

磁束漏洩法を用いた配管減肉の定点監視に関する基礎検討

A possibility of MFL method for condition monitoring of wall thinning

岩手大学工学部	佐藤 界斗	Kaito SATO	Non-member
岩手大学工学部	清水 勇	Isamu SHIMIZU	Non-member
岩手大学工学部	菊池 弘昭	Hiroaki KIKUCHI	Member

This paper describes an applicability of magnetic flux leakage (MFL) method for a nondestructive evaluation of wall thinning in nuclear power plants. Since MFL method has already been applied to other industry field, this method should be an effective tool in nuclear power plants. Here, in order to investigate a possibility of MFL method for condition monitoring of wall thinning, steels with slit were prepared and distribution of leakage magnetic flux was evaluated systematically using magnetic probe and magnetic field sensor when a position between a probe and a slit changed. Using the difference between the results for specimen with slit and without slit, estimation of slit size and slit position can be possible.

Keywords: wall thinning, condition monitoring, magnetic flux leakage (MFL), slit, nondestructive evaluation

1. 緒言

東日本大震災による福島第一原発の事故後、反原発・脱原発の声が多く挙がっているが、原発の即時全面停止は非現実的と考えられる。一方、新規炉の建設等はこれまで以上に難しくなり、稼働中の炉を継続利用することになる。よって、高経年化した発電プラントの健全性評価についてはこれまで以上に確実性が要求されることとなる。高経年化問題のひとつに配管減肉があり、その評価手法として磁束漏洩法(MFL)が候補のひとつに挙げられる。MFLは磁気ヨーク等の磁化器に磁界センサを固定したプローブを走査して減肉を評価することが一般的である[1, 2]。しかし、減肉評価においては定点で状態監視の要求があり、この場合、プローブは固定して検出するので、プローブと減肉との相対位置の違いで検出信号が異なる。そこで、本研究ではMFL手法の定点状態監視への適用を念頭にプローブと減肉の相対位置が異なる場合におけるMFL信号の振る舞いを系統的に検討した。

2. 実験方法

2.1 磁気ヨーク及び試料

Fig. 1に本研究で用いた磁気ヨークの形状・寸法および測定系を示す。磁気ヨークの材質はケイ素鋼板で、励磁コイルの巻数は150ターンとした。また、測定試料は200

×200 mm²のSS400鋼の板材で厚みは5 mmとした。その中央に減肉を模擬したスリットを設けた。スリットの幅は5, 10 mm、スリットの深さは1, 2 mmとした。

2.2 測定方法

試料表面の磁界の計測にはガウスプローブ(F. W. Bell 5080)を用いた。磁気ヨークは試料上に固定し、磁気ヨークの足間でガウスプローブを走査させ、磁界分布を計測する。磁気ヨークの中央を $x = 0$ 、ヨークの長手方向を x 方向とし、試料表面と垂直方向を z 方向とした。磁界は x 方向成分 B_x および z 方向成分 B_z を計測した。測定においては、磁気ヨーク中央とスリット中央の位置の距離 d を0から28 mmまで変化させて行った。

3. 実験結果

Fig. 2はスリットなしの板材の磁界分布を示した図である。 x 方向成分 B_x はヨークの足に近づくにつれて増加

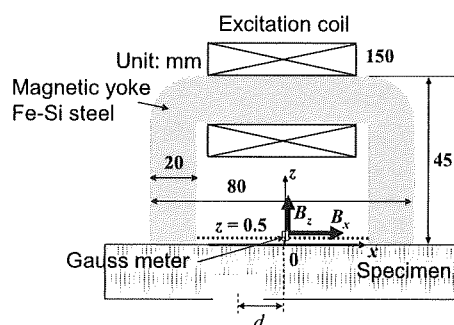


Fig.1 Dimension of magnetic yoke and measurement setup.

連絡先: 菊池弘昭, 〒020-8551 盛岡市上田 4-3-5, 岩手大学, 電話: 019-621-6890, E-mail: hkiku@iwate-u.ac.jp

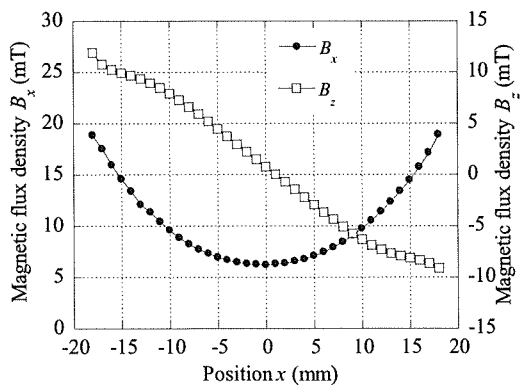
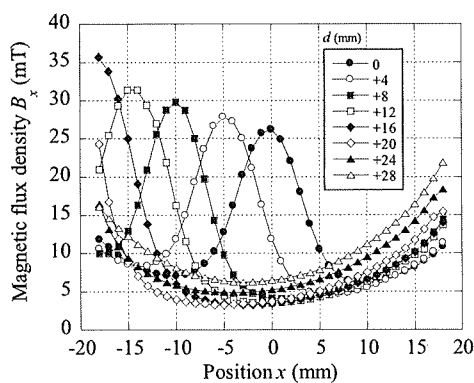
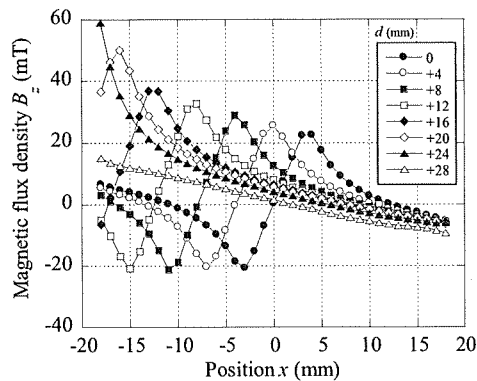


Fig.2 Distribution of magnetic flux density for specimen without slit.



(a) x-component B_x

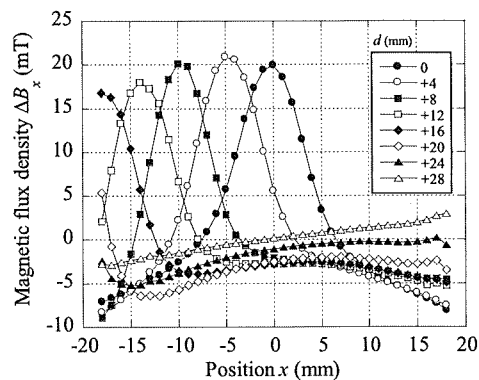


(b) z-component B_z

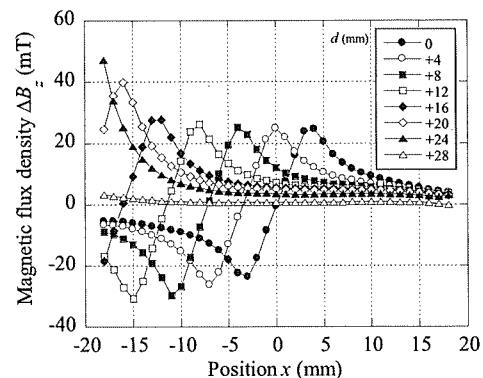
Fig.3 Distribution of magnetic flux density for specimen with slit of 5 mm width, 2 mm depth.

する。一方、z方向成分 B_z は単調に減少している。

Fig. 3は幅5 mm、深さ2 mmのスリットを有する試料に対して磁界分布を測定した結果を示している。 $d=0$ の場合、すなわち、スリット中央が磁気ヨークの中央にある場合、x方向成分 B_x は、 $x=0$ において磁界強度がピーク値を取る。また、スリットの端部において磁界強度の減少がみられ、その後磁気ヨーク足に近づく増加する。z方向成分 B_z はスリット端部に対応する位置で磁界強度が



(a) x-component ΔB_x

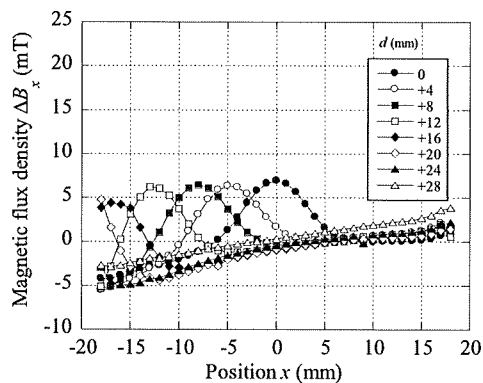


(b) z-component ΔB_z

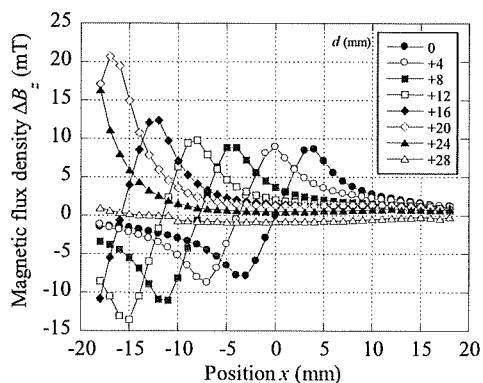
Fig.4 Distribution of differential magnetic flux density for specimen with slit of 5 mm width, 2 mm depth.

極小値および極大値をとる。 $d=0$ 以外の場合もスリット中央に対応する位置でx方向成分 B_x はピークを取り、スリット端部の位置で大きく減少する。ただし、 d が大きくなるにつれてピーク値は大きくなる。 d が20 mm以上ではピークの判別が難しくなっており、これはスリット位置がヨークの足間から外の範囲にあるためと考えられる。z方向成分 B_z はスリット端部に対応する位置で磁界強度の極小値および極大値をとっており、極値の差が d の増加により増加する。ただし、 d が16 mmを超えると極大値しか得られず、 $d=24$ mmでは極値は得られなかった。また、 $d=28$ mmの変化は、スリットなしの結果と近いものとなった。これらも、スリット位置がヨークの足間から外の範囲にあることの影響と考えられる。

Fig. 4は、Fig. 3の結果からFig. 2のスリットなしの結果を差し引き、その分布を位置に対して図示したものである。x方向成分の変化分 ΔB_x はスリットの中央部でピークを取り、スリット端部で磁界強度が大きく減少する結果となった。z方向成分の変化分 ΔB_z はスリット端部で極値をとる。これらは、磁気ヨークとセンサを一体化したプローブを走査した場合に得られる結果[1]と一致する。



(a) x-component ΔB_x



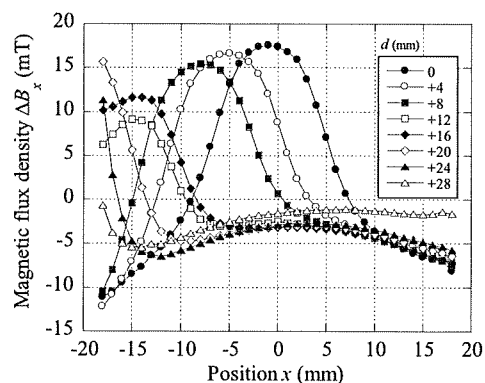
(b) z-component ΔB_z

Fig.5 Distribution of differential magnetic flux density for specimen with slit of 5 mm width, 1 mm depth.

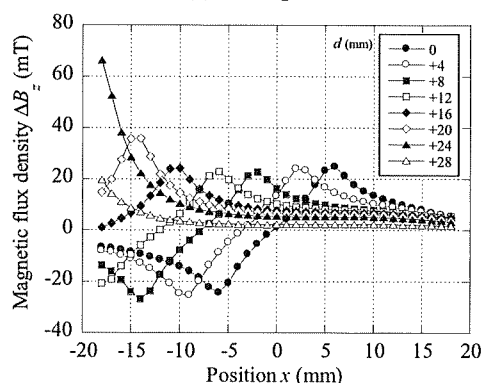
Fig. 5はスリット幅 5 mm, 深さ 1 mm の試料において Fig. 4 と同様、スリットを有するときの磁界分布からスリットなしの結果の差分をとり、位置に対して示した図である。Fig. 4 の結果と同様の傾向を示すが、 ΔB_x についてはピーク値がスリット深さ 2 mm のときと比べて小さくなっているのがわかる。 ΔB_z についても傾向は一致するが極値の絶対値がスリット深さ 2 mm に比べ減少する。

Fig. 6はスリット幅 10 mm, 深さ 2 mm の試料において Fig. 4 と同様、スリットを有するときの値からスリットなしの結果の差分をとり、位置に対して示した図である。 ΔB_x についてはスリット幅 5 mm のときと比べて、ややピーク値が小さいことがわかる。また、スリット幅が広い分、ピークの半値幅が大きくなっていることが明らかである。 ΔB_z については、スリット端部の位置で極値をとる傾向は一致する。幅が広い分、5 mm のときより大きい位置で極値をとる。また、極値は 5 mm のときと近い値となっている。

以上の結果から、初期状態、すなわち、減肉のない状



(a) x-component ΔB_x



(b) z-component ΔB_z

Fig.6 Distribution of differential magnetic flux density for specimen with slit of 10 mm width, 2 mm depth.

態と測定した結果の差分をとれば、磁気ヨークを設置している範囲内に減肉があれば、その位置や形状に対応した、信号変化が得られることが明らかとなった。よって、MFLにより磁気ヨーク設置範囲内にある減肉の位置、寸法の推定が可能になると考えられる。

参考文献

- [1] H. Kikuchi, Y. Kurisawa, Y. Kamada, S. Kobayashi, K. Ara, "Feasibility Study of Magnetic Flux Leakage Method for Condition Monitoring of Wall Thinning on Tube", International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol. 33 Numbers 3-4 / 2010, pp. 1087- 1094.
- [2] Y. Zhang, G. Yan, "Detection of Gas Pipe Wall Thickness Based on Electromagnetic Flux Leakage", Russian Journal of Nondestructive Testing, Vol. 43, 2007, pp. 123-132.

(平成 23 年 8 月 25 日)