

## 電磁波レーダーを用いた高精度の鉄筋のかぶり・腐食の測定方法について

株式会社ソイル・ブレーン ○駒崎友晴  
渡辺 一  
河村志朗

## 1. はじめに

近年、高度成長期に建造された多くの鉄筋コンクリート構造物が建設後30～50年を迎え、種々の原因により劣化しつつある。鉄筋コンクリート構造物を合理的に維持管理していくためには、中性化や塩害による劣化損傷がコンクリート表面に顕在化する前に鉄筋腐食の兆候を把握し、予防保全的な対策を講じていく必要がある。このためには、簡易で安価な非破壊検査による鉄筋のかぶりや腐食等の測定方法の開発が必要である。我々地質調査業界に属する者もこの非破壊検査を主体とした新しい探査技術を開発していく必要があるものと考えている。

本稿では、特にこの鉄筋のかぶりと腐食の計測に焦点を絞り、「信号伝播モデル法」<sup>1)</sup>により鉄筋のかぶりや腐食厚が共に高精度に非破壊検査(計測)できることを、フィールドテストの結果を踏まえて紹介する。

## 2. 従来の鉄筋かぶり・腐食判定方法の問題点

従来の鉄筋かぶりの測定方法として電磁誘導法が良く知られているが、かぶりよりも鉄筋間隔が小さい場合には正しく計測することができない、鉄筋の径を仮定しないと測れない等の欠点があった。また、鉄筋のかぶり計測に電磁波レーダーを用いる方法があるが、従来の電磁波レーダー方式はいわゆるBモード濃淡画像目視方式とも称されるものであり、受信器に得られる受信信号波形そのもの(Aモード信号)を活用するのではなく、その受信信号の強度分布(濃淡画像で表示)から鉄筋への往復伝播時間を求めるため、まだ高い精度が得られていない。したがって、非熟練者はもちろんのこと、熟練者ですら信頼度の高い検査は困難であった。つまり、検査対象内にクラックや空隙、空洞があっても濃淡画像からはこの異常内容(種類、数、位置、深度、厚み)の決定は困難であった<sup>1)</sup>。

一方、鉄筋の腐食検査法として、これまで自然電位法や2電極法などが提案されているが、どちらかと言うと、「腐食がほとんど認められない」、「この領域は腐食がかなり進んでいるようだ」等の定性的な計測方式である。かつ、剥りにより一部鉄筋を露出しなければならないなど、完全な非破壊検査方式ではなく、検査に手間がかかる<sup>1)</sup>。また、実際の鉄筋の腐食状態が既存の腐食判定基準と必ずしも一致しないことや自然電位が測定時の諸条件により変動することが知られ、十分な信頼感を持って、鉄筋コンクリート構造物の維持管理に採用されるには至っていない<sup>2)</sup>。

## 3. 信号伝播モデル法を適用した解析方法

信号伝播モデル法とは、山口大学田中正吾教授が開発した電磁波レーダーを用いた先端的非破壊検査手法である<sup>1)</sup>。信号伝播モデル法とは、『レーダー受信信号より、誘電率の異なる媒質の境界面からの反射波を分離・抽出し、これの伝播時間及びこのときの反射波の(正負の)極性により異なる媒質及びそれらの境界面を見出す方法』である。電磁波の伝播に際し、レーダーの受信器で受信される検査対象内の各部位からの反射波の大きさ、伝播時間及び位相は、伝播経路の長さ及びどのような媒質境界面で反射あるいは透過を繰り返してきたかによって異なるが、反射波の形状はほぼ同じである。

例えば、コンクリート内の鉄筋に腐食がある場合は、腐食部の上面・下面でそれぞれ反射されたほぼ同一形状の反射波が、大きさ・位相・伝播時間を変えて受信器に順次受信されるため、受信信号波形はこれらの基本反射波の一次結合でモデル化できる。信号伝播モデルに基づく解析は、このモデル波形と実際の受信信号波形とのパターンマッチングにより、電磁波レーダー直下の異常診断(腐食等異常箇所の有無の検出)を行うものである。

## 4. フィールド検証結果

信号伝播モデル法を用いた解析システムの有効性を確認するため、フィールドテストによる検査結果を以下に示す。

検査対象は、ある都市の地下道のコンクリート側壁である。また、使用したレーダーは日本無線(株)製(NJJ-95A、中心周波数800MHz)である。

コンクリート側壁の異なった多くの地点での縦筋、横筋について、信号伝播モデル法により鉄筋のかぶりを計測してみた結果を、その後のコンクリート壁を剥ってかぶりを実測したときの実測結果と比較したのが図-1である。

図をみると、計測値と実測値に高い相関性が見られる

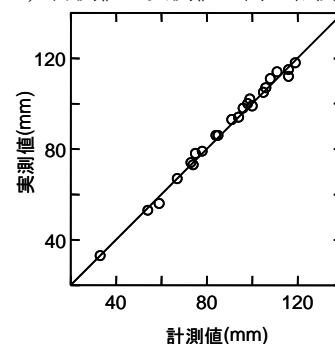


図-1 かぶりの計測値と実測値の関係<sup>1)</sup>

ことがわかる。また誤差率の絶対値の平均値を求めてみると、わずか1.9%の誤差であり、極めて高精度なかぶり計測ができていることがわかる<sup>1)</sup>。

次に、かぶりを測った鉄筋鉄筋の腐食厚の実測値と計測値の関係を図-2に示す。ここで計測値は、当該鉄筋の中央部を走査した走査ライン上、鉄筋の真上の位置に来たときの受信信号を解析して求めたものである。また、実測値は、当該箇所のコンクリートを剥った後で、まずノギスで当該鉄筋の径を測り、その後、当該箇所の表面側の錆をやすりで削り落とし、同一ポイントで再び径を測る。そして、各々のポイントでそれらの差をとり、各ポイントでの当該鉄筋頭部の腐食厚とした。

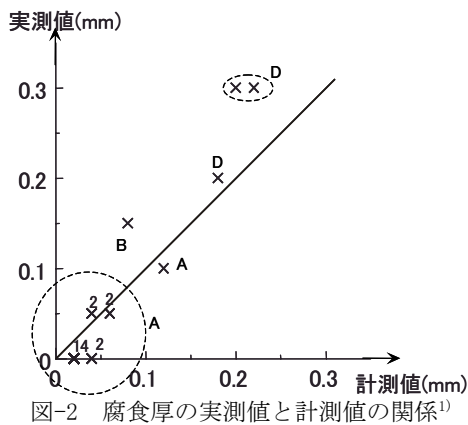


図-2 腐食厚の実測値と計測値の関係<sup>1)</sup>

図-2に示すように、鉄筋腐食厚の実測値と計測値との間には良い相関が見られ、計測値が0.02~0.04mmのものには「腐食なし」or「A判定」と判定してよいことがわかる。なお、図中のA、B、C、Dなる記号は、目視による鉄筋腐食の判定結果である(表-1参照)。

表-1 目視による腐食レベル<sup>3)</sup>

| 腐食度  | 腐食状態             |
|------|------------------|
| 腐食なし | 腐食を認めず           |
| A    | 点さび程度の表面的な腐食     |
| B    | 全体に表面的な腐蝕        |
| C    | 浅い孔食など断面欠損の軽微な腐食 |
| D    | 断面欠損の明らかな著しい腐食   |

次に、目視判定に対する腐食計測値の正規化ヒストグラムを図-3に示した。

図-3はお互いの関係がよりわかりやすいように、各判定毎に規格化したもので、表-1によるA~D判定した結

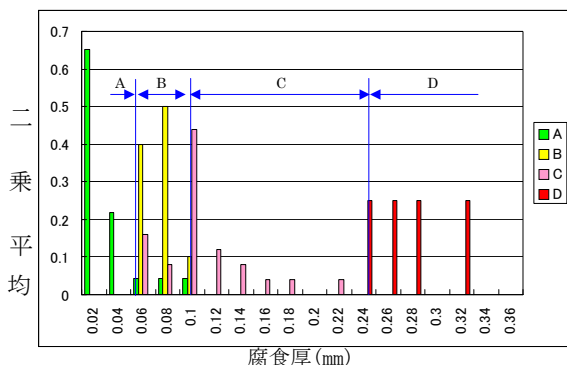


図-3 目視判定に対する腐食計測値の正規化ヒストグラム

果と解析システムによる計測値の関係を図示したものである。

なお、計測値はあくまで鉄筋の中央を直交交差したときの腐食厚であり、必ずしも全体の腐食状況を示している訳ではない。

図-3より計測値に適切ないき値を与えることにより、腐食の判定ができることがわかる(例えばいき値0.05mm, 0.09mm, 0.23mmなど)。

次に、参考のため、中性化残りとの関係で実際の腐食がどのように進行しているのか、関係を求めてみたものが図-4である。ただし、横軸でのゼロの位置は中性化境界面に相当し、マイナス側の方は、鉄筋が中性化境界面よりどれくらい前方へ位置しているかを表わしている。

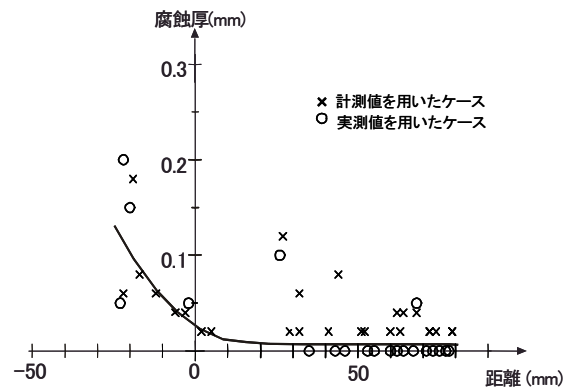


図-4 中性化境界面からの鉄筋頭部の距離と腐食厚の関係<sup>1)</sup>

図より、中性化境界面からの鉄筋頭部の距離(中性化残り)と腐食厚は概ね反比例の関係にあり、中性化残りが少ないほど腐食厚が厚くなる傾向にあることがわかる。

## 5. あとがき

今回紹介した調査事例では、従来の鉄筋かぶり・腐食の判定方法では測れない、あるいは信頼度の低い測定値が、信号伝播モデル法を用いれば、高精度で信頼度の高い測定ができることを明らかにした。よって、本解析方法を用いることにより、鉄筋コンクリート構造物の健全度を非破壊で容易に検証できる。

## 謝辞

今回の事例では、山口大学大学院理工学研究科の田中正吾教授が開発されたシステムを使用させていただいた。また、それに関わる論文を一部引用させていただいた。ここに記して謝意を表す。

## 《引用・参考文献》

- 1) 田中正吾・岡本昌幸：電磁波レーダーを用いた鉄筋のかぶり腐蝕の高精度非破壊検査技術，検査技術，14-6, pp62~71, 2009.5
- 2) 中村英佑他：塩害環境下にあるコンクリート構造物への自然電位法の適用に関する研究，土木学会論文集，64-1, pp263-275, 2008.3
- 3) (社)日本コンクリート工学協会：コンクリートのひび割れ調査，補修・補強指針-2003-, p18, 2007.4