

# 論文 鉄筋腐食診断におけるコンクリート表面温度性状に及ぼすひび割れの影響に関する研究

中央大学 理工学部都市環境学科 学生会員 根岸沙織  
中央大学 理工学部都市環境学科教授 工博 正会員 大下英吉

## 1. はじめに

著者ら<sup>1)2)3)4)5)</sup>はコンクリート構造物中の鉄筋を強制加熱し、コンクリート表面の温度変化を赤外線サーモグラフィで測定することにより、鉄筋の腐食状況を定量的に評価可能とする新たな非破壊検査システムの構築に着手している。既往の研究<sup>1)2)3)4)5)</sup>では、鉄筋が腐食したとしてもコンクリートに腐食ひび割れが生じない状態を想定したものであった。しかしながら、実構造物では鉄筋径、間隔、かぶり厚や鉄筋の腐食量によってはコンクリート表面に腐食ひび割れやコンクリートの剥離・剥落、錆汁といった現象が生じるため、これらの影響を加味した鉄筋腐食診断手法の適用性評価ならびに拡張を行う必要があった。

本研究では、コンクリートの腐食ひび割れの存在が鉄筋腐食診断手法の推定精度に及ぼす影響を評価することを目的として、各種の幅や間隔を有するひび割れ群がコンクリートの表面温度性状に及ぼす影響を明らかにするとともに、本手法の適用限界を明確にした。

## 2. コンクリート表面の温度性状に及ぼすひび割れ群の影響

### 2.1 実験概要

本実験では人工的に鉄筋コンクリート供試体にひび割れを導入させ、ひび割れの存在のみがコンクリート表面の温度性状に及ぼす影響について検討する。

まず、人工ひび割れについて説明する。電食方法により鉄筋を腐食させコンクリートに腐食ひび割れを発生させる場合、積算電流量を一定にしたとしても鉄筋の腐食率は場所によって異なるとともに、腐食ひび割れ幅も異なるため、一定の腐食率でひび割れ幅のみが異なる試験体の作製は不可能である。したがって、本実験では健全鉄筋を使用し人工ひび割れを発生させかぶり領域に人工的にひび割れを誘発

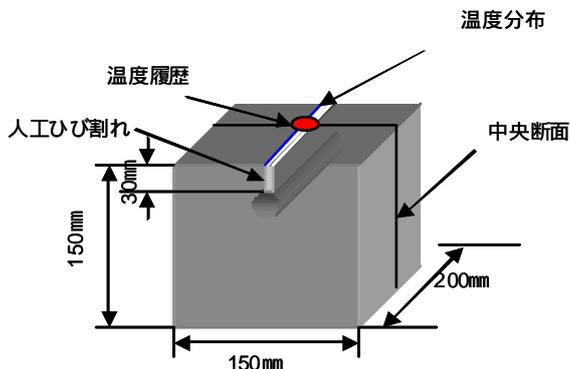


図 - 1 供試体図

表 - 1 実験条件

コイル負荷電力(kw)	加熱時間(s)	コイルから鉄筋表面までの距離(mm)	人工ひび割れ幅(mm)
1.0	90	43	ひび割れ無し
			0.5
			1.0
			1.5
			2.0
			3.0

させた。

供試体は、図 - 1 に示すように 150×150×200 mm の形状寸法であり、かぶり 30 mm の位置に D16 鉄筋を配置した。また、人工ひび割れは鉄筋に到達する程度の鉄板をかぶり領域に配置し、コンクリートを打設した後に取り除くことで作製した。ひび割れの位置は鉄筋中心から 5 mm ずらした場所とした。なお、ひび割れ幅は、表 - 1 に示すように 6 種類である。

コンクリート打設後、供試体を十分乾燥させた状態で電磁誘導コイルを用いて供試体内部の鉄筋を強制加熱させ、赤外線サーモグラフィによりコンクリート表面の温度を撮影した。その際、コイルの負荷電力、加熱時間およびコイルから鉄筋までの距離は表 - 1 に示すとおりである。コイルはかぶり 30 mm 面の鉄筋軸方向にコイルの中心が沿うよう設置した。

### 2.2 ひび割れ幅の影響評価

図 - 2 は鉄筋軸方向に直交する中央断面に位置す

キーワード：非破壊検査，電磁誘導，鉄筋腐食，腐食ひび割れ

住所：東京都文京区春日 1 - 13 - 27，電話：03 3817-1892，FAX：03-3817-180

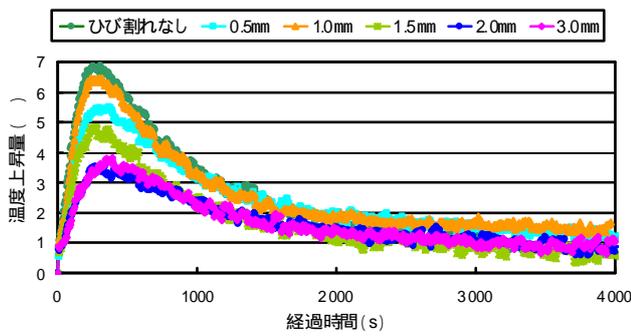


図 - 2 鉄筋中心の温度履歴

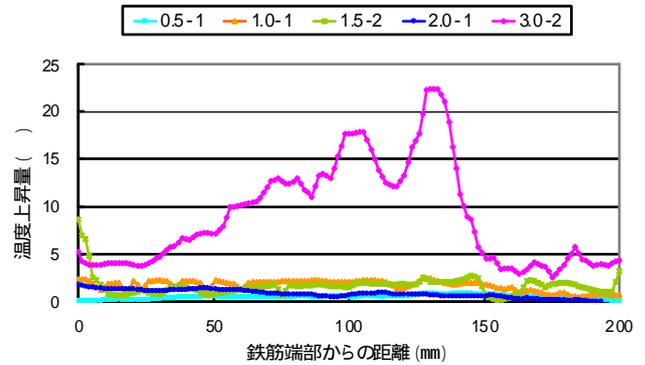


図 - 5 加熱停止直後のひび割れ上の温度分布

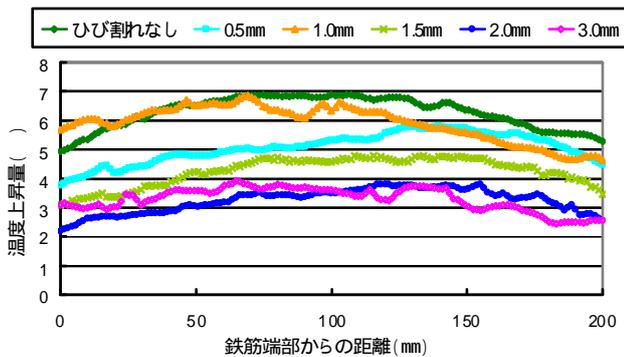


図 - 3 加熱停止後 300 秒の鉄筋軸上の温度分布

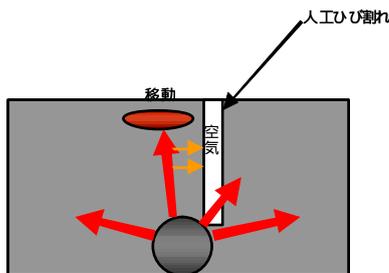


図 - 4 熱の移動の様子

る鉄筋中心直上のコンクリート表面における温度履歴を示している。最高温度までの温度上昇量は、ひび割れ無しが最も大きく、ひび割れ幅の増加に伴って小さくなっている。また、最高温度からの低下率は、ひび割れ幅が小さいほど大きくなっている。

鉄筋軸方向の温度分布に基づいてコンクリート表面温度に及ぼすひび割れ幅の影響を詳細に評価する。図 - 3 は鉄筋中心直上に位置する鉄筋軸方向におけるコンクリート表面温度分布を示しており、対象とした時間は加熱停止後 300 秒の時点である。上述した温度履歴性状はどの位置においても同一であり、コイルの形状寸法の制約から温度分布が均一となる領域は 50 mm ~ 150 mm であることがわかる。

このようなひび割れ幅による温度性状は、図 - 4

に示すように、鉄筋からコンクリート表面に向って拡散する熱の一部がひび割れ内部の空気に蓄積されコンクリート表面に伝わる熱が減少したことにあるものと考えられる。

一般に、物質の定積熱容量は下式のように物質の比熱と密度の積で表すことができる。すなわち、ひび割れ幅が大きいほどひび割れ内の空気の体積が増加するため、それに伴いより多くの熱容量を必要とする。したがって、コンクリート表面の温度上昇量が小さくなるといえる。

以上のことよりコンクリート表面の温度上昇量はひび割れの体積に依存し、体積が大きいほど温度上昇量は減少することとなる。

$$Q = \rho \times c$$

$Q$  : 定積熱容量 (  $J / m^3$  )  
 $\rho$  : 密度 (  $g / m^3$  )  
 $c$  : 比熱 (  $J / g$  )

図 - 5 は加熱停止直後のひび割れ上における鉄筋軸方向のコンクリート表面の温度分布を示している。ひび割れ幅 3.0 mm の温度上昇量は、他の幅の温度上昇量と比較して著しく大きい。これは、ひび割れ幅が大きいことにより、赤外線サーモグラフィの観測対象が、ひび割れ内部の鉄筋である可能性があり、本手法においては適用外となる。

### 2.3 ひび割れ本数の影響評価

ひび割れ 2 本の試験体は 図 - 6 に示すように前節の手法に基づいて 2 本の人工ひび割れを導入したものであり、条件は表 - 1 と同じである。

図 - 7 に鉄筋中心直上に位置する鉄筋軸方向におけるコンクリート表面の温度分布を示す。温度上昇量はひび割れ無しが最も大きく、ひび割れ本数の増加に伴い減少している。ひび割れ本数の増加はひび割れの総体積の増加である。したがって、2.2 節で述

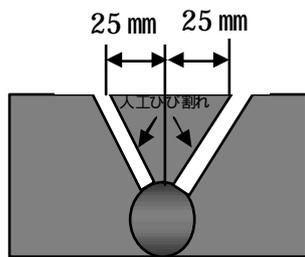
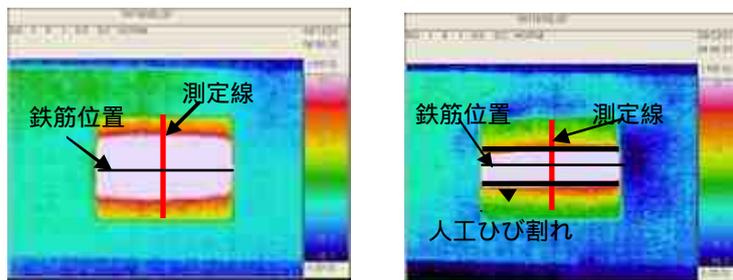


図 - 6 ひび割れ 2 本の形状



(a) ひび割れ無し (b) ひび割れ 2 本

図 - 8 加熱停止後 300 秒の熱画像

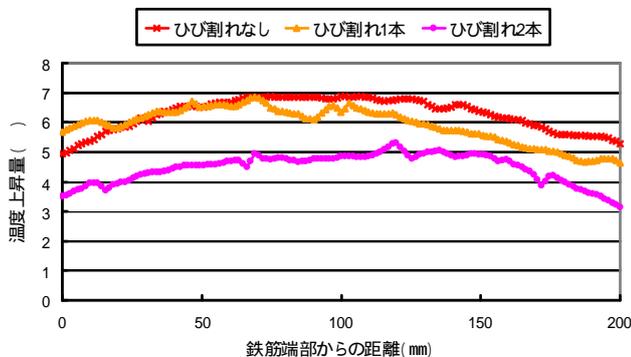


図 - 7 各ひび割れ本数の加熱停止後

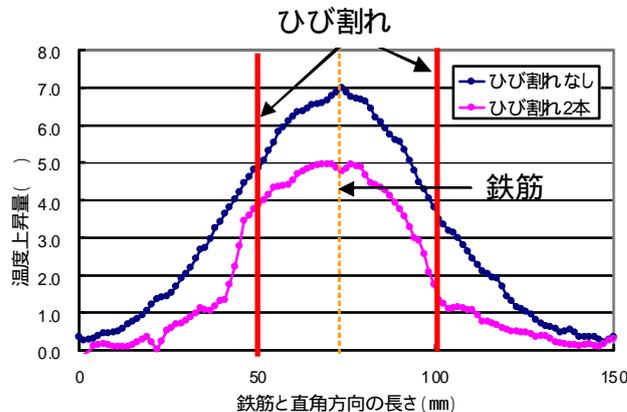


図 - 9 加熱停止後 300 秒の鉄筋と直角方向の温度上昇分布

べたように、コンクリート表面の温度上昇量はひび割れの体積に依存している。

図 - 8(a)にひび割れ無しの加熱停止後 300 秒の熱画像、同図(b)にひび割れ 2 本の加熱停止後 300 秒の熱画像を示す。熱画像中には鉄筋配筋の位置、熱画像処理の際の測定線を示してある。同図(a)の熱画像では鉄筋配筋位置を中心にコンクリート表面全体に熱が拡散していることがわかる。一方、同図(b)のひび割れ 2 本の熱画像においては、2本のひび割れ間のみ熱が拡散し、ひび割れ外部への拡散は微小である。このような性状に関してより深い考案を、ひび割れ無し、ひび割れ 2 本の供試体の中央断面における鉄筋軸直交長さの温度分布である図 - 9 に基づいて行うこととする。対象とした時間は加熱停止後 300 秒後の時点である。いずれも 75mm に鉄筋があり、ひび割れ 2 本の場合には 50mm と 100mm のコンクリート表面に向けひび割れが鉄筋から放射状に発生している。ひび割れ無しの場合、鉄筋位置の 75mm にかけて左右から温度が緩やかに上昇しているが、ひび割れ 2 本の場合ではひび割れが存在 50mm と 100mm 付近で温度が急激に上昇している。これは、ひび割れ内部の空気がひび割れ外部への熱の拡散を妨げたため、外部のコンクリート表面に熱が伝わっていないことを示している。

以上のことより、コンクリート表面の温度上昇量はひび割れの総体積に依存し、また、ひび割れによ

りひび割れ周囲への熱の拡散を妨げ、コンクリート表面の温度性状に影響を与えることがわかった。

### 3. 鉄筋腐食予測精度に及ぼすひび割れ性状の影響

本章では、コンクリート表面の温度性状に及ぼすひび割れおよび鉄筋腐食の影響について、鉄筋が腐食した状態でひび割れが存在する場合と存在しない場合との比較によって検討することとする。試験体作成法であるが、鉄筋が腐食した状態でひび割れが存在する試験体は図 - 1 のかぶり 30mm の位置に D 16 鉄筋を配置した試験体を電食させることにより、鉄筋腐食させるとともに腐食ひび割れを誘発させた。一方、鉄筋が腐食した状態でひび割れが存在しない試験体は上述した試験体から腐食鉄筋をはつり出し、所定の位置に配置した後にコンクリートを打設することにより作成した。なお、電磁誘導加熱法及びコンクリート表面の温度の測定方法は前章に同じとする。

図 - 10 に試験体の鉄筋軸方向に直交する中央断面に位置する鉄筋中心直上のコンクリート表面における温度履歴を示す。経過時間は電磁誘導加熱停止直後からの時間である。なお、図中の縦軸は初期温度からの温度上昇量であり、図中にはひび割れ幅有無

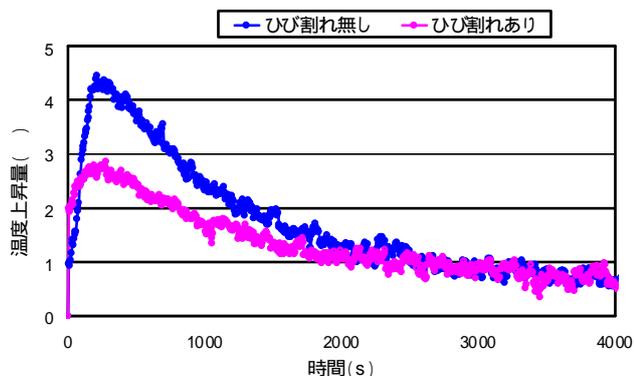


図 - 10 鉄筋中心の温度履歴

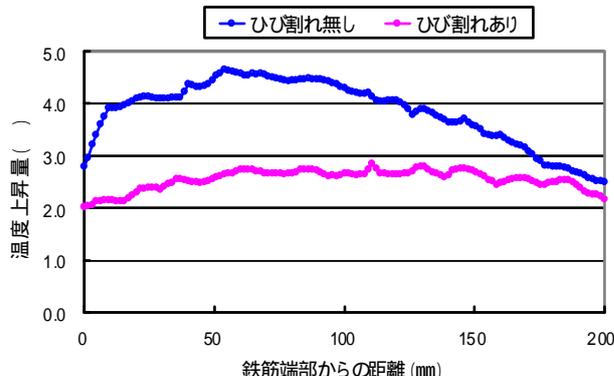


図 - 11 加熱停止 300 秒後の温度分布

の温度性状を示している。まず、最高温度までの温度上昇量は、ひび割れ無しがひび割れありと比較して大きくなっている。また、最高温度からの温度低下率は、ひび割れ幅が小さいほど大きくなっており、前章と同じ性状を示している。

鉄筋軸方向の温度分布に基づいてコンクリート表面温度に及ぼすひび割れ幅の影響を詳細に評価する。図 - 11 はコンクリート表面の温度分布を示しており、対象とした時間は加熱停止後 300 秒の時点である。鉄筋軸状の任意点においても、ひび割れが存在しない場合の温度上昇量は、ひび割れが存在する場合より大きい。これは前章に述べたように、ひび割れがコンクリート表面の温度性状に影響を及ぼしていることが腐食鉄筋を用いた供試体にも適用可能であるといえる。

鉄筋が腐食し、腐食ひび割れが存在する場合、ひび割れによってコンクリート表面の温度上昇量は減少するが、鉄筋の腐食率をコンクリート表面の温度性状で評価すると、鉄筋腐食精度において鉄筋の腐食率を実際より大きく評価することとなる。これは安全側の評価であるが、ひび割れ状況は目視で判断できるため、今後の課題として、ひび割れを加味した状態での鉄筋腐食率の評価手法の確立が必要である。

#### 4.まとめ

本研究ではひび割れがコンクリート表面の温度性状に及ぼす影響、鉄筋腐食予測制度に及ぼすひび割れ性状の評価をした。以下に本研究で得られた結果を示す。

( 1 ) ひび割れの有無はコンクリート表面の温度性状に影響を与え、その温度上昇量はひび割れがある場合はない場合と比べて小さい。

( 2 ) ひび割れがある場合、コンクリート表面の温度上昇はひび割れの総体積に依存し、総体積が大き

いほどコンクリート表面の温度上昇量は減少する。

( 3 ) ひび割れ幅 3.0 mmの以上では、ひび割れ上で温度分布を測定した場合、赤外線サーモグラフィの観測対象が、ひび割れ内部の鉄筋である可能性があり、本手法においては適用外となる。

( 4 ) 鉄筋が腐食し腐食ひび割れが存在する場合、コンクリート表面の温度上昇量で腐食率を判断すると、実際の腐食率より大きく評価してしまうが、安全側の評価である。

( 5 ) 鉄筋腐食の場合、腐食ひび割れを加味した状態での鉄筋腐食率の評価手法の確立が必要である。

#### 参考文献

- 1) 森宮奈緒子, 大下英吉: 鉄筋網に適用可能な電磁誘導コイルの改良と鉄筋腐食診断に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No. 1, pp.2029-2034, 2009
- 2) 堀江宏明, 宮口住久, 谷口修, 大下英吉: 電磁誘導加熱による熱画像処理に基づいたコンクリート内部の鉄筋腐食性状評価に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.2, pp.685-690, 2007
- 3) 大下英吉, 堀江宏明, 長坂慎吾, 谷口修, 吉川信二郎: 電磁誘導加熱によるコンクリート表面温度性状に基づいた RC 構造物の鉄筋腐食性状に関する非破壊検査手法, 土木学会論文集 E, Vol.65, No.1, pp.76-92, 2009
- 4) 堀江宏明, 尾崎勝成, 谷口修, 大下英吉: 熱画像処理に基づいたコンクリート内部の鉄筋網の鉄筋腐食性状評価に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No2, pp.685-690, 2007
- 5) 大下英吉, 長坂慎吾, 倉橋貴彦, 谷口修: コンクリート表面温度に基づく鉄筋腐食厚および腐食率の推定手法に冠する研究, 土木学会論文集 E, Vol.65, No.4, pp.442-458, 2009