

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実用化に向けた研究

中央大学 学生会員 ○市川 妃奈子
中央大学 学生会員 東田 梨穂
中央大学 正会員 大下 英吉

1. はじめに

コンクリート構造物におけるコンクリート片の剥落は、第三者被害をももたらす社会的問題である。その代表的事例である、平成24年の山梨県中央自動車道笹子トンネルにおける天井板の崩落事故では、事故の原因は天井板を固定するアンカーボルトの腐食や固着剤内部の空隙などによるボルトの脱落であると報告されている。

現在のアンカーボルトの定着性状に関する検査方法は主に打音検査や目視検査であるが、いずれも検査員の技量に依存する方法であり定量的な評価は難しい。一方、著者らはRC構造物の劣化性状評価システムをコンクリートに埋設されたアンカーボルトに適用することで定着性状を定量的に評価する手法を提案している。

本研究ではアンカーボルトの定着性状評価手法の実用化に向けた評価システムの拡張を行う。

2. 既往の劣化診断システム

本章ではアンカーボルトの定着性状評価システムの概要および現状の問題点について論じる。

(1) システムの概要

アンカーボルトの定着劣化性状の評価システムは、電磁誘導加熱によって蓄熱されるアンカーボルト周囲の温度性状により評価する手法である。アンカーボルト周囲に発生する腐食生成物すなわち空隙は熱伝導率が低いため、断熱効果を有する。このような断熱的性質は図-1に示すようにアンカーボルトからコンクリートへの熱拡散を抑制し、劣化が生じていない状態と比べるとアンカーボルトは高温となるのである。

しかしながら、電磁誘導により形成される磁束密度は、図-2に示すようにコイルとアンカーボルトとの距離の2乗の逆数に比例するため、ボルトの露出領域はコンクリートへの埋設領域に比べ非常に高温となる。このような温度性状は上述したアンカーボルトが劣化した状態と同一であり、腐食生成物の断熱作用によるものであるかの判断が困難となる。したがって、このような問題に対するシステムの改善が求められていた。そこで、既往の研究¹⁾では図-3に示すようにアンカーボルトを中心として2つのコイルを対称に設置するとともに、互いに逆向きの電流を負荷するようなシステムへの改良が行われた。このシステムでは、露出領域に生じる磁束密度を低減させ、過度な加熱を抑制することが可能となった。

(2) システムの問題点

アンカーボルト上部の過度な加熱を抑制するためには、上述した2つのコイルの設置が得策である。しかしながら、実際のアンカーボルトの施工環境は狭小な

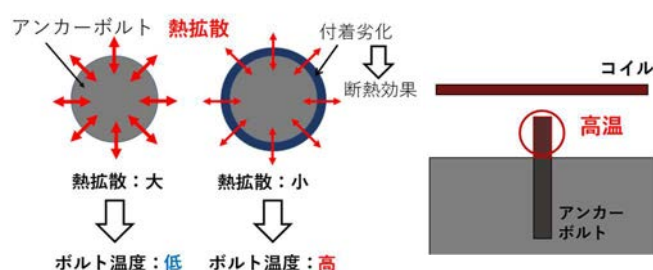


図-1 付着劣化による熱拡散性状

図-2 システムの問題点

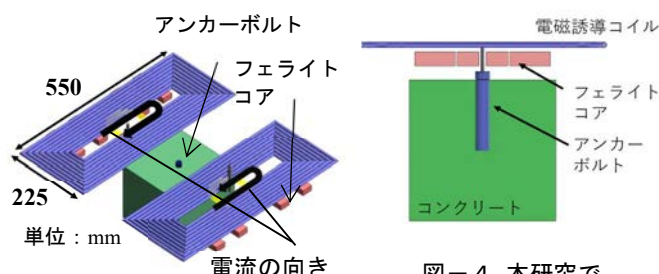


図-3 既往の診断システム

図-4 本研究で検討するモデル

場所も多く、既往の研究で提案されたシステムの運用は現実的ではない。したがって、アンカーボルトを均一に加熱する手法および狭小領域にも適用可能なシステムへの拡張が要求される。本研究では、新たな加熱の均一化手法の検討とともに専有面積を削減した劣化性状評価システムの構築を行う。

3. 電磁誘導解析を用いた拡張システムの検討

本章では、前章で要求される条件を満足するシステムを解析的に検討することとする。

3.1 システム条件

本研究において対象としたアンカーは接着系アンカーであり、アンカーボルト定着領域に厚さ2mmのエポキシ樹脂層を設置した。前述した問題点を加味し、電磁誘導加熱装置は図-4に示す正方形の平板コイル1つを用いて検討することとする。コイル形状は225mm×225mmの平板状であり、銅パイプの巻き数は14である。さらに、既往のシステムと同様にアンカーボルト全体の加熱を促進させるフェライトコアをコイル下部に8つ設置した。

3.2 加熱の均一化手法

加熱むらの抑制手段として、磁場の発生を制御可能である銅板を用いることとする。銅製材料は比透磁率が低いため、電磁誘導において磁場を弱める効果を有する。したがって、本研究ではアンカーボルト露出部

キーワード アンカーボルト, 電磁誘導, 非破壊検査, 赤外線サーモグラフィ

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 コンクリート研究室 E-mail: a19.j438@g.chuo-u.ac.jp

表-1 解析パラメータ

	密度 [kg/m ³]	比熱 [J/kg/°C]	熱伝導率 [W/m/°C]
コンクリート	2300	1050	1.60
空気	1.2	1010	0.03
アンカーボルト	7850	470	51.30
エポキシ樹脂	1800	795	0.21

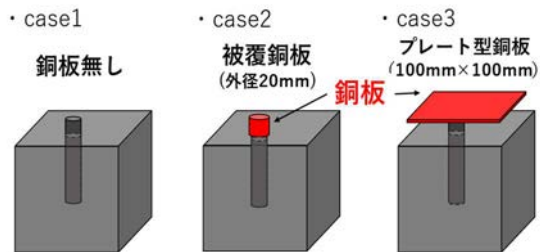


図-5 解析モデル

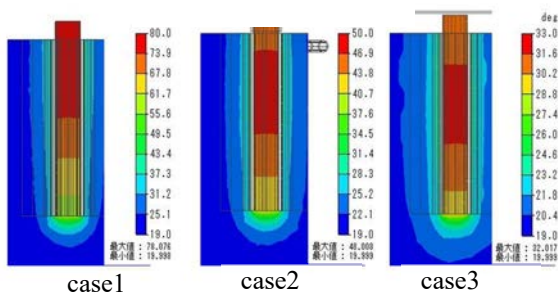


図-6 加熱 300 秒時のコンター図

を銅製材料で覆うことにより、その領域の加熱を抑制する。

3.3 電磁誘導解析

(1) 解析概要

解析に用いた各材料の物性値を表-1に示す。解析モデルは図-5に示すように、銅板を設置していないもの (case1)、鉄筋の露出部に銅板を被せたもの (case2)、鉄筋の直上に 100mm×100mm×1mm のプレート型銅板を設置したもの (case3) の3ケースとした。コイルの電流値は 140A、周波数は 10kHz である。また、各材料の初期温度および外気温はいずれも 20°C に設定し、加熱時間は 300 秒とした。

(2) 解析結果

解析により得られた 300 秒加熱時のアンカーボルト断面の温度コンターを図-6に示す。case1 では、露出部において最も温度が高く、埋設部にかけて温度が低い傾向にある。しかし、case2、case3 では、埋設部において最も温度が高くなっており、case1 に比べ均一に加熱されていることがわかる。これらの結果より、アンカーボルト上部の過度な加熱の低減には、銅板の設置は有効であることが確認できる。さらに、図-6より case2 と case3 を比べると、case3 は case2 より加熱むらが抑制されていることがわかる。以上のことから、被覆面積の大きい銅板を用いるほど加熱むらを抑制させるとともに、温度上昇量も低減させることがわかる。

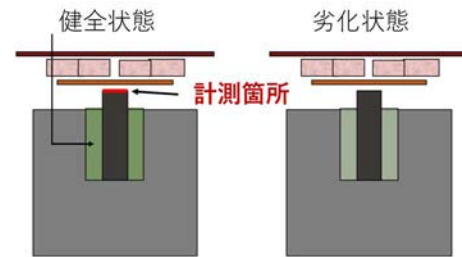


図-7 劣化診断検証モデル

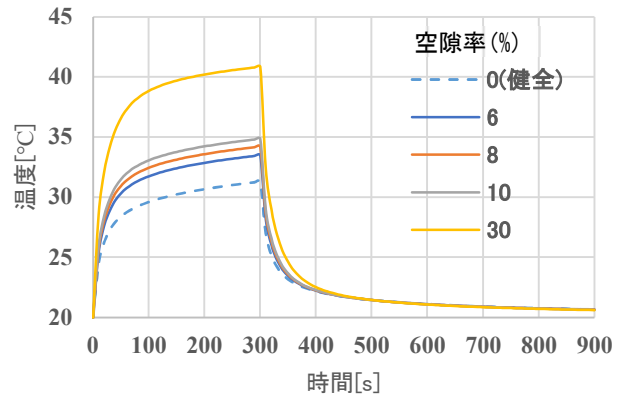


図-8 アンカーボルト上面温度履歴

4. 電磁誘導解析に基づく劣化診断の検証

case3 の劣化診断システムを用いて、図-7に示すように健全状態と空隙が存在する状態に対する解析的評価を実施し、拡張システムの有用性を評価する。本解析では、アンカーボルト周囲の固着剤部の空隙率が 0% の健全状態に加えて、6、8、10、30% の劣化状態を設定し、劣化検証を行う。コイルの電流値や加熱時間等の解析条件は、3章と同一とした。アンカーボルトを 300 秒電磁誘導加熱し、600 秒放置した 900 秒間のアンカーボルト上面の温度経過を解析的に算出した。

図-8は各空隙率のアンカーボルト上面の温度履歴を示したものである。電磁誘導加熱 300 秒時点に着目すると、空隙を有する状態では健全状態に比べると最高温度は 2~10°C 高いことが確認できる。また、空隙率が高いほど温度上昇が顕著であることがわかる。

5. 結論

以下に本研究で得られた結果を示す。

- 1) 電磁誘導加熱において、銅板をコイルとアンカーボルトの間に設置することによりアンカーボルトを均一に加熱可能となる。
- 2) 設置する銅板において、アンカーボルトの被覆面積が広いほど、加熱むらを低減させるとともに、温度上昇量も減少させることとなる。
- 3) 100mm×100mm×1mm の銅板を設置した定着性状診断システムでは、本研究の実施範囲内で設定した全ての空隙率に対して適用可能である。

参考文献

- 1) 東田梨穂, 大下英吉: アンカーボルトを模擬した鉄筋の定着性状評価に関する非破壊検査手法の基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.44, No.1, pp.1270-1275, 2022