

アンカーボルトの定着劣化に関する非破壊検査手法に関する研究

中央大学 学生会員 ○東田 梨穂

中央大学 学生会員 市川 妃奈子

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いて、付帯施設の躯体への定着には一般に、アンカーボルトが用いられる。アンカーボルトは構造部材や装置をコンクリートの土台に固定するための部品であり、設備の転倒防止や地震対策に有効である。アンカーボルトの定着性状評価の方法は、目視検査やハンマーを使用した打音検査が基本となる。しかし、目視検査では外側のみしか確認できず、打音検査では検査員の経験に頼ることとなり、定量的な評価が行えない。

既往の研究¹⁾では、図-1に示す長方形コイルを用いてアンカーボルトの付着性状を評価可能とするシステム（以下、本システムと称す）の構築を行った。具体的な手法は、電磁誘導によってアンカーボルト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上表面へと拡散する熱を赤外線サーモグラフィによって計測することで得られたコンクリート上表面の温度性状から定着性状を検知するものである。

既往の研究では、腐食した状態にあるアンカーボルトに対して、鉄筋周囲にテープを巻くことで模擬した状態で実験結果と解析結果の比較検討により、解析手法の適用性を確認した。

本研究では、アンカーボルトの定着に用いる固着剤劣化により生じる内部の亀裂およびアンカー筋の腐食を模擬し電磁誘導解析を行い、劣化の検出と本手法の適用限界を明らかにした。

2. 亀裂分散化による等価熱物性評価

図-1に示す電磁誘導コイルを用いてアンカーボルト定着領域の付着劣化を想定して電磁誘導解析を行った。本研究では径16mmのアンカーボルトを用いた接着系あと施工アンカーを模擬した。

アンカーボルトの定着劣化はそれ自体の腐食およびその周囲の固着剤劣化による複数の亀裂である。この複数の亀裂を忠実にモデル化することは、亀裂の大きさや発生箇所によらつきがあるため困難であるとともに効率的ではない。そこで、図-2に示すように、固着剤内部に離散的に発生した亀裂と同体積の空洞が固着剤内部に一様に分散した状態であるものと仮定した。本研究では式(1)に示す既存の分散系熱伝導率により亀裂が存在する固着剤の特性を表現することとした。

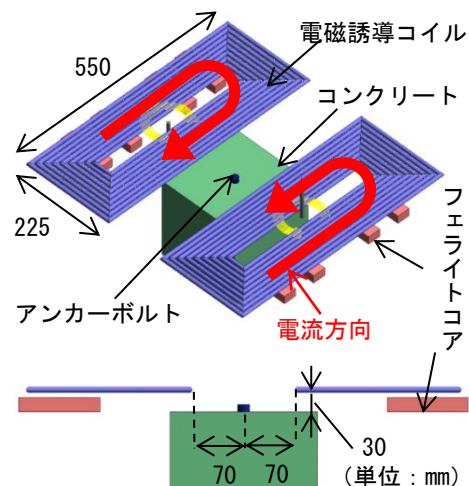


図-1 最適システムによるコイルモデル

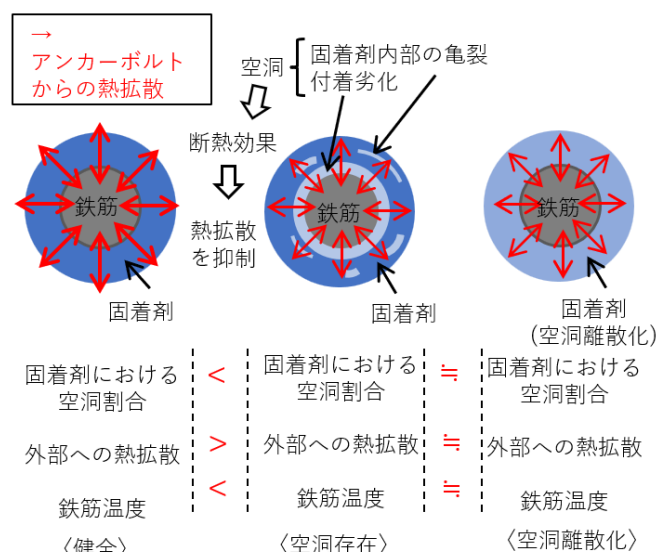


図-2 等価熱物性モデル

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda_{epo} \cdot \lambda_{po}}{\varphi \lambda_{epo} + (1 - \varphi) \lambda_{po}} \quad (1)$$

ここで、 λ_{epo} は健全なエポキシ樹脂（以下、エポキシとする）、 λ_{po} は空洞、 $\bar{\lambda}$ は空洞が分散化されたエポキシの熱伝導率を示し、 φ はエポキシに対する空洞の体積割合を示す。

2.1 電磁誘導解析

解析で使用したコンクリート、アンカーボルト（鉄筋）、エポキシの熱物性値と初期温度を表-1に示す。コイルに付加する電流値は440A、周波数は29kHz、外気温は20℃、加熱時間は300秒である。な

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: a18.my6j@g.chuo-u.ac.jp

表－１ 解析条件

	比熱 [J/kg℃]	熱伝導率 [W/m℃]	初期温度 [℃]
コンクリート	1050	1.6	20
アンカーボルト	450	80	20
エポキシ	795	0.209	20

表－２ 分散系熱伝導率

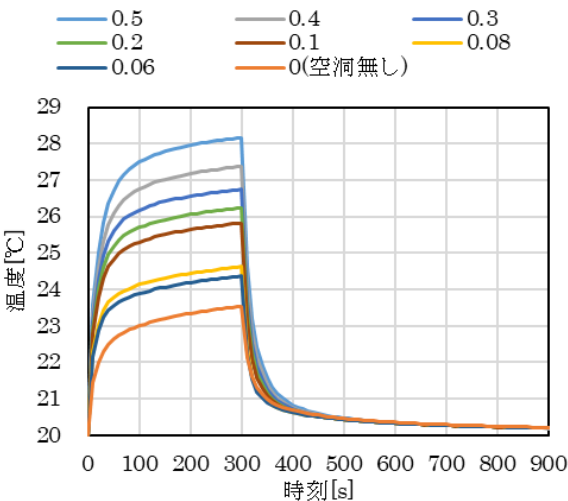
空洞割合 ϕ	分散化熱伝導率 $\bar{\lambda}$ [W/m℃]
0(空洞無し)	0.209
0.06	0.146
0.08	0.133
0.1	0.122
0.2	0.086
0.3	0.067
0.4	0.054
0.5	0.046

お、本研究で設定した空洞割合におけるエポキシの分散系熱伝導率を表－２に示しておく。

本システムを実構造物に適用する際、温度計測には赤外線サーモグラフィカメラを用いる。本システムによる劣化診断に際し、限界閾値を設定しなければならない。長田等²⁾は、赤外線サーモグラフィを用いた空洞診断を行う際の限界閾値に関する研究を実施し、その値が 0.5℃であれば判別性に十分な信頼があるとしている。しかし、赤外線サーモグラフィ本体の性能および周囲の気温や湿度といった環境条件、測定箇所における日射の有無により測定可能な温度差は変化する。そこで、本システムでは、前述の環境条件等を考慮し、赤外線サーモグラフィカメラが見分けることが出来る温度差に余裕をもたせ、健全なアンカーボルト上面温度との差が 1℃以下を適用限界とした。

アンカーボルト上面における加熱後 600 秒までの温度履歴を図－３に示す。また、表－３はアンカーボルト上面の最高温度および空洞無しに対する各空洞割合における温度増加率を示している。

図－３より、エポキシ内部の空洞体積割合が小さいほど温度上昇が少ないことがわかる。また、表－３より、エポキシの空洞体積割合が 0.06 において、健全なエポキシを用いたアンカーボルト上面との温度差が 0.83℃となり、本研究で設定した限界閾値である 1℃以下となり、本システムの適用限界となることがわかった。また、温度増加率は、空洞割合に対して線形関係ではないことがわかる。



図－３ 解析結果

表－３ アンカーボルト上面温度

空洞割合 ϕ	上部温度	温度増加率
0(空洞無し)	23.54℃	0
0.06	24.37℃	3.5%
0.08	24.62℃	4.6%
0.1	24.86℃	5.6%
0.2	25.98℃	10.4%
0.3	26.93℃	14.4%
0.4	27.83℃	18.2%
0.5	28.17℃	19.7%

3. 結論

本研究は、既往の研究における最適システムを用いてアンカー筋の腐食および固着剤劣化により発生する固着剤内部の複数の亀裂を、アンカーボルトの定着に用いる固着剤領域に一樣に分散化させることで劣化性状を模擬し、アンカーボルト上面の温度性状から定着性状を評価した。

本研究の範囲内においては、本システムの適用限界の温度差を 1℃としたとき、固着剤の体積に対する空洞の体積割合が 0.08 程度まで、評価可能であることがわかった。

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劣化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

2) 長田文博, 山田裕一, 虫明成生, 赤松幸生：熱画像による鉄道高架橋コンクリートの空洞診断手法の開発, 土木学会論文集 No.760/V-63, pp.121-133, 2004.5