

## VI-314

## 磁気異方性を利用した橋梁の保守・診断用応力測定システムの開発

NKK エン지니어リング 研究所<sup>\*1</sup> 正会員

○ 境 禎明

NKK 橋梁・港湾建設部<sup>\*2</sup> 正会員

柳原 則行

川畑 篤敬

NKK エン지니어リング 技術総括部<sup>\*3</sup>

玉田 明宏

井戸 泰信

## 1.はじめに

維持管理の観点から既設橋梁の安全性を評価するためには、死荷重応力や活荷重応力を把握することが有効である。応力測定的手法としてはひずみゲージ法によるものが一般的であるが、既設橋梁の死荷重応力を非破壊的に求めることは困難であり、また活荷重応力についてもひずみゲージ取付のために塗装の除去が必要など、自ずとその適用範囲は限られていた。このような背景から著者らは磁気異方性を利用した応力測定法（以下磁歪応力測定法と呼ぶ）に着目し研究開発を進めてきた。今回橋梁の保守診断を目的とした死荷重及び活荷重応力を簡便に精度よく測定するシステムを開発したので以下に報告する。

## 2.測定原理

磁歪応力測定法では図1に示すような磁歪センサを測定対象物上に置いて測定する。いま図1に示すような応力状態にセンサが置かれている場合の動作原理を考えると、被測定物の透磁率は引っ張り応力方向にいくつかわずかに大きくなり、磁気異方性が生じる。このときコアEに巻いたコイルに電流を流すと、センサの足E<sub>1</sub>から出た磁束のうち大部分は直接E<sub>2</sub>へ向かうが、E<sub>1</sub>D<sub>1</sub>間及びD<sub>2</sub>E<sub>2</sub>間はE<sub>1</sub>D<sub>2</sub>間及びD<sub>1</sub>E<sub>2</sub>間に比べ透磁率が $\mu_x - \mu_y$ だけ大きいために一部は矢印で示す経路をたどる。そのためコアDに巻いたコイルには電圧が生じることになる。この電圧Vは、

$$V = M_0 \cdot (\mu_x - \mu_y) \quad \text{①}$$

ただし、M<sub>0</sub>：励磁条件、コイルの条件、材料の特性などによる定数と表すことができ、透磁率の異方性 $\mu_x - \mu_y$ は直交する2軸の応力差 $\sigma_x - \sigma_y$ に比例するため、結果として

$$V = M \cdot (\sigma_x - \sigma_y) \quad \text{②}$$

となる。従って比例定数M（以下磁歪感度と呼ぶ）がわかれば、磁歪センサの出力により応力差を求めることができる。また原理上センサを測定対象面上で回転させたときの出力は、180°周期のC o sカーブとなり、最大になる方向が最大主応力方向のため、最大主応力方向、及び主応力差も求めることができる。

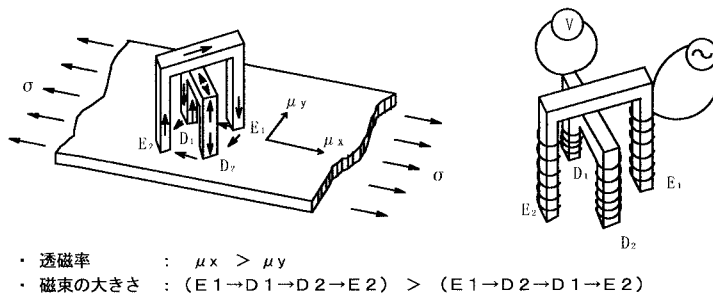


図1 磁歪センサの動作原理

キーワード：応力測定，磁気異方性，磁歪，維持管理，死荷重測定，活荷重測定

\*1 〒514-0393 津市雲出鋼管町1番地

TEL 059-246-3052

FAX 059-246-2790

\*2 〒230-8611 横浜市鶴見区末広町2丁目1番地

TEL 045-505-7570

FAX 045-505-7542

\*3 〒230-8611 横浜市鶴見区末広町2丁目1番地

TEL 045-505-7703

FAX 045-505-8946

### 3.橋梁用磁歪応力測定システム

磁歪応力測定法は上記のような測定原理によるが、実際の橋梁の応力を簡便に測定・評価するためのシステムを開発した。本システムの外観を図2に、システムの出力例を図3に、基本仕様を表1に示す。磁歪センサは小型のセンサヘッドに組み込まれており超小型のモータによって回転し、自動的に主応力方向を求めるようになっている。また一般に磁歪感度はリフトオフと呼ばれる磁歪センサと鋼材との距離によって変化するが、磁歪センサのなかにこのリフトオフを検出する機構を組み込むことによってリフトオフに応じた磁歪感度の補正を行っている。したがって未知の膜厚をもつ塗装の上からでも精度よく測定することができる。計測器本体とセンサヘッドは30mのケーブルで接続され現場での機動性を考慮している。これらの処理はノート型パソコンによって対話形式で集中的に処理され、初心者でも容易に扱えるようになっている。

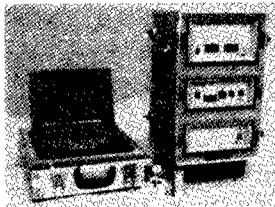


図2 システムの外観

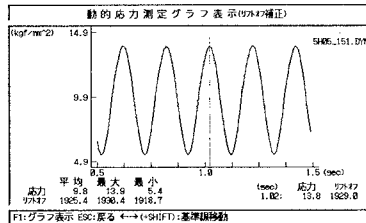


図3 システムの出力例

表1 システムの基本仕様

|       |                                                                                    |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 被測定物  | SM400,SM490,SM520等の橋梁用鋼材                                                           |
| 測定応力  | 静的：主応力方向、主応力差<br>動的：連続応力波形(最大30秒)<br>最大・最小・平均値自動演算機能、他                             |
| リフトオフ | 0.1mm～5.0mm                                                                        |
| 寸法・重量 | センサヘッド：φ85×H100mm,1kg<br>測定機本体：W320×D480×H550mm,27kg<br>制御CPU：W390×D450×H140mm,8kg |
| 電源    | AC100V,50/60Hz,350W                                                                |

### 4.評価試験結果

本システムの測定性能を評価するために、試験体による動的载荷試験を行った。試験はSM490材で製作した図4のような試験体に疲労試験機によって5Hzの正弦波の応力を負荷し、ひずみゲージ及び本システムで求めた応力波形をFFTによって分析して平均応力と応力振幅を比較した。なお実験時の磁歪センサのリフトオフは0.3mmでこれは一般的な橋梁の塗膜厚さに相当する。結果の一例を表2に示すが、これによれば両者の誤差はおおむね1kgf/mm<sup>2</sup>以下となっており、非常に高い測定精度が得られている。

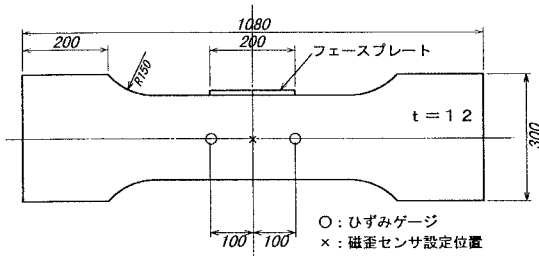


図4 評価試験体

表2 評価試験結果

| 設定応力<br>(kgf/mm <sup>2</sup> ) | 平均応力(kgf/mm <sup>2</sup> ) |      |      | 応力振幅(kgf/mm <sup>2</sup> ) |     |      |
|--------------------------------|----------------------------|------|------|----------------------------|-----|------|
|                                | ゲージ                        | 磁歪   | 誤差   | ゲージ                        | 磁歪  | 誤差   |
| 0-5.0                          | 1.9                        | 1.6  | 0.3  | 2.1                        | 1.9 | 0.2  |
| 0-7.5                          | 3.1                        | 3.0  | 0.1  | 3.3                        | 3.2 | 0.1  |
| 0-10.0                         | 4.2                        | 4.2  | 0.0  | 4.5                        | 4.7 | -0.2 |
| 0-12.5                         | 5.3                        | 5.4  | -0.1 | 5.6                        | 5.9 | -0.3 |
| 0-15.0                         | 6.7                        | 6.7  | 0.0  | 6.6                        | 6.8 | -0.2 |
| 5-10.0                         | 6.9                        | 7.2  | -0.3 | 2.0                        | 1.9 | 0.1  |
| 5-12.5                         | 8.1                        | 8.4  | -0.3 | 3.2                        | 3.1 | 0.1  |
| 5-15.0                         | 9.3                        | 9.6  | -0.3 | 4.3                        | 4.2 | 0.1  |
| 10-12.5                        | 10.7                       | 11.3 | -0.6 | 0.4                        | 0.3 | 0.1  |
| 10-15.0                        | 11.9                       | 12.3 | -0.4 | 1.7                        | 1.4 | 0.3  |

### 5.おわりに

高度成長時代から安定成長時代へと移り変わり、橋梁の保守診断技術に対するニーズは今後ますます増大していくものと思われる。このような環境のなかで磁歪応力測定法は非接触測定が可能なことや、測定操作が極めて簡単なことなどの優れた特徴を有している。今回は実験室レベルでの検討によって十分な測定精度が確認されたことを報告したが、現在実橋での応力測定実験が進行中であり、この実験を通してシステムの改良も行っている。これらの成果についてはまた別の機会に紹介したいと考えている。

- 【参考文献】 境、矢作、高田ほか：磁気異方性を利用した応力測定法の橋梁部材への適用検討、土木学会第50回年次学術講演会第6部、P662-663(1995.9)  
境、川畑、池田ほか：磁気異方性を利用した応力測定法による橋梁部材の応力測定、土木学会第52回年次学術講演会第6部、P516-517(1997.9)