

パルス型EM現象を利用したケーブルの応力測定について

木更津高専・環境都市工学科 正会員 ○黒川 章二
 (株)計測リサーチコンサルタント 正会員 羅 黄順
 イリノイ大学・先端センサ技術開発センター Ming.L.Wang
 木更津高専・環境都市工学科 正会員 嶋野 慶次

1. まえがき

鋼材について、Elasto-Magnetic (EM) 現象を利用し、応力と透磁率および温度との関係付けを行えば、被測定体はもちろんのこと、保護用被覆さえも傷つけることなく、ケーブル、鋼棒、鋼より線などの実応力を測定することができる。最近、パルス型EM現象を利用して、複雑な鋼材のヒステリシス曲線全体を用いずに、微分的な磁界強さと磁束密度から透磁率を測定し、瞬時に鋼材の応力を算定することができる応力測定方法が開発されている^{1,2)}。その方法をケーブル応力のモニタリングシステムに使うことを目的に実験を行った。本報告では、その応力測定方法について述べ、7mm 鋼線の応力、透磁率、磁界強さ、温度の関係付けを行い、それをもとに、37

7mm ケーブルの引張力を推定し、実験値と比較した。

2. 計測システム

EM センサは、1次および2次コイルと温度センサを含んだ円筒型コイルであり、被測定体に接着しないので、任意位置にセットできる(図1)。図2は、被測定体のヒステリシス曲線である。磁界強さが強くなると磁束密度が大きくなり、飽和状態になる。その後、磁界強さを弱めるとaからbへの経路をたどる。ピーク時に飽和状態になるようなパルス型電圧を1次コイルへ印加した場合の電流あるいは電圧と時間との関係は図に示すようになる。透磁率 μ は、一般に $\mu=B/H$ とされているが、本研究においては、a~b間で、 t_H から t_L までの微小時間におけるヒステリシス曲線上の磁界強さ変化量 H に対する磁束密度変化量 B の比である微分透磁率 $\mu_{inc} = B/H$ を μ として用いる。12VDC/100VAC 電源からの電気をコンデンサに蓄えて、200~300V のパルス電圧を1次コイルに印加して、2次コイルに誘導された電流の電圧から透磁率(比透磁率)を測定し、測定温度と併せて応力を算定する。図3は各応力のもとで測定した透磁率と磁界強さとの関係である。ある磁界強さにおける透磁率の測定により応力を計測できることがわかる。微分透磁率の性格から、グラフが直線に近くて応力の影響に敏感な磁界強さ領域で透磁率を測定することが必要である。

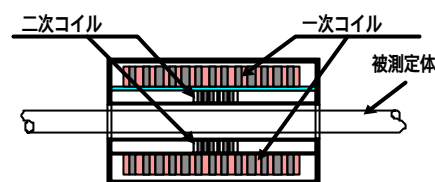


図1 EMセンサ

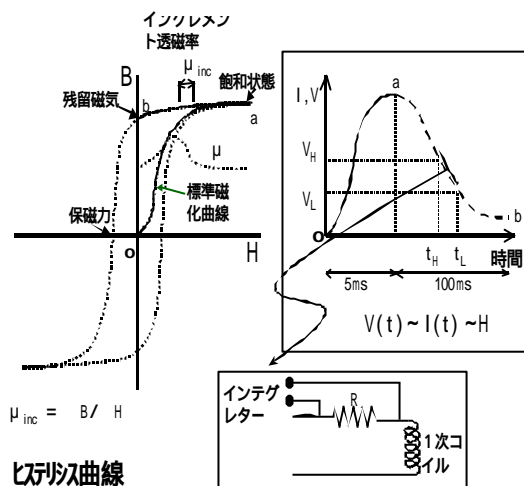


図2 磁束密度B, 磁界強さH ~ 電流I, 電圧V の関係

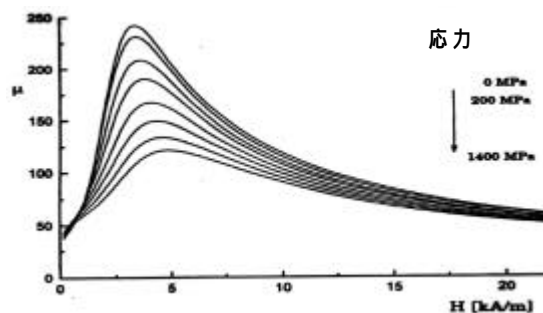


図3 各応力での透磁率 μ と磁界強さH の関係

キーワード : EM 現象、EM センサ、透磁率、鋼材応力、ケーブル

連絡先 : 〒292-0041 千葉県木更津市清見台東 2-11-1, tel 0438-30-4156, fax 0438-98-5717

e-mail kurokawa@c.kisarazu.ac.jp

3. キャリブレーション

キャリブレーションとは、まだ力を受けたことのない生地の鋼材に対して、透磁率を応力および温度の関数で表式化することである。温度 T 、応力 σ における鋼材の透磁率を次の式で近似する。

$$\mu(\sigma, T) = \mu(0, 0) + m_1 \sigma + m_2 \sigma^2 + T \quad (1)$$

m_1, m_2 : 温度が一定状態にある場合の実験定数

T : 応力が一定状態にある場合の実験定数

$$\mu(\sigma, T) = \mu(0, T) + m_1 \sigma + m_2 \sigma^2 \quad (2)$$

$$\mu(0, T) = \mu(0, 0) + T \quad (3)$$

式(2)における $\mu(0, T)$ 、 m_1, m_2 は一定温度 T における鋼材の引張試験結果により決定する。式(3)における $\mu(0, 0)$ 、 T は、無応力状態において、鋼材の温度に伴う透磁率の測定結果により決定する。

各種鋼材のキャリブレーションを予め行っておけば、構造物部材の実応力は、部材の透磁率と温度を測定することにより、式(1)を用いて算定することができる。

図4は、 25 ± 1.5 で行った7mm鋼線の引張試験における透磁率と応力の関係である。実験式の相関係数が0.9996であることから、精度の高いキャリブレーション結果が得られた。

図5は、恒温槽の中に7mm鋼線を入れて、無応力状態で温度を $-20 \sim 40$ の範囲で変化させて、それに伴う鋼材の透磁率を測定した透磁率と温度の関係である。透磁率と温度との相関係数は0.9986であり、温度に対するキャリブレーションも高い精度が得られた。

4. ケーブルの引張試験

供試体は、7mm鋼線を37本束ねたケーブルである。ケーブルの表面はポリエチレンで被覆されている。鋼線の一本一本が等しく力を受け持つように、両端の鋼線をばらして図6のように直方体コンクリートブロックに定着した。荷重は、ケーブルに対して対称に配置した2つのジャッキにより加えた。図7に示すように、EMセンサーによる引張力推定値はロードセル読み取り荷重とよく対応している。

5. まとめ

鋼材の応力計測のもとになるキャリブレーションを精度よく実行することができた。そのキャリブレーション結果を使って推定したケーブルの引張力はロードセルによる実験結果とよく対応した。従来の方法にない利便性を持つ本方法は、計測の信頼性からも構造物のモニタリングに適していることが判明した。

6. 参考文献

- 1) S.Sumitro, Y.Matsui, M.Kono, T.Okamoto and K.Fujii, "Long span bridge health monitoring system in Japan", Proc. Of SPIE.4337-67, Newport beach, March 5-7, 2001
- 2) Z.L.Chen, M.L.Wang, T.Okamoto and S.Sumitro, "A new magnetro-elastic stress/corrosion sensor for cable-stayed bridges using measurement of anhysteretic curve", 2nd Workshop on ATUEDM, Kyoto, July 11-13, 2000

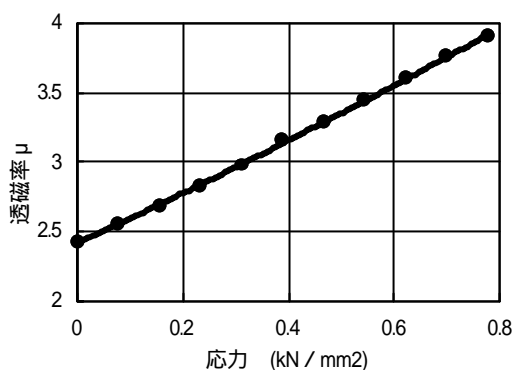


図4 7mm鋼線の透磁率と応力の関係

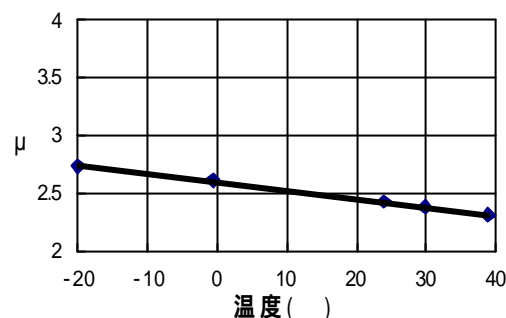


図5 7mm鋼線の透磁率と温度の関係

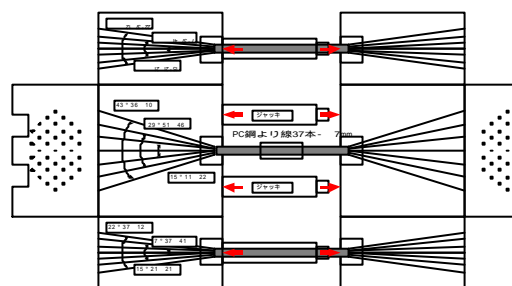


図6 37 7mmケーブルの載荷装置展開図

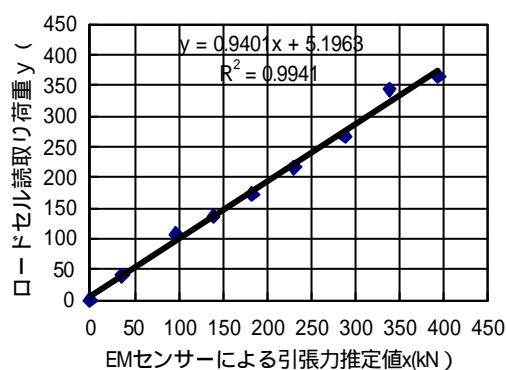


図7 ロードセル読み取り荷重とEMセンサーによる引張力推定値との関係