

# アンカーボルトの定着性状評価に関する非破壊検査手法の研究

## Study on nondestructive inspection method for evaluation of anchoring performance of anchor bolt

18N3100021G 陳 韜 (コンクリート研究室)  
Tao CHEN/ Concrete Lab.

**Key Words :** anchor bolt, nondestructive, thermography

### 1. はじめに

トンネルの覆工や高架橋などにおけるコンクリート片の剥落は第三者被害をもたらす社会的な問題であり今後、大幅な急増が予想される。その代表事例が、平成24年12月に発生した中央自動車道上り線笹子トンネルにおける(図1)天井板の崩落事故である(図2)。この事故を機に、施設の経済効果や防災減災といった観点から、施設の老朽度合いや重要度合いに関係なく、全トンネル(約1万本)と延長2メートル以上の橋(約70万橋)で一律の点検内容・方法が義務付けられた。



図-1 中央自動車道上り線笹子トンネル

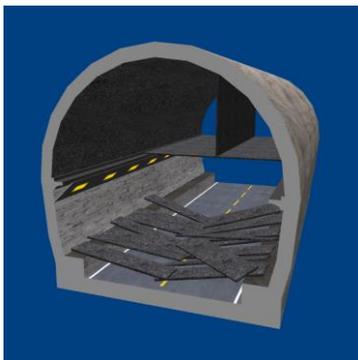


図-2 天井板が落下する事故

上述した天井板の崩落事故の原因となったアンカーボルトの定着性状評価の方法は近接目視を基本として、必要に応じて打音や触診などの非破壊検査を併用するものである。しかしながら現在のところ、アンカーボルトの定着性能、コンクリート片の剥離の有無を、より高精度に予測する点検手法は確立されていない。

本研究では、アンカーボルトの定着性能を非破壊かつ非接触で評価可能とする新たな手法の提案を行うとともに、その有用性を評価した。

### 2. システム概要

既往の研究であるRC構造物の劣化性状システムは、電磁誘導によりRC構造物内部の鉄筋を非破壊かつ非接触で強制加熱し、鉄筋からコンクリート表面に伝搬した熱を赤外線サーモグラフィで検知することで、各種劣化性状を診断するものである。

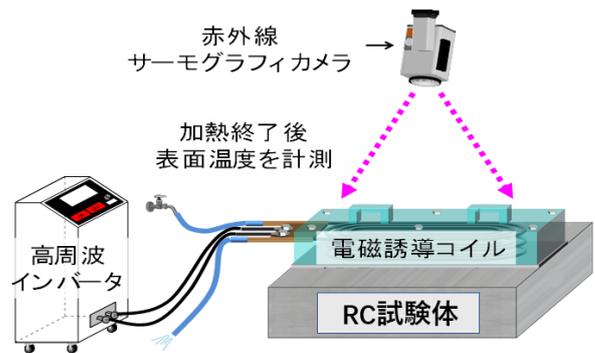


図-3 本システム適用方法

具体的手法は、図3に示すように電磁誘導コイルを高周波インバータに接続し、高周波電流をコイルに負荷することで交番磁界を発生させる。発生した交番磁界がRC構造物内部の鉄筋に接すると、鉄筋に渦電流が発生し鉄筋自体の抵抗により発熱する。そして、鉄筋とコンクリート表面の温度勾配に応じて鉄筋からコンクリート表面への熱拡散が発生し、鉄筋直上のコンクリート表面温度は鉄筋に供給した熱エネルギーに見合った温度上昇を生じることとなる。この際、鉄筋とコンクリートの付着劣化或いはかぶり領域に何らかの劣化要因が存在すると、その直上のコンクリート温度は存在しない領域に比べると低くなることになる。

本研究では、このような原理をアンカーボルト、コンクリートならびにアンカーボルトの付着劣化に起因する剥離空洞に適用することで、アンカーボルトの付着性能を評価するものである。

### 3. 実験概要

試験体の概要を図4に示す。試験体の形状寸法は20cm×20cm×20cmの直方体であり、コンクリート表面の中心位置にアンカーボルトを模擬した長さ11cmの鉄筋を10cmの埋込長で埋設した。実験パラメータは表1に示す。

鉄筋とコンクリートの付着劣化に関しては、鉄筋の周りに粘着テープを巻き付けることにより実施した。この際、劣化の程度はテープの巻き付け回数とし、図5に示すように劣化の程度が小、中、大をそれぞれ巻き付け回数1巻き3巻き6巻きとした。また、劣化箇所に関しては、図6に示すように全領域（全テープ）、鉄筋上層領域（上5cmテープ）、鉄筋下層領域（下5cmテープ）とした。

電磁誘導加熱は図7に示すようにコイルを試験体の直上に設置しコンクリート表面に0.8kw60sで非接触強制加熱する。

表-1 実験パラメータ

試験体名	テープ巻き数	テープ位置
N-0	0	×
E-1-Z	1	全部
E-1-U		上5cm
E-1-S		下5cm
E-3-Z	3	全部
E-3-S		上5cm
E-3-Z		下5cm
E-6-Z	6	全部
E-6-S		上5cm
E-6-Z		下5cm

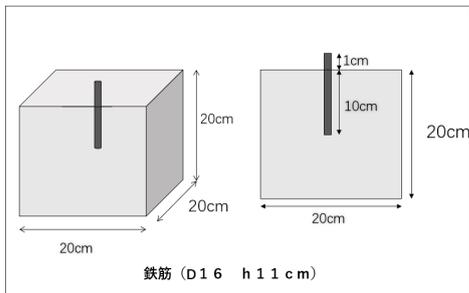


図-4 試験体概要



図-5 テープ巻き概要

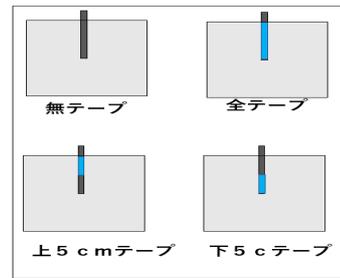


図-6 試験体概要

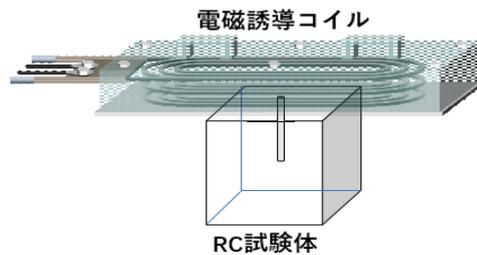


図-7 加熱方法

### 4. 実験結果

実験結果は図8、図9で示している。熱画像は図10に示す範囲で取る。そして実験結果は、それぞれテープの厚さとしてコンクリート表面温度の影響とテープの位置としてコンクリート表面温度の影響である。

#### (1) テープの位置

図8より、全テープ巻き試験体と上から5cmテープ巻き試験体が非接触加熱することで、中心の鉄筋の温度が高く、熱の拡散が遅くなり、保存量が多くなる。逆に、無テープ巻き試験体と下から5cmテープ巻き試験体が中心の鉄筋の温度が低く、熱の拡散が速いので、熱の保存量が少なくなることが分かった。図11より、全テープの温度が一番高いことが分かる。鉄筋の温度勾配を示したものが図12であり、全テープが一番急いで、無テープが緩やかである。すなわち、テープとコンクリート表面の距離が小さいと温度が高く、熱の拡散が遅く熱の保存量が多い。一方、テープとコンクリート表面の距離が大きいと温度が低く、熱の拡散が速く熱の保存量が少ない。

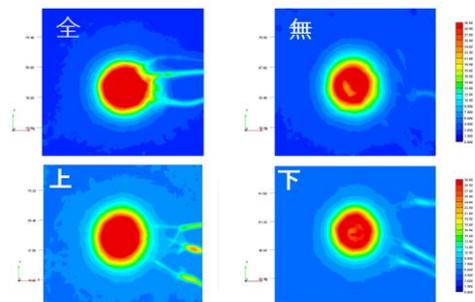


図-8 テープ位置

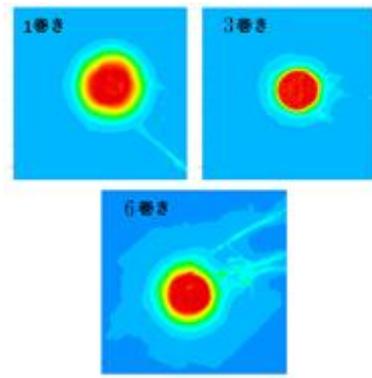


図-9 テープの厚さ  
範囲

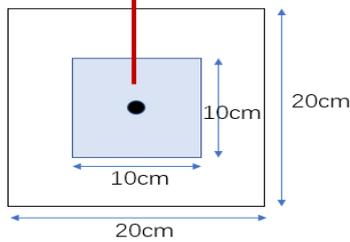


図-10 熱画像取る範囲

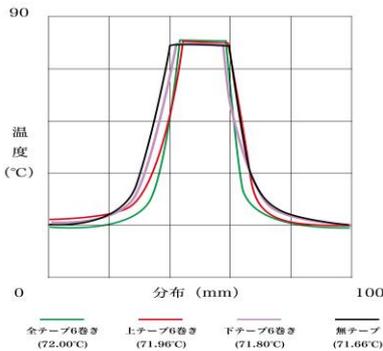


図-11 テープの位置として表面温度比較図

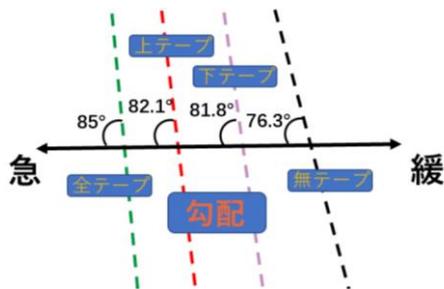


図-12 テープの位置としてコンクリート表面温度勾配図

(2) テープ厚さ

図9より、テープ1巻き試験体は非接触加熱することで、中心の鉄筋からの熱拡散面積が広く中心の鉄筋の温度が低い。テープ6巻き試験体の熱は中心の鉄筋から熱拡散面積が小さくて中心の温度が高いことが分かった。鉄筋の温度勾配を示したものが図13であり、6巻きが一番急いで、1巻きのは緩やかである。すなわち、テープが薄ければ温度拡散面積が大きく、中心の

温度が低くなる。一方テープが厚ければ温度拡散面積が小さく、中心の温度が高くなる (図14)。

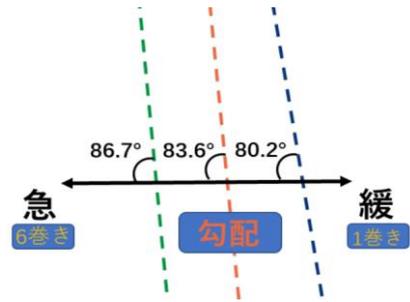


図-13 テープの厚さとしてコンクリート表面温度勾配図

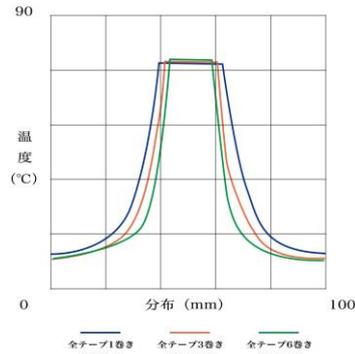


図-14 テープの厚さとして表面温度比較図

5. 電磁誘導解析

(1) 解析概要

前節の実験に対して解析を実施する。解析で使用したコンクリートと鉄筋の熱的物性値、初期温度、メッシュは表2に示す通りである。また、メッシュ図を図15に示す。コイルの電流値は98Aとし、周波数は $29 \times 10^3$ 、外気温は $20^\circ\text{C}$ とした。データ所得は時間ステップ3秒で、ステップ数は310とした。

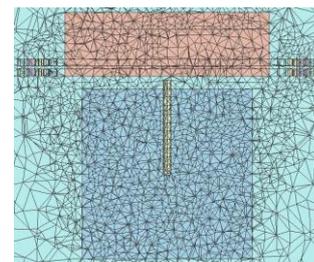


図-15 メッシュ図

表-2 解析設定

	比熱 [kJ/kg/deg]	熱伝導率 [W/m/deg]	初期温度 [°C]	メッシュ [mm]
コンクリート	1.05	1.6	19.5	10
鉄筋	0.45	80	19.7	4
テープ	1.01	0.03	19.7	2

(1) 解析結果

図17は、図16に示す鉄筋上面の温度履歴を示しており、加熱から5分の時点において、解析結果は実験結果と同

様である。テープとコンクリート表面の距離が小さい、及びテープが厚ければ（図18）、鉄筋の温度が高く、熱の拡散が遅く保存量が多いことが分かった。

図19は、図16に示す鉄筋の露出部からコンクリート表面5cmの位置温度履歴を示しており、加熱から5分の時点において、テープとコンクリート表面の距離が小さい、及びテープが厚ければ（図20）、熱の拡散が遅く、保存量が多いので、コンクリートの温度が低いことが分かった。

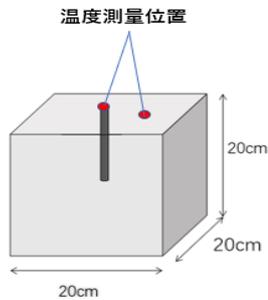


図-16 解析温度測定位置

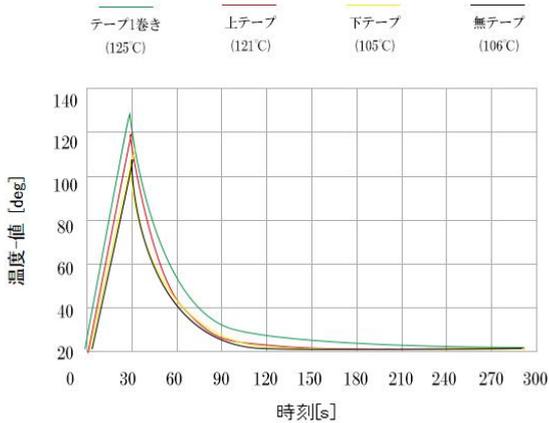


図-17 テープの位置より鉄筋温度履歴

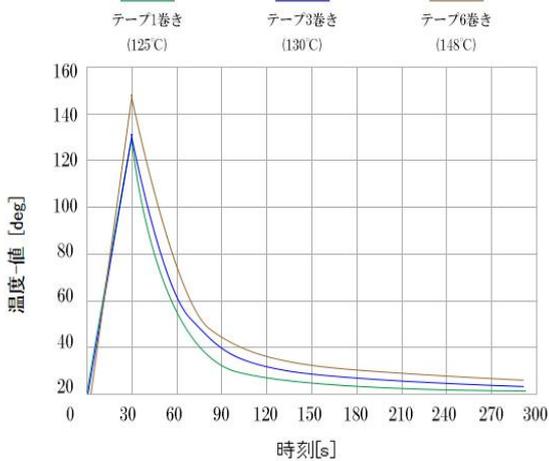


図-18 テープの厚さより鉄筋温度履歴

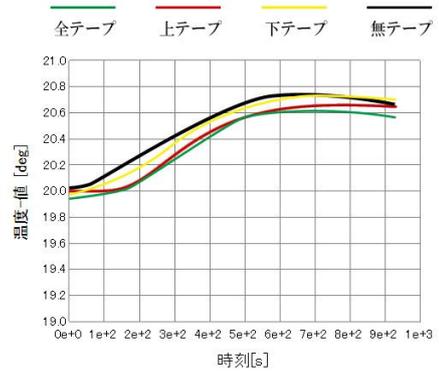


図-19 テープの位置よりコンクリート温度履歴

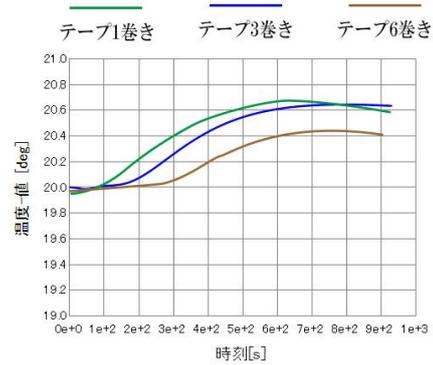


図-20 テープの厚さよりコンクリート温度履歴

## 6. まとめ・今後の課題

- (1) コンクリート表面温度性状から、アンカーボルトの定着性状を評価できると考えられる。
- (2) 任意のテープの厚さであっても、温度拡散からアンカーボルトの定着性状を評価することを可能とした。

### 参考文献

- 1) 曹一鳴、大下英吉、林 詳悟、福岡 養祐：電磁誘導によるPC構造物におけるグラウト充填性状評価システムに及ぼす鉄筋格子の影響に関する研究。日本コンクリート工学会 2019年次論文集
- 2) 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, 2009.2
- 3) 谷口修、重松文治、堀江宏明、大下英吉：電磁誘導加熱を利用したコンクリート表面の温度性状に基づくRC構造物の空洞検出システムの開発に関する研究、土木学会論文集E, Vol.64, No.1, pp.173-185,