

磁歪法による鋼製橋脚横梁の現場測定と応力解析に関する考察

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) 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 非会員 齊藤 遥奈
 中電技術コンサルタント(株) 正会員 川見 周平

1. はじめに

既設鋼橋の補修・補強や撤去に関わる調査・設計業務では、対象部材に生じている応力レベルが新設設計時の想定を超えていないかどうかを検証する必要がある。しかし、供用中の鋼部材に生じている死荷重応力などの内部応力は設計値と必ずしも一致しない。このことから、現場で鋼材内部の応力状態を非破壊で測定できる方法として、磁気ひずみ応力測定法^{1),2)}(磁歪法)が期待されている。

磁歪法で部材の作用応力や主応力を求めるための解析理論として、せん断応力差積分法が用いられており、この方法は自由端を有する鋼板を任意の大きさの正方形メッシュに分割して測定する。しかし、箱桁などの実橋計測においては必ずしも部材を構成する板パネルに自由端があるとは限らず、多くの補剛材で区切られているために測定メッシュの大きさを統一することも難しいといった実務上の課題がある。

以上の背景を踏まえ、本研究では供用中の鋼製橋脚横梁(2径間連続箱桁)の現場測定とせん断応力差積分法¹⁾による応力解析を行い、横梁の断面に生じている曲げ応力およびせん断応力分布を求め、応力値のばらつきおよび実務の観点から生じる磁歪法の課題について考察する。

2. SM鋼材の引張試験による較正曲線

2.1 実験概要

本研究では、磁歪法における較正曲線を作成するために図-1に示すJIS比例試験片を作成し、引張試験を行った。測定対象の横梁にはSS41, SM41, SM50が使用されているため、試験片の材質はSM400およびSM490とした。SS41の較正曲線は文献³⁾を用いた。

荷重は弾性域における約5MPaずつの増分荷重とし、最大応力は200MPaである。応力を増加させる度に荷重を止めてひずみをデータロガーに記録した後、3台の磁歪測定器を用いて試験片中央点の引張軸方向に着目した測定を各5回ずつ行った³⁾。

2.2 実験結果

各荷重段階における5回分全ての測定結果を用いて作成した較正曲線を図-2に示す。図の縦軸は、ひずみゲージの値に材料特性試験から得た弾性係数を乗

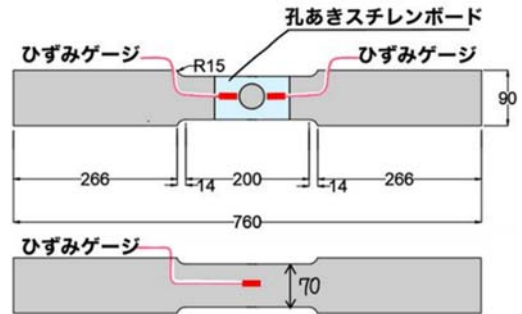


図-1 試験片の寸法とひずみゲージの位置

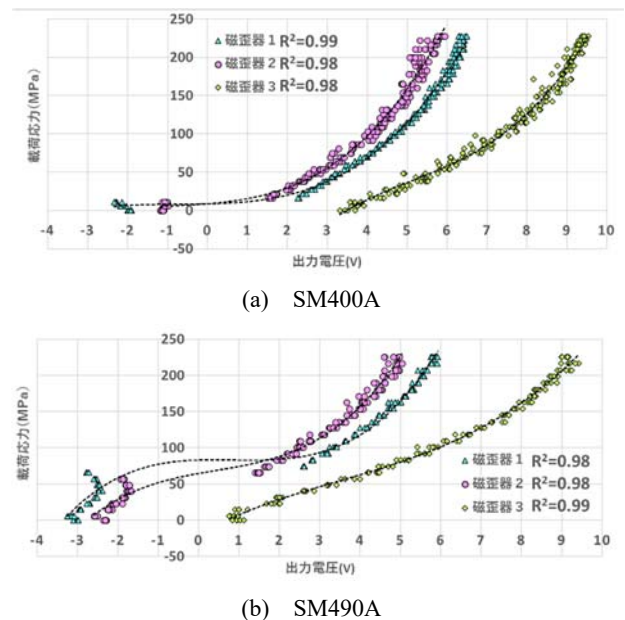


図-2 SM鋼材の較正曲線

じて算出した載荷応力(軸方向引張応力)である。図中には3次曲線で近似した回帰式(較正曲線)と決定係数 R^2 の値も併せて示している。

図-2より、いずれの鋼材においても3台の磁歪器ともに決定係数 R^2 が0.98以上となっており、信頼性の高い較正曲線が得られていることがわかる。また、各磁歪器の磁気プローブの特性がそれぞれ異なるため、較正曲線も磁歪器によって異なっている。

3. 鋼製橋脚横梁の現場測定

3.1 測定概要

測定対象の鋼製橋脚横梁は6本の主桁を支えてお

キーワード 磁歪法, 現場測定, 較正曲線, せん断応力差積分法, 作用応力分布

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

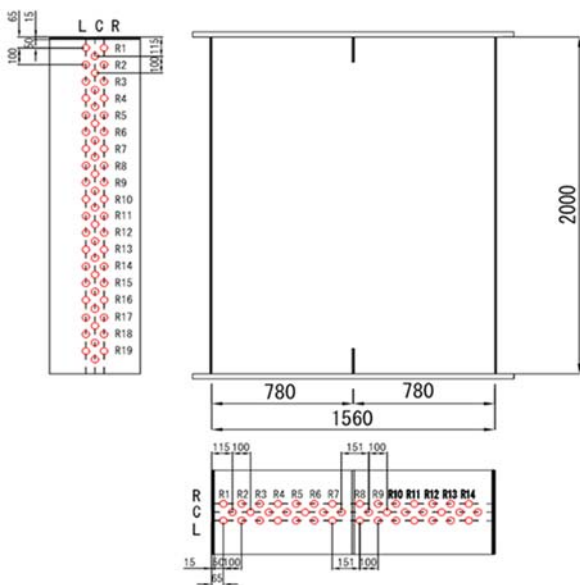


図-3 横梁断面における磁歪測定点

り、3本の橋脚で支持される2径間連続梁である。今回は、各径間における支間中央付近と中間支点付近の3断面とした。本測定では図-3に示すように測点間隔100mmを基本とし、測点数は1断面あたり70点×3列=210点である。平面応力場における断面の曲げ応力度およびせん断応力度を求めることから、プローブの向きを0°、45°、90°、135°に変化させた4点測定とし、1点につき2回の測定を行った後にこれらの出力電圧の差が1V以上離れていた場合には再測定とした。

3.2 作用応力の解析結果と考察

a) 計算に適用した較正曲線

測定対象の横梁は、3種類の鋼種が部位ごとに使い分けられており、磁歪器によって磁気プローブのコイル特性も異なる。このことから、部位ごとに使用した磁歪器と鋼種を記録しておき、それぞれに応じた較正曲線を適用しなければならない。SM材については、計測当時は磁歪器3のみがメーカーによるオフセット・キャンセル(校正)がされた状態であったことから、同じ状態で作成した較正曲線(図-2)を適用している。なお、磁歪器2が現地でバッテリーの不具合を生じたことから、磁歪器1と3の2台で計測した。

b) 解析結果と考察

図-4に、せん断応力差積分法によって計算した作用応力分布(支間中央付近)の一例を示す。図中の点線は、はり理論によって計算した各断面に作用する垂直応力度(曲げ応力)とせん断応力度の推定値である。これらの推定値を計算する際に、各断面に作用する曲げモーメントとせん断力の値が必要となるが、本解析では各測点での出力電圧を較正曲線に適用して求めた作用応力分布を各部位の全断面積にわたって積分する方法で求めている。

この横梁は2径間連続ばりであることから、等分布

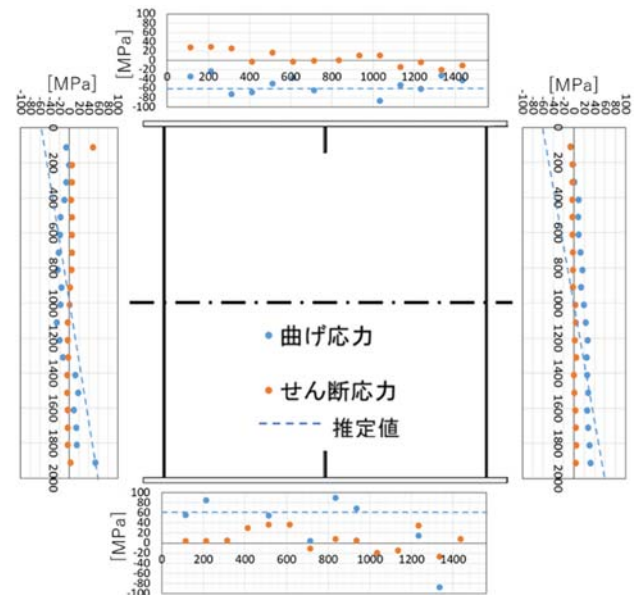


図-4 作用応力分布の一例(支間中央付近)

死荷重を仮定した場合には支間中央付近で正の曲げモーメントが最大となり、せん断応力は0MPaに近くなると予想される。図から、せん断応力の解析結果は各部位ともに全体的には0MPa付近に分布していることが確認できるが、上フランジよりも下フランジ(SS41)のばらつきが若干大きい。また、ウェブの曲げ応力分布に着目すると、両側ともに上フランジ側から下フランジ側に向かって、徐々に解析値が推定値に近づく傾向にある。この方向は、解析時の積分方向に一致していることから、せん断応力差積分法では端点における積分方向の垂直応力度を0MPa(自由端)と仮定していることに起因すると考えられる。

このようにせん断応力差積分法では、既知となる端点の応力の仮定が重要になることから、箱形断面のような自由端の無い板で構成される場合には、端点とした測点において、1点測定により積分方向の応力を直接測定し、これを初期値として積分計算することで、実際に近い分布が得られる可能性がある。

4. まとめ

本研究で実施した現場計測の範疇において、推定される作用応力分布の傾向は、構造力学の観点から予想される結果に概ね沿っていたが、数10MPaのばらつきが生じることが予想される。

参考文献

- 1) 鈴木舞, 藤井堅, 池田誠: 磁歪応力測定法の非破壊検査への適用性, 土木学会中国支部研究発表会発表概要集, Vol. 51, pp. 37-38, 1999.
- 2) 安福精一, 藤井堅, 末宗仁吉, 境禎明, 村井亮介, 池田誠, 黒瀬義幸: 磁気を用いた鋼構造物の応力測定, 橋梁と基礎, vol. 35, no. 6, pp. 33-38, 2001.
- 3) 大内詩桜, セリーン: 磁歪応力測定におけるSS400鋼材の較正曲線と表面仕上げの影響, 令和3年度徳山工業高等専門学校 土木建築工学科 卒業研究論文集, 2022. 3.