

# 題目 鉄筋強制加熱による熱画像処理に基づいた補修効果の確認手法に関する研究

中央大学 理工学部土木工学科 学生会員 高澤健二郎  
 中央大学大学院 理工学研究科土木工学専攻 非会員 長坂慎吾  
 中央大学 理工学部土木工学科教授 工博 正会員 大下英吉

## 1. はじめに

近年、コンクリート構造物において耐久性や早期劣化が問題となっている。鉄筋の腐食やひび割れの発生、内部空隙などは劣化の進行を早めるだけでなく、かぶりコンクリートの剥落を誘発する要因にもなり、構造物の機能低下はもとより第三者への人為的被害を生じる恐れもある。

一般に、構造物を適切に維持管理するためには、劣化箇所に対して適切な補修を施し、耐久性能を設計時の状態に回復する必要がある。しかしながら、補修の際に十分に鉄筋腐食領域の除去がなされていない箇所や補修材の未充填箇所が存在する箇所、補修材とコンクリート母材との付着不良がある箇所は、補修後の構造物の耐久性に大きな影響を及ぼす要因となる。したがって、この種の補修部の施工にあたっては、補修材と構造物との付着性能を向上させるために、補修部位表面の脆弱部を除去し、適切な打継ぎ処理を行う必要がある。一方で、打継ぎ処理に問題がある箇所は、付着性状に影響を及ぼすことになり、対象構造物の耐久性にも影響を及ぼすことにもなる。このことはすなわち、劣化箇所の補修を行ったとしても、その効果の確認を実施することが不可欠であるとともに、その具体的手法の確立が急務であるわけである。

補修部位の施工時における現在の評価法として、超音波法やサーモグラフィ法による補修材の未充填箇所の評価手法は報告されているが、補修実施後の補修材とコンクリート母材との付着性状を確認する非破壊検査手法は確立されていない。そのため、特に補修材とコンクリート母材との付着性状を適切に評価する手法の確立は急務である。

非破壊検査手法の一つである赤外線サーモグラフィ法は、非接触でコンクリート内部の欠陥を視覚的に判断できる利点を有し、かつ一度に広範囲にわたる計測が可能である。著者らはこれらの利点を活用した新たな非破壊検査診断手法の構築(以下、本手法)に着手している<sup>1)</sup>。本手法は、鉄筋コンクリート構造物に配筋されている鉄筋網を通电加熱し、赤外線センサを用いてコンクリート表面の温度履歴および温度分布を測定することによって鉄筋腐食の評価や剥離・空洞、ひび割れなどの評価に関する手法である。

そこで本研究は、補修効果の確認手法の確立を目指すべく、補修箇所の表面処理方法の違いによる付着性状を補修材とコンクリート母材との付着強度により数量化するとともに、それらと鉄筋加熱後の補修部表面の温度分布や温度履歴の関連性に関する検討を行った。その結果を用いて、赤外線サーモグラフィを用いた新しい劣化診断手法の補修箇所における打継ぎ処理部の付着性状評

表-1 コンクリートの配合表

水セメント比 (%)	最大骨材寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	細骨材率 (%)
60	20	10	5.8	43
単位水量(kg/m <sup>3</sup> )				
水	セメント	細骨材	粗骨材	
154	256	866	1013	

表-2 モルタルの配合表

水セメント比 (%)	単位水量(kg/m <sup>3</sup> )		
	水	セメント	細骨材
45	323	719	1165

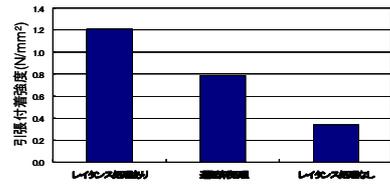


図-1 打継ぎ処理の異なる付着強度

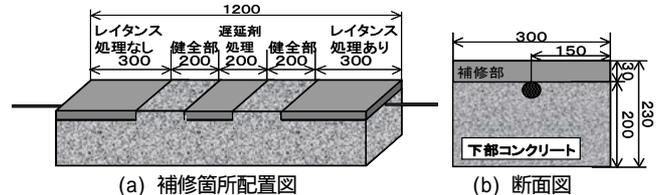


図-2 補修箇所の存在する供試体

価への適用可能性について検討を行った。

## 2. 付着強度特性の把握

### (1) 引張試験概要

引張試験は、中央に打継ぎ面を有する供試体(寸法: 50×50×100mm)とし、コンクリート打設から24時間後に打継ぎ処理を行い、7日間気中養生を施した。その後、コンクリートの上部に補修材として普通モルタルの打設を行った。打継ぎ面の処理はレイタンス除去処理を施したもの(以下、レイタンス処理あり)、レイタンス除去処理を施さなかったもの(以下、レイタンス処理なし)、コンクリート打設直後に表面に遅延剤を散布し、24時間気中養生後にワイヤブラシにて表面を3~5mm削り骨材を露出させたもの(以下、遅延剤処理)の3種類とした。なお、バラツキを考慮して1種類につき3本の供試体を作製した。コンクリートおよびモルタルの配合は、表-1および表-2に示す通りである。

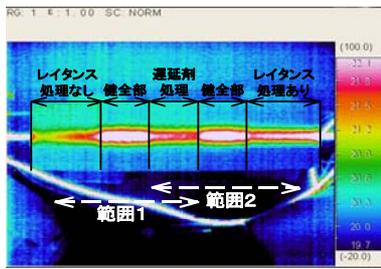
一軸引張荷重を鉛直に載荷することによりコンクリートとモルタルとの打継ぎ面における引張付着強度を測定した。

### (2) 打継ぎ面での付着性状

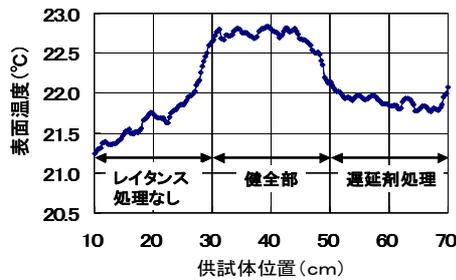
図-1に一軸引張荷重により得られた引張付着強度結果を示す。一軸引張荷重を載荷することでコンクリートとモルタルの打継ぎ面において破壊が生じた。同図より、打継ぎ処理の違いにより付着強度に明確な差異が確認でき、レイタンス処理なし、遅延剤処理、レイタンス処理ありの順に

キーワード: 非破壊検査, 鉄筋通电加熱, 打継ぎ処理, 付着性状

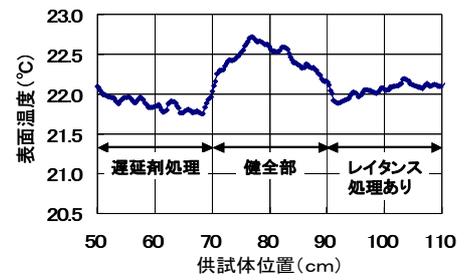
連絡先(〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部土木工学科 コンクリート研究室 TEL:03-3817-1892 FAX:03-3817-1803)



(a) 供試体全体の熱画像



(b) 範囲1における表面温度分布



(c) 範囲2における表面温度分布

図-3 鉄筋通電加熱停止から240秒後における供試体の熱画像および表面温度分布

付着強度が大きくなる結果となった。

### 3. 鉄筋通電加熱による赤外線センサ計測

#### 3.1 実験概要

##### (1) 鉄筋通電加熱による熱伝達

鉄筋に強制的に与えられた熱は、健全部のコンクリートでは鉄筋表面からコンクリート表面に向かって同心円状に伝達される。しかしながら、打継ぎ面がかぶり部分に存在する場合は、鉄筋の熱が打継ぎ面を介しコンクリート表面に伝達されるため、打継ぎ部の処理の差異はその熱伝達性状に影響を及ぼすものと考えられる。したがって、かぶり部分に存在する打ち継ぎ部の付着性状を評価するためには、経時的なコンクリート表面温度分布を計測することによって可能になるものと推測される。

そこで、本研究では、鉄筋通電加熱後からの健全部表面および補修部表面の熱画像および温度差により打継ぎ処理の違いによる付着性状を評価した。

##### (2) 供試体製作

図-2に示すように赤外線センサで測定するためのコンクリート供試体(寸法:1200×300×230mm)は、水平方向に打継ぎ処理が異なる箇所を設けたものである。鉄筋はかぶり厚さ30mmの位置に長さ1500mmのD16異形鉄筋を水平方向に1本配置した。供試体製作方法は、前章と同様とした。補修部の打継ぎ処理は、引張試験供試体と同様に3種類とし、コンクリートおよびモルタルの配合は引張試験と同様で、配合は表-1および表-2に示す通りである。

##### (3) 実験方法

供試体内部鉄筋の加熱方法は鉄筋の両端に低周波型交流電源装置を接続し、一定電流300Aを3分間通電し加熱を行った。コンクリート表面温度の計測は、通電開始直後から5秒間隔で90分間行った。供試体から赤外線センサまでの距離は300cmおよび150cmとした。なお、供試体両端から100mmまでの箇所においては、コンクリート表面温度に温度むらが生じるため本実験では、供試体両端から100mmを除いた1000mmの範囲で検討を行った。

### 3.2 通電加熱試験結果

#### (1) 供試体全体の熱画像

図-3(a)は、鉄筋通電加熱停止から240秒後の供試体全体の熱画像である。同図より、健全部表面および各補修部の表面温度に差異が生じており、レイトランス処理なし、遅延剤処理、レイトランス処理あり、健全部の順に高温領域の広がりが確認できる。さらに詳細な温度変化および温度分

布を計測するため、レイトランス処理なし・健全部・遅延剤(範囲1)のものと同様に遅延剤・健全部・レイトランス処理あり(範囲2)に分けて赤外線センサによる計測を行った。

#### (2) 範囲1における温度分布

図-3(b)は鉄筋通電加熱停止から240秒後の鉄筋直上の表面温度分布図である。健全部および各補修部の midpoint における表面温度差を比較すると、健全部表面温度は遅延剤処理の補修部表面に比べて約1度高くなっている。また、遅延剤処理の補修部表面はレイトランス処理なしの補修部表面に比べて約0.2高い結果となった。

#### (3) 範囲2における温度分布

図-3(c)は同図(b)と同様に、鉄筋通電加熱停止から240秒後の鉄筋直上の表面温度分布図である。健全部表面および各補修部表面の midpoint において表面温度差を比較すると、健全部表面温度はレイトランス処理ありの補修部表面温度に比べて約0.6高くしている。また、レイトランス処理ありの補修部表面温度は遅延剤処理の補修部表面温度に比べて約0.3高くしている。

### 3.3 付着強度性状が熱伝達性状に及ぼす影響

前節の結果より、レイトランス処理ありの補修部表面温度が最も高く、レイトランス処理なしの補修部表面温度が最も低くなった。したがって、付着強度性状に対応して補修部表面温度に差異が生じることが確認でき、本手法が付着強度性状に対して評価可能であることが確認できた。

## 4. まとめ

本研究は、著者が着手している新たな非破壊検査手法と同手法を補修箇所の打継ぎ処理部での付着性状を評価する手段として適用し、その有効性について議論を行った。

本研究から得られた結果を以下にまとめる。

- (1) 本手法をかぶり部分に打継ぎ部が存在する箇所に適用すると、補修部表面温度は健全部のコンクリート表面温度に比べ低くなった。したがって、打継ぎ部において鉄筋から伝達される熱を抑制することが確認された。
- (2) 本手法を打継ぎ処理の異なる補修部に適用すると、補修部表面温度は付着性状に対応して差異が生じる結果となった。したがって、打継ぎ部の付着性状はコンクリート表面温度から評価できるものとなった。

#### 参考文献

- 1) 茂木淳, 長坂慎吾, 谷口修, 大下英吉: 鉄筋強制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非破壊検査手法に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.26, No.1, pp1989-1994, 2004