

# 磁気ヨークプローブによる非破壊評価におけるコンタクトギャップの影響

Influence of contact gap on NDE using magnetic single-yoke probe

岩手大学工学部	菊池 弘昭	Hiroaki KIKUCHI	Member
岩手大学工学部	荒 克之	Katsuyuki ARA	Member
岩手大学工学部	鎌田 康寛	Yasuhiro KAMADA	Member
岩手大学工学部	小林 悟	Satoru KOBAYASHI	Non-member

Magnetic NDE technique for installed structural steels using a magnetic single-yoke probe has been developed. In order to apply this technique to practical use, it is important to clear influence of a contact gap between a single-yoke probe and specimens. Here, we investigated magnetic properties measured by a single-yoke probe, when an air gap length between the probe and specimens changes. BH loops incline to the axis of magnetic field and magnetic field at  $B=0$  decreases with increasing the gap length.

**Keywords:** Magnetic NDE, magnetic single-yoke probe, Contact gap

## 1. 緒言

強磁性材料の微細組織は材料の機械的性質および磁気特性に影響を及ぼすことから、機械特性と磁気特性にはよい相関があることが知られている[1, 2]. この相関に基づいて磁気計測を用いた材料の機械特性評価や劣化診断が提案されている.

我々は磁気ヨークに励磁及び磁束検出用の巻線コイルを有するプローブを作製し、そのプローブを用いて構造物材料の磁気特性を加工することなく評価することについて検討を行ってきた[3, 4]. 磁気ヨークプローブによる測定では被測定材料の直流磁化曲線を直接同定することは容易でないが、プローブを用いて測定した磁気特性とリング試料片に加工して測定した磁気特性との相関を実験的に明らかにすることで、磁気プローブを用いた磁気特性評価の有用性を明らかにした. 一方で、実際に磁気プローブを構造物の非破壊評価に適用しようとした場合、試料表面は必ずしも平滑とは限らず、機械強度を上げるためにショットブラストが施されている、あるいは酸化防止層が塗布されている場合もある. このような場合、磁気ヨークと試料表面の接触が十分でなくギャップを生じるため、計測する磁気特性に影響を及ぼすことが考えられる. よって、本稿では磁気ヨークプローブを用いた計測における試料とヨーク間のギャップの影響について実験的に検討

を行った.

## 2. 実験方法

### 2.1 試験片

本研究では冷間圧延を施した S15C 鋼を試験片として用いた. S15C 鋼の組成は Table1 に示す通りである. 1173 K で 1 時間焼きなましを行い、そのままの板材(圧延率 0 %)および、異なる圧延率 5, 10, 20, 40 % で冷間圧延した板材を作製した. 試験片の寸法は 60 mm × 40 mm × 10 mm である.

### 2.2 磁気ヨーク及び実験系

磁気ヨークの寸法及び測定系を Fig. 1 に示す. 励磁コイル (1000 ターン) とピックアップコイル (40 ターン) を巻いたヨークは試料上に配置し磁気回路を構成した. また、測定時には試料とヨークの間にギャップを設けて、その大きさを 0 - 500  $\mu\text{m}$  と変化させた. 励磁コイルに周波数 0.05 Hz の三角波電流を通電することで被測定材料の一部を試料の長軸方向に沿って励磁する. ヨーク部及び被測定材内部の磁界強度をそれぞれ  $H_y$ ,  $H_s$  とし、磁路長を  $l_y$ ,  $l_s$  とすると、アンペールの法則より次式が成り立つ.

$$NI = H_y l_y + H_s l_s \quad (1)$$

Table1 Chemical composition of S15C steel (wt.%).

C	Si	Mn	Fe
0.15-0.2	0.15-0.35	0.3-0.6	bal.

連絡先: 菊池弘昭、〒020-8551 盛岡市上田 4-3-5、岩手大学工学部附属金属材料保全工学研究センター、電話: 019-621-6890、e-mail: hkiku@iwate-u.ac.jp

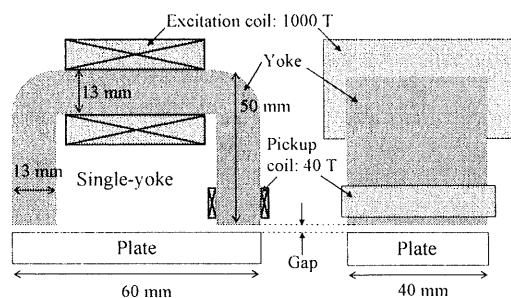


Fig. 1 Dimension of magnetic yoke and configuration of experimental system.

ここで  $I$  は励磁コイルに通電する電流値、 $N$  は励磁コイルのターン数であり、 $NI$  は起磁力を表す。測定試料内部の磁界を正確に計測するのは困難であるので、測定材料とヨーク部をひとつの材料であるとして取り扱い、その内部では磁界は均一であるとして磁界強度を算出している。

磁気回路内に流れる磁束は磁気ヨークに設けられたピックアップコイルに誘起された起電力を計測し、それらを次式により積分することで算出し、B-H 曲線を求めた。

$$\Phi = B_y S_y = B_x S_x = \frac{1}{N_B} \int V_B dt \quad (2)$$

ここで、 $\Phi$  は磁気回路内を流れる磁束、 $B_y$ 、 $B_x$  はそれぞれヨーク部及び被測定材料の磁束密度、 $S_y$ 、 $S_x$  は磁束の通過する断面積である。 $N_B$  はピックアップコイルのターン数である。

### 3. 実験結果

Fig. 2 は、試料・ヨーク間のギャップ厚さを変化させた場合の B-H 曲線の変化を示した図である。試料の圧延率は 0 % とした。ギャップ厚さの増加とともに B-H 曲線は磁界軸側へ傾いていく。これはギャップ部の磁気抵抗がヨーク部、試料部分に比べて大きく、ギャップ厚さの増加とともに磁気回路全体の磁気抵抗が増加し、ギャップのない場合と同じ磁束を得るのにより大きな起磁力を必要とするためである。すなわち、磁気回路内の実効的な透磁率が低下するためである。

Fig. 3 は、磁束密度が 0 となる際の磁界強度（保磁力に対応する）をギャップ厚さに対して示した図である。ギャップ厚さの増加とともに磁束密度が 0 となる磁界強度は低下している。また、その変化割合はギャップが小さいところで大きく、ギャップが大きい領域では小さくなる。

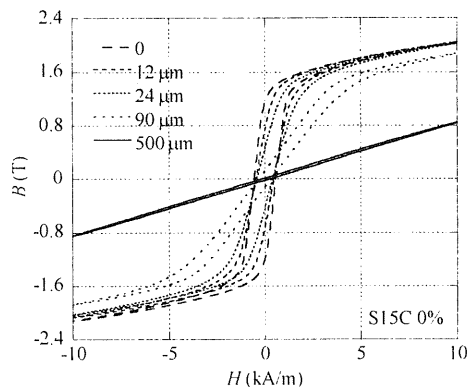


Fig. 2 B-H loops measured by single-yoke probe with gap between probe and specimen.

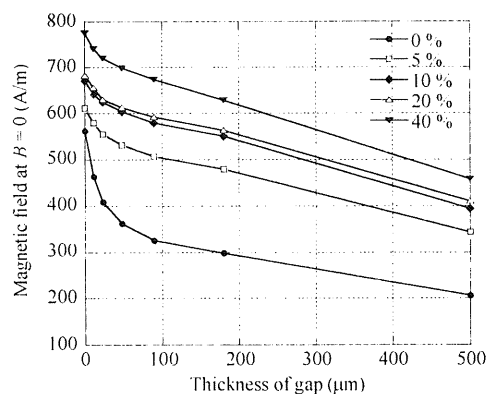


Fig. 3 Relation between magnetic field at B=0 and gap length.

### 4. 結言

磁気ヨークプローブを用いた磁気的非破壊評価において、プローブと試料間にギャップを設けて、ギャップが磁気特性に及ぼす影響について実験的に検討した。その結果、プローブ・試料間のギャップ厚さが大きくなるにつれてプローブで測定される BH ループは磁界軸側に傾き、磁束密度が 0 となる磁界強度は減少することが明らかとなった。

### 参考文献

- [1] H. Kronmüller: "Magnetic Techniques for the Study of Dislocations in Ferromagnetic Materials", *Int. J. Nondestruct. Testing*, Vol. 3, pp.315-350 (1972).
- [2] D.C. Jiles, *Introduction to Magnetism and Magnetic Materials*, London UK, Chapman & Hall, 1991.
- [3] 菊池弘昭他, "材料劣化の非破壊評価のための磁気ヨークプローブ", *日本 AEM 学会誌*, Vol. 13, pp. 113-118 (2005).
- [4] H. Kikuchi, K. Ara, N. Ebine, Y. Sakai, Y. Kamada, S. Takahashi: "A Probe Using a Magnetic Yoke for NDE of Ferromagnetic Steels", *Electromagnetics Nondestructive Evaluation (VIII)* T. Sollier et al. (Eds.) Ios Press, pp.146-152(2004).