第Ⅴ部門　　**マイクロ波加熱を用いた透過型赤外線サーモグラフィ法の基礎実験**

神戸大学工学部　正会員　○ 竹野　裕正
神戸大学工学部　非会員　北野　大介
神戸大学大学院　非会員　西川　徳光
東京理科大学理工学部　正会員　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．これは，コンクリートを加熱した際に，欠陥部分の熱的性質の違いが表面温度の異常として現れ，これを赤外線サーモグラフィで検知するものである．著者等は，この加熱手段としてマイクロ波加熱を利用することを提案し [1]，基礎的な実験を行ってきた [2]．この加熱法では，コンクリート深部の加熱が期待でき，深い位置の欠陥検出が期待された．しかし，検出可能な深さはコンクリートの水分含有率に左右されることが確認されている．

この実験の過程で，コンクリート背面に欠陥の影ともいえる像を確認した．この現象を利用すれば，マイクロ波照射面からの観測よりも，より深い位置の情報を見出せる可能性がある．本報告では，この照射背面からの観測についての実験結果を発表する．これは，赤外線サーモグラフィ法でありながら，X 線などを用いる透過型の非破壊検査法に相当する．X 線の場合，一般に長い時間を必要とするが，本手法では，この時間を短縮することが期待できる．

## 2. 実験装置

実験は，京橋工業内のマイクロ波遮蔽室内で行った．遮蔽室内に，図 1 に示す様にマイクロ波源 (周波数 2.45 GHz, 1 kW)，供試体，赤外線サーモグラフィをそれぞれ配置した．

供試体をレールに沿って一定速度で移動させながらマイクロ波を照射する．供試体移動速度の他，マイクロ波電力，放射アンテナの形状，アンテナと供試体との距離等を変化させた．照射終了後，照射背面に対して赤外線サーモグラフィで温度計測を行った．

供試体は，次節以降の結果で説明するように，人工欠陥を含んだものと鉄筋を含んだものとを，それぞれ複数種類用意した．

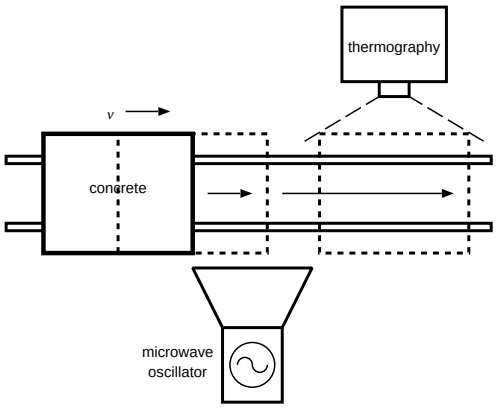


図 1　実験装置の配置．

## 3. 欠陥を含む供試体の加熱結果

欠陥を含む供試体 (供試体厚さ 100 mm，欠陥厚さ 20 mm，欠陥深さ 50 mm) の加熱結果を図 2 に示す．左が照射面，右が背面の温度分布である．図中黒の長方形が供試体の断面を示し，白の矢印で縦／横から示した位置に欠陥が含まれている．図からわかる様に，照射面からは欠陥に対応する温度変化が確認できないが，背面からは低温部分となって確認される．

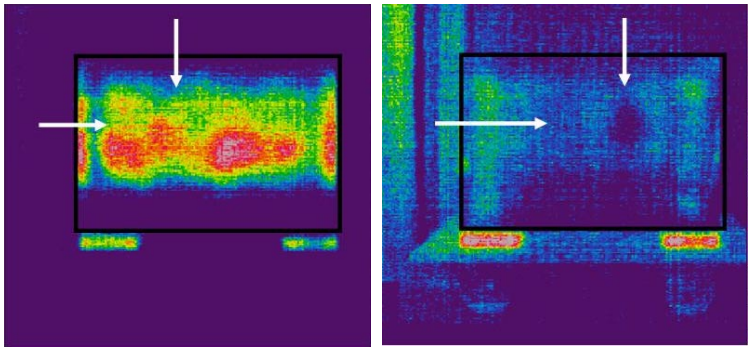

図 2　欠陥を含む供試体の加熱後温度分布
(左：照射面，右：背面)．

Hiromasa TAKENO, Daisuke KITANO, Norimitsu NISHIKAWA, Yuuki KOBAYASHI, Masanori TSUJI, Hironori NAMIKI

欠陥部背面の照射前後の温度変化分を，欠陥深さに対してまとめたものを図 3 に示す．温度変化は，マイクロ波電力の吸収によってもたらされる．供試体内のマイクロ波の伝搬を一次元数値計算で求め，その背面近傍の吸収電力を算出し，図 3 に曲線で示した．図からわかる様に，温度変化とマイクロ波吸収電力との対応が認められる．一方，健全部背面の温度は図に示す高い位置にあるが，マイクロ波吸収電力は大きくない．すなわち，背面の温度変化は，マイクロ波から直接吸収したエネルギーの他，供試体内部からの伝熱の効果も含むと考えられる．

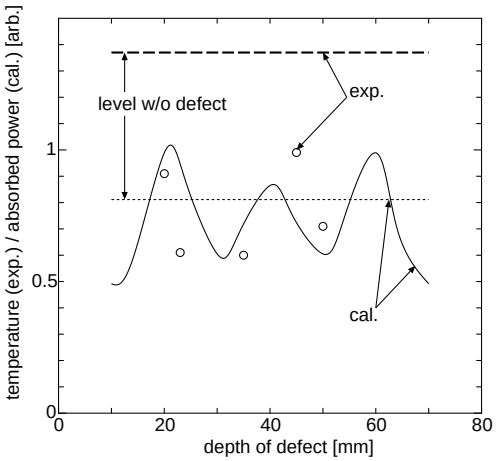


図 3 欠陥深さに対する欠陥部背面の照射前後の温度変化および背面近傍のマイクロ波吸収電力の計算値.

## 4. 鉄筋含む供試体の加熱結果

異形鉄筋 D35(直径 40 mm) を含む供試体 (供試体厚さ 150 mm) の加熱結果を図 4 に示す．図は照射背面の温度分布であり，黒の長方形が供試体の断面，白の矢印で示した位置に縦方向に鉄筋が含まれている．図からわかる様に，鉄筋位置の背面は低温となっており，その存在が容易に確認できる．

図 4 でも確認できる様に，背面の温度分布は，鉄筋を挟んだ左右に極大値をもつ．この極大値の間隔は，鉄筋のかぶりに応じて変化する．

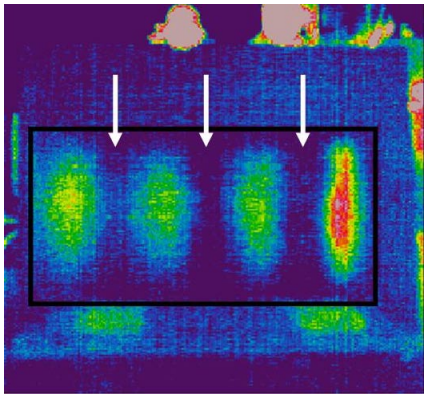

図 4 鉄筋入り供試体の背面温度分布.

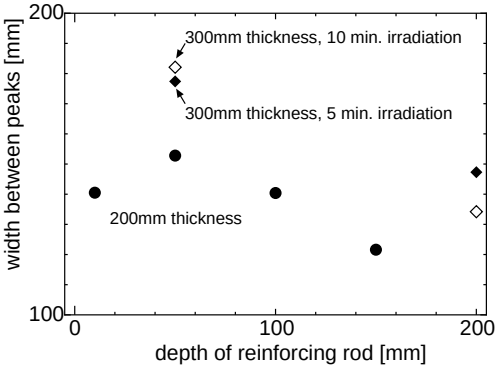


図 5 背面温度分布の極大値間隔.

図 5 に，鉄筋のかぶりに対する極大値の間隔を示す．かぶりが 10 mm の場合を除けば，かぶりが大きくなるほど，極大値間隔は小さくなることがわかる．この様な変化は，鉄筋で反射したマイクロ波が，供試体の端面でさらに反射して，背面に到達した結果と予想されるが，定量的な検定には，複雑なマイクロ波の伝搬解析を要する．また，かぶり 10 mm の場合が一定の変化に沿わないのは，鉄筋径が大きいために，反射角が大きく，供試体内で多数回の反射を経ないと背面に到達しえないためと予想される．

## 4. 結論

マイクロ波加熱赤外線サーモグラフィ法において，照射背面の温度計測により，照射面よりもより深い位置の欠陥／鉄筋の検出する手法について調べた．照射面の計測よりもより深い位置の検出は達成されたが，欠陥深さなど，定量的な計測には，マイクロ波の直接加熱の他，伝熱の効果も考慮する必要がある．

## 謝辞

本実験の遂行には，神戸大学の石田宏樹君，松本博君，東京理科大学理工学部の小泉裕樹君，中垣毅君，京橋工業の大野一樹さんの協力を得た．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 の共同利用研究の援助を受けた．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る．

## 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ー法に関する研究」, 日本材料学会第 53 期学術講演会 820 (2004).

[2] 竹野 他: 「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).