

EM センサーによる外ケーブル補強工法のケーブル張力モニタリング

(株) 計測リサーチコンサルタント 正会員 ○濱田弘志 米本雅紀 宮本則幸
(株) エスイー 正会員 中井督介 松岡 勤

1. はじめに

近年、高齢化の進む社会インフラ設備に対して長寿命化のための予防保全の取組みが重要視されてきている。このような社会背景の中で橋梁に関しては、現在、全国の橋梁数は約 70 万橋（2m 以上）にのぼり、このうち建設後 50 年を迎える橋梁の割合は、2023 年には全体の約 43%、2033 年には全体の約 67%にも及ぶとされている。（2013.4 道路局集計による。）

また、国内において 1951 年より建設されている PC（プレストレストコンクリート）橋梁の割合が近年増加してきている。

EM（Elasto-Magnetic）センサーは、そのケーブルの張力を測定するものであり、これまで多くの新設 PC 橋梁の建設時の緊張力管理（施工管理）に用いられてきた。一方、今後の PC 橋の維持管理において、その健全性を評価する上でケーブルの張力状態を把握することは、非常に重要な項目である。

既設橋梁において、橋梁を補修する工法としてあらかじめ建設されている橋梁に対して後から“外ケーブル”を使用して補強を施す“外ケーブル補強工法”が広く採用されている。

EM センサーは、耐久性に優れており、緊張力導入後のケーブルの張力変化の長期モニタリングが可能であるため、その活用のニーズが増えていくものと期待されている。

本報告では、千葉県館山市の館山大橋において施工された“外ケーブル補強工法”に EM センサーを適用し、補強外ケーブルの張力モニタリングを行った事例について報告するものである。

2. EM センサーの概要

EM センサーは、棒状鋼材（ケーブル等）の透磁率（磁気特性）は応力と温度に相関関係をもつという原理を利用した、張力を測定するためのセンサーである。

その原理式は（1）式の通りで、関係定数は応力キャリブレーション、温度キャリブレーションの 2 種類のキャリブレーションによって求めることができる。

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

$\mu(\sigma, T)$ ：透磁率、 σ ：応力、 T ：測定温度

m_1 、 m_2 ：応力キャリブレーション時に求まる定数

α 、 $\mu(0,0)$ ：温度キャリブレーション時に求まる定数

$\mu(\sigma, T)$ と T を測定することで、（1）式より被測定体の応力が求められる。

EM センサーの特長には、

- ・定着端部のみでなく任意の自由長部に設置が可能であること
- ・ひずみではなく直接応力（張力）が測定可能であること
- ・応力伝達系に影響を与えないこと

などがある。



写真-1 EM センサー

3. 外ケーブル補強工法の概要

外ケーブル補強工法は、塩害等により内部鋼材が腐食し部材の耐荷力が低下した場合、あるいは、通行車両の大型化による設計荷重が増大した場合に、構造物の耐荷力を増加することを目的に実施される。また、内部鋼材の破断等により再劣化が懸念される構造物の場合には、補強外ケーブルの追加緊張を行う対策により耐荷力を改善することが可能である。

補強外ケーブルの張力状態の推移をモニタリングすることにより、構造物の健全性評価や再緊張必要時期の判断が推定出来ると考えられる。



写真-2 外ケーブル補強工法実施橋梁

4. 館山大橋の外ケーブル補強工法への適用事例

4-1 測定概要

平成 26 年度～平成 27 年度に実施された館山大橋の橋梁補修工事のうち、P2-P3 径間でおこなわれた外ケーブル補強工法による主桁補強において、G6 桁の補強外ケーブルに EM センサーを設置し、緊張力導入時および、緊張力導入後の張力のモニタリングを行った。

（写真-3、4、図-2）

橋梁名：館山大橋
場所：千葉県館山市正木・湊地内
ケーブル種類：SEEE F100TS（7×φ11.1、L=15,292）
対象ケーブル：P2-P3 径間 G6 主桁補強外ケーブル
センサー台数：2 台（支間中央部、上流側、下流側各 1 台）

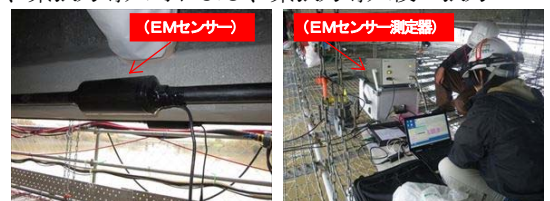


写真-3 EM センサー測定状況

キーワード EM センサー モニタリング 外ケーブル補強工法

連絡先 〒732-0029 広島県広島市東区福田 1 丁目 665-1 (株) 計測リサーチコンサルタント Tel:082-899-5472 FAX:082-899-2799
〒163-1343 東京都新宿区西新宿 6-5-1 新宿アイランドタワー43F (株) エスイー Tel:03-3340-5527 FAX:03-3340-5537

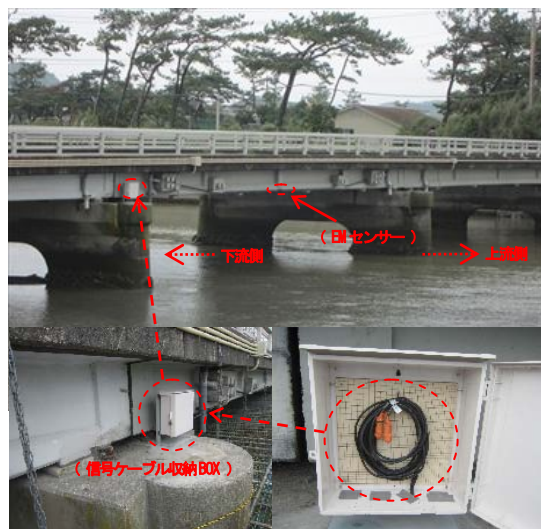


写真-4 館山大橋

表-1 EM センサー緊張力測定結果

ケーブル方向・種類	測定日	ジャッキ位置 ジャッキ読み値 (MPa)	EMセンサー緊張力 (kN)		温度 (°C)	
			No.(1)	No.(2)	No.(1)	No.(2)
			G6桁 下流(内側)	G6桁 上流(外側)	G6桁 下流(内側)	G6桁 上流(外側)
橋軸方向 F100TS	2015/4/11	0.0	0.0	0.0	15.1	15.8
		5.0	73.5	73.5	15.1	15.8
		10.0	147.6	145.8	15.1	15.8
		15.0	225.9	218.8	15.2	15.8
		20.0	306.1	294.3	15.2	15.9
		25.0	383.5	370.9	15.2	15.9
		30.0	457.8	443.3	15.2	16.0
		32.0	476.9	475.0	15.2	15.9
		定着後	486.0	473.7	15.0	16.3
		2015/5/25 竣工前	471.7	456.3	24.3	28.1
	2015/7/28 夏季計測		476.3	457.1	30.2	38.7
	2015/10/28 秋季計測		473.1	449.2	23.9	35.8
	2016/2/9 冬季計測		474.8	457.0	13.3	19.1

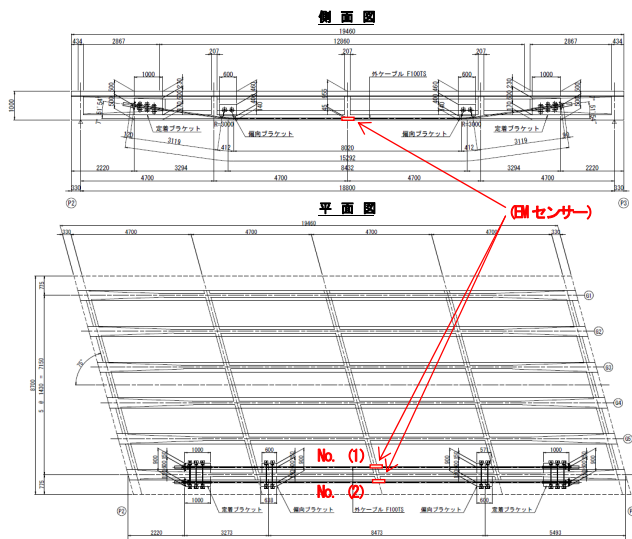


図-2 EMセンサー設置位置

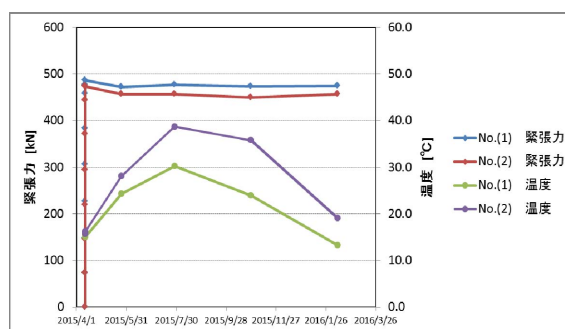


図-3 EMセンサー緊張力測定結果

補強外ケーブルの緊張は、2015 年 4 月に実施した。上流側、下流側の補強外ケーブルを同時に緊張し、各緊張ステップ時および定着完了時に EM センサーの測定を行った。

定着完了後は、2015 年 5 月、7 月、10 月、2016 年 2 月の計 4 回の経時測定を実施した。表-1、図-3 に EM センサーの緊張力測定結果を示す。

定着後から約 1 ヶ月経過した 2015 年 5 月（竣工前）の測定時には、PC 鋼材のリラクセーションによると推定される 14~17[kN]の張力の低下が見られた。その後は、張力変動は小さく安定した状態であった。

4-2 補強外ケーブルへの設置

EM センサーの設置は、工場での補強外ケーブル製作時に、あらかじめ EM センサーを設置した。この理由としては、ケーブル部よりケーブルマンション部の方が太くなっている（写真-5）ため、マンション固定前に EM センサーを通しておく必要があることと、ケーブルの偏向部（写真-7）等がある現場において、センサーの位置調整を容易にするためである。これは、EM センサーの任意の位置で設置が可能な特性を活かしたものである。



写真-5 ケーブルマンション部



写真-6 搬入時ケーブル

5. まとめ

今回、“外ケーブル補強工法”が施工された橋梁に EM センサーを適用し、経時的な測定によりモニタリングを実施してきた。これからも、引き続き長期間の補強外ケーブルの張力測定を実施していく計画である。

また、本報告が、“維持管理の 1 つの手段としてのセンサーを用いたモニタリング手法が、今後幅広く展開されること”の一助となることを期待する。



写真-7 ケーブルの偏向部



写真-8 EMセンサー（ケーブル設置前）

謝辞

本件を実施するにあたり、多大なご協力をいただいた館山市建設環境部建設課および株岡部建設の皆様へ謝意を表します。

参考文献

- 1) 青木,黒川,嶋,嶋野: 鉄筋の実応力測定における EM センサーの適用性,コンクリート工学年次論文集,Vol.26,No.1 2004
- 2) 木口,羅松原,井出本,土井,山本: EM センサーによる張力管理計測事例 (その 1), 土木学会第 58 回年次学術講演会講演集,2003
- 3) 高橋,宮本,徐,佐々木,久保,新宅: EM センサーによる張力管理計測事例 (その 2), 土木学会第 58 回年次学術講演会講演集,2003