

電磁波レーダ法における鉄筋深さと比誘電率の関係

Relationship of Rebar Depth and Relative Dielectric Constant on Electromagnetic Wave Radar Method

○周藤 将司*, 高田 龍一*, 松崎 靖彦*

SUTO Masashi, TAKATA Ryuichi and MATSUZAKI Yasuhiko

1. はじめに

RC 構造物の詳細な診断を行う際には、まず鉄筋の配筋状態を確認する必要がある。配筋状態を確認するための手法のひとつに電磁波レーダ法が挙げられる。電磁波レーダ法はコンクリートと鉄筋の誘電率の違いを利用して鉄筋の位置・深さ(かぶり厚さ)を明らかにする手法である。また、既往の研究では、この手法で利用する電磁波レーダを使用することで内部の空洞等を検出する技術も確立されている¹⁾。

筆者らは、電磁波レーダ反射画像を利用して、簡易的に内部変状の発生状況を確認するための手法の検討を行っている²⁾。これまでの検討では、反射画像から目視による定性的な判断による内部変状の評価に終始していた。そこで本報では、電磁波伝播往復時間の式を用いてより定量的な評価を行うための基礎となる検討を行った。

2. 誘電率と鉄筋深さの関係

電磁波レーダの走査によって得られる反射画像からは、鉄筋の深さを確認することができる。この深さは、次の式によって求められている。

$$d = \sqrt{\left\{ \frac{T_1 c}{2\sqrt{\epsilon}} + a \right\}^2 - x^2} \quad (1)$$

d : 鉄筋の深さ (m), T_1 : 電磁波往復伝播時間 (s), c : 光速 (3.0×10^8 km/s), ϵ : 比誘電率, a : 鉄筋の半径 (m), x : 電磁波レーダから鉄筋までの水平距離 (m)

ここで、電磁波レーダが鉄筋の直上にあるときを想定し、さらに鉄筋の半径を考慮せずに鉄筋の表面までの距離を求めるものとする、式 (1) は次のとおり簡素化される。

$$d = \frac{T_1 c}{2\sqrt{\epsilon}} \quad (2)$$

式 (2) において、 T_1 (電磁波往復伝播時間) は電磁波レーダの走査で測定される値であり、 c (光速) は定数である。 ϵ (比誘電率) については、対象となるコンクリートの状態に応じて走査前に値を手入力しなければならない。

一般にコンクリートの比誘電率は 6~9 程度である。仮に式 (2) において、 T_1 と c を一定とした場合に $\epsilon = 6$ のときと、 $\epsilon = 9$ のときを比較すると、 $\epsilon = 9$ とした場合にはかぶり厚さを 2 割程度小さい値として評価することになる。これは、例えば鉄筋探査の後に表面はつり試験等を行うことを考えると、危険側の評価であると言える。

以上のことから、適切な比誘電率を設定することの重要性がわかる。実際にはかぶり厚さが既知であれば、電磁波レーダ走査範囲における比誘電率の真値は、得られた画像の鉄筋深さを補正し、式 (1) を比誘電率を求める形に変形して計算することで求めることが可能となる。

3. 電磁波レーダ反射画像の評価

得られた反射画像の中には、鉄筋深さに違いが見られるケースがある。図 1 は反射画像の一例であり、横軸が電磁波レーダの走査方向、縦軸が鉄筋深さを表している。山形波形のトップが鉄筋位置を示しているが、3 本の鉄筋深さはそれぞれ異なっている。反射画像中の鉄筋深さが異なる理由としては 2 通り考えられる。ひとつは、施工時にずれが生じてしまい、実際の深さが異なる場合である。もう一方は、かぶりコンクリートに内部変状が生じて均一な状態でないために画像上にずれが生じている場合である。

後者の場合、かぶりの位置に変状が生じて空洞が

*松江工業高等専門学校 環境・建設工学科, Department of Civil and Environmental Engineering, National Institute of Technology, Matsue College, キーワード: RC構造物, 電磁波レーダ法, 非破壊試験, 比誘電率, 鉄筋深さ

ある場合には空隙の比誘電率は1であるため、式(2)による評価では鉄筋深さは大きくなる。また、空洞が雨水等によって水分で満たされている場合には水の比誘電率は81であるため、式(2)による評価では鉄筋深さは小さくなると考えられる。

これらのことから、反射画像において鉄筋の深さにずれが生じている場合には、施工時の問題だけでなく、何らかの形で内部変状が生じている可能性もあると言える。内部変状については、表面や周囲のコンクリートの状況から総合的に判断をする必要があると言える。

4. 実構造物に対する検討

北海道内で供用されているRC開水路を対象として取得した電磁波レーダ反射画像について、鉄筋深さと誘電率の関係について検討を行った。対象としたRC開水路は供用後40～50年程度が経過したものであり、表面変状からは凍害劣化の進行していることが確認された。電磁波レーダの走査は水中部から気中部に向かって行い、測線は20cm間隔で5測線設けた。電磁波レーダの比誘電率は9と設定した。

いずれの測線から得られた反射画像も、水中部と気中部に位置する鉄筋の深さが図1のように異なっていた。反射画像から読み取った鉄筋深さを表1に示す。凍害による内部変状は、気中部において顕著であり、水中部では比較的健全な状態を保つことが既往の研究から明らかになっている³⁾。そこで、水中部の比誘電率を初期設定条件である9とした場合に、水中部と気中部の鉄筋深さを同等にするために必要となる気中部の比誘電率を求めた。

表1の最右列に鉄筋深さを一定にするために必要となる気中部の比誘電率の値を示す。気中部の鉄筋深さは水中部の鉄筋深さと比較して小さい値になっている。これは、電磁波伝播往復時間が短くなった結果である。電磁波伝播往復時間は測定値であり不変であるため、気中部の鉄筋深さの値を大きくするためには、比誘電率を9よりも小さい値にする必要がある。

5. まとめ

本報では、電磁波レーダを用いた内部変状の評価を行うための基礎となる、比誘電率と鉄筋深さの関

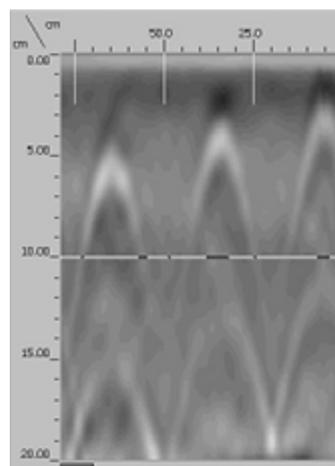


図1 電磁波レーダ反射画像の一例
Sample of Electromagnetic wave radar reflected image

表1 鉄筋深さと比誘電率

Rebar depth and relative dielectric constant

No.	鉄筋深さ (cm)		気中部 比誘電率 [※]
	気中部	水中部	
1	6.4	6.8	8.0
2	5.7	6.2	7.6
3	5.4	5.7	8.1
4	4.5	4.9	7.6
5	4.4	4.6	8.2

※水中部の比誘電率を9とした場合の値

係についての考察を行った。今後は、比誘電率や鉄筋深さの値の大小と、実際の内部変状の発生状況との関係を明らかにし、定量的評価手法の開発を目指したい。

参考文献

- 1) 須賀大輔, 田中正吾: 信号伝播モデルを用いた電磁波レーダによる鉄筋コンクリート構造物の非破壊検査, 計測自動制御学会論文集, Vol.41, No.2, pp.95-101, 2005
- 2) 周藤将司ほか: 凍害の発生したRC構造物の劣化程度による電磁波レーダ反射画像の違い, 第65回土木学会中国支部研究発表会発表概要集 (CD-ROM), 2013
- 3) 緒方英彦ほか: 凍結融解作用による開水路側壁の内部変状に対する目視調査および超音波試験の考察, コンクリート工学年次論文集, Vol. 34, No.1, pp. 892-897, 2012