

赤外線サーモグラフィ法によるかぶりの検出に対するマイクロ波加熱の適用性に関する研究

東京理科大学大学院 学生会員 ○小林 祐紀
 京橋工業株式会社 正会員 並木 宏徳
 ものつくり大学 正会員 澤本 武博

東京理科大学 正会員 辻 正哲
 神戸大学 正会員 竹野 裕正
 東京理科大学大学院 学生会員 野田 剛史

1. はじめに

サーモグラフィ法は、非接触で大面積に適用できることなどから、各方向で研究・開発、実用化されてきた。しかし、その主な対象は、浮きや剥離、内部欠陥であり、鉄筋に関してはその検出対象とはされていないのが現状である。そのため、著者らは、電磁波であるマイクロ波が導体である鉄筋に作用することがその温度分布に何らかの影響を及ぼすことを考え、マイクロ波加熱を用いたサーモグラフィ法による内部欠陥の検出に加え、鉄筋の探査についても検討してきた¹⁾。

本研究では、コンクリートをマイクロ波の照射により加熱し、サーモグラフィを用いてコンクリート中に存在する鉄筋を探索し、さらにかぶりを検出することを視野に入れ、その適用性について検討した。また、コンクリート内部の鉄筋に生じている破断やクラックの検出についても検討を行った。

2. 実験概要

実験には、水セメント比 50%のコンクリートを用いて作製した 300×900×100mm の供試体を用いた。なお、鉄筋の破断・クラックは、鉄筋の曲げおよび曲げ戻しによって生じさせた。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¹⁾をもとに 60mm に固定し、導波管と供試体との相対速度(V)を 15、30、60 および 150cm/min と変化させた。また、照射は 1 回の試験につき 3 回まで繰り返し行うこととした。そして、加熱終了後からの供試体表面の温度分布の変化を赤外線サーモト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. 実験結果および考察

3.1 鉄筋の平面位置およびかぶりの検出

図-1 は、D35 を用い、導波管と供試体の相対速度(V)を 60cm/min とした場合におけるマイクロ波照射 1 回目終了直後のコンクリート表面の温度分布を、図-2 は、

その後 20 分経過した時点での温度分布を示したものである。図-1 では、かぶりが 10mm、30mm および 50mm 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)が検出されていた。次に、図-2 では、鉄筋位置で低温部となるくびれが確認できた。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鉄筋部上が一度高温となるが、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経過時間とともに温度低下が激しくなったことによると考えられる。

表-1 は、鉄筋の検出の可否を示したものである。相対速度(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

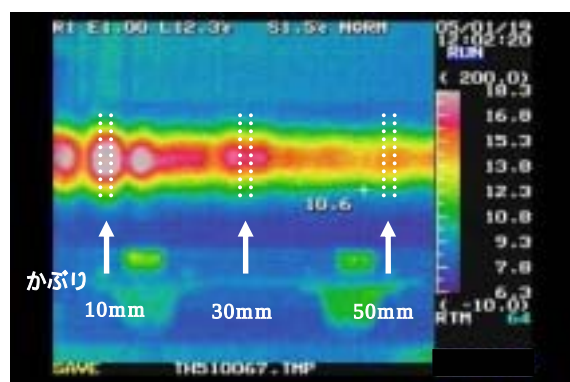


図-1 鉄筋を配置した供試体の表面温度分布(高温検出時)
(D35 相対速度 60cm/min 照射 1 回目終了直後)

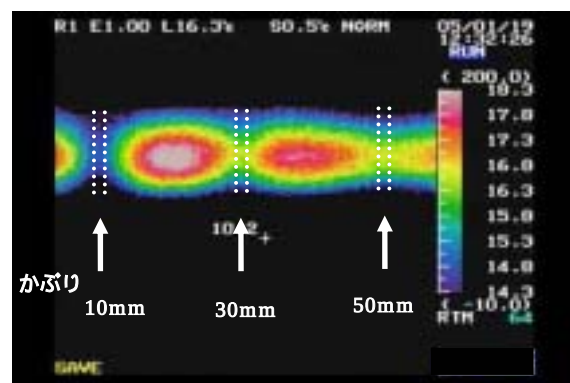


図-2 鉄筋を配置した供試体の表面温度分布(低温検出時)
(D35 相対速度 60cm/min 放置 20 分後)

キーワード 赤外線サーモグラフィ法 マイクロ波 コンクリート 非破壊検査 鉄筋探索 かぶり検出

連絡先 〒278-1501 千葉県野田市山崎 2641 東京理科大学土木工学科 saori@rs.noda.tus.ac.jp

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

鉄筋径 [mm]	相対速度	15cm/min				30cm/min				60cm/min				150cm/min			
	かぶり	5mm	10mm	30mm	50mm	5mm	10mm	30mm	50mm	5mm	10mm	30mm	50mm	5mm	10mm	30mm	50mm
D13	照射3回目	B-	B-	B+		B-	B+	B+		B-	B+	C+		B-	B+	C+	
	2分*	B-	B-	C+		B-	B-	C+		B-	C+	D		B-	C+	C+	
	4分*	B-	B-	D		B-	B-	D		B-	C-	D		C-	D	D	
	6分*	B-	B-	D		B-	B-	D		B-	B-	D		C-	C-	D	
	8分*	B-	B-	D		B-	B-	C-		C-	C-	C-		C-	C-	D	
	10分*	B-	B-	C-		B-	B-	C-									
	10～20分*	B-	B-	C-		A-	B-	B-									
20～30分*	C-	B-	B-														
D22	照射3回目	B-	B-	C+	D	B-	B-	B+	B+	B-	B+	B+	C+	B-	B+	C+	C+
	2分*	B-	B-	D	D	B-	B-	D	C+	B-	B-	C+	D	B-	B-	C+	D
	4分*	B-	B-	B-	D	B-	B-	C-	D	B-	B-	D	D	B-	B-	D	D
	6分*	B-	B-	B-	D	B-	B-	B-	D	B-	B-	D	D	B-	B-	D	D
	8分*	B-	B-	B-	C-	B-	B-	B-	C-	B-	B-	D	D	B-	B-	D	D
	10分*	B-	B-	B-	C-	B-	B-	B-	C-	B-	B-	C-	D				
	10～20分*	A-	A-	B-	C-	A-	B-	B-	B-								
20～30分*	A-	A-	B-	C-													
D35	照射3回目		B-	B+	D		B+	B+	C+		B+	B+	C+		B+	B+	C+
	2分*		B-	C-	D		B-	B+	D		B-	B+	C+		B-	C+	D
	4分*		B-	B-	D		B-	C+	D		B-	B+	D		B-	D	D
	6分*		B-	B-	C-		B-	C-	D		B-	C-	D		B-	D	D
	8分*		B-	B-	C-		B-	B-	D		B-	C-	D		B-	D	D
	10分*		B-	B-	C-		B-	B-	C-		B-	B-	D		B-	C-	D
	10～20分*		B-	B-	B-		B-	B-	B-								
20～30分*		A-	B-	B-													

A: 鉄筋の陰まで確認 B: 鉄筋として確認可能 C: 異常温度部は確認できるが鉄筋としての断定不可能 D: 検出不可

+ : 高温として検出 - : 低温として検出 * : マイクロ波照射3回目終了後からの放置時間

きるかぶりは若干大きくなる傾向を示していた。実際今回の実験では、かぶり5および10mmの鉄筋は相対速度150cm/min以下で、かぶり30および50mmの鉄筋は相対速度30cm/minに設定した場合に検出が可能であった。また、鉄筋部上が高温部として検出された場合であっても、かぶりが大きいほど、照射終了直後から鉄筋部上が低温部となるまでの所要時間は長くなる傾向を示していた。今回の結果では、相対速度(V)を30cm/minとした場合、かぶり5mmの場合は照射終了直後から、かぶり10mmの場合は2～4分後に、かぶり30mmの場合は6～10分後に、かぶり50mmの場合は12分以上経ってから鉄筋部上が低温部として検出された。これより、加熱終了後からの温度分布の経時変化を観測することで、50mm程度までであれば、かぶりをある程度推定することが可能であると考えられる。

3.2 鉄筋の破断およびクラックの検出

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。照射終了直後に鉄筋部上で検出される高温部が、破断部で低温部となり温度分布に不連続性が確認された。今回の実験では、破断やクラックによるものと特定する段階には至っていないものの、このように何らかの温度異常部の存在は確認できた。しかし、破断・クラックいずれの場合も鉄筋の熱伝導の影響を受けやすいため、鉄筋の破断

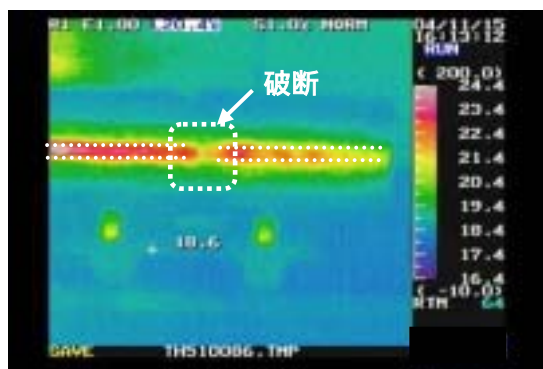


図-3 破断した鉄筋を配置した供試体の表面温度分布
(かぶり10mm 60cm/min 照射1回目終了直後)

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の時間が著しく短く、確実にその存在を断定できるまでには至らなかった。

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からの温度の経時変化を測定することで、鉄筋の平面位置のみならず、50mm程度までであれば、かぶりをある程度推定できる可能性が示された。一方、鉄筋に生じた破断やクラックは、それらが非常に小さい範囲で起こっているため、鉄筋の熱伝導の影響が大きく、異常温度部として検出できる時間は著しく短く、その適用は更なる工夫が必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 辻正哲, 小林祐紀: 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)