

## マイクロ波強制加熱を用いたサーモグラフィ法による コンクリート中の内部欠陥検出方法に関する研究

東京理科大学大学院	学生員	米田 奈緒	東京理科大学	正会員	辻 正哲
ものつくり大学	正会員	澤本 武博	東京理科大学大学院	学生員	小林 祐紀
京橋工業（株）	正会員	並木 宏徳	神戸大学	正会員	竹野 裕正

### 1 はじめに

コンクリート構造物に対し非接触で大面積の測定が可能なサーモグラフィ法は注目されている分野であり、数多くの研究がなされ実用化されている。しかし、パッシブ法に比べ比較的気象条件の影響が小さいアクティブ加熱方法においては、加熱に多くの時間を要する等の問題点を依然として抱えている。こうした中、著者らはサーモグラフィ法のアクティブ加熱方法として、電子レンジなどで用いられているマイクロ波の照射による加熱方法の適用について検討してきたが、コンクリート中の内部欠陥深さと検出される温度分布との関係を明らかにできるまでには至っていなかった<sup>1)</sup>。

本研究では、マイクロ波の照射時間が、コンクリート中の内部欠陥深さと検出される温度分布との関係に及ぼす影響について検討するとともに、コンクリートの含水率が欠陥検出に及ぼす影響について検討を行った。

### 2 実験概要

#### 2.1 マイクロ波発生装置の走査速度および照射回数 の影響に関する実験

実験では、水セメント比 50%の一般的なコンクリートを用い、欠陥のない健全供試体と内部欠陥探査用供試体を作製した。供試体寸法は 300×900×100mm であり、内部欠陥は断面が 50×50mm で厚さが 20mm の空洞とし、欠陥深さは 10,20,30,40,50mm の 5 種類とした。空洞は発泡スチロールをコンクリート中に埋め込み、コンクリート硬化後にアセトンを用いて溶解洗浄して作製した。加熱方法としては、供試体表面と導波管との間隔（照射距離）を 60mm に固定し、導波管とコンクリートの相対速度（走査速度）を 15、30、60、90、120、150cm/min の 6 段階に変化させた。また、照射回数は

全ての走査速度において 1 回、2 回、3 回の 3 段階とした。そして、毎回の加熱終了後直ちに、赤外線サーモトレーサーを用いて供試体表面の温度分布を測定した。3 回目の照射が終わった後は、照射直後に加えて、その後 2 分ごとにサーモトレーサーで温度分布を測定した。なお、照射したマイクロ波は、周波数 2.45GHz・空気中での波長 120mm・強度 1.0kW である。また、サーモトレーサーの温度解像度は 0.3 とした。

#### 2.2 コンクリートの含水状態の影響に関する実験

実験では、水セメント比 50%の一般的なコンクリートを用い、内部欠陥探査用供試体を 2 体作製した。供試体寸法はいずれも 300×300×100mm であり、内部欠陥は断面が 50×50mm で厚さが 10mm の空洞とし、欠陥深さは 35mm または 55mm とした。また、コンクリートの含水状態が欠陥検出に及ぼす影響を調べる目的で、欠陥深さ 55mm の供試体については乾燥炉で 0.5kg の水分を蒸発させた。加熱方法は、照射距離を 150mm に固定したうえで、走査速度を 15cm/min として照射した。なお、照射回数は 1 回のみとした。また、マイクロ波の照射時には、照射距離と範囲を大きくするため、開口部の縦および横がそれぞれ 431 および 319mm のホーンアンテナを導波管開口部に装着した。

### 3 実験結果および考察

#### 3.1 マイクロ波発生装置の走査速度および照射回数 の影響

表-1 は、欠陥部上と健全部上における温度差の測定結果を示すとともに、走査速度、照射回数によって、判別可能な欠陥深さが変化するのを取りまとめたもので、判別可能であった箇所に着色している。走査速度が遅いほど、1 回の照射で深いところまでの欠陥検出が可能となり、健全部との判別が可能な照射後の放置

キーワード 非破壊検査 コンクリート サーモグラフィ 内部欠陥 マイクロ波

連絡先 〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 TEL04-7124-1501(内線 4054) E-mail:saori@rs.noda.tus.ac.jp

時間も長くなった。逆に、走査速度が速ければ、1回の照射では浅い欠陥部のみしか欠陥検出できず、深い欠陥部の検出には数回の照射を必要とするうえ、検出可能な放置時間も短くなるという傾向があった。このことから、走査速度あるいは照射回数を変化させることにより、欠陥深さ、あるいは、ある一定以下の深さの欠陥を検出できる可能性が示された。しかし、照射回数を増す場合も、走査速度を遅くする場合と同様の傾向を示すものの、照射を繰り返す過程での熱伝導による温度分布の均一化の影響により、欠陥部付近の温度異常部がぼやけるため、照射回数を増やす方が、欠陥深さの推定精度は低下するようであった。

3.2 コンクリートの含水状態の影響

図-1に示したように、乾燥させていない供試体では欠陥深さが35mmでも検出は困難であったが、乾燥させた供試体では欠陥深さ55mmとなってもその欠陥を検出することができた。これには、水分がマイクロ波により発熱されやすい誘電体であることからマイクロ波を減衰させ、その結果コンクリートの水分含有量が多い程、コンクリートの浅い部分でマイクロ波の大半が減衰し発熱することや、水分が多いほど熱伝導率が大きくなり欠陥部周辺での温度分布が均一化しやすく温度異常部がぼけやすくなることも関係していると考えられる。

4. まとめ

照射速度、照射回数の変化により、検出可能な欠陥深さが異なることを確認できた。この結果を利用することで、深さごとに順を追った欠陥検出ができることが期待できる。また、その際は、照射回数を変化させるよりも照射速度あるいはマイクロ波の照射強度を変化させる方が適していると推定された。また、コンクリート中の水分含有量が低下すると、比較的深い位置にある欠陥検出可能となることが確認できた。

謝辞

本研究に際し、多くの実験を実施して頂いた大野一樹氏をはじめ京橋工業（株）の関係者各位に感謝の意を表します。

参考文献

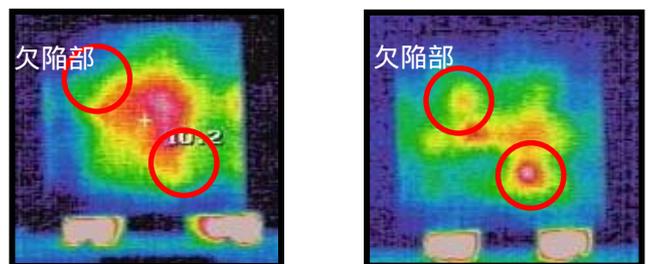
1) 辻 正哲ら：マイクロ波強制加熱を用いた赤外線サーモグラフィ法によるコンクリート中の欠陥・鉄筋探査に関する研究、コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集、第4巻、pp.309-316 (2004)

表-1 照射後の欠陥部上と健全部上における温度差に及ぼすマイクロ波の照射速度の影響

( ) 1回照射直後に測定した場合					
欠陥深さ \ 照射速度	10(mm)	20(mm)	30(mm)	40(mm)	50(mm)
30cm/min	2.0	0.8	1.2	2.6	0.9
60cm/min	1.6	0.4	0.8	0.7	0.3
90cm/min	1.0	0.4	0.5	0.6	0.0
120cm/min	0.6	0.3	0.3	0.3	0.0
150cm/min	0.7	0.5	0.2	0.0	0.0
( ) 2回照射直後に測定した場合					
欠陥深さ \ 照射速度	10(mm)	20(mm)	30(mm)	40(mm)	50(mm)
30cm/min	2.1	2.1	1.4	2.5	1.3
60cm/min	1.6	0.4	0.8	1.0	0.3
90cm/min	1.5	0.7	0.8	0.8	0.0
120cm/min	1.1	0.6	0.3	0.6	0.2
150cm/min	0.8	0.4	0.3	0.4	0.0
( ) 3回照射直後に測定した場合					
欠陥深さ \ 照射速度	10(mm)	20(mm)	30(mm)	40(mm)	50(mm)
30cm/min	2.8	2.4	1.8	1.9	1.3
60cm/min	2.3	0.9	0.8	1.0	1.0
90cm/min	1.7	0.7	0.9	0.7	0.0
120cm/min	1.1	0.6	0.3	0.6	0.4
150cm/min	1.0	0.6	0.5	0.5	0.0
( ) 3回照射して2分後に測定した場合					
欠陥深さ \ 照射速度	10(mm)	20(mm)	30(mm)	40(mm)	50(mm)
30cm/min	1.8	1.5	0.7	1.5	0.7
60cm/min	1.2	0.5	0.5	0.6	0.6
90cm/min	1.2	0.4	0.3	0.5	0.0
120cm/min	0.8	0.3	0.0	0.4	0.2
150cm/min	0.8	0.3	0.2	0.2	0.0
( ) 3回照射して4分後に測定した場合					
欠陥深さ \ 照射速度	10(mm)	20(mm)	30(mm)	40(mm)	50(mm)
30cm/min	1.6	1.3	0.7	1.3	0.4
60cm/min	1.1	0.3	0.5	0.3	0.4
90cm/min	1.1	0.2	0.2	0.4	0.0
120cm/min	0.8	0.1	0.4	0.3	-0.1
150cm/min	0.6	0.2	0.1	0.2	0.0

温度差評価の凡例	
	判定容易
	判定可能
	判定不可能



( ) 乾燥させていない供試体 ( ) 乾燥させた供試体

図-1 コンクリートの含水状態が欠陥検出に及ぼす影響