

1. 目的

アンカーボルトは、様々な附属物をコンクリートに固定するために用いられ、コンクリート中に埋め込まれて使用されるが、長時間の使用の中で雨水の浸入などにより腐食が生じる場合がある。アンカーボルトの腐食についてはこれまであまり事例が報告されてはいないが、高速道路において鋼製支柱本体や灯具取付部などの支柱基部のアンカーボルトにおいて腐食の事例が示されており、潜在的に多くのアンカーボルトに腐食が発生している可能性があると考えられる（図-1）。

以上の背景に対し、本研究では極低周波帯域の交流磁場に高感度磁気センサを適用し、アンカーボルトの腐食の存在を簡便に検出することのできる非破壊評価技術に関する基礎的研究を行うことを目的とした。



図-1 腐食事例

2. 評価手法

本研究では、1～1000Hzの周波数を用い、丸鋼の一部に腐食による断面欠損を模擬した試験体を作製するとともに、塩水により腐食促進した試験体を作製し、腐食の有無や、腐食位置が検出できる可能性の検証を試みた。また、腐食部の位置と検出信号との間にどのような関係が得られるのかを明らかにした。具体的には、磁気測定における励磁コイル、磁気センサの効率的な配置を検討した。また、微小な信号の変化を高感度に検出できる位相検波と磁気スペクトルを適用し、腐食の有無や、腐食位置が検出できる可能性を実験的に評価した。

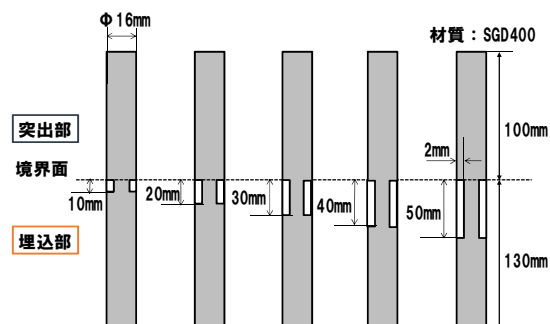


図-2 試験体

3. 実験概要

3.1 試験体概要

図-2 に試験体の外観を示す。試験体は棒状の鋼材として SGD400 の丸鋼を適用し、旋盤による外周切削加工によって断面欠損を模擬した。丸鋼の寸法は $\phi 16\text{mm}$ 、全長 230mm（埋込長 130mm、突出長 100mm）である。切削加工は切削厚を 2.0mm、切削位置は鋼棒端部から 100mm（突出部と埋込部の境界部分）を開始位置 0 として切削長を 10mm ずつ増やし 50mm までの配置とした。また、健全な状態を参照するための試験体として、切

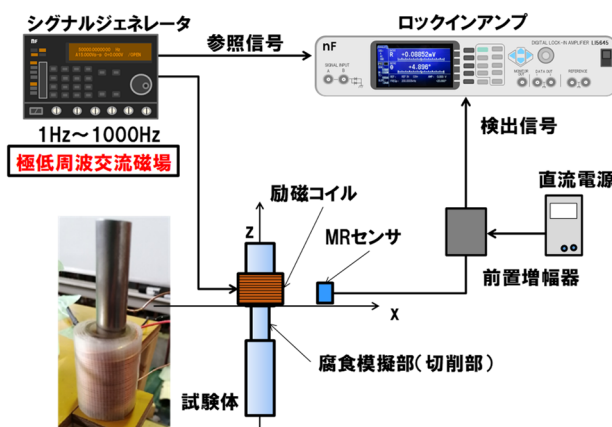


図-3 計測システム図

キーワード MR センサ, アンカーボルト, 腐食, 断面欠損, 磁気スペクトル

発表 (1) 上杉潤矢, 服部晋一, 寺澤広基, 鎌田敏郎, 塚田啓二: 高感度磁気センサを用いた低周波交流磁場応答の位相検波によるコンクリート中アンカーボルトの腐食検出に関する基礎的研究, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, Vol.21, pp. 343-348, 2021-10.

削加工を施していないものを使用した。

3.2 実験システムと計測概要

実験で使用した励磁コイルの巻数は 150 ターン、直径 $\phi 18\text{mm}$ の空芯コイルであり、センサは MR（磁気抵抗効果）センサを使用した。中央の開口部をアンカーボルト頭部より貫通させ設置した。これにより、アンカーボルトに効率よく磁場を入力し、腐食部の検出を感度高く行うことを可能とした。励磁コイルにはシグナルジェネレータより正弦交流電流を印加し、同一の信号をロックインアンプにも参照信号として入力した。MR センサからの検出信号は前置アンプで信号を増幅の上、ロックインアンプに入力した。また、MR センサを試験体と垂直な平面内に設置し、リニアスケールにて試験体からの距離を計測した。計測システムの構成を図-3 に示す。

4. 実験結果

センサ位置をアンカーボルトから 20mm の位置に固定した状態で z 方向の MR センサの出力を 1 ～ 1000Hz まで計測した。参照信号の同相成分を横軸 (Re) に、直交成分を縦軸 (Im) にプロットし磁気スペクトルを求めた結果を図-4 に示す。この図より腐食なし（健全）の試験体に対し、断面欠損を有する試験体の磁気スペクトルは異なる軌跡を示すことがわかった。また、この違いは低周波において顕著に表れることが確認された。このため、MR センサの出力値の振幅に着目し周波数との関係をプロットした（図-5）。これにより、極低周波において腐食を模擬した試験体の振幅値 R は、欠損長さが大きくなるにつれて健全な試験体との差が大きくなることがわかった。さらに、それぞれの試験体において高周波（1000Hz）の振幅値 ($R_{1000\text{Hz}}$) と低周波（1Hz）の振幅値 ($R_{1\text{Hz}}$) の差 ΔR を算出することにより、振幅値の差 ΔR は、欠損の長さが短い初期段階の方が大きい値が得られることがわかった（図-6）。

以上より、極低周波(1Hz)～高周波(1000Hz)の振幅 R 、および振幅値の変化 ΔR より腐食範囲を評価できる可能性があることが示唆された。

5. おわりに

極低周波帯域の交流磁場に高感度磁気センサを適用し、アンカーボルトの腐食の存在を簡便に検出することのできる非破壊評価技術を開発中である。これまで、磁気スペクトルに着目することで、アンカーボルトの腐食評価を行える可能性があることを明らかにした。現在、腐食を促進した試験体で評価を継続中である。

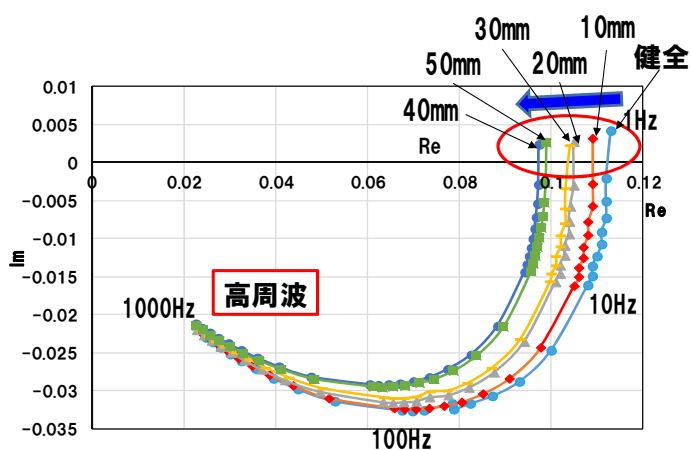


図-4 実験結果（欠損長さ-磁気スペクトル）

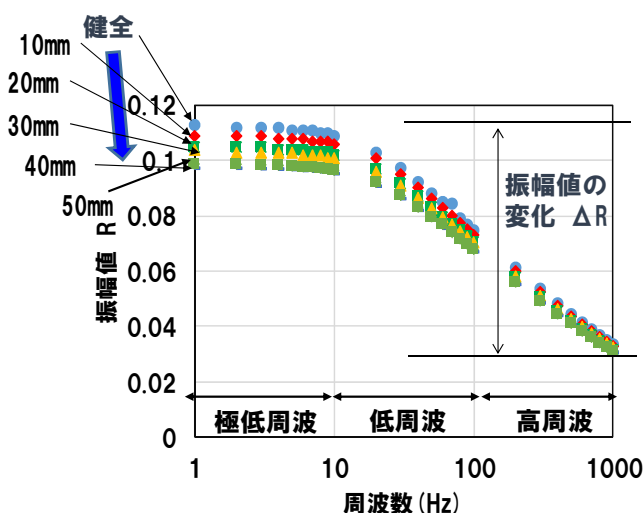


図-5 実験結果（周波数-振幅値）

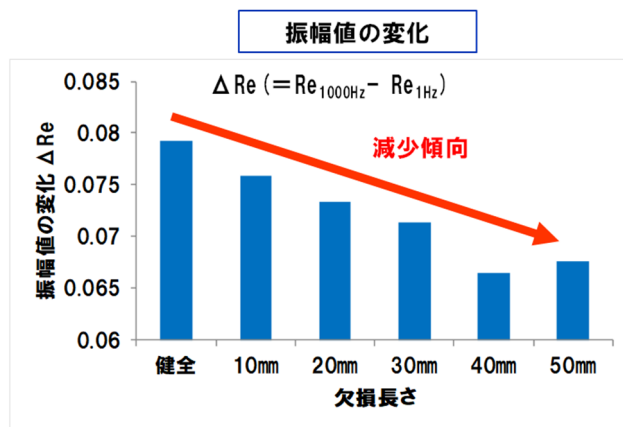


図-6 実験結果（欠損長さ-振幅値の変化）