

# 磁歪法を用いた鋼構造物の応力測定に関する研究

中電技術コンサルタント (株) 正会員 ○佐竹 亮一  
松江工業高等専門学校 正会員 大屋 誠  
東海旅客鉄道 (株) 金山 拓人  
新日鐵住金 (株) 正会員 澤石 正道  
日鐵住金建材 (株) 正会員 徳岡 孝俊

## 1. はじめに

現在、構造物に作用している応力の測定方法として一般的なものは、ひずみゲージ法である。ひずみゲージ法とは、ゲージを測定箇所には張り付け、物体の変形による電気抵抗の変化を測定することにより、ひずみ量に換算し応力を求める方法である。そのため、溶接部や既存構造物のようにすでに応力が作用し、ひずんでいるところにゲージを貼り付けても、その場所の応力は測定できない。そのような場合は、ゲージの周りを切断し、応力開放という破壊的な方法で応力を逆算して求めることになる。

ひずみゲージ法に比べれば精度は劣るものの非破壊で応力を求める方法として、磁歪式応力測定法<sup>1)</sup>(以下、磁歪法)がある。磁歪法は構造物に傷をつけることなく塗装や錆の上からでも応力の測定ができる。

本研究では、磁歪法による鋼構造物の応力測定について、鋼材試験片の引張試験より、計測される弾性範囲内から塑性領域の応力特性を確認する。また、鋼管回転杭を対象に製作過程で生じる残留応力を測定可能か検討する。

## 2. 磁歪法の概要

### (1) 磁歪法の原理

鋼材などの強磁性体にコイルなどで磁場を加えると、鋼材は磁化され、それに伴い長さが $3 \times 10^{-6}$ 程度まで伸びる。この現象の逆の効果として、鋼材に引張応力が作用すると磁化しやすくなる。即ち、応力が作用すると磁気透過率に異方性が生じる。その異方性をプローブにより検出することで、応力を算出することができる。

### (2) 測定方法

磁歪式応力測定器は、測定したい鋼材にプローブを当てることによって、鋼材を励磁させ、磁場を形成させることで電圧を検出する装置である。測定したい鋼材によって応力感度が異なるため、応力と電圧との関係を示す較正曲線

を作成しておく必要がある。このプローブを応力が未知の鋼材に押し当て、 $0^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $135^\circ$ の4方向の値を測定することで応力の方向と電圧を計測することができる。その後、測定した電圧から較正曲線を用いて応力に変換する。



図1 磁歪式応力測定装置

## 3. 測定結果と考察

### (1) 応力値と電圧値の関係

#### a) 較正曲線の作成

万能試験機により、弾性範囲内において載荷試験を行い、試験中に磁歪法で電圧を測定する。その測定結果を用いて、応力-電圧の較正曲線を作成する。今回の試験では、3本の5号試験片を用いて3回の引張試験を行う。各応力で3回測定し、3回の平均値を用いる。

図2に、磁歪法の応力値と電圧値との関係を示す。試験片にも加工に伴う初期応力が発生しているため、較正曲線の作成の際には、初期応力の影響を除去するため原点を補正した。図2から、試験片全てにおいて、載荷荷重をかけるとそれに伴って電圧が増加し、載荷荷重を下げると電圧が低下することがわかる。図2から、較正曲線として以下の式が得られた。較正曲線は先行研究より6次関数とした。

$$y = 0.0193x^6 - 0.2951x^5 + 1.3314x^4 + 0.6672x^3 - 19.989x^2 + 65.771x \quad (1)$$

キーワード 応力測定, 維持管理, 磁歪法

連絡先 〒734-8510 広島市南区出汐二丁目3番30号 中電技術コンサルタント株式会社

TEL 082-256-3496

## b) 塑性域での挙動

塑性域まで載荷試験を行い、磁歪法で電圧を測定し、電圧の挙動を確認する。

図3に、塑性域まで載荷した場合の応力値と電圧値の関係を示す。図3から、弾性範囲を超え、鋼材が降伏した後にはひずみが増大するが、磁歪法の電圧値は減少していくことがわかる。その後除荷した場合、電圧がマイナスの値を示す。この結果から、一度降伏した鋼材は除荷を行うと電圧がマイナス値<sup>2)</sup>を示すようになると推察される。

### (2) 鋼管（鋼管杭）の応力測定

鋼管は、製造過程において様々な塑性加工を施す。これらの製造過程では、残留応力の発生は避けられない。磁歪法により鋼管の残留応力の測定ができれば、施工時や維持管理において有用なデータとなる。

規格 STK490、鋼管径 165.2 mm、板厚 4.5 mm、長さ 6,000 mm の鋼管に羽根・コマを溶接した鋼管杭を磁歪法で測定する。測定した結果をもとに較正曲線を用いて応力値へ換算した。図4に、鋼管杭の応力測定結果を示す。磁歪法により測定した電圧を式(1)に代入し、応力を算出した。応力は鋼管の長手方向の溶接部の左右で測定し、左側の結果を■マークで、右側の測定結果を●で示す。

図4から、両端部（切断部周辺）は65~70MPa程度の応力が発生していることがわかる。端部の少し内側では応力が中央部に比べ低い値となっており、これは鋼管製造過程において鋼材の切断の工程で端部に生じる残留応力が原因と考えられる。中央部の測定位置において、端部より全体的に大きな値となっている。これは鋼管（鋼管杭）の両端部をコマで支え、単純梁に自重が作用し、応力の値が全体的に大きくなっているものと考えられる。

以上の結果より、磁歪法により応力測定することが可能であると思われる。

## 4. まとめと今後の課題

本研究では、磁歪法による鋼管（鋼管杭）の応力測定の基礎研究を行った。その結果、磁歪法を用いての鋼管の応力測定は可能であることがわかった。しかし、本研究で測定した鋼管径 165.2mm の鋼管では曲率が大きく、測定時に測定エラーが多く出た。したがって、プローブの改良等が今後、必要であると思われる。

塑性域での挙動に関しては、電圧値（センサ値）の変化にしか着目していなかったため、今後の研究で降伏後の応力の作用する方向についても検証していきたい。

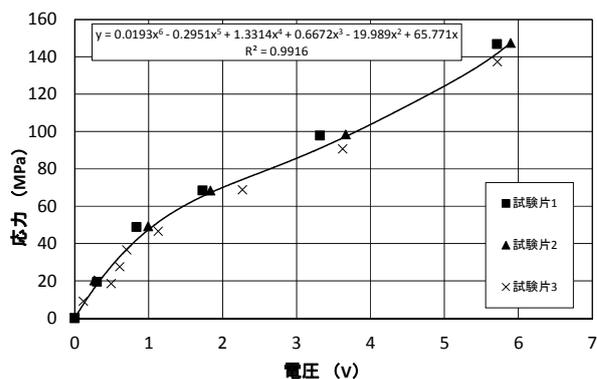


図2 応力値と電圧値の関係

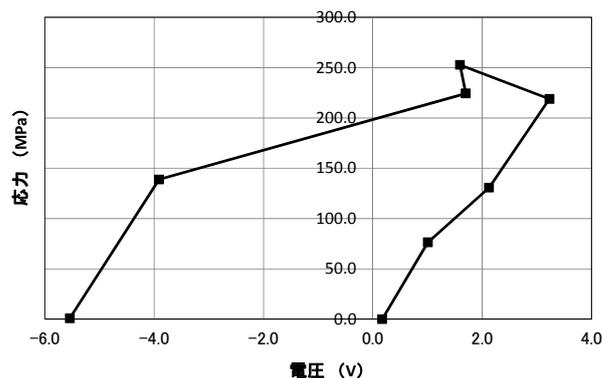


図3 塑性域での挙動

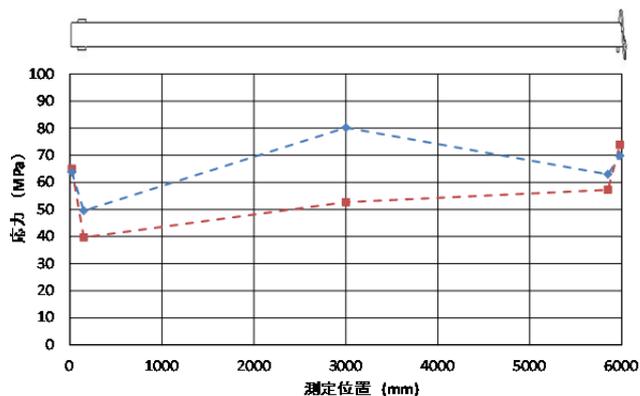


図4 鋼管杭応力分布図

磁歪法による応力測定の実績データが少なく、さらなる研究が必要である。

## 参考文献

- 1) 安福精一：磁気ひずみ法による応力測定技術の基礎，溶接学会誌，72 (2)，p38-41，一般社団法人溶接学会 (2003)
- 2) 芥川真一：磁歪法による応力計測，地盤工学会誌，65-9，p30-31，公益社団法人地盤工学会 (2017)