

EMセンサーによる鉄筋現有応力測定技術

手塚広明¹・大川尚哉¹・眞岸徹¹・三島徹也²・鈴木顕彰³・羅黄順⁴・宮本則幸⁴

¹正会員 前田建設工業(株) 土木本部 土木設計部 (〒179-8903 東京都練馬区高松 5-8)

²正会員 前田建設工業(株) 技術本部 技術研究所 (〒179-8914 東京都練馬区旭町 1-39-16)

³正会員 前田建設工業(株) 中部支店 (〒460-0008 愛知県名古屋市長 5-25-25)

⁴正会員 (株)計測リサーチコンサルタント (〒732-0029 広島県広島市東区福田 1-665-1)

キーワード：EMセンサー，モニタリング，RC構造物，鉄筋応力測定

1. はじめに

EM (Elasto-Magnetic) センサーとは棒状の鋼材の外周にコイルをセットし、電氣的に磁歪を測定することによって鋼材の現有応力を測定する技術¹⁾である(図-1, 写真-1)。具体的には、(1) 計測する鋼材の周囲に円筒形のボビンをセットする。(2) そのボビンの周囲に2次コイル・1次コイルを巻き、温度計をセットし、応力測定センサーとする。(3) このセンサーの1次コイルにパルス電流を加え、出力として2次コイルから誘導電流値と温度計の温度を得る。(4) 同種の鋼材を用いたキャリブレーションで求めた換算式にその出力値を当てはめ、当該鋼材の応力を求める。パルス電流による測定であるため小さい電流で測定可能であるという特徴を持つ技術である。

同センサーは橋梁のPC鋼材の実応力測定においてその有効性が確認されているが、鉄筋への適用事例がない。そこで、既設RC構造物の診断技術の一つとして現有鉄筋応力測定の技術が求められている現状をふまえ、本研究ではEMセンサーをそれに適用するための基礎実験および実規模実験を実施した。

2. 基礎実験の概要

(1) 検証項目

鉄筋鋼材とPC鋼材との最大の相違点として、ロット・メーカーの違いにより材質にばらつきがあることがあげられる。この影響を評価するための基礎実験を実施した。

(2) 試験体及び载荷方法

実験は、供試体の鉄筋にEMセンサーを挿入セットし、アムスラー試験機を用いて引張荷重を与える方法で行った。鉄筋は電炉メーカー3社、高炉メーカー1社の異形棒鋼D29(SD345)を使用した。本実験で使用した試験体の仕様を表-1に示す。

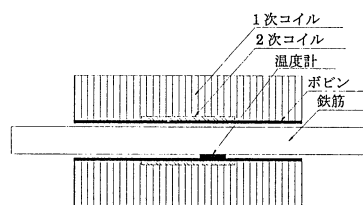


図-1 EMセンサー断面図

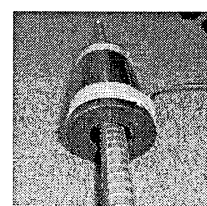


写真-1 EMセンサー設置状況

表-1 供試体の仕様

メーカー	試験体No	備考
T	T-a～T-c	電炉製, T-a～T-cは同ロット
S	S-1, S-2	電炉製, S-1, S-2は別ロット
A	A	高炉製
B	B	電炉製

(3) キャリブレーション

試験体 T-a, S-1, A を基本鉄筋とし、それを用いてキャリブレーションを実施しそれぞれの換算式の各係数を決定した。この換算式を用いて各鉄筋の引張試験結果を評価した。換算式は $\sigma = f(\mu, T)$ で表現される。ここで σ : 応力, μ : 透磁率, T : 鉄筋の温度である。

(4) 試験結果と考察

図-2に同ロットでの引張荷重値とEMセンサーでの計測値の関係を示す。実線は引張荷重値とEMセンサーでの計測値が等しい時の直線である。図より明らかなように同メーカーの同ロットの鉄筋(T-a, T-b, T-c)では、EMセンサーでの計測値は実際の引張力と高い精度で一致しており、ロット内での差はごく僅かであることがわかる。図-3にロットの異なる鉄筋での引張荷重値とEMセンサーでの計測値の関係を示す。同メーカーのロットの異なる鉄筋(S-1, S-2)でも、EMセンサーでのそれぞれの計測値は実際の引張力と高い精度で一致しており、同メーカーのロット間での差はごく僅かであることがわかる。図-4に製造方法の異なる高炉鉄筋Aと電炉鉄筋Bとの引張荷重値とEMセンサーでの計測値の関係を示す。

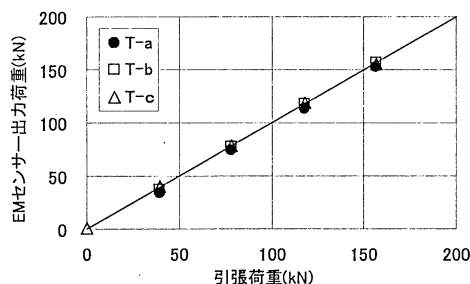


図-2 同ロット内での比較

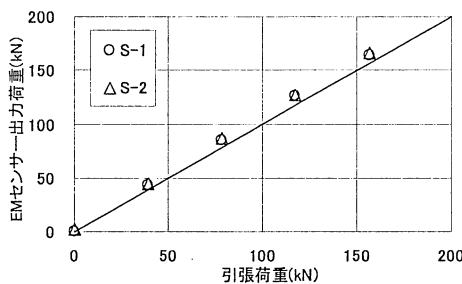


図-3 ロット間の比較

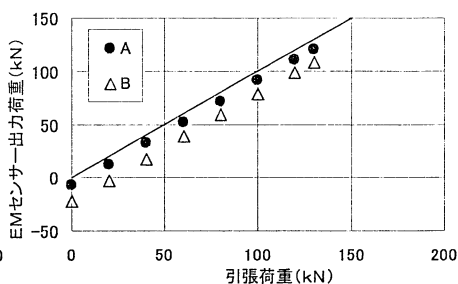


図-4 製造方法による違い

図より無応力状態での計測値が約 15kN(23 N/mm²) 違っているが、その増加勾配は大変よく一致している事がわかる。以上より、応力の増分に関してはロット・製造方法の違いによらず良い精度で測定が可能であるが、製造方法が異なると無応力状態での測定値に差が出ることがわかる。

3. 実規模実験の概要

(1) 試験体

試験体は、図-5 に示すような断面 60cm×60cm、長さ 10mのRC梁とし、等曲げスパンを 5mとした 2 点载荷を行った。EMセンサーは等曲げスパン内で加力時に圧縮側となる鉄筋、引張側となる鉄筋のそれぞれ 1 箇所鉄筋をはつりだして設置した。圧縮側はつり部はセンサー設置後、無収縮モルタルで埋め戻したが、引張側はつり部は埋め戻さず、センサーが露出した状態で加力した。

(2) EMセンサーの設置方法

EMセンサーは写真-2 に示す範囲の試験体のコンクリートをはつり、鉄筋を露出させて設置した。はつり深さは鉄筋の裏側 100mm とした。はつり作業は電動のコンクリートカッター、ドリル、プレーカーを用いて行い、センサーのコイル巻きは、手作業で行った。

(3) 実験方法

センサー設置後、写真-2 に示すようにEMセンサー両端に露出した鉄筋にひずみゲージを片側 2 枚づつ計 4 枚貼り付け、梁試験体への加力によって発生する鉄筋応力について、4 枚のひずみゲージより測定される応力の平均値と EMセンサーにより測定される値を圧縮側、引張側のそれぞれについて比較した。試験体への加力は、引張側鉄筋のひずみゲージによる応力値を指標とし、50 N/mm² ピッチで 350 N/mm² まで応力測定しながら行い、同ピッチで除荷した。なお、実験に先立ち、EMセンサーのキャリブレーションを梁試験に使用した鉄筋と同一のロットの鉄筋を用い、アムスラー試験機を用いて行った。

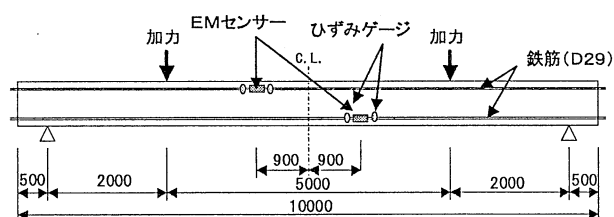


図-5 供試体平面図

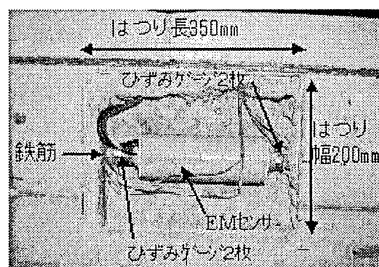


写真-2 EMセンサー設置状況

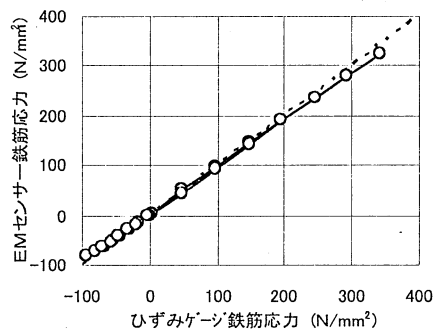


図-6 ひずみゲージとEMセンサーにより測定した鉄筋応力の比

(4) 試験結果

図-6 は、ひずみゲージおよびEMセンサーにより測定した鉄筋応力の比を示している。測定値は図中に点線で示した傾き 1 の直線にほぼ一致しており、本図から引張側、圧縮側ともにひずみゲージと同等の精度で鉄筋の応力を測定できることが確認された。なお、応力レベルが 200 N/mm²～350 N/mm² と比較的高い領域で両者の差が少しみられるが、これはキャリブレーションを 0 N/mm²～135 N/mm² の範囲についてのみ行ったことが原因と考えられる。

4. おわりに

EMセンサーをRC構造物に適用する際においては、構造物で使用した鉄筋と同じ製造方法の鉄筋を用いてキャリブレーションすれば精度の高い現有応力の計測が可能であることがわかった。今後は、キャリブレーション用の鉄筋の製造方法が実構造物と異なった場合の現有応力測定精度向上を目指していく予定である。

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, Nov. 2001