

EMセンサーによる張力管理計測事例（その1）

— 芦田川大橋 斜張橋斜材張力管理 —

広島県福山地域事務所
 横河・川田・駒井JV
 (株)計測リサーチコンサルタント

木口 基
 松原 薫
 土居 和子

(株)計測リサーチコンサルタント 正会員 ○ 羅 黄順
 (株)計測リサーチコンサルタント 井出本 錦也
 (株)計測リサーチコンサルタント 山本 晴成

1. はじめに 芦田川大橋は、広島県福山市の芦田川河口堰より上流 1.5km の地点に位置し、橋長 491m の鋼道路橋で、現場条件・経済性・景観などを考慮し、斜張橋構造が採用されている。EM センサーは斜張ケーブルの設置時の張力およびリラクゼーションのモニタリングを目的として設置された。また、ケーブルの固有振動数から張力を算出する振動法による計測も実施された。本論文では EM センサーを用いたケーブル張力管理事例を紹介し、併せて振動法による張力の計測結果との比較を行った。



写真1 芦田川大橋全景

2. EM センサーの概要と計測原理 図1に EM センサーの概要を示す。塩化ビニル製のボビンに、銅線(一次コイル・二次コイル)を巻き、鉄製カバーを被せた円柱形の形状となっている。測定システムは、EM センサー・測定器・AC/DC 電源・測定用 PC から成る¹⁾。



写真2 EMセンサー

EMセンサーは磁歪現象を応用し、被測定体の実応力を測定する²⁾。

強磁性体の磁気特性は、磁界の強さ H と磁束密度 B の関係で表されるヒステリシス曲線(図2)で示される。この関係から(1)式より微分透磁率が算出できる³⁾。

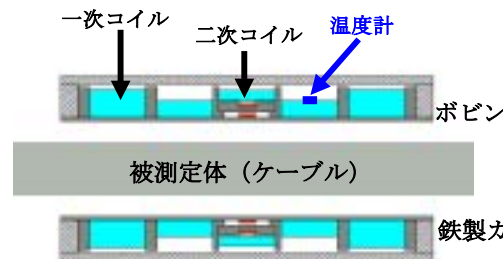


図1 EMセンサー断面

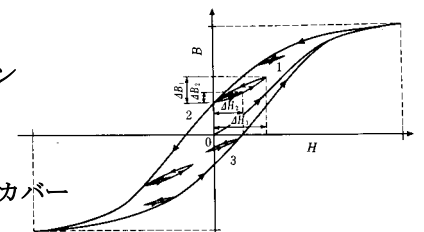


図2 ヒステリシス曲線

$$\Delta\mu = \Delta B / \Delta H \cdots (1)$$

EM センサーには、一次コイルに電流をパルス的に流し、その時二次コイルに流れる誘導電圧を検出することで、この透磁率の値を算出している。

3. 現場設置方法 EM センサーは定着前に床版上にケーブルを展開し、水平状態で次の手順で製作した。まず、センサーコイル巻き機で、カウントしながら一次コイルを所定の回数巻きつけた。次に、二次コイルを巻き、コイルの防水処理をし、温度計を貼りつけ、測定電線をつなぎ、最後に鉄製カバーを被せた。ケーブルは、センサー製作後、クレーンにより引き上げられ、架設・緊張・定着が行われた。ケーブルには平行ワイヤーストランド(素線 $\phi 7\text{mm}$)が用いられ、径の異なる5種類、合計18本のケーブルが架設された。このうち、EM センサーは3種類($\phi 135, 155, 165\text{mm}$)計6本のケーブルに設置した(図3)。



写真3 作成状況

キーワード 張力測定、実応力、EM センサー、透磁率

連絡先〒732-0029 広島市東区福田1丁目665-1 (株)計測リサーチコンサルタント T.082-899-5471 sumitomo@krenet.co.jp

4. キャリブレーション

EM センサーによる応力の算出には、(2)式が用いられる。

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

この式中には $m_1, m_2, \alpha, \mu(0,0)$ の 4 つの実験乗数 (校正値) が含まれる。 m_1, m_2 は、応力と透磁率の関係より得られる校正値で、 $\alpha, \mu(0,0)$ は温度と透磁率の関係より得られる校正値である。キャリブレーションは、適切な誘導電圧の下 (Working Point) でこれらの校正値を求めることを目的とする。

室内キャリブレーションの場合には万能引張試験機を用いて、引張試験を実施し応力と透磁率の関係より校正値 m_1, m_2 を求めるが、現場ではケーブルの架設前に仮緊張を行い、ジャッキ圧と EM センサーの値から校正値 m_1, m_2 を求めた。 α と $\mu(0,0)$ は 24 時間毎正時に自動計測を実施し朝、昼、晩の温度差を利用して求めた。

5. 計測結果と考察 温度による影響が比較的小さい早朝に確認計測を実施した。表に EM センサーの計測結果を示す。また、図 4 に 10 月 10 日に実施された確認計測の結果を示す。同日に実施された振動法による計測結果も併せて示している。EM センサーと振動法による計測結果はほぼ類似しており、張力管理上十分に実用に耐え得ると考えられるが、両者間には若干のばらつきもみられる。真値に対してどちらが正しいかは不明であるが EM センサーには次の課題があると思われる。①EM センサーを現場で製作する場合の作業環境の問題。②現場でのキャリブレーション誤差。特に温度キャリブレーションにおいては、室内キャリブレーションでは約-20～40℃（約 60℃の幅）の範囲で測定しているが、今回の現場では、1 日の気温差が約 15℃の範囲でしか測定できず、適切な温度校正値を得ることが出来なかった。今後は、室内機械巻き EM センサ同様に、現場条件下でも高品質なセンサーの製作を可能とする為の現場巻き方法の確立と、現場環境下での正確なキャリブレーション方法の確立が必要である。

【謝辞】 本業務を実施するにあたり多大なご協力をいただいた広島県福山地域事務所及び横河・川田・駒井 JV の皆様に謝意を表します。また、優秀な技術コンサルティングをいただいたコメニウス大学のアンドレイ教授及びイリノイ大学のウォン教授に深謝します。

[参考文献]

1) Chen, Z.L., Wang, M.L., Okamoto, T., and Sumitro, S.: *A New Magnetoelastic Stress Corrosion Sensor for Cable-Stayed Bridges Using Measurement of Anhyseretic Curves*, 2nd Workshop on ATUEDM, Kyoto, July 11-13, 2000

2) 黒川章二, 羅 黄順, Wang, M. L., 嶋野慶二: 磁歪センサによる各種鋼材の応力計測, 第 10 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.101-106, 2001

3) 羅 黄順: EM センサによる PC 鋼材の実応力測定, PC 技術協会論文集, Vol.43, No. 6, pp.99-103, November 2001

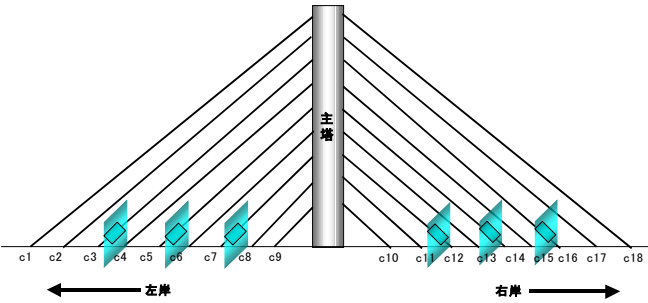


図 3 センサー設置箇所

表 1 EM センサー測定結果と温度

ケーブル No.		c3	c5	c7	c12	c14	c16
日付	φ	165mm	150mm	135mm	135mm	150mm	165mm
7/11	荷重(tf)	-	-	324.20	333.60	-	-
	温度(℃)	-	-	25.9	28.2	-	-
8/5	荷重(tf)	-	366.71	279.82	284.65	370.54	-
	温度(℃)	-	23.5	23.5	23.5	23.5	-
8/24	荷重(tf)	446.40	386.40	294.70	297.30	361.50	483.50
	温度(℃)	23.7	24.0	25.5	26.0	25.0	23.9
9/6	荷重(tf)	465.50	382.20	286.90	287.80	356.70	507.40
	温度(℃)	25.6	26.3	28.3	28.3	28.1	27.2
10/4	荷重(tf)	473.60	390.40	281.50	276.90	360.30	541.70
	温度(℃)	22.5	22.0	23.0	23.4	23.2	21.9
10/10	荷重(tf)	429.60	372.00	265.40	270.30	373.60	542.20
	温度(℃)	18.0	18.1	18.7	18.9	18.4	17.8

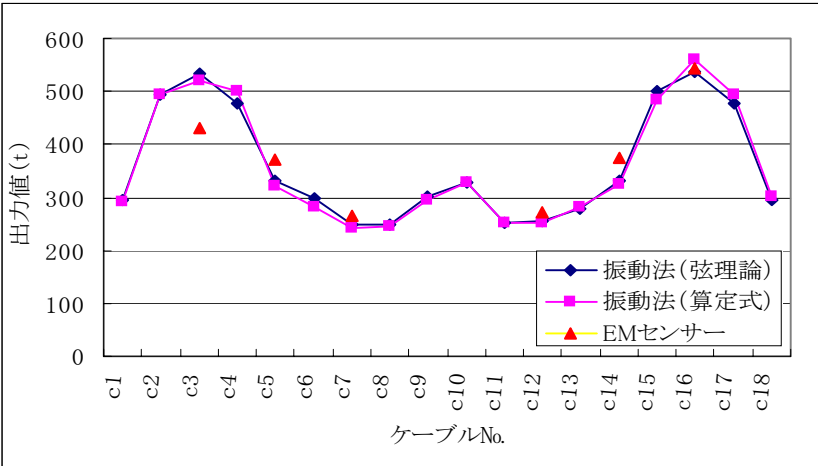


図 4 計測結果