

電磁波レーダによるコンクリート構造物の表面・内部劣化調査に関する実験的考察

東京電力(株) ○久保田 克寿 土居 賢彦
 山口大学 田中 正吾
 大成ロテック(株) 城本 政一

1. はじめに

コンクリート構造物は、その供用環境により、凍害劣化等による構造物表面的な劣化ばかりで無く、地下水位の高い構造物背面や打継ぎ目(目地部)等からの水分の浸透や温度変化等の多様な要因がもたらす劣化が内部や背面にも及んでいると考えられる。この様な状態にある構造物表面に補修を施しても、その効果が持続せず補修を繰り返している事例が多数見られることから、劣化範囲を正確に把握するために調査方法の適用性に関する検討を行った。

コンクリート構造物を模した供試体表面・内部に、凍結融解作用を模した劣化層を1層及び2層設けた(未劣化層及び劣化層の)サンドイッチ状供試体に対し、信号伝播モデル法¹⁾に基づく電磁波レーダ非破壊検査システムを適用し、劣化層の検知が的確に行えるか否かを検討した。

劣化層は動弾性係数を未劣化部のそれを基準(100%)として、60%、40%、30%に低下させた供試体を3種類用意し検討を行った。

2. 試験方法

供試体の大きさはL300×W200×H150(mm)であり、層状に凍結融解促進試験にて劣化させた劣化層を挟み込んでいる(図1)。測定は日本無線株式会社製のNJJ-95A(アンテナ中心周波数800MHz)を使用した。本装置のデータ収録時のサンプリング周期は $\Delta T=0.04\text{ns}$ 、計測ピッチは5mmである。

測定は供試体の表面・裏面から実施した。

3. 解析方法と測定結果

供試体(図1)の解析方法について述べる。この供試体の表面をレーダで走査させても、裏面より走査させても、媒質境界面より5つの反射波が得られる。つまり、供試体表面、上部未劣化層と上部劣化層の境界面、上部劣化層と下部未劣化層の境界面、下部劣化層の境界面(上面と下面)の計5箇所より反射波が得られる。よって、反射波の分離には、以下の5反射波モデルが適用できる。

$$r(t) = c_0 r_0(t - T_0) + c_1 r_c(t - T_1) + c_2 r_c(t - T_2) + c_3 r_c(t - T_3) + c_4 r_c(t - T_4)$$

ここで、 $r_0(t)$ は表面からの基本反射波、 $r_c(t)$ は異なる媒質の境界面からの基本反射波である(共に予め実験により取得可能)。この5反射波モデルによる予測信号と実際の受信信号(Aモード信号)とのパターンマッチングを行い、各劣化度の供試体に対し、それぞれ $\{c_n\}$ (反射波の一次結合係数であり、供試体表面、上部の未劣化層と劣化層、下部の未劣化層と劣化層の各々の境界面及び供試体底面からの反射波の大きさを表す)及び $\{T_n\}$ (T_0 を基準とした表面波以外の4つの反射波の到達時刻)を求めた。なお、 T_0 は電磁波レーダとコンクリート面との距離が一定のため既知である。

図2に劣化度60%の結果を示す。図より $c_0 > 0$ 、 $c_1 > 0$ 、 $c_2 < 0$ 、 $c_3 > 0$ 、 $c_4 > 0$ が得られる。但し、伝搬搬時間 $\{T_n\}$ 及び一次結合係数 $\{c_n\}$ の求め方の詳細については参考文献1)を参照されたい。

キーワード 電磁波、信号伝播モデル法、反射波モデル、室内試験、表面・内部劣化

連絡先 〒230-8510 神奈川県横浜市鶴見区江ヶ崎町4-1 東京電力(株)技術開発研究所 TEL045-394-6326

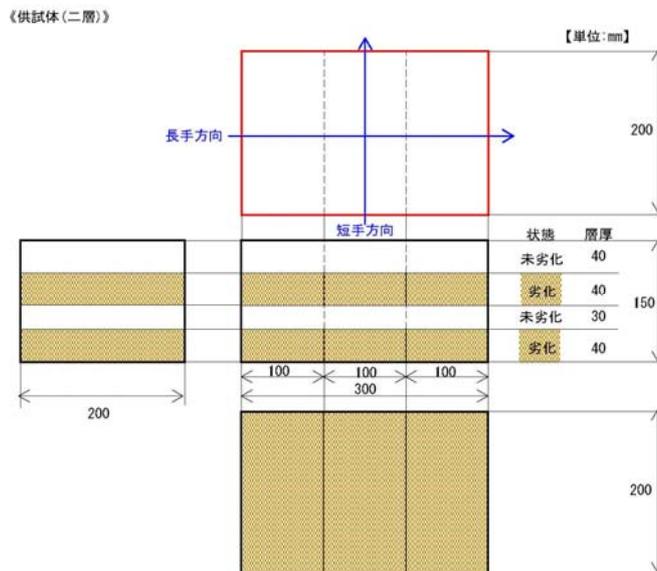


図1 供試体形状と電磁波レーダ走査方向

この $\{c_n\}$ の符号と境界面における反射率の関係 (詳細は略) 及び反射波到達時刻により、未劣化層と劣化層の境界面が正確に特定でき、かつ劣化層の方が未劣化層に比べ誘電率が小さいことがわかる。

次に、劣化度 60%、40%、30% の各供試体に対しそれぞれ平均比誘電率 ϵ とこれを用いたときの各層の厚みを表 1 に示すが、表より各層の厚みは、ほぼ設計値に近い値になっていることがわかる。

なお、この厚み計測値は平均比誘電率を用いたときの値であり、実際は未劣化層の比誘電率はこれよりも大きく、また劣化層の比誘電率はこれより小さいので、このことを考慮し各比誘電率を補償すれば、上部未劣化層の厚みは 53.9 ~ 56.3 mm から (真値の) 40 mm の方へ、また下部未劣化層の厚みも、同様に 34.5 ~ 38.5 mm から (真値の) 30 mm の方へ近づく。なお、平均比誘電率は、全厚が既知として計測した。

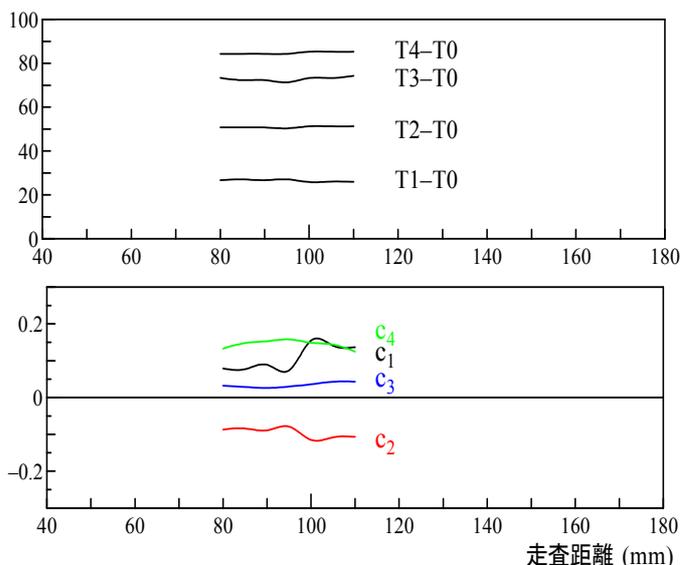


図 2 反射波伝搬時間と反射波一次結合係数

表 1 平均比誘電率及び各層の厚さ(表面が未劣化の場合)

劣化度(%)	(T4-T0)	平均比誘電率 ϵ	各層の厚さ(mm)			
			上部未劣化層	上部劣化層	下部未劣化層	下部劣化層
60	84.7	15.9	53.9	38.3	34.5	18.6
40	84.3	15.8	53.9	37.1	38.5	15.6
30	84.3	15.8	56.3	34.9	37.3	16.4

一方、上部と下部の劣化層の厚み 34.9 ~ 38.3 mm 及び 16.4 ~ 18.6 mm は、(真値の) 40 mm の方へ増大するが、下部劣化層の厚みだけはそれでも誤差は幾分残る結果となった。

参考のため、図 3 に劣化度 60% の供試体の代表的な受信信号と 5 反射波モデルによる予測信号 (合成波形) を示すが、ほとんど一致し、提案方式の有効性が確認できる。また、表面が未劣化層だけでなく劣化層の場合に対しても解析を行ったが、殆ど同一の平均比誘電率及び厚み計測結果が得られており、適用した信号伝搬モデル法の信頼度は高いことが解った。

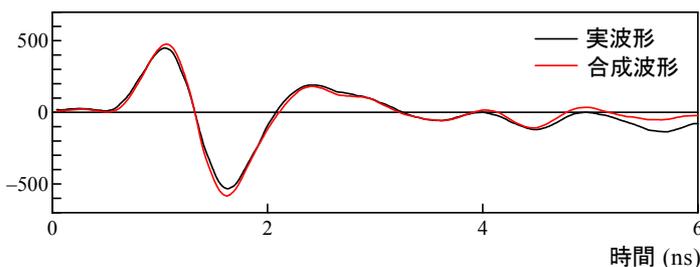


図 3 受信信号波形及び予測信号波形

4. まとめ

劣化層と未劣化層を交互に挟み込んだサンドイッチ状供試体に対し、電磁波レーダ・信号伝搬モデル法による解析を適用したが、供試体の平均比誘電率が解っていれば、劣化層の深さ及び厚さがほぼ正確に測定できることが確認できた。但し、深さを増すに従い、若干の厚さの精度が落ちる傾向が見られたため、更なる精度向上に努めて行くこととしたい。

謝辞：本検討を進める上で、ご協力戴いた(株)ソイル・ブレーン関係者に深く感謝の意を表します。

参考文献：1) 田中正吾：「電磁波レーダを用いた先端的非破壊検査技術」、計測と制御、第 47 巻第 5 号 (2008)