

磁歪法における較正曲線の精度向上に関する基礎的検討

徳山工業高等専門学校 非会員 ○齊藤 遥奈
 中電技術コンサルタント(株) 非会員 長合 香奈
 徳山工業高等専門学校 正会員 海田 辰将

徳山工業高等専門学校 学生会員 窪田 結
 中電技術コンサルタント(株) 正会員 川見 周平

1. はじめに

磁歪法は、鋼材の磁気ひずみ効果を利用した非破壊応力測定法である。供用中の鋼部材に生じている死荷重応力や残留応力は設計値と必ずしも一致しないことから、現場測定によって応力状態を把握することは、補修・撤去設計の際に重要な情報となる。

磁歪法ではプローブ固有の出力電圧と主応力差の対応関係、すなわち較正曲線が作用応力や主応力の解析結果に大きく影響することが知られており、測定対象となる構造物に使用されている鋼材を用いた一軸引張試験によって較正曲線を作成することが望ましい。また、較正曲線は鋼種だけでなく試験片の表面処理¹⁾や磁気プローブのコイル特性、摩耗や変形等にも影響を受けることから、これらの要因が較正曲線に与える影響を明らかにし、多くの測点を有する現場計測を見据えた形で信頼性の高い較正曲線を作成するための知見を蓄積する必要がある。

以上のことから、本研究では現行 SM 材 (SM400A, SM490A) の引張試験を行い 3 台の測定器を用いて較正曲線を作成し、これらの比較を通して現場計測を見据えた形で精度や信頼性の高い較正曲線を描く方法について検討する。

2. 現行 SM 材と撤去鋼材の引張試験

本研究では、県外にて撤去予定の鋼製橋脚横梁および主桁の現場計測を実施することを見据えているが、現時点では試験片鋼材を切り出すことは困難である。そこで、これらの部材に使用されている鋼材 (SM41, SM50) の現行 JIS 規格である SM400A および SM490A を用いて引張試験片を製作した。実橋への適用を見据えて平行部の面積をできるだけ広くするために、**図-1** に示すような JIS 比例試験片 (平行部幅 70mm×長さ 200mm×厚さ 9mm) とした。

実際の現場測定では複数台の磁歪器を使用した多点計測を行うことから、本実験の磁歪測定では、磁歪器 (MGRS-1000: システム計測(株)) を 3 台使用し、1 つの試験片につき 3 本の較正曲線を作成した。

また、試験片表面の黒皮の厚さが約 20 μm であるのに対し、本磁歪器における磁場の浸透深さは 220 μm である²⁾ことからリフトオフの影響は小さいこと、鋼表面の加工硬化を伴うような表面処理を避

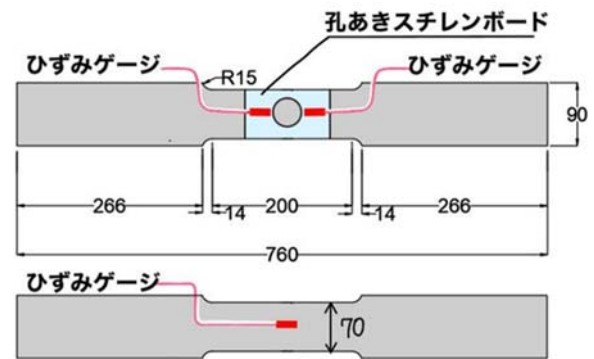


図-1 試験片の寸法とひずみゲージの位置

けるため、磁歪測点は黒皮を残した状態または手作業によるヤスリがけによって黒皮のみ除去した状態とした。応力増分は 5~8MPa 刻みとし、その都度荷重を止めて 3 台の磁歪器で試験片中央部の引張軸方向に対する 1 点測定を行った。試験片の最大載荷応力は降伏強度の 7~8 割程度の弾性範囲内とした。

3. 実験結果および較正曲線に関する考察

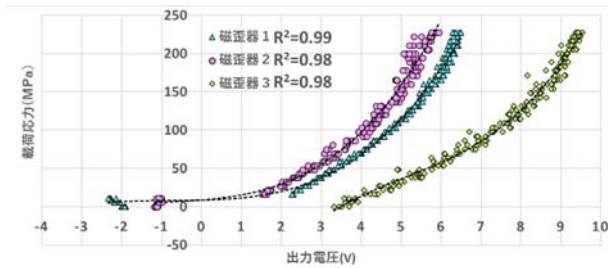
図-2 に SM 鋼材の引張試験から作成した較正曲線を示す。図の縦軸は磁歪測定点に設置したひずみゲージから求めた載荷応力 σ [MPa] であり、横軸は各荷重段階における出力電圧 [V] を示している。較正曲線には多項近似 (3 次) を採用し、各荷重段階で行った 5 回分の測定結果を用いて近似式を作成した。

これらの図から、応力とともに出力電圧が上昇しており、 σ と V は良好な対応関係 ($R^2=0.98\sim0.99$) を示していることが確認できる。しかし、図(a)に示す SM400A では、磁歪器 1, 2 において $\sigma \leq$ 約 20 [MPa] の場合に $V < 0$ (圧縮) を示しており、その直後に正值まで大きくオフセットする現象が確認された。このことは図(b)に示す SM490A でも $\sigma \leq$ 約 60 [MPa] においても確認された。

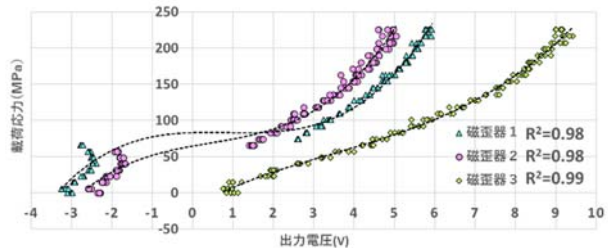
磁歪器の磁気プローブは測定回数を重ねることで先端部分が徐々に変形し、先端の保護テープも摩耗していく。つまり、プローブ先端の状態が変化すると、励磁信号と検出信号にアンバランスが生じ、プローブとケーブルによる信号の干渉が生じて測定値にオフセットが発生する原因となるため、校正が必要である。

キーワード 磁歪法, 引張試験, 較正曲線, SM 鋼材, オフセット・キャンセル

連絡先 〒745-8585 山口県周南市学園台 徳山工業高等専門学校 土木建築工学科 海田研究室 TEL0834-29-6331

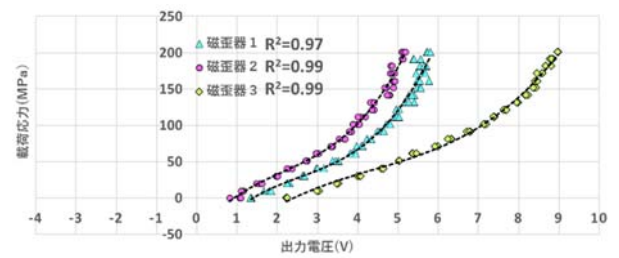


(a) SM400A

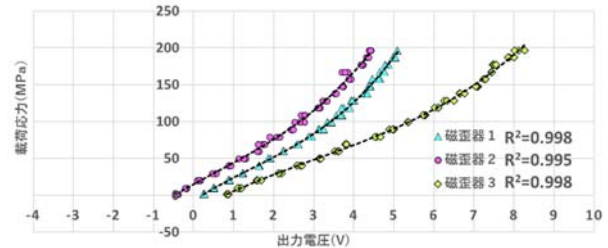


(b) SM490A

図-2 SM鋼材の較正曲線(1回目)



(a) SM400A



(b) SM490A

図-3 SM鋼材の較正曲線(2回目)

また、荷重応力が0[MPa]であっても0[V]から始まるとは限らず、その原因として①試験片に加工された状態で導入されている内部応力、②変形や保護テープの摩耗等によるプローブ先端の状態変化、③引張試験時のチャック固定による影響が考えられる。

①については、初期応力が完全にゼロの状態の試験片を製作することは不可能であり、加えて磁歪器のコイル特性に応じた出力電圧が生じることは不可避である。②については、測定器のオフセット・キャンセル(校正)を適切に行うことが有効である。③については、試験片を荷重試験機にセットする際に、試験片の自重による引張応力、初期曲がりによる曲げ応力、下チャック固定による圧縮応力が加わるため、これらをできるだけ排除した引張試験を行うことが望ましい。ここで、オフセット・キャンセルとは外力等による塑性変形や応力ができるだけ少ない状態の校正用の試験片を用意し、磁歪器のプローブを $0^\circ \sim 90^\circ$ 回転させながら連続測定することで、出力電圧の最大と最小を求め、その中央値を修正すべきオフセット値として設定することである。

以上のことを踏まえ、磁歪器1,2の校正を行い、試験片を荷重試験機にセットした状態で試験片に生じる軸ひずみがゼロとなるよう実験手順を変更し、2回目の引張試験を行った。

図-3に2回目の引張試験から得られたSM材の較正曲線を示す。図は、5回の測定結果の中で最大と最小のものを削除した3回分の結果から描いた較正曲線である。図より、SM400A, SM490Aともに決定係数 $R^2=0.97\sim 0.99$ であることから近似式の信頼性は高く、較正曲線として高い精度での対応関係を期待できることがわかる。また、両鋼材の比較から、同じ磁歪器で測定した結果であっても、鋼種が異なる場合には、その較正曲線は全く異なることが確認できる。さら

に、SM490Aの較正曲線は、SM400Aの較正曲線を全体的に約-1Vほどシフトさせた形にみえることから、鋼種によって異なる磁気異方性による影響と考えられる。ここで、図-3(b)より磁歪器2のVは校正後も $\sigma=0$ [MPa]で負値であることに気付く。磁歪器1,2について校正前後で変化した0[MPa]のときのオフセット量はいずれもSM400Aで3.3V, SM490Aで2.0Vとほぼ一定となっており、磁歪器による差は無かった。このことから、校正で修正されるオフセット量は、校正を行った試験片の鋼種によって決まると推察される。

以上の結果から、較正曲線は必ずしもゼロまたは正の出力電圧から始まるとは限らず、校正を行った試験片の鋼種によって修正されるオフセット量が決まると考えられる。したがって、較正曲線を作成するための引張試験片の段階から磁歪器の校正を行い、その状態で現地測定を実施することが望ましい。

4. おわりに

本研究から得られた σ -V関係の回帰式はいずれも $R^2 \geq 0.97$ であることから、較正曲線としての信頼性は高いと考えられる。しかし、磁気プローブ先端の状態変化に応じて、測定結果に不自然なオフセットが生じる場合があることから、引張試験を行う前に測定対象鋼材の試験片を用いた磁歪器の校正を行い、そのまま現地測定を実施することが重要である。

参考文献

- 1) 佐藤悠樹, 宮下剛, 長井正嗣, 稲葉尚文, 矢吹太一: 表面処理の影響を受けにくい磁氣的応力測定法の実橋への適用, 第65回土木学会年次学術講演会講演概要集, pp.503-504(I-252), 2010.
- 2) システム計測株式会社: 磁歪式応力測定器機能仕様(MGSR-1000), 2019.