

鋼橋の応力モニタリングに向けた磁歪法の適用性に関する研究

建設構造研究室 佐藤悠樹
指導教員 長井正嗣

1. はじめに

近年、国内外において、既設橋梁の事故・損傷事例が多数報告されている。従来の維持管理手法は、主に目視検査により行われており、主観的かつ定性的な面が否めない。そのため、定量的かつ効率的な維持管理手法の確立が求められている。そこで、鋼橋の応力モニタリングに向けて、絶対応力を非破壊で測定することが可能な磁歪法に注目した。

2. 研究目的

磁歪法を鋼橋の応力モニタリングに適用させるための問題点は、磁歪法の測定に関する問題とモニタリングの対象となる鋼橋の構造に関する問題の2つに分類される。

まず、測定に関する問題として、測定精度がセンサと測定物までの距離(以下、リフトオフ)に影響を受けることが挙げられる。磁歪法は塗膜上から計測することが可能であるものの、センサの感度がリフトオフの影響を受けてしまう。次に、鋼橋の構造に関する問題として、近年使用される頻度が高くなっている厚板(板厚 50mm 以上)に対する磁歪法の適用事例が少ない。そのため、厚板の校正曲線(応力と出力電圧の関係)の特性が十分に把握されていない。

本研究では、これら各諸問題を解決し、鋼橋の応力モニタリングに対する磁歪法の適用性について検討することを目的とした。

3. 磁歪法の測定原理

鋼板に引張応力が作用すると、磁気ひずみ効果のため引張応力の方向には磁化しやすく、引張方向に垂直方向では磁化しにくくなる。圧縮応力の場合にはこの関係が逆になる。すなわち応力により磁気異方性が生ずる。磁歪法の測定では、この関係を利用する¹⁾。

4. 実験および検証結果

4.1 校正曲線の特性把握と精度検証

磁歪法で必要とされる校正曲線の精度に関する検討を行った。具体的には、同材質、同寸法の試験片数体から、それぞれ校正曲線を作成して比較を行い、精度を検証した。結果を図1に示す。

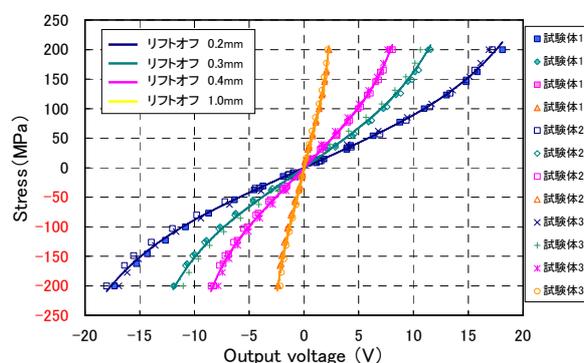


図1 試験片ごとの校正曲線の比較

リフトオフが大きくなるとともに誤差が増加する。しかし、その誤差は最大でも 20MPa 程度となる。これは、磁歪法の測定誤差の範囲内²⁾であるため、同材質、同寸法の試験片であれば、試験片に依らず、十分な精度を有した校正曲線が作成できると言える。また、試験片内でプローブの設置位置を変えても同等の精度が得られる。

4.2 リフトオフに依らない校正曲線の作成と磁歪法の精度検証

磁歪法は、リフトオフの影響を受けやすいという欠点を有している。そのため、従来の校正曲線を規格化することで、リフトオフに依らず、塗膜上で安定して測定することが可能な校正曲線の作成方法を開発した。その精度検証として、ビード溶接を施した薄鋼板の残留応力を磁歪法と応力解放法により計測した。

図2に、磁歪法と応力開放法の比較結果を示す。

溶接部で誤差が生じたものの、溶接部を除く計測点では良好な一致が見られた。よって、リフトオフに依らない校正曲線の妥当性が示されたと考える。

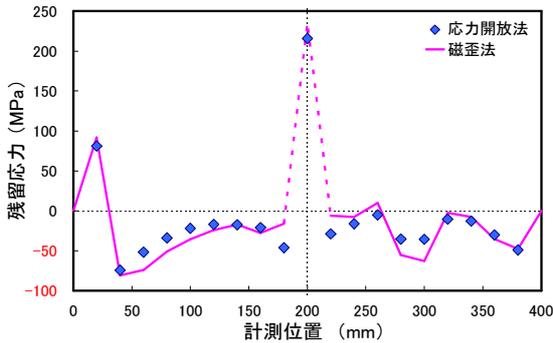


図2 応力開放法と磁歪法の結果の比較

4.3 板厚に依らない校正曲線の作成

実橋梁への適用が積極的に行われている厚板の校正曲線の特性を把握した。その結果、最大出力電圧は、板厚が厚くなるほど増加し、ある値に収束することが確認された。この特性に基づき、最大出力電圧を板厚を変数とする関数と定義し、未知の板厚における最大出力電圧を補間する、板厚に依らない校正曲線が作成できた(図3)。

4.4 磁歪法による実橋梁計測

実橋梁における磁歪法の適用性を把握するため、現場計測を実施した(図4)。計測結果を図5、図6に示す。

御殿場高架橋(第2 東名、鋼 14 径間連続合成鋼桁橋)の下フランジ下縁における溶接部直下の残留応力分布は、圧縮となった。これは、ウェブとの溶接部分で最大の引張応力が残留するため、内部応力の自己釣り合いから、下フランジ下縁では圧縮応力が検出されたと考えられる。

次に、C ランプ橋(第2 東名、鋼 14 径間連続 2 主鋼桁橋)の支間中央における下フランジ下縁の磁歪法による計測結果(平均値)は、残留応力を含んだ状態で 56.3N/mm^2 、設計計算による応力が残留応力を含まずに 91.3N/mm^2 となった。C ランプ橋と同様な板厚寸法を採用している御殿場高架橋では、平均して約 $-40\sim-70\text{N/mm}^2$ の圧縮の残留応力が導入されていた。そのため、C ランプ橋においても同様な残留応力が導入されていたと仮定すると、その結果は良好な一致を示す。

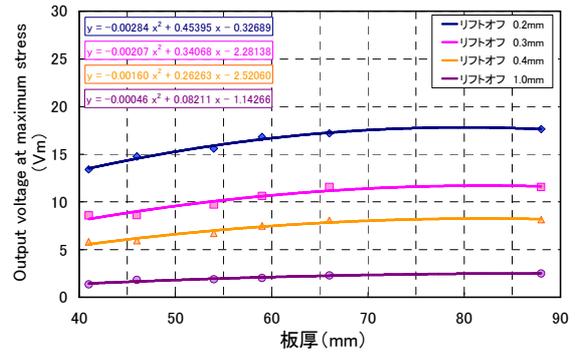


図3 板厚に依らない校正曲線



図4 C ランプ橋 現場計測状況

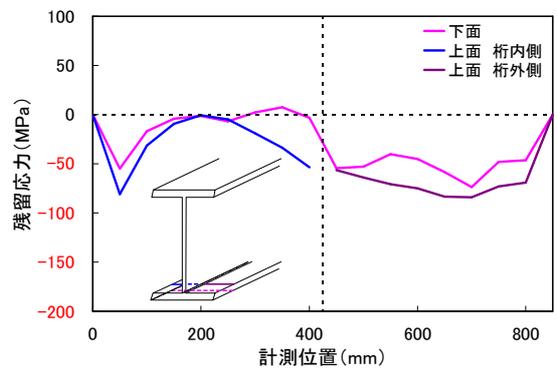


図4 御殿場高架橋下フランジの残留応力

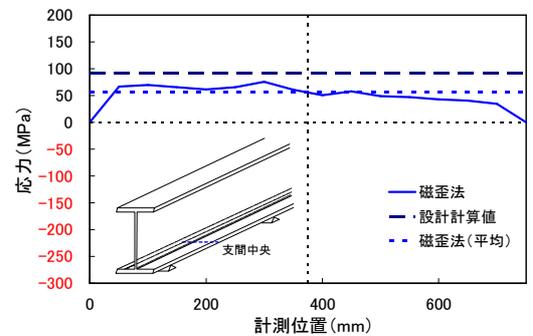


図5 C ランプ橋下フランジの応力分布

5. まとめおよび課題

リフトオフに依らない校正曲線は、塗装が厚くリフトオフ量が大きくなる個所や、リフトオフ量が小さくても出力電圧が大きくなる溶接部近傍、応力レベルが大きくなる位置などでは、誤差が生じやすい。しかし、室内実験や現場計測による結果から、誤差は磁歪法の許容範囲内であり、本手法の妥当性が示された。

また、現場では試験片を採取することができない場合がほとんどである。そのため、数本の同材質の試験片から板厚に依らない校正曲線を作成することで、採取が不可能な鋼材の校正曲線を予測する手法を考案した。現場計測から、この板厚に依らない校正曲線の現場計測への適用性を確認した。

今後の課題は、板厚に依らない校正曲線における、板厚 41mm 以下、88mm 以上の鋼材に対する校正曲線の特性把握などが挙げられる。

参考文献

- 1) 安福精一，藤井堅：磁気を用いた鋼構造物の応力測定，橋梁と基礎，6月号，pp.33-38，2001
- 2) 殷 春浩，安福精一：磁氣的応力測定における応力感度に関する研究，非破壊検査，第49巻第1号，pp.41-45，2000