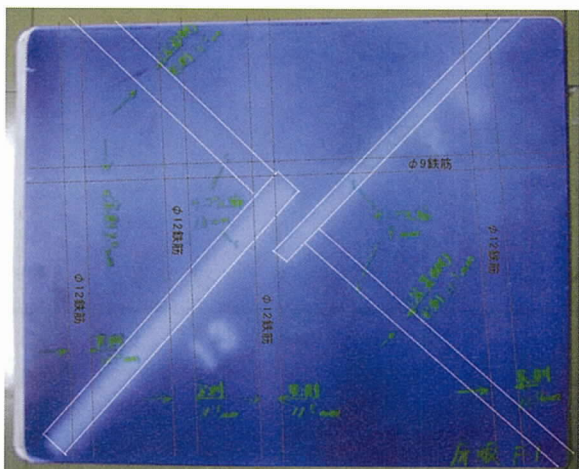


写真 - 5 X線透過撮影法による探査結果例

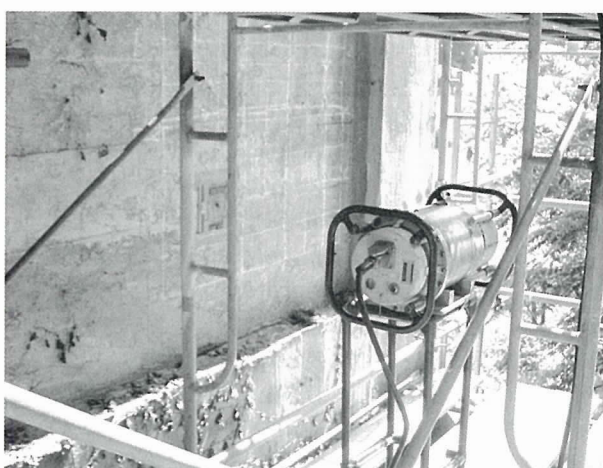


写真 - 6 X線透過撮影法による測定状況例

墨出し位置を確認する。これらのことが確認できたら、本撮影を実施する。撮影時は安全上の管理区域を確保する。一般的には、立体半径で5 m以内を立ち入り禁止区域とする。

- ⑤ 写真解析：4.2 測定原理に示したように、点光源での二次元的な撮影結果であるため、幾何学のおよび照合

部材の情報を用いて実際の寸法を算定する。

- ⑥ 解析結果の検討：当初目的以外にも、撮影結果から得られる情報がある場合は、データ解析について協議を行う。

5. おわりに

既存コンクリート構造物内の鉄筋位置、かぶり厚さ、埋設物を探査する方法として非破壊検査手法の一例を示しました。非破壊検査手法は、構造物を傷つけることなく情報を収集する方法のため有効ですが、その精度および適用範囲に関して、以下に示すような更なる開発が望まれます。

- ① 電磁誘導法：その原理より金属材料以外の探査に利用できないため、用途拡大より検出深度の拡大や測定精度の向上が望まれる。
- ② 電磁波レーダ法：埋設状態の三次元画像処理による表現技術の向上が望まれる。
- ③ X線透過撮影法：放射線の取り扱いの改正により、高エネルギータイプのX線発生装置が現場にて使用可能となったことで、これまでコンクリート厚さが350 mm程度であったものが、500 mmを越すものも撮影が可能となる可能性が大きくなっている。CTと組み合わせた3次元表現やX線が構造物内部と透過する際に発生する散乱線を利用した後方散乱線トモグラフィの実用化が望まれる。

非破壊検査手法は、原理の確立、製品化は高い水準に達していると考えられますが、得られた情報の解析および判断を行う人材の育成が必要と考えます。診断士に並ぶ、調査・診断技師なる位置付けも重要となると考えます。

参考文献

- 1) (社)日本コンクリート工学協会：コンクリート診断技術'04〔基礎編〕, 2004年
- 2) 魚本建人, 加藤佳孝ほか：コンクリート構造物の検査・診断—非破壊検査ガイドブック—, 理工図書, 2003年
- 3) (独)土木研究所, 日本構造物診断技術協会：非破壊試験を用いた土木コンクリート構造物の健全度診断マニュアル, 技報堂出版, 2004年

【2006年2月7日受付】