

鋼材の渦電流試験におけるローレンツ力の影響

日大生産工(院) ○田村 寛治 日大生産工 小井戸 純司
日大生産工 日比野 俊 日大生産工 加藤 修平

1 まえがき

管、棒、板などの鋼材の割れや穴などのきずを非破壊検査的に検出することに渦電流試験が用いられるが、その際は磁気ノイズを軽減するために直流磁気飽和を併用する必要がある。ところが、直流磁気を掛けた状態で渦電流を誘導すると、渦電流にローレンツ力が働くため、渦電流分布が変化する。したがって、たとえば、きずの検出感度などに影響する可能性がある¹⁾。そこで、本研究ではローレンツ力が渦電流試験に与える影響を検討した。

2 原理

Fig.1にローレンツ力の原理と本研究に用いたタンジェンシャルコイルを示す。荷電粒子が磁場中を運動すると力を受ける。これをローレンツ力という。式(1)に示すように、ローレンツ力による力 $\mathbf{F}$ は渦電流 $\mathbf{J}$ と磁束密度 $\mathbf{B}$ の積で求まる²⁾。そして、大きさは式(2)に示すとおりである。

$$\mathbf{F} = \mathbf{J} \times \mathbf{B} \quad (1)$$

$$|\mathbf{F}| = |\mathbf{J} \times \mathbf{B}| = JB \sin \theta \quad (2)$$

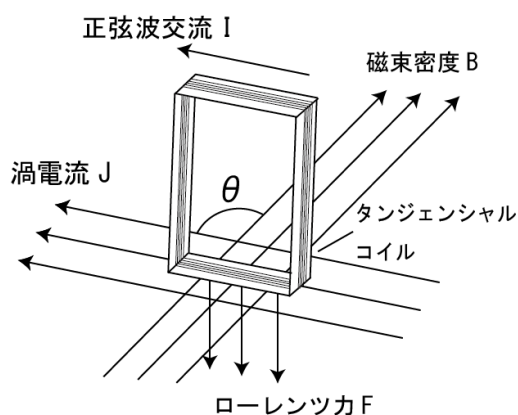


Fig.1 原理図

渦電流試験は試験コイルに交流電流を流すことによって交流磁界を発生させる。それを試験体に作用させることによって誘導電流を発生させる。このとき、別途加えた直流磁束密度によってローレンツ力が働いて渦電流分布が変化し、試験コイルのインピーダンスが変化する。式(2)より、渦電流に作用するローレンツ力は角度 θ が 90° のときに最も影響が強いと考えられる。

3 実験方法および測定方法

試験体として $200\text{mm} \times 200\text{mm} \times 6\text{t}$ の鋼板(鋼板:SS400)を用いた。試験コイルのタンジェンシャルコイルは、巻線径 0.2mm 、巻数92回として作製した。Fig.2に実験装置を示す。試験体にタンジェンシャルコイルと直流磁化器を上置した。まず、磁化のない状態で角度を 0° から 90° の範囲で 15° ずつ変化させながら、試験周波数を 100Hz 、 400Hz 、 1kHz 、 4kHz 、 10kHz 、 40kHz まで変化させた。そして、インピーダンスメーターによってタンジェンシャルコイルのインピーダンスを測定した。次に、励磁電流 $I_b=2.0\text{A}$ で直流磁化器によって試験体を磁化させて同様の角度、周波数でインピーダンスを測定した。

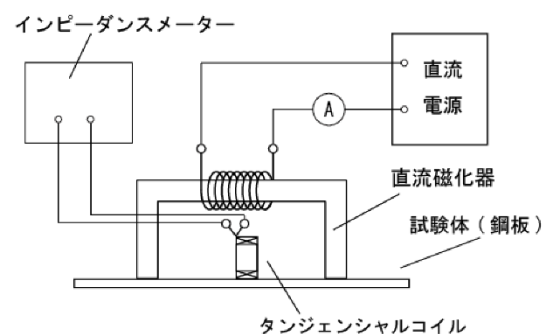


Fig.2 実験装置

Influence of Lorentz Force on Eddy Current Testing for Steel Material

Kanji TAMURA, Junji KOIDO, Takashi HIBINO and Shuhei KATO

4 実験結果および検討

Fig.3は、試験体を磁化していないときと磁化したときの角度変化に対する正規化インピーダンスの変化を、試験周波数100Hzから40kHzまでをグラフにしたものである。この図より、試験周波数 f を高くするとリアクタンスが低下することが確認できた。これは、試験コイルには、交流電流を流しているので周波数を高くすると渦電流の発生が活発になり、反発磁界が大きくなるためである。

次に、Fig.4は、Fig.3の $f = 40\text{kHz}$ の正規化インピーダンスを拡大して示している。磁化していないときは角度を変えるとリアクタンス成分が上昇するのは、試験体の異方性によるものと考えられる。試験体は、強磁性体の板で圧延されているので、圧延方向に異方性ができるためである。また、磁化しているときに角度を変えるとリアクタンス成分が減少するのはローレンツ力の影響と考えられる。

Fig.5は、試験体を磁化し $f = 40\text{kHz}$ で測定したときの正規化インピーダンス $|Z_N|$ と角度のグラフである。このグラフは、 0° のときの Z_N を基準とし角度が変化したときの Z_N の値との差 $|\Delta Z_N|$ を示している。角度が 90° 付近は変化量が多いことが確認できた。

5 まとめ

本研究では、ローレンツ力が渦電流試験に与える影響を検討した。タンジェンシャルコイルの角度を変化させることにより、試験コイルのインピーダンスが変化することが確認できた。このことから、ローレンツ力が働いていることを確認した。

今後、渦電流をローレンツ力で制御して浸透深さを深くし、厚い鋼板に対しても、厚さ測定を可能にするように検討を行う予定である。

「参考文献」

- 1) 日本非破壊検査協会編、渦電流探傷試験II、日本非破壊検査協会、p.46 (2016)
- 2) 宮島、ファイマン物理額III電磁気学、岩波書店、p.p161-162 (1986)

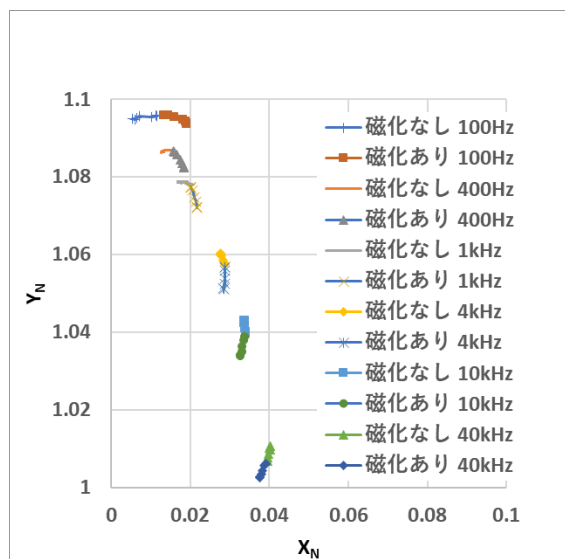


Fig.3 周波数ごとの角度変化に対するインピーダンス変化

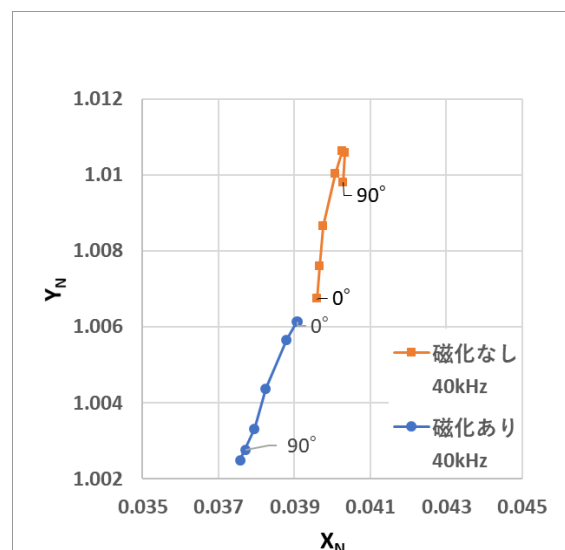


Fig.4 角度変化に対するインピーダンス変化 ($f = 40\text{kHz}$)

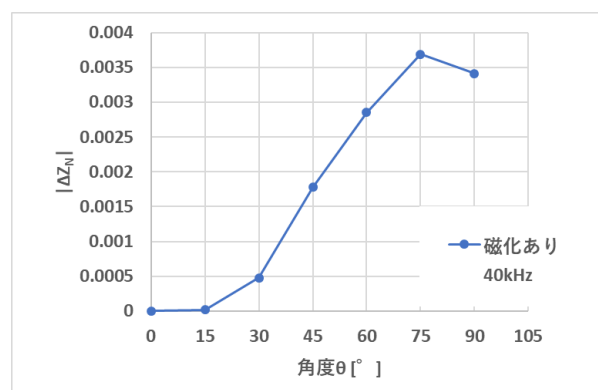


Fig.5 角度変化に対するインピーダンスの差 ($f = 40\text{kHz}$)