

## 磁歪法による鋼構造物の応力評価

松江工業高等専門学校専攻科 学生会員 ○河原 達哉  
 松江工業高等専門学校 正会員 大屋 誠  
 中電技術コンサルタント 正会員 佐竹 亮一  
 システム計測 非会員 中西義隆, 小原 賢二

### 1. はじめに

近年、限られた費用で膨大なインフラを維持管理する必要のあることから、インフラが長期にわたり健全性を維持したままストック効果を発揮し続けるために AI や非破壊技術を活用した構造物メンテナンスの効率化に関する技術開発が求められている。2018年10月、山口県の大島大橋に巨大貨物船が衝突する事故が発生した。この衝突により、鋼部材が大きく変形し、変形した部材を交換する際に、応力解放による大きな反発が生じた。工事の安全性確保のために、既存構造物の全応力を現場で容易に測定可能な手法の開発が求められるようになった。また、経済性の観点から、既存構造物の部材を再利用することが検討されるようになり、残留ひずみの有無を計測したいという要望が増加している。磁歪式応力測定法<sup>1,2)</sup> (以下、磁歪法) は、非破壊応力評価手法として確立され、鋼材表面の電圧から応力を評価する手法であるが、鋼材が弾性領域と塑性領域のいずれかに属するかを判別することが困難である。

そこで本研究では、鋼材の一軸引張試験を通し、磁歪法による電圧と大変形を考慮した弾塑性有限要素解析による応力やひずみの解析結果を比較することにより、磁歪法による鋼材の弾塑性域における状態評価の検討を行う。なお、磁歪法は、写真1に示すシステム計測(株)が中電技術コンサルタント(株)の機器を参考に開発したポータブルな磁歪式応力測定装置を用いた。

### 2. 試験片の概要と試験方法

磁歪式応力測定装置の評価を行うために、試験片は焼きなまし処理により極力応力がゼロに近い試験片を作成し、その評価を X 線装置 ( $\mu$ -X360s) による回折原理で分析した (表1)。なお、試験片の材料は、一般構造用圧延鋼材 SS 材で実施した。作成した試験片に対し、精密万能試験機 (オートグラフ) を用いて、一軸引張試験

を行う。結果の出力には SHIMADZU TRAPEZIUM X 及びひずみゲージを用い、試験力、ストローク、試験片軸方向と軸直交方向のひずみを計測した。試験片の弾塑性特性を把握するために試験片 3 本で応力-ひずみ関係を求めた。



写真1 磁歪式応力測定装置

表1 試験片の初期応力と試験目的

試験片 No.	試験片初期応力 ( $\mu$ -X360s)		試験目的
	$\sigma_x$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	
1	-8	55	材料特性試験
2	-2	28	材料特性試験
3	-14	-5	材料特性試験
4	13	3	—
5	2	52	磁歪法測定
6	-10	11	磁歪法測定
7	40	-3	磁歪法測定

### 3. 数値シミュレーションを用いた有限要素解析

本研究では、構造解析ソフトウェアとしてオープン CAE システムで構築されている DEXCS-WinXistr<sup>3)</sup> を利用する。Salome を用いて FrontISTR で解析可能なソリッドモデルを作成し、ParaView にて結果を出力する。なお、境界条件としては、一端で部材軸方向とその水平方向を固定し、他端に軸方向に 20000N の試験力を 50 ステップに分割して与え、バイリニア型の材料特性を用いて解析を行う。また、材料特性値は、試験片 No.1 ~ 3 の材料特性試験より測定した応力-ひずみ関係を用いて、ヤング係数を  $2.0 \times 10^5$  [N/mm<sup>2</sup>]、ポアソン比を

0.399, 上降伏点から降伏応力を 220[N/mm<sup>2</sup>]とし, 塑性領域における剛性を 100 分の 1 に設定した. 有限要素法による弾塑性解析による応力-ひずみ曲線の解析結果を図 2 に試験結果と重ねて示す.

#### 4. 磁歪法による測定結果と状態評価

磁歪式応力測定装置を一軸引張試験の弾性領域及び塑性領域の各段階に適用し, 電圧を測定する. 測定方法としては, 1 回の測定に対し, プローブを回転させ, 4 方向の電圧を測定し, 各 5 回測定したものの最大値及び最小値を除いた 3 回の平均値とする. 測定結果を図 3 に示す. 横軸が測定電圧, 縦軸は測定時の荷重(試験力)である. 電圧と荷重の関係に従うと, 降伏直後の塑性領域に入ると電圧の減少が生じる. また, 塑性領域において荷重を取り除くと, 電圧は高く残ったままの状態となる. 磁歪法による電圧の測定結果と応力-ひずみ関係における測定位置を図 4 に示す. この時, 1 つの電圧に対し, 2 つ以上の応力が測定される点が存在する. この点について, 解析結果を確認すると, 主応力方向に変化が見られた(図 5). そこで各試験片で弾性領域と塑性領域でほとんど等しい電圧を示す弾性領域及び塑性領域の 2 点に対し, 各方向の電圧分布を図 6 に示す. 図 6 より, 弾性領域に対し, 塑性領域では電圧の最大値を示す角度が荷重方向に対し 45°ずれることが分かった.

#### 5. まとめ

鋼材の一軸引張試験より, 応力-ひずみ曲線における磁歪法による出力電圧の特性を確認した. 弾性域では, 除荷後に電圧は初期状態に戻るが, 降伏後の塑性域では, 外部応力を除荷しても電圧が高く残り, 最大点から除荷すると電圧は減少しないことが分かった. この結果より, 磁歪法により残留ひずみの計測の可能性も確認できた. また, 有限要素解析と比較することによって, 電圧の方向に対する出力の違いから, 装置が出力する電圧で鋼材の塑性化の判断の可能性を確認できた.

#### 参考文献

- 1) 安福精一ら: 磁気を用いた鋼構造物の応力測定, 橋梁と基礎, 35(6), pp33-38, 2001.
- 2) 佐竹亮一ら: 磁歪法を用いた鋼構造物の応力測定に関する研究, 土木学会中国支部第 70 回研究発表会, pp.11-12, 2018.
- 3) 柴田良一: オープン CAE で学ぶ構造解析入門 -DEXCS-WinXistr の活用-, 朝倉書店, 2017.

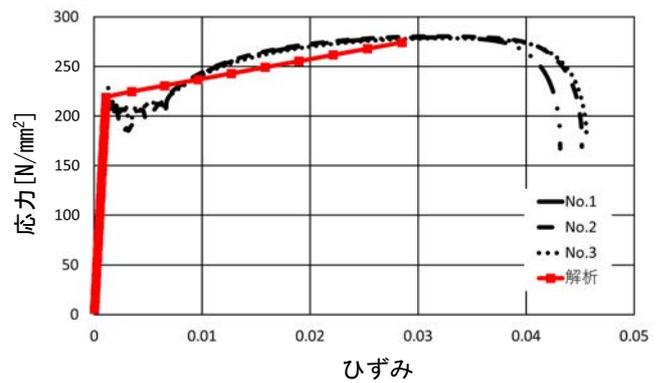


図 2 一軸引張試験の結果と解析の比較

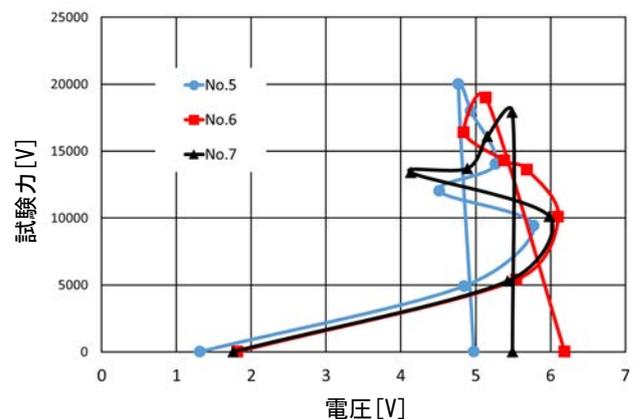


図 3 電圧と試験力の関係

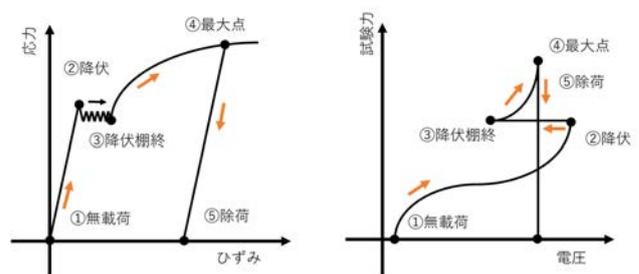
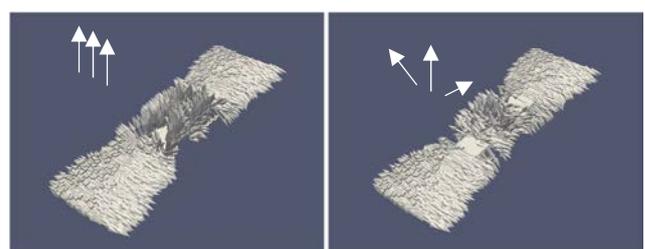
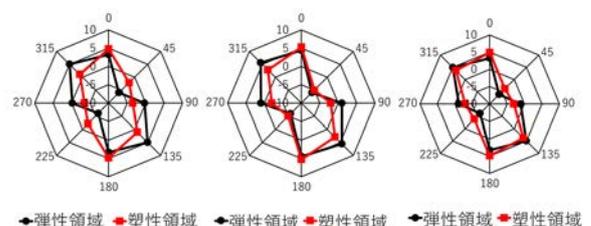


図 4 応力-ひずみ及び試験力-電圧関係イメージ図



(a) 弾性領域 (b) 塑性領域

図 5 弾性域と塑性域の主ひずみ方向



(a) No. 5 (b) No. 6 (c) No. 7

図 6 各方向に対する出力電圧