

磁気センシング技術を用いた構造材の劣化分布非破壊評価

NDE of degradation distribution in tensile-tested specimen using magnetic sensing

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 an estimation of degradation distribution in tensile-tested structural steel has been developed. In order to scan magnetic properties of steel promptly, magnetic yoke-probe having primary and secondary coils wound around the yoke was adopted. To simplify the detection procedure, the principle same as the transformer was employed. The voltage induced at secondary coil decreases with the increase in the applied tensile stress. As for spatial distribution of output voltage, the output voltage at center part of specimen where the specimen was subjected to large stress, decreases and the area where output voltage decreases become wider with increasing the applied tensile stress.

Keywords: Magnetic NDE, magnetic yoke probe, tensile-tested specimen, degradation distribution

1. 緒言

鉄及び鉄を多量に含む鋼の多くは強磁性を示し、その磁気特性は微細組織に敏感である。材料の機械的性質もまた微細組織に敏感なことから、機械特性と磁気特性の間にはよい相関があり[1]、この相関に基づいた磁気利用センシング技術による材料の機械特性評価や劣化診断が提案されている[2]。

我々は非破壊評価応用を目的に磁気ヨークを用いてヒステリシス特性やインピーダンス特性の計測を行ってきた[3, 4]。ヒステリシス特性は直流に近い極低周波で計測を行えば、渦電流の影響を極力低減でき、試料の内部まで含めた情報を検出可能である。一方、インピーダンス計測では、数 Hz 以上で計測するため、計測時間の短縮が可能であり、初透磁率の変化を利用する場合、印加磁界が小さくて済むため低消費電力化に繋がる。ただし、高周波になればなるほど表皮効果により検出は試料表面に限られ、また、数 Hz の比較的低周波での計測においては、インダクタンスの計測が容易ではない。実際の非破壊評価では、1点、1点の精査が必要とは限らず、広範囲を短時間で走査し、劣化が疑われる場所を検知した後、そこを精査するのが現実的な手法である。検査時間の点から見れば、測定周波

数が高くなればなるほど、時間短縮に繋がるが、計測深さが表面に限られる。そこで、本研究では、ある程度の深さまで計測でき、かつ比較的短時間な計測が可能である数 Hz 程度の計測に焦点をあてる。先に述べた通り、インダクタンスの計測は低周波では容易ではないので、ここでは、磁気ヨークを用いて変圧器の原理を利用し、簡便に劣化の分布を推定する手法について提案する。具体的には、磁気ヨークに1次、2次コイルを巻き、1次コイルに定電圧を印加し、2次コイルに誘起された電圧を計測する。2次コイルに誘起される電圧はコイルに鎖交する磁束変化に比例し、磁束変化は磁気ヨークと試料とで構成される磁気回路の実効的な透磁率に比例する。その実効的な透磁率は試料の透磁率に依存するので、試料の内部組織変化に伴い、初透磁率等が変化すると、2次コイルに誘起される電圧に変化を生じ、検出が可能になる。

2. 実験方法

2.1 試験片

本研究では引張応力を印加した SM490A 鋼の試験片を測定試料として用いた。SM490A 鋼の組成は Table1

Table1 Chemical composition of SM490A steel (wt.%).

Material	C	Si	Mn	P	S
wt. %	0.018	0.04	1.19	0.013	0.005

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

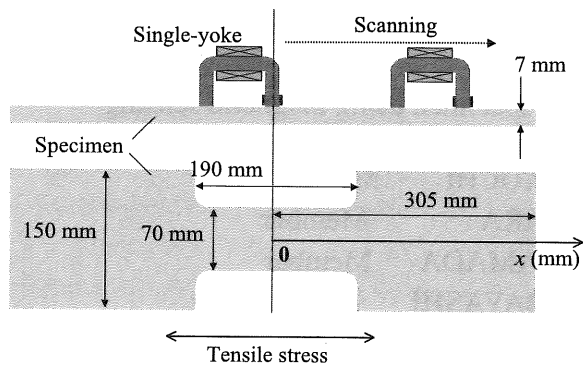


Fig. 1 Explanation for scanning the single-yoke over the SM490A specimen.

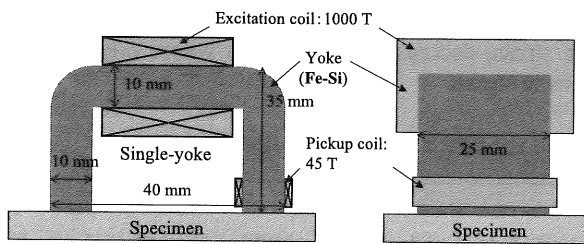


Fig. 2 Dimension of magnetic yoke and configuration of experimental system.

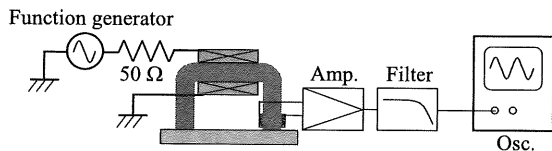
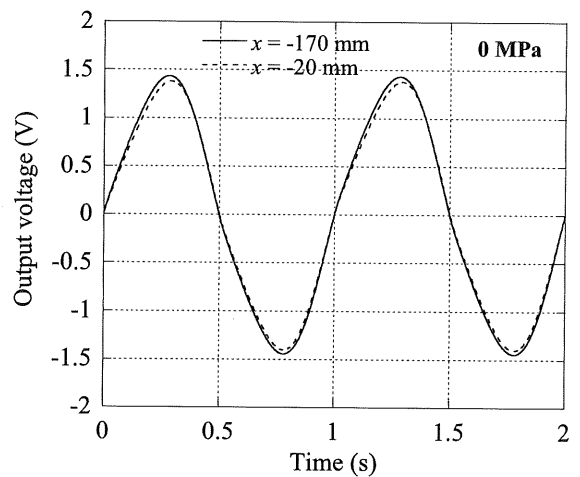


Fig. 3 Diagram for measurement.

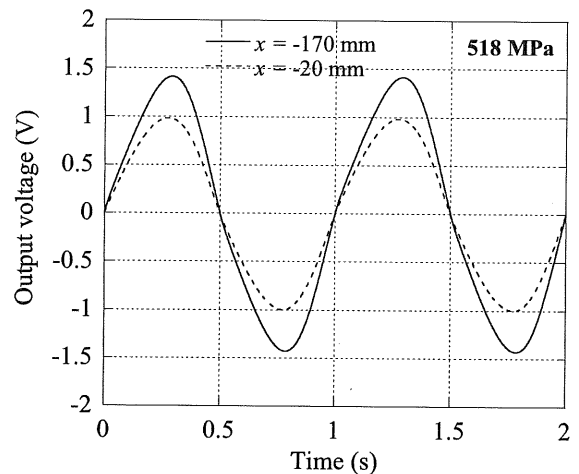
に示す通りである。試験片の寸法は Fig. 1 に示す。引張試験は 299, 457 及び 518 MPa の負荷応力で行い、その後除荷した。また、試験片の表面はショットピーニング処理が施されている。SM490A 鋼の降伏応力は 450 MPa、引張強さは 580 MPa である。

2.2 磁気ヨーク及び実験系

計測に用いた磁気ヨークの寸法及び測定系を Fig. 2 に示す。磁気ヨークの材質にはケイ素鋼板を用いた。励磁コイル (1000 ターン) とピックアップコイル (40 ターン) を巻いた磁気ヨークを試料上に配置し磁気回路を構成した。励磁コイル (1 次コイル) に周波数 1 Hz の正弦波電圧を印加し、ピックアップコイル (2 次コイル) の電圧をオシロスコープにて観測した。測定回路図を Fig. 3 に示す。その際、磁気ヨークは Fig. 1 に示す座標系において x 方向に -170 mm から 150 mm まで走査し、出力の位置分布を計測した。計測時に試料表



(a) 0 MPa



(b) 518 MPa

Fig. 4 Output voltage against time at edge/center part.

面状態の影響を低減する目的から、試料と磁気ヨークの間に 90 μm の空隙を設けた。

3. 実験結果

Fig. 4 は、518 MPa の応力で引張試験を施した試料及び引張試験を施していない (0 MPa) 試料の試験片中央部及び端部の計測波形を示した図である。1 次コイルに印加した電圧は 8 V とした。0 MPa 試料は試料中央部、端部において出力波形に変化が見られないが、518 MPa の試料では、試験片端部の値より中央部の出力が大きく低下していることが明らかである。試料端部の値は 0 MPa の出力と差がないので、この部分は劣化が生じていないが、中央部は出力が低下していることから、実効的な透磁率が低下していることを意味しており、

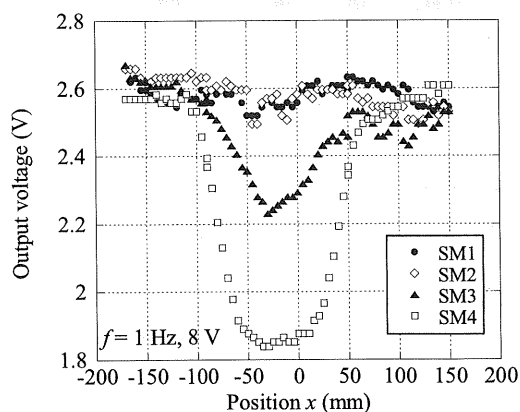


Fig. 5 Output voltage distribution.

転位密度の増加を示唆している。

Fig. 5 は各試験片の出力のピーク-ピーク値を測定位置に対して示したものである。0, 299 MPa では、出力の位置依存性が少ないのに対し、457, 518 MPa では、試験片中央部で出力低下が見られる。また、518 MPa のほうが、出力の低下が大きく、低下が見られる範囲も広範囲に及ぶことがわかる。

以上の結果より、引張応力の大きさの違いによる劣化度合いの違いを検出できていることがわかる。

4. 結言

磁気ヨークを用いて SM490A 鋼引張試験片の劣化分布の評価について検討した。計測では、磁気ヨークに励磁・検出コイルを巻き、検出コイルの誘起電圧をモニタリングした。無変形、弾性変形領域では、検出コイル出力に分布は見られなかった。一方、降伏応力以上で引張変形した試験片は、試験片中央部で検出コイルの出力低下が見られた。この出力の低下は材料劣化と対応するものであり、磁気ヨークを用いた劣化分布計測が可能であ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, F. Sato, K. Ara, Y. Kamada, S. Kobayashi, "Feasibility Study of Magnetic NDE by Impedance Measurement using Single-yoke", *The proceedings of 17th WCNDT*, 500 (2008).