

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

神戸大学工学部	正会員	竹野 裕正	神戸大学大学院	非会員	西川 徳光
神戸大学大学院	非会員	田林 準史	神戸大学工学部	非会員	中本 聡
神戸大学工学部	非会員	八坂 保能	東京理科大学工学部	正会員	辻 正哲
産業技術総合研究所	非会員	卜部 啓	京橋工業株式会社	正会員	並木 宏徳

1. はじめに

コンクリート内部の剥離等の欠陥の非破壊検査に関して、欠陥部分の熱的性質の違いを利用した、赤外線サーモグラフィ法が提案されている。この手法には、加熱を能動的に行なうものもあり、加熱手段としてジェットヒーター等が利用される。これに代わる加熱の手段として、マイクロ波を用いるものが提案されている。これは、加熱時間の効率化や、加熱がコンクリート深部まで及ぶことを期待したものである。

この手法についての基礎研究として、東京理科大学のグループが、実験結果を報告している [1]。それによると、従来法では周囲温度よりも高い温度として観測される欠陥部分が、マイクロ波加熱を用いた場合、欠陥の深さによって、高温部として観測される場合と低温部として観測される場合とがある。

著者等は、この現象（以下、文献 [1] の実験を参照実験と呼ぶ）を物理的に理解するために、マイクロ波反射電力の測定を含むモデル実験と、マイクロ波の伝搬・吸収の理論計算とを行なった。本報告では、これらの結果を発表し、参照実験に現れた現象の物理過程についての考察を示す。

2. 欠陥探査のモデル実験

図 1 の上部に、本実験で用いたマイクロ波装置の構成を示す。標準的なマイクロ波照射装置の構成で、周波数 2.45 GHz、最大出力 1300 W である。

導波管 WRJ-2 の一部はサンプル管となっており、図 1 の下部に示すようなモルタル試料を設置した。これは、図中幅 g で示した領域を、欠陥（空洞）部に見立てたものである。マイクロ波入射側（図中左側）の試料厚さ w の変化を、欠陥の深さ方向の位置の変化に対応させている。マイクロ波出射側（図中右側）は、十分厚い試料とすることで、マイクロ波を吸収させ、解析を複雑にする反射波を抑制している。また、この様に導波管断面で様な試料としたのは、導波管内の固有モードの変化を抑制し、後述の数値解析を容易にするためのものである。

実験では、 w および g を変化させてマイクロ波を照射し、マイクロ波波源側で入射電力と反射電力とを測定した。また、放射型温度計で試料のマイクロ波入射側の表面温度を、試料の横に予め開けた穴に熱電対を挿入して試料の内部温度を、それぞれ測定した。

3. 実験結果および数値計算結果

マイクロ波照射条件を、入射電力 200 W、照射時間 2 分 30 秒とし、マイクロ波反射電力と、照射後の試料温度とを測定した。図 2 に、 g および w を変化させた場合の結果をそれぞれ示す。ここで、横軸の infinity は、 $g = 0$ mm の条件を表す。

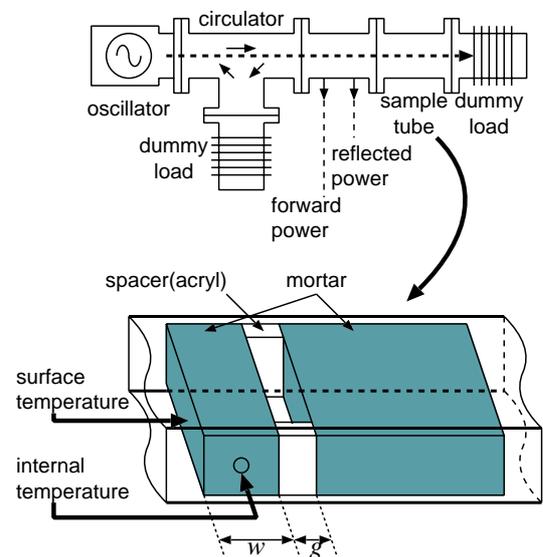


図 1: マイクロ波装置とモルタル試料

キーワード：欠陥検出，赤外線サーモグラフィ法，マイクロ波，寿命制御コンクリート

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

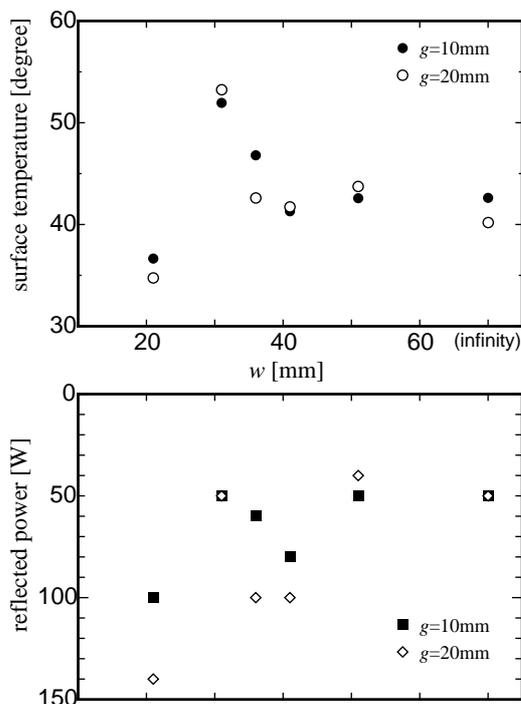


図 2: w に対する試料表面温度
およびマイクロ波反射電力 (モデル実験)

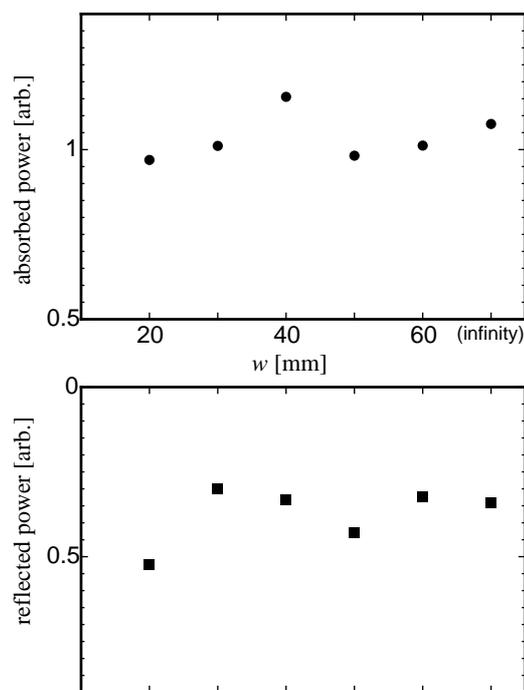


図 3: $g = 10 \text{ mm}$ の条件下での試料吸収電力
およびマイクロ波反射電力 (数値計算)

試料表面温度 (上図) を見ると, 欠陥なしに相当する infinity での値に比べて, $w = 21 \text{ mm}$ ではより低い温度が, $w = 31 \text{ mm}$ 以上ではより高い温度が, それぞれ得られている。これは, 参照実験での「欠陥の深さによって, 高温部として観測される場合と低温部として観測される場合がある」を再現していると言える。マイクロ波反射電力 (下図; 吸収電力に対応させるため, 縦軸を下向きにとってある) の変化と比較すると, 反射電力の大/小が, 表面温度の低/高にほぼ呼応して変化していることがわかる。即ち, 低温として観測された場合は, マイクロ波の反射が大きく, エネルギー注入が小さかったものと考えられる。

モデル実験の結果を理論的に裏付けるために, 平面波モデルを用いて, マイクロ波伝搬の数値計算を行った。モデル実験の $g = 10 \text{ mm}$ の場合に対応させ, w を変化させてマイクロ波入射側試料の吸収電力と反射電力 (図 2 の実験結果に対応する) とを計算した結果を図 3 に示す。

図 2 と比較すると, w に対して定性的に同じ変化が, 弱いながらも認められる。この変化は, モルタル試料の誘電率に依存する。図 3 では, 以前測定された値 [2] を利用しているが, モデル実験の試料では, 異なる値のために, 変化の相関が弱いものと考えられる。今後, 誘電率の値について検討する予定である。

4. 結論

赤外線サーモグラフィ法へマイクロ波加熱を適用するにあたり「従来法と異なり, 欠陥が低温部として観測される場合がある」との現象をモデル実験と数値計算で調べた。その結果「低温として観測された場合は, マイクロ波の反射が大きく, エネルギー注入が小さい」との説明が得られた。

謝辞

本実験は, 日本材料学会の複合材料部門委員会の「寿命制御コンクリート」ワーキンググループの活動, および経済産業省運営の地域新生コンソ - シアム研究開発事業「再生 PET 樹脂を利用した寿命制御コンクリートの開発とその応用」, それぞれの一環として実施されたものである。関係者に謝意を表す。

参考文献

- [1] 吉田 他, マイクロ波加熱を適用した赤外線サーモグラフィ法による欠陥・鉄筋探査に関する基礎的研究, 土木学会関東支部第 31 回技術研究発表会 V-2-62 (2004).
- [2] 竹野 他, Easy-break concrete のマイクロ波伝搬・吸収特性測定実験, 土木学会関西支部年次学術講演会 V-2 (2003).