

EMセンサーを用いた鉄筋実応力測定における応力算出式の適用性

木更津工業高等専門学校 正会員 ○青木優介 黒川章二 嶋野慶次
 木更津工業高等専門学校 学生会員 松崎裕亮
 (株)計測リサーチコンサルタント 正会員 羅 黄順

1. はじめに

EM(Elasto-Magnetic)センサーとは、磁性材料の透磁率が温度と応力により変化する性質を利用した鉄筋の実応力測定センサーである¹⁾。その測定手順は、①測定対象となる鉄筋の透磁率－温度－応力の三者関係をあらかじめ実験室等で求めておく、②現場において鉄筋の透磁率と温度をセンサーにより測定する、③これらの値を求めておいた三者関係に代入して鉄筋に導入されている実応力を算出する、というものである¹⁾。

現段階の問題として、鉄筋の透磁率－温度－応力の三者関係を求める作業に手間がかかること、その作業のために鉄筋の一部を構造物中から切り出してこなければならないことがある。ここで、ある1本の鉄筋から求めた三者関係が、他の鉄筋に対しても適用できるということになれば、以後、三者関係を求める作業を大幅に省略できることになる。本研究では、ある1本の鉄筋より求めた三者関係を用いて、製造年代、製造工場、規格の異なる鉄筋の応力を算出し、それぞれに関する三者関係の適用性について検討した。

2. 1本の鉄筋における三者関係の決定

2.1 三者関係の関数形

最初に、鉄筋の透磁率－温度－応力の三者関係を表現する関数形を定めておく。本研究では、鉄筋の透磁率に及ぼす温度と応力の影響を表現する関数として、式(1)の関数形を用いている。

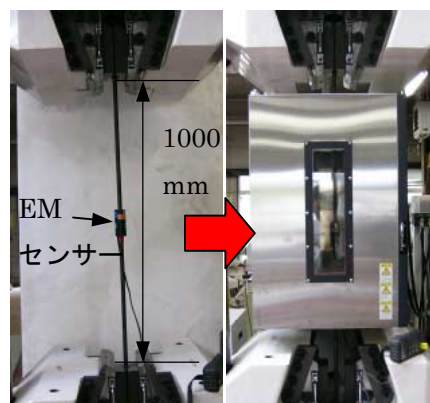
$$\mu(\sigma, T) = \mu(0, 0) + m_1\sigma + m_2\sigma^2 + \alpha T \quad (1)$$

ここで、 $\mu(\sigma, T)$: 応力 σ [kN/mm²]、温度 T [°C]における鉄筋の透磁率、 $\mu(0, 0)$: 応力 0[kN/mm²]、温度 0[°C]における鉄筋の透磁率、 m_1, m_2 : 透磁率－応力関係から求められる実験定数、 α : 透磁率－温度関係から求められる実験定数である。このうち、透磁率 $\mu(\sigma, T)$ と温度 T は、実測時に EM センサーにより測定するので、この段階で実験定数 m_1, m_2 および α を求めておけば、応力 σ が算出できることになる。

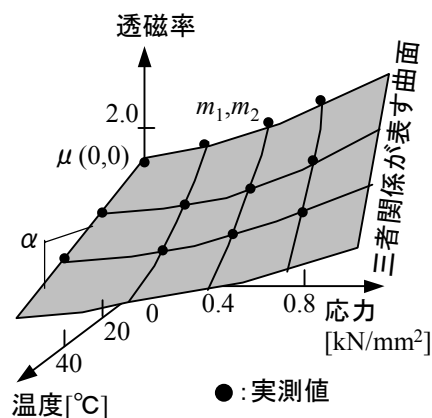
2.2 三者関係の決定

本研究では、 $\phi 15\text{mmPC}$ 鋼棒（1989年I工場製造、C種）について三者関係を求めた。その際の様子を写真－1に示す。鋼棒の長さは1500mmである。両端250mmを載荷試験機とのフック長とし、中央部に EM センサーを取り付け透磁率と温度を測定している。鉄筋を囲む炉内では、-20°C～60°Cまでの温度を一定にできる。

実験定数の決定過程を模式的に図－1に示す。応力を0とした状態での透磁率－温度関係を式(1)より回帰して $\mu(0, 0) = 1.753$ 、 $\alpha = -0.002$ を決定した。次に、温度を一定にした状態での透磁率－応力関係を同じく式(1)により回帰して $m_1 = 1.114$ 、 $m_2 = 0.630$ を決定した。



写真－1 三者関係を求める作業



図－1 各実験定数の決定過程

キーワード EMセンサー、実応力、透磁率、PC鋼棒

連絡先 〒292-0041 千葉県木更津市清見台東2-11-1 木更津高専環境都市工学科 TEL 0438-30-4129

3. 他の鉄筋への三者関係の適用性に関する検討

3.1 検討方法

三者関係を求めた鋼棒と同ロットの鋼棒、また、製造年代、製造工場、規格が異なる鋼棒について引張試験を行い、試験機で測定される応力と EM センサーにより測定される（前章の三者関係より算出される）応力を比較した。対象とした鋼棒の詳細を表-1 に示す。試験本数は3本ずつとしたが、3本とも同じ結果となったため、以後のグラフには1本の結果を記している。なお、応力の測定は1本の鉄筋に対して3回繰り返した。

3.2 検討結果

各鋼棒において測定された応力の比較を図-2 に示す。なお、本結果は、測定2,3回目の値を平均したものである。測定1回目の値を用いなかった理由については後述する。

三者関係を求めた鋼棒と同ロットとなる 1989-I-C の鋼棒では、EM センサーで測定される応力が試験機の応力とほぼ一致している。このことから、同ロットの鉄筋の場合、そのうちの1本の鉄筋から求めた三者関係が、他の鉄筋に対して完全に適用できるといえる。

製造年代が異なる 2003-I-C の鋼棒では、EM センサーで測定される応力が試験機の応力よりも一律 9%程度小さくなっている。これと工場が異なる 2003-A-C の鋼棒、規格が異なる 2003-I-B の鋼棒についても同じ結果であった。このことから、製造年代が異なる鉄筋については、ある1本の鉄筋から求めた三者関係により応力を算出する場合、いくらかの誤差が生じる可能性があるといえる。一方、製造年代さえ同じであれば、工場、C種とB種の規格の違いがあろうとも、ある1本の鉄筋から求めた三者関係が、他の鉄筋に対しても完全に適用できる可能性が示された。

3.3 測定1回目の値を用いなかった理由

2003-I-C の鋼棒について、測定1,2,3回目の応力の比較を図-3 に示す。測定1回目の値に特に大きな誤差が生じている。これは、測定2,3回目の鋼棒が測定1回目において荷重と磁化を経験しているのに対し、測定1回目の鋼棒はどちらも未経験であることが原因だと考えた。図中の●は、事前に 0.68kN/mm^2 の応力を経験させた同ロット鋼棒の測定1回目の値、○は、事前に無載荷の状態では EM センサーによる磁化を複数回経験させた同ロット鋼棒の測定1回目の値である。事前に応力を経験した鋼棒では、未経験の鋼棒よりも誤差が小さくなっていることがわかる。一方、事前に磁化を経験した鋼棒の誤差は変わっていない。このことから、処女鉄筋について EM センサーによる応力測定を行う場合には、事前に荷重だけでなく、それと同時の磁化を経験させておく必要があるといえる。

4. まとめ

製造年代が同じであれば、1本の鉄筋から求めた三者関係が他の鉄筋に対しても適用できる可能性を示した。また、処女鉄筋については、事前に荷重と同時の磁化を経験させる必要があることを示した。今後は、さらに多種類の鉄筋について試験を行いながら、鉄筋の物性と三者関係の関係を調べる必要があると考えている。

参考文献

- 1) 羅 黄順：EM センサーによる PC 鋼材の実応力測定，プレストレストコンクリート，Vol.43，No.6，pp.99-103，2001.11

表-1 対象とした PC 鋼棒（ $\phi 15\text{mm}$ ）

製造年代	製造工場	規格	呼称
1989年	I工場	C種	1989-I-C
2003年	I工場	C種	2003-I-C
	A工場	C種	2003-A-C
	I工場	B種	2003-I-B

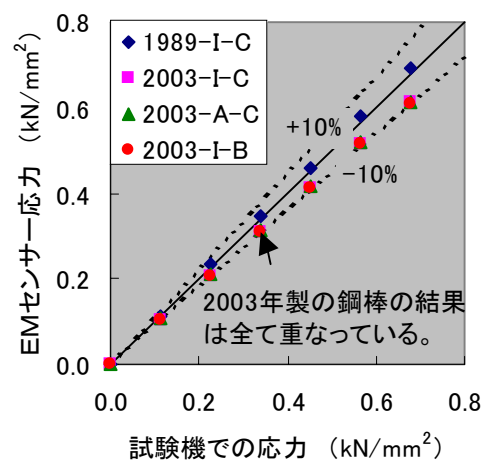


図-2 各鋼棒における応力の比較

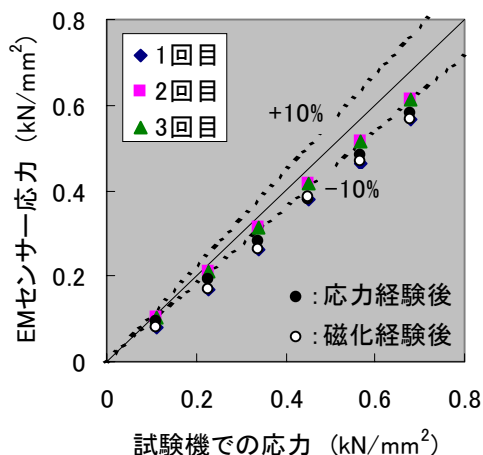


図-3 測定1,2,3回目の応力の比較