

マイクロ波強制加熱後にサーモグラフィ法により検出される温度分布と コンクリート中の内部欠陥深さとの関係

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
東京理科大学	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する非破壊検査において、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こと等の問題点を依然として抱えている。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照射による加熱方法の適用について検討してきた¹⁾。しかし、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い。

本研究では、マイクロ波の照射時間が、コンクリート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した。

2. 実験概要

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索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、照射回数は全ての照射速度において1回、2回、3回の3段階とした。そして、加熱終了後、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。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。

3. 実験結果

3.1 想定した欠陥検出のメカニズム

マイクロ波加熱による欠陥検出では、欠陥部が高温として検出されるだけでなく、低温として検出される場合がある。これは、マイクロ波による加熱箇所は、コンクリート表面だけでなく、表面から内部に数十ミリ入ったところでもかなりの加熱作用を発揮しているという特徴から生じている可能性が高い¹⁾。欠陥部上が高温となる場合と低温となる場合の違いから、加熱により生じたコンクリート表面の最高温と欠陥深さ関係には何がしかの関係が生じるものと考えられる¹⁾。

なお、コンクリート表面から内部へ10～15mm入った所までマイクロ波が十分な加熱エネルギーを有していることが確認されているため¹⁾、今回の実験では欠陥深さを10～50mmの範囲とした。そのため、全て欠陥部上の方が健全部上より高温として検出された。

3.2 欠陥部と健全部上における表面温度差

図-1は、欠陥部の判定容易なもの、判定可能なもの、判定不可能なものの代表例を示したものである。なお、画像は全て欠陥深さ50mmのものである。

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したものである。この表では、照射速度、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。照射速度が遅いほど、1回の照射で深いところまでの欠陥検出が可能であり、また、健全部との判別が可能な照射後の放置時間が長くなった。逆に、照射速度が速ければ、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

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

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。

換言すると、以上の結果は、一回の照射では、照射速度を 150cm/min と速くすると、容易に検出できる欠陥深さは 20mm 以下であり、照射速度を遅くする程検出できる深さは深くなり、照射速度を 30cm/min とすると 50mm 以上の深さまで欠陥を検出できることを表している。しかし、照射回数を増す場合も、照射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何らかの原因で、照射速度を変化させた場合よりも、欠陥深さの推定精度は低下するようであった。

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。これらを利用することで、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する強度を変化させる方が適していると推定された。

謝辞

本研究に際し、多くの実験を実施した京橋工業（株）の大野一樹他関係者各位に感謝の意を表します。

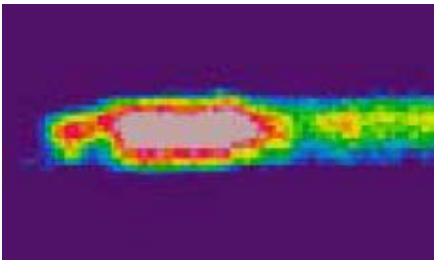
参考文献

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

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

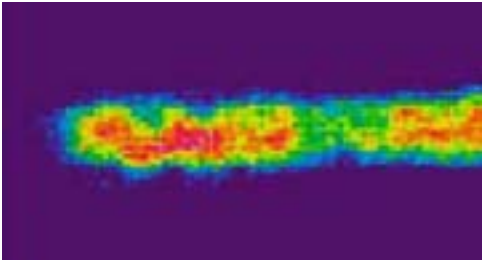
（ ） 1回照射直後に測定した場合					
欠陥深さ 照射速度	10(mm)	20(mm)	30(mm)	40(mm)	50(mm)
30cm/min	2.0	0.8	1.2	0.2	0.9
60cm/min	1.6	0.4	0.8	0.6	0.3
90cm/min	1.0	0.4	0.5	0.2	
120cm/min	0.6	0.3	0.3	0.2	0.0
150cm/min	0.7	0.5	0.2	0.2	
（ ） 2回照射直後に測定した場合					
欠陥深さ 照射速度	10(mm)	20(mm)	30(mm)	40(mm)	50(mm)
30cm/min	2.1	2.1	1.4	0.3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

温度差評価の凡例	
	判定容易
	判定可能
	判定不可能



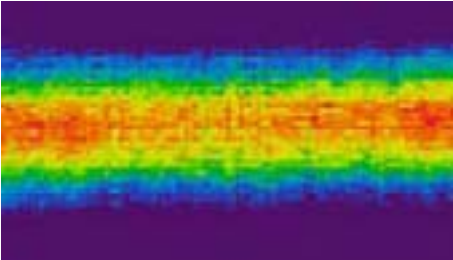
照射速度 30cm/min、2 回照射直後

() 判定容易



照射速度 60cm/min、2 回照射直後

() 判定可能



照射速度 120cm/min 、
3 回照射後 4 分間放置後

() 判定不可能

図-1 各評価におけるサーモ画像例（欠陥深さ 50mm）