

## 第 V 部門

## 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

神戸大学工学部	正会員	竹野 裕正
神戸大学工学部	非会員	竹中 昌弘
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	辻 正哲
京橋工業株式会社	正会員	並木 宏徳
京都大学生存圏研究所	非会員	三谷 友彦

## 1. はじめに

コンクリート内の欠陥の検出方法の一つに、赤外線サーモグラフィ法がある。これは、コンクリートを適当な手段で加熱した際に、健全なコンクリート部分との熱的性質の違いが、表面温度の変化となって現れることを利用している。著者等は、この加熱手段にマイクロ波加熱を利用することを提案し [1]、原理的な実験を行ってきた [2]。マイクロ波加熱を用いれば、加熱時間の短縮や、深部の情報を得ることが期待されている。また、マイクロ波を用いる場合、通常高温で観測される欠陥部が低温で観測される場合がある等、他の加熱手段では見られない現象が起こることも見出している。

本報告では、この様な手法の有効性を確認する一つの基礎実験として、現場に近い条件での実験を行った結果を発表する。

## 2. 実験装置

実験は、空間に自由にマイクロ波を放射できる、電波暗室 (京都大学生存圏研究所 METLAB 実験設備) 内で実施した。電波暗室内に、図 1 に示す様にマイクロ波源 (周波数 2.45 GHz)、供試体、赤外線サーモグラフィをそれぞれ配置し、適当なマイクロ波電力 (0.5~1.4 kW) を適当な時間 (10 秒~8 分) 照射する。他の条件としては、マイクロ波放射アンテナの形状や、アンテナと供試体との距離を変化させた。照射終了後、供試体の向きを変え、表面温度を赤外線サーモグラフィで撮影した。

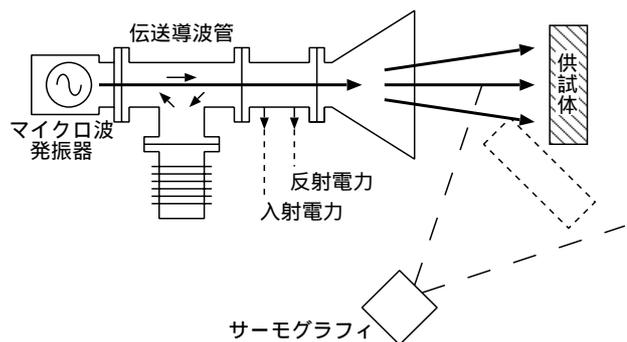


図 1 実験装置の配置。

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

## 3. 鉄筋に対する加熱の反応

図 2 に示す様な、2 本の鉄筋を含む供試体にマイクロ波を照射した。鉄筋は D13 で、かぶりの違う数種類を使用した。

図 3 は、典型的な結果である。図中に矢印で示す様に、縦方向に長い強く加熱された部分を確認できる。これらの縦方向の位置はあまり変化しないが、横方向間隔や本数は、かぶりの大きさによって変化する。

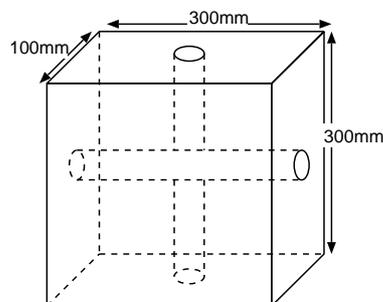


図 2 鉄筋を含む供試体。

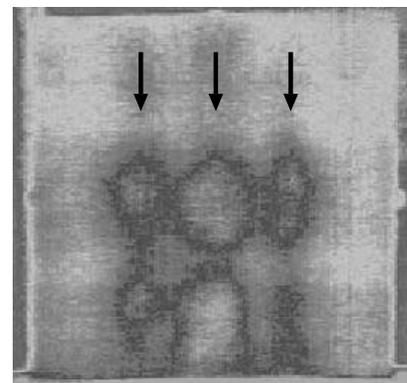


図 3 鉄筋を含む供試体の加熱例。

強い加熱領域の位置とかぶりとの関係を調べるため、かぶり  $d$  と強加熱領域位置  $l$  (供試体左端からの距離) とを、図 4 の様に 2 次元のグラフ上に描いた。グラフでは、比較的供試体中央付近のデータのみを用いている。図からわかる様に、データ点は複数の放物線上にあることがわかる。

この結果は、鉄筋によりマイクロ波が反射するため、反射波と入射波が干渉し、供試体表面上で電界が強くなる位置が強加熱領域となって現れるという考えに矛盾ない。即ち、 $\lambda$  を供試体内のマイクロ波の波長として、

$$d + \sqrt{d^2 + (l - l_0)^2} = (n + \frac{1}{2})\lambda \quad (n = 0, 1, \dots) \quad (1)$$

なる関係に適合する ( $l_0$  は縦方向鉄筋の位置)。波の経路差に応じた  $n$  の値により、図 4 に示す様な複数の放物線が得られる。これらの放物線は、データに適合するように、逆に波長を決めたものであるが、適合する波長は 4.6 cm で、これに対応する比誘電率は 7 である。

#### 4. 欠陥に対する加熱の反応

図 5 に示す様な、人工欠陥を含む供試体にマイクロ波を照射した。欠陥は厚さ 10mm の 2 つの空洞で、大きさやかぶりの異なる多数の供試体を使用した。

多くの供試体で、空洞位置に対応する温度の違いは確認できなかった。これは、水分含有率が高く、表面加熱となり、空洞域までマイクロ波が届いていないためと考えられる。

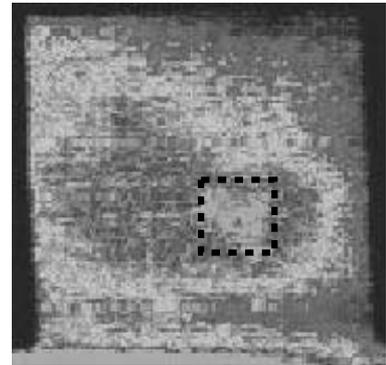
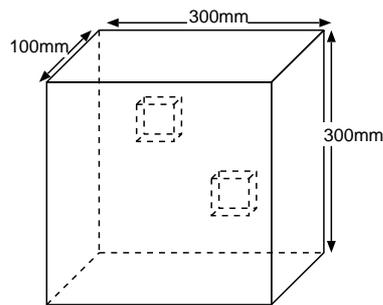


図 5 人工欠陥を含む供試体。 図 6 人工欠陥を含む供試体の加熱例。

供試体を乾燥炉で強制乾燥させ (水分含有率の変化は、5% 2.5% と予想される)、マイクロ波強度の空間分布の一樣性がより高くなるよう照射したところ、図 6 の破線の矩形で示した領域に、空洞位置に対する強い加熱領域が確認できた。しかし、確認できた空洞は片側のみで、他方は確認できなかった。

#### 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手法について、有効性を確認するために、現場に近い条件での実験を行った。鉄筋に対しては、波の干渉で予想される強加熱領域が観測された。人工欠陥に対しては、部分的な確認に留まった。

#### 謝辞

本実験は、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 を用いて行なわれた。また、実験の遂行には、同研究センターの学生諸氏、神戸大学工学部の石田宏樹君、田林準史君、東京理科大学理工学部の小林祐紀君、野田剛史君、米田奈緒さん、京橋工業の大野一樹さん、神園卓海さん、それぞれの協力を得た。また、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」サブワーキンググループ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).