

第 I 部門 磁歪センサによる高力ボルトの軸力推定に関する実験的検討

神戸大学工学部 学生員 ○大谷圭輝
 神戸大学院工学研究科 正会員 橋本国太郎

1.序論 我が国では、高齢化した構造物が多くあり、構造物の維持管理が重要となっている。維持管理に関する評価結果を適切に得るためには構造物にかかる応力を推定する必要がある。そこで、応力によって材料が磁氣的に異方性を示すこと（磁気異方性）を利用し、応力を測定する自己バランス型磁気プローブ（磁歪センサ）が開発された。プローブを鋼材にあてることにより、応力に対して平行な方向と垂直な方向での透磁率の差に比例する出力、すなわち応力差に比例した出力電圧が得られる。ひずみゲージによる応力測定に比べると精度は劣るものの、構造物に全く傷を付けることなく、塗装の上からでも、錆の上からでも構造物に作用している応力を測定することができる。一方、鋼部材の接合には、高力ボルト摩擦接合継手が広く用いられているが、ボルト軸力の低下が問題となっている。そこで本研究では、磁歪センサを用いることにより、高力ボルトに作用する応力を推定し、ボルト軸力の低下が確認できるかを実験的に検討する。

2.磁歪センサの原理 鋼材に応力が作用した場合、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、応力に垂直方向には磁化しにくくなることに着目し、互いに垂直な二方向の磁氣的性質の差を検出する磁気プローブが開発された。磁気異方性を利用した磁歪法では、プローブを応力の作用した鋼板上に押し当てて、プローブの励磁コイルに電流を流すことで正弦波を与え、検出コイルから得られる信号を増幅し、位相検波回路によって信号の位相情報を残して主応力差に対応する出力電圧を得ることが基本的な方法である。電圧 $V[V]$ は $V=K \cdot (\sigma_x - \sigma_y)$ で表される。ここで、応力の 360° 分布について大きさと方向を知るため、応力測定の時、プローブを 0° 、 45° 、 90° 、 135° 回転させ各角度で測定した応力の大きさを、フーリエ変換を利用して近似し半回転分の応力を算出する。使用した磁歪センサー式と、磁歪センサのプローブの写真、それぞれ写真 1、写真 2 に示す。

3.磁歪センサによる鋼材応力推定精度に関する基礎実験 磁歪センサによる鋼材の応力推定の精度について検討するために、鋼試験体に対し、圧縮・引張・曲げの 3 つの応力試験を、弾性範囲内で実施した。試験体に対し、荷重を作用させ、荷重を途中で止め、その都度、磁歪センサで測定した。計測項目は、荷重、ひずみ、および磁歪センサの出力電圧である。

圧縮・引張・曲げの 3 つの応力試験において、磁歪センサの出力値は、荷重をかけ始めると大きく上昇し、その後荷重をかけても増えにくくなる結果となった。また、試験体の厚さが厚くなると、磁歪センサの精度が落ちる。ただ、磁歪センサの出力値は厚さが薄くても、ある程度のばらつきが生じることも確認できた。



写真 1 磁歪センサー式



写真 2 プローブ

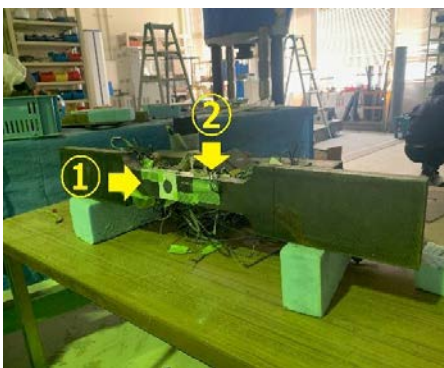
また、測定する鋼材によって、出力値の初期値や変化が大きく異なる．代表例として、引張試験の試験体を写真 3 に、引張試験の結果を図 1 に示す．

4.磁歪センサによる高力ボルトの軸力推定精度に関する基礎実験 磁歪センサによる高力ボルトの軸力推定の精度について検討するために、高力ボルトに対し、弾性範囲内での実験を行った．事前に、使用するボルトの軸力について、軸力とひずみとの関係を求めるために、キャリブレーション試験を行った．その後、トルクレンチによりボルトに軸力を載荷し、磁歪センサにより検知する実験を行った．実験には、母板、連結板 (SS400)、高力ボルト (F10TM22) を使用し、2 面摩擦によって接合した．トルクレンチによりボルトに荷重を作用させ、途中で荷重を止め、その都度、磁歪センサにより出力電圧を測定した．磁歪センサは、ナットの 6 面の出力電圧を測定した．ナットの 6 面での出力値の平均値と、ボルトの軸力との関係を図 3 に示す．磁歪センサの出力値は、荷重をかけ始めると大きく増加し、その後 300MPa 付近から荷重をかけてもあまり増加しなくなることが分かった．また、同じ荷重でも、ボルトやナットの面ごとで、出力値のばらつきが生じた．よって、10%程度の軸力抜けを磁歪センサにより検知するのは難しいと考えられる．また、今回の実験では、ボルトの頭部を磁歪センサにより測定する実験も行ったが、荷重が作用しても、磁歪センサの出力電圧は増えたり減ったりしたため、線型的な結果を得ることができなかった．

5.結論および今後の課題 今回の研究では、主に鋼材の弾性範囲内で実験を行い、応力と出力電圧にはある程度線型的な関係があることが分かった．今後は、塑性域および繰り返し塑性ひずみが作用した場合での検討や、さびや塗装の上から、磁歪センサでの測定を行った場合の測定精度についての検討も行う予定である．

参考文献

藤井堅，鈴木舞，池田誠：磁歪応力測定法の非破壊検査への応用，I-19，土木学会中国支部第 51 回研究発表会，pp.37-38，1999．



①の裏を③、②の裏を④とした

写真 3 引張紙試験の試験体

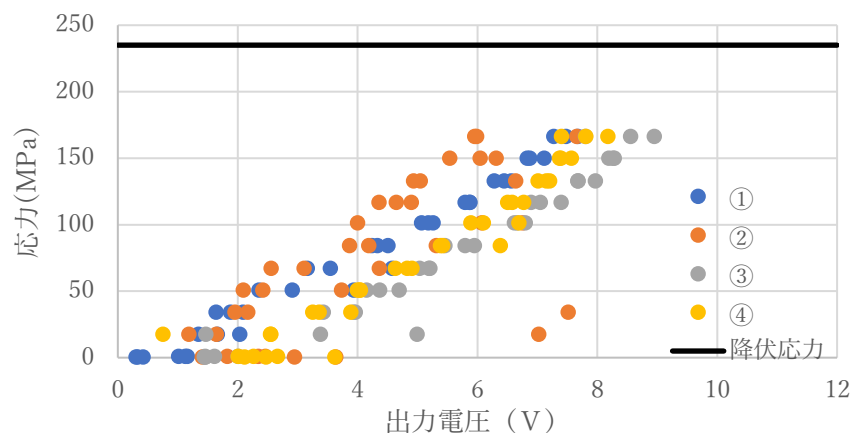


図 1 鋼材の 4 面を測定した場合の引張試験での応力-電圧関係

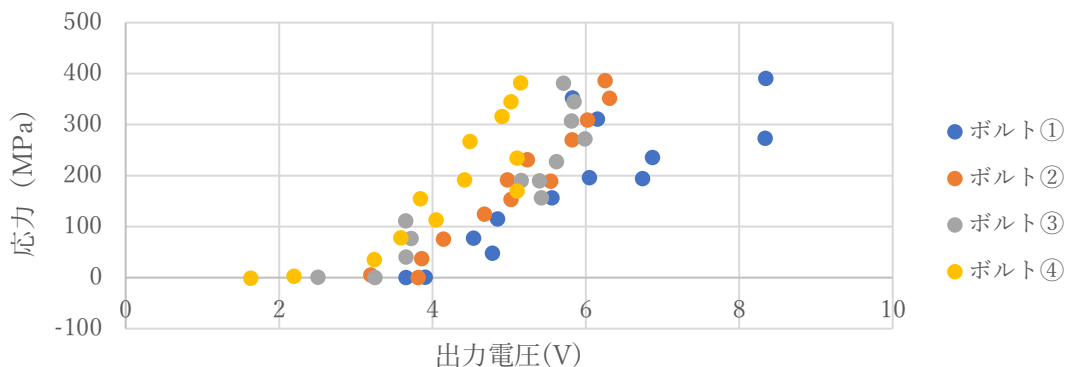


図 2 ナットの 6 面での出力値の平均値と、ボルトの軸力との関係