

マイクロ波利用赤外線サーモグラフィ法による欠陥／鉄筋検出法の検討

神戸大学工学部	正会員	○竹野 裕正	神戸大学大学院	非会員	石田 宏樹
神戸大学大学院	非会員	西川 徳光	神戸大学工学部	非会員	八坂 保能
東京理科大学理工学部	学生会員	小林 祐紀	東京理科大学理工学部	正会員	辻 正哲
京橋工業株式会社	正会員	並木 宏徳			

1. はじめに

コンクリート構造物の非破壊検査法の一つに、赤外線サーモグラフィ法がある。著者等は、この手法における検査対象コンクリートの加熱手段に、マイクロ波を用いることを提案し[1]、研究を行ってきた[2,3]。検査法をこの様に構成することにより、加熱時間を効率化したり、マイクロ波のコンクリート内部へ伝搬を利用して、コンクリート深部の情報を引き出したりするなどが期待できる。

これまでの供試体を用いた模擬実験によって、コンクリート内部の欠陥や鉄筋と、表面に現れる温度分布との関係が明らかになってきた。本報告では、これらの結果を系統的に整理し、欠陥や鉄筋の検出法として構成することを検討した結果について発表する。

これまでの研究では、利用できる電力源の制約から、2.45 GHz のマイクロ波を用いてきたが、他の周波数として期待できる 915 MHz の併用で構成することを提案する。915 MHz は、米国では ISM バンドに指定されており、大出力電力源も開発されている。

2. 内部空洞に対する表面温度の変化と検出法の構成

内部空洞の検出に関しては、図1に測定例を示す様に（図の縦／横方向の矢印の示す位置に空洞が存在）、空洞位置が高温異常となる場合と低温異常となる場合とがある。これは、

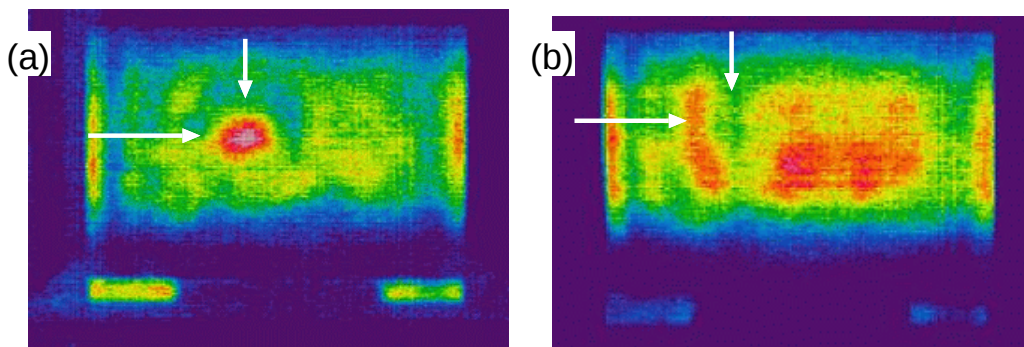


図1: 内部空洞に対する表面温度変化の例 (a): 深さ 23 mm, (b): 深さ 35 mm

コンクリートと空洞との境界面でマイクロ波が反射し、その反射波が入射波と干渉した結果である。空洞の深さによって、表面での干渉状況（電界の腹／節）が変化し、加熱入力が変化したためである。

このような表面温度の変化は、マイクロ波の伝搬を一次元モデルで計算した場合の、表面層でのマイクロ波の電力吸収と良く対応する。図2はこの対応を示したものである。この関係を利用すれば、表面温度の変化から、空洞深さ (w) が見積もれる。しかしながら、図の様に w に対する変化は周期的となり、表面温度から w を見積もる際には、1 対多の関係となり、一意に決まらない。

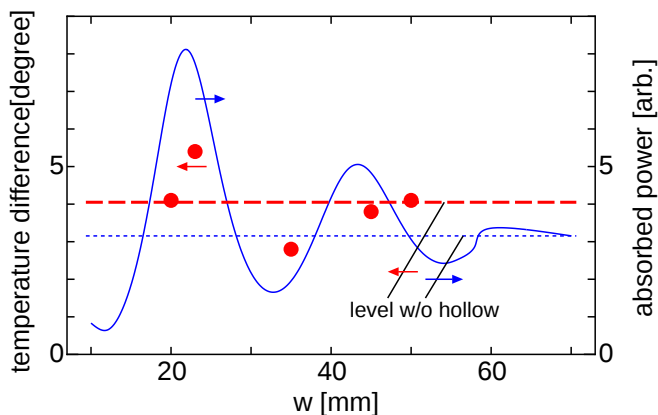


図2: 空洞深さ w に対する表面温度変化（実験）と電力吸収（計算）

キーワード：非破壊検査，赤外線サーモグラフィ法，マイクロ波

連絡先：〒 657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 神戸大学工学部 Tel. & Fax. 078-803-6103

別の周波数で、同様の反応を調べれば、その周波数についての関係が得られる。2.45 GHz と 915 MHz とでは、コンクリートの誘電率、特にこの関係を支配する実部は大きく変わらないので、波長が変化する分、同じ深さ w に対して、別の温度変化が得られる。これら両者の関係を調べることにより、深さの情報を一意に得ることができる。図3に、これを実現するためのチャートの例を示す。

4. 鉄筋に対する表面温度の変化と検出法の構成

鉄筋の存在に対する表面の温度異常は、既に報告 [3] した様に、特徴的な形状が現れる。図4の平面図に示す様に、鉛直方向の鉄筋から発生する反射波は、円筒面状の波面で伝搬し、コンクリート内の波長 λ 、鉄筋の深さ w 、強い加熱位置 x の間に、次式の関係がある。

$$w + \sqrt{w^2 + x^2} = (n + \frac{1}{2})\lambda \quad (n = 0, 1, \dots) \quad (1)$$

この関係においても、 x から w を一意に決めることができない。前節と同様に、別周波数に対する同様の反応を調べ、それぞれの x の値両方を満たす条件として対応を調べれば、一意に決めることができる。図5は、2.45 GHz および 915 MHz に対する反応を、それぞれ X_A , X_B (ただし、2.45 GHz の自由空間波長でそれぞれ規格化) として、 $n = 0$ に対するこれらの関係をチャートに表した例を示す。他の n の値に対するチャートと併せて、 w を知ることができる。

5. 結論

マイクロ波加熱を利用した赤外線サーモグラフィ法に関して、これまでの模擬実験の結果を踏まえて欠陥や鉄筋の検出法を構成することを検討した。異なる周波数 (915 MHz) を併用することで、特に深さの情報を一意に決めることができる。謝辞

本研究における実験の遂行には、神戸大学工学部の北野大介君、松本博君、東京理科大学理工学部の小泉裕樹君、中垣毅君、それぞれの協力を得た。また、本研究の一部は、京都大学生存圏研究所のマイクロ波エネルギー伝送実験装置 METLAB の共同利用の援助を受けた。さらに、本研究は「寿命制御研究会」の活動の一環として実施されたものである。これら関係者に謝意を表す。

参考文献

- [1] 辻他, コンクリート中の欠陥および鉄筋検出に対するマイクロ波強制加熱を用いたサーモグラフィ法に関する研究, 日本材料学会第 53 期学術講演会 820 (2004).
- [2] 竹野他, 赤外線サーモグラフィ法へのマイクロ波加熱の適用に関する基礎研究, 平成 16 年度 土木学会全国大会 5-103 (2004).
- [3] 竹野他, マイクロ波照射によるコンクリート中の鉄筋 / 空洞検出の基礎実験, 平成 17 年度 土木学会関西支部年次学術講演会 V-29 (2005).

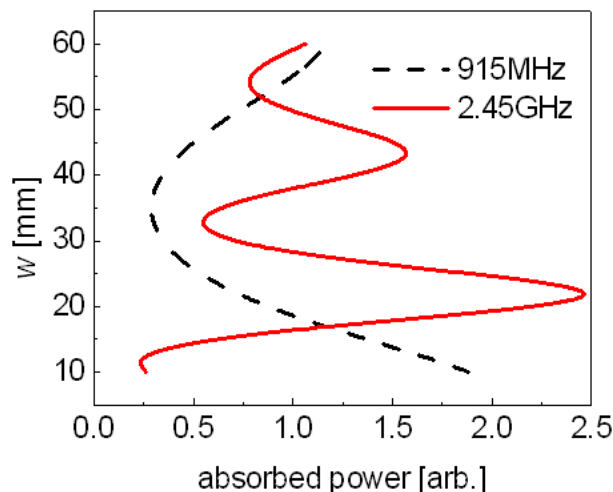


図3: 空洞深さ算出のためのチャートの例

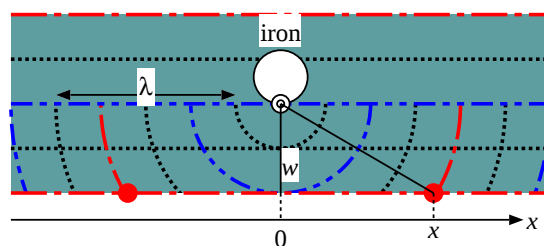


図4: 鉄筋による反射マイクロ波の干渉

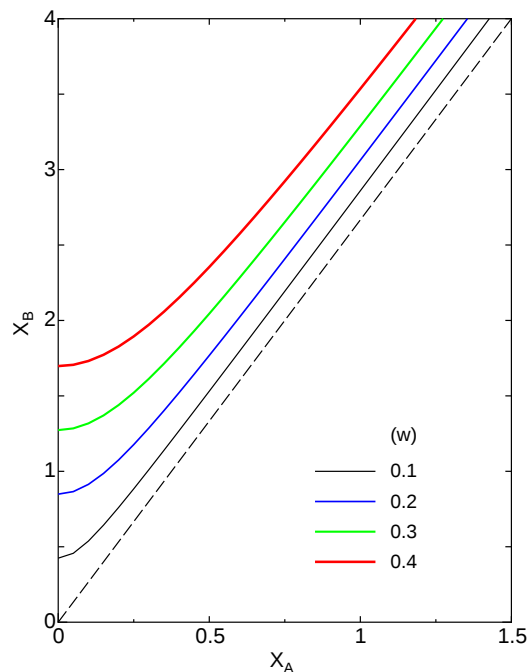


図5: 鉄筋深さ算出のためのチャートの例