

マイクロ波強制加熱を用いたサーモグラフィ法における鉄筋の検出方法に関する研究

東京理科大学	学生会員	野田 剛史	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	学生会員	小林 祐紀
京橋工業	正会員	並木 宏徳	神戸大学	正会員	竹野 裕正

1. はじめに

現在サーモグラフィ法は、浮き・剥離の他、コンクリート中の内部欠陥を広範囲に渡り簡易に検出できるため、幅広く実用化しつつある。しかし、サーモグラフィ法を鉄筋位置やかぶりの推定に適用するには未だ多くの問題が残されている。一方、アルカリ骨材反応により鉄筋の曲げ加工部が破断した事例などが報告されて以来、簡易で広範囲に鉄筋を検出する方法の開発が望まれるようになってきた。こうした現状から、筆者らは、電子レンジ等で用いられているマイクロ波により加熱した後にサーモグラフィ法を適用する方法について検討してきた¹⁾。

本研究では、マイクロ波により加熱した後に赤外線サーモグラフィ法を適用することを考え、マイクロ波の照射方法を変化させた鉄筋のかぶりの推定方法、およびコンクリート内部の鉄筋に生じているクラックや破断の検出方法について検討を行った。

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、欠陥のない無筋供試体、鉄筋位置探査用供試体、鉄筋の破断・クラック探査用供試体を作製した。供試体寸法は 300×900×100mm である。鉄筋位置探査用には、異形鉄筋 D13、D22 および D35 を配筋した 3 体の供試体を作製した。D13 のかぶりは 5、10 および 30mm、D22 のかぶりは 5、10、30 および 50mm、D35 のかぶりは 10、30 および 50mm とした。鉄筋の破断・クラック探査用供試体には、曲げおよび曲げ戻しによってクラックまたは破断を生じさせた鉄筋を、かぶりが 10、20 および 30mm となるように配筋して作製した。加熱方法は、供試体表面と導波管との間隔（照射距離）をこれまでの研究結果をもとに 60mm とし¹⁾、導波管と供試体との相対速度(V)を 15、30、60、120 あるいは 150cm/min と変化させ、1 回の試験につき 3 回まで照射を繰り返す。

返して、照射時間を変化させ加熱する方法とした。そして、加熱終了後、供試体表面の温度分布を赤外線サーモレーサーを用いて測定した。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。

3. 実験結果

3.1 鉄筋位置の検出

図-1 は、マイクロ波照射直後のコンクリート表面の温度分布を示したものである。かぶりが 10mm および 30mm の場合には鉄筋位置が高温部となって、その周囲の温度分布に不連続部（くびれ）が検出されている。図-2 は、マイクロ波照射後 8 分経過した時点での温度分布を同様に示したものであるが、鉄筋位置で低温部がくびれて確認できている。これは、マイクロ波の力線が鉄筋に集中するため温度分布にくびれが生じるとともに、マイクロ波の鉄筋からの反射波がコンクリートを加熱することから、マイクロ波照射直後は高温部として存在するが¹⁾、鉄筋の熱伝導率がコンクリートに比べて大きいことから、マイクロ波照射からの時間経過による温度低下が激しくなったことによると考えられる。しかし、いずれの場合においてもかぶりが 50mm の場合は、温度分布に若干のくびれを確認できるものの、明瞭な温度差は確認できなかった。

表-1 は、鉄筋部上のコンクリート表面温度の検出結果をまとめたものである。鉄筋径が大きい方が鉄筋を検出できるかぶりが若干大きくなっている。また、マイクロ波発生装置とコンクリートとの相対温度(V)が小さい、すなわちコンクリートの単位表面積に対する照射エネルギーが大きい程、鉄筋を検出できるかぶりは若干大きくなる傾向を示している。また、マイクロ波照射直後の鉄筋部上の温度は、かぶりが 5mm と小さい場合、鉄筋に反射したマイクロ波がコンクリートの加熱エネルギーとして有効に作

キーワード コンクリート, 非破壊試験, マイクロ波, サーモグラフィ, 鉄筋

表-1 鉄筋部上のコンクリート表面温度の検出結果と評価

(1) D13

相対速度(V)	30cm/min			60cm/min			150cm/min			
	かぶり	5mm	10mm	30mm	5mm	10mm	30mm	5mm	10mm	30mm
照射1回目	B-	B+	C+	B-	B+	D	B-	B+	D	
照射2回目	B-	B+	B+	B-	B+	C+	B-	B+	C+	
照射3回目	B-	B+	B+	B-	B+	C+	B-	B+	C+	
2分*	B-	C+	C+	B-	C+	D	B-	C+	C+	
4分*	B-	B-	D	B-	C-	D	C-	D	D	
6分*	B-	B-	D	B-	B-	D	C-	C-	D	
8分*	B-	B-	D	C-	C-	C-	C-	C-	D	
10分*	B-	B-	C-							

(3) D35

相対速度(V)	30cm/min			60cm/min			150cm/min			
	かぶり	10mm	30mm	50mm	10mm	30mm	50mm	10mm	30mm	50mm
照射1回目	B+	B+	D	B+	B+	D	B+	C+	D	
照射2回目	B+	B+	D	B+	B+	D	B+	B+	C+	
照射3回目	B+	B+	C+	B+	B+	C+	B+	B+	C+	
2分*	B-	B+	C+	B-	B+	C+	B-	C+	D	
4分*	B-	C+	C+	B-	B+	D	B-	D	D	
6分*	B-	C-	D	B-	C-	D	B-	D	D	
8分*	B-	B-	C-	B-	C-	D	B-	D	D	
10分*	B-	B-	C-	B-	B-	D	B-	C-	D	

(2) D22

相対速度(V)	30cm/min				60cm/min				150cm/min				
	かぶり	5mm	10mm	30mm	50mm	5mm	10mm	30mm	50mm	5mm	10mm	30mm	50mm
照射1回目	B-	B+	B+	C+	B-	B+	C+	D	B-	B+	C+	D	
照射2回目	B-	B+	B+	C+	B-	B+	C+	C+	B-	B+	C+	C+	
照射3回目	B-	B-	C+	C+	B-	B+	B+	C+	B-	B+	C+	C+	
2分*	B-	B-	D	D	B-	B-	C+	D	B-	B-	C+	D	
4分*	B-	B-	C-	D	B-	B-	D	D	B-	B-	D	D	
6分*	B-	B-	C-	D	B-	B-	D	D	B-	B-	D	D	
8分*	A-	B-	B-	D	B-	B-	D	D	B-	B-	D	D	
10分*	B-	B-	B-	D	B-	B-	C-	D					

- A: 鉄筋の陰まで確認
- B: 鉄筋として確認可能
- C: 以上温度部は確認できるが鉄筋との断定不
- D: 検出不可能
- +: 高温検出
- : 低温検出
- *: マイクロ波3回の照射後の放置時間

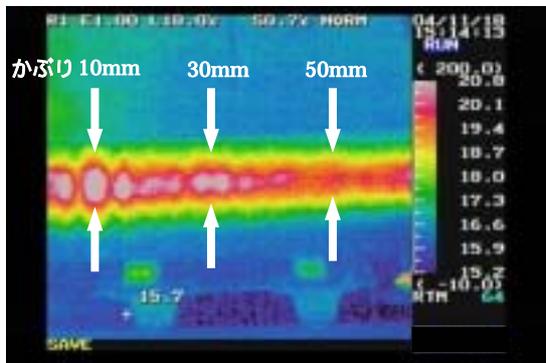


図-1 鉄筋を配置した供試体の表面温度分布(高温検出時)
(D35 相対速度 60cm/min 照射 1 回終了直後)

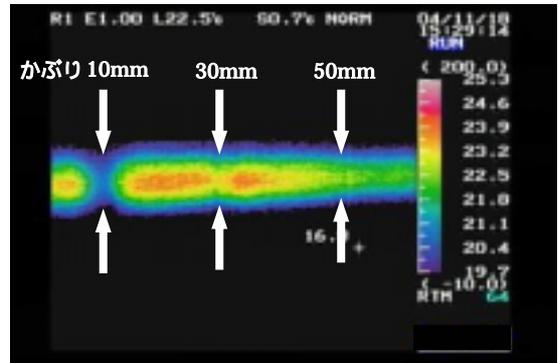


図-2 鉄筋を配置した供試体の表面温度分布(低温検出時)
(D35 相対速度 60cm/min 放置 8 分後)

用しないため低温部となっていたが¹⁾、かぶりが10mm以上となると高温部として検出されている。一方、鉄筋部上が高温部として検出された場合であっても、かぶりが小さいほど、鉄筋部上が低温となるのに要する放置時間は短くなる傾向を示している。

以上の結果より、今回用いたマイクロ波強度では、30mm程度までのかぶり不足を検出できることが明らかとなった。また、検出された鉄筋部上の温度とその後の放置時間に伴う温度変化より、ある程度かぶりが推定できる可能性が示されたと考えられる。

3.2 鉄筋の破断・クラックの検出

図-3は、破断を生じさせた鉄筋を配置した供試体の表面温度分布を示したものである。それがクラックや破断によるものと特定する段階には至っていないものの、なんらかの温度異常部の存在を確認することはできた。しかし、いずれの場合も鉄筋の熱伝導の影響を受けやすいため、コンクリート内部の欠陥を検出する場合に比べ、鉄筋の破断やクラックにより生じた温度異常部を確認できる加熱終了後から

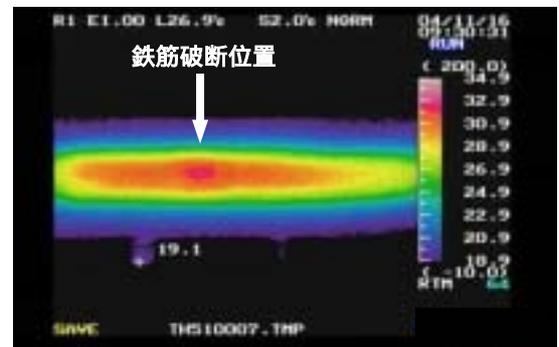


図-3 破断した鉄筋を配置した供試体の表面温度分布
(かぶり 10mm 15cm/min 放置 6分後)

の時間は短くなっていた。

4. まとめ

今回の実験結果より、マイクロ波の照射時間や加熱終了後の観察時間を変化させることで、鉄筋の平面位置のみならず、かぶりを推定できる可能性が見出された。

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