

EM (Elastic-Magnetic) センサーを用いた RC 鉄道高架橋の鉄筋応力測定に関する検討

鉄道総研

正会員 ○蘆谷 譲

鉄道総研

正会員

曾我部 正道

鉄道総研

正会員 谷村 幸裕

(株)計測リサーチコンサルタント

宮本 則幸

1. はじめに

Elastic-Magnetic 現象を利用して鋼材の絶対応力を計測する磁歪センサー(以下 EM センサーと称す)は、PC 鋼材の張力管理などの分野で近年適用事例が増加しつつある。また EM センサーにより死荷重応力を含む鉄筋応力を測定する方法についても基礎的な検討が試みられている¹⁾。本報告では、RC 鉄道ラーメン高架橋の鉄筋応力測定法への EM センサーの適用性を検討した。

2. 測定原理

図-1 に、強磁性体の磁界と磁束密度に関する鋼材のヒステリシス環線を示す。強磁性体である鋼材は、磁界を強くするにつれて磁束密度が高くなり、さらに大きな磁界を与えると飽和状態に至る。その後、磁界を弱めると減少率が安定した下降経路が現れる。図中に示した安定した経路における微分透磁率は、応力および温度の関数として高い精度で表すことができるため、予め実験的に関係式を求めておくことにより、鋼材の応力を推定することができる。微分透磁率 μ_y は、式(1)で近似的に表すことができる。

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

ここに、 σ は応力、 T は温度、 m_1, m_2 は温度が一定状態にある場合の実験定数、 α は応力が一定状態にある場合の実験定数である。

図-2 に鉄道高架橋用の EM センサーの形状寸法を示す。RC 鉄道ラーメン高架橋への適用を検討する場合、特徴的な高密度の配筋に対応して、EM センサーの所要コイル巻数を確保し、測定精度を確保できるか否かが重要となる。このため、センサー形状は、最も狭隘となる近年の配筋事例を参考に定めた。

3. 実験の概要

3. 1 試験体

表-1 に試験体一覧を示す。RC 鉄道高架橋における鉄筋の使用実績を考慮に入れ試験体を製作した。

3. 2 試験の方法

試験体の鉄筋に EM センサーをセットし、アムスラー試験機を用いて静的載荷試験を実施した。載荷は、通常使用される応力範囲内を想定し、D19 で

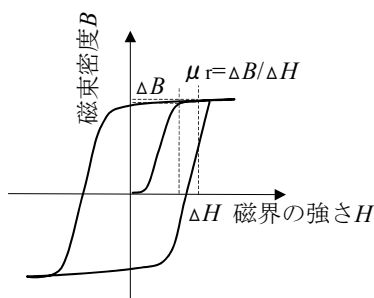


図-1 強磁性体の磁気特性

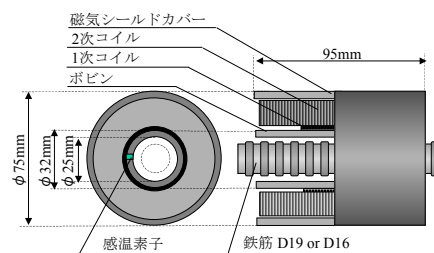


図-2 EM センサーの形状寸法

表-1 試験体一覧

試験体番号	鉄筋径	製造会社	地域	製造方法	節形状	備考
101	19	A	関東	電炉	竹	基準1 (D19-電炉-竹)
102	19	A	関東	電炉	竹	上記ロット違い
103	19	A	関東	電炉	竹	101と同一ロット
104	19	B	中国	電炉	竹	地域の違い(中国)
105	19	C	九州	電炉	竹	地域の違い(九州)
106	19	D	北海道	電炉	竹	地域の違い(北海道)
107	19	A	関東	電炉	ねじ	節形状の違い
108	19	E	九州	電炉	斜めダヤ	地域・節形状の違い
109	19	A	東北	電炉	竹	地域の違い(東北)
110	19	F	関東	電炉	竹	地域の違い(関東)
111	19	F	関東	電炉	ねじ	地域の違い(関東), 節形状の違い
112	19	D	北海道	電炉	ねじ	地域の違い(北海道), 節形状の違い
113	19	G	北陸	電炉	竹	地域の違い(北陸)
201	32	A	関東	電炉	竹	基準2 (D32-電炉-竹)
202	32	A	関東	電炉	ねじ	節形状の違い
203	32	E	九州	電炉	斜めダヤ	地域・節形状の違い
204	32	H	北海道	高炉	斜め	製造方法, 成分の違い
205	32	I	関東	電炉	竹	地域の違い(関東)
206	32	I	関東	電炉	ねじ	地域の違い(関東), 節形状の違い
207	32	D	北海道	電炉	竹	地域の違い(北海道)
208	32	D	北海道	電炉	ねじ	地域の違い(北海道), 節形状の違い

キーワード 非破壊検査, EM センサー, 鉄筋応力, 透磁率

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (財) 鉄道総研 構造物技術研究部 コンクリート構造 TEL 042-573-7281

は0～180kNの範囲で20kN毎に、D32では0～50kNの判定で10kN毎にそれぞれ実施した。各载荷ステップでは測定を3回ずつ実施し、これらの値の平均値より、温度が一定状態にある場合の実験定数を最小二乗法により算出した。

4. 試験結果

図-3～図-7に応力特性試験により得られた応力と微分透磁率の関係を示す。試験結果は15℃に換算して示している。

図-3は、製造ロットに着目して整理したものである。試験体101は基準鉄筋であり、103は101と同一製造ロット、102は101とロット違いである。同一と考えられる鉄筋においても、微分透磁率は0.1程度ばらつくことが分かる。また、同一の微分透磁率における応力の差は15N/mm²以内となった。

図-4は、D19（竹節）について、製造会社・地域の影響を検討したものである。図から、製造会社・地域による微分透磁率の差は0.3程度となることが分かる。同一の微分透磁率における応力の差は、最大で50N/mm²程度である。製造会社・地域が異なる場合、節形状が同一の場合でも、節のピッチ、鉄筋の原材料等が異なるため、それらが影響した可能性がある。

図-5は、D19について節形状に着目して整理したものである。節形状の違いにより、同一の微分透磁率における応力の差が70N/mm²前後となる場合もあり、RC鉄道ラーメン高架橋に適用する場合には節形状毎にキャリブレーションを実施する必要があると考えられる。

図-6は、D32（竹節）について、製造会社・地域の影響を検討したものである。試験体数が少ないものの、同一の微分透磁率における応力の差は、10N/mm²程度と小さい。

図-7は、D32について節形状に着目して整理したものである。D19と同様に、同一の微分透磁率における応力の差は最大で70N/mm²程度であり、節形状の違いにより大きな差が生じた。

5. 結論

本検討で得られた知見を以下に示す。

(1) 製造ロットが微分透磁率と応力との関係に及ぼす影響は小さいと考えられ、同一の微分透磁率に対する応力の差は15N/mm²以内となると考えられる。

(2) 製造会社・地域および鉄筋の節形状が、微分透磁率と応力との関係に及ぼす影響は大きいと考えられる。特に、節形状の影響は大きく、RC鉄道ラーメン高架橋に適用する場合には節形状毎にキャリブレーションを実施する必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 眞岸徹ほか：EM(Elasto-Magnetic)センサーによる鉄筋現有応力測定技術の開発(その1)鉄筋単体試験による基礎的検討，第57回土木学会年次学術講演会講演概要集(CD-ROM)，VI-218，2002.9
- 2) 曾我部正道ほか：磁歪センサーを用いたRC鉄道高架橋の鉄筋応力測定に関する検討，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.27（投稿中）

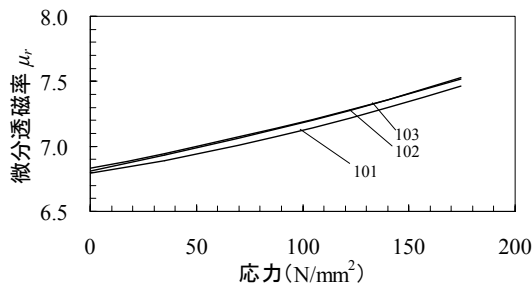


図-3 D19, 製造ロットの影響

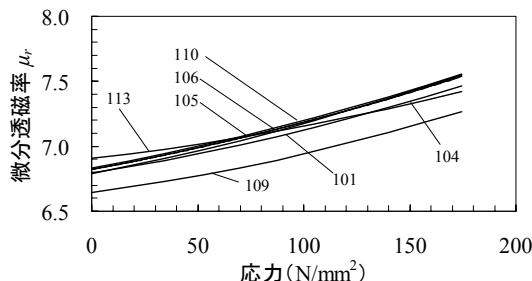


図-4 D19, 製造会社・地域の影響

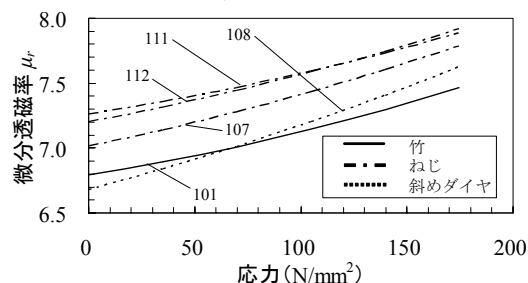


図-5 D19, 節形状, 製造方法の影響

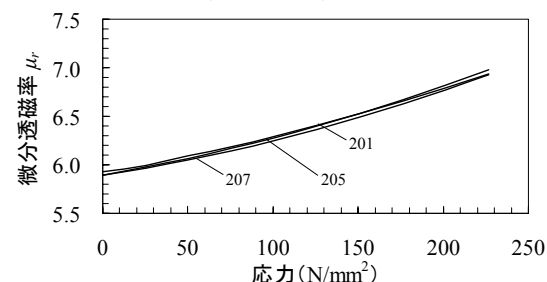


図-6 D32, 製造会社・地域の影響

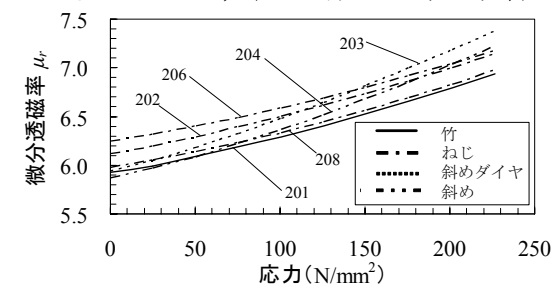


図-7 D32 節形状, 製造方法の影響