インテリジェント材料を用いた構造物のモニタリングに関する基礎実験

- (財)鉄道総合技術研究所 〇正会員 大屋戸理明 正会員 毛利誠信
- (財)ファインセラミックスセンター 奥原芳樹 松原秀彰

1. はじめに

鉄筋コンクリート(RC)橋梁など鉄道構造物の健全度のモニタリングを行うために、橋梁のたわみ・ひず み・振動を計測する場合がある。本報では、最近開発の進んでいるインテリジェント材料を用いてこれらの計 測が可能か検証する目的で RC 梁の載荷実験を行ったので、実験概要とこの材料によるメインテナンス技術の 展望について述べる。

2. インテリジェント材料の概要

インテリジェント材料はその定義が明確に定められてはいないが、 本報では既往の文献¹⁾に従って「環境条件に応じて機能を発現する 能力を有する材料」「高価なセンサーや油圧アクチュエーターなど複 雑な構造を必要とせず、構成要素の数が少なくメリットの多い材料」 とする。今回用いたインテリジェント材料(ERIC 材(=Electrical Resistance Intelligent Composite) と称す) は、この概念によりコンク リートを補強する手段として開発された、導電特性を有する FRP の ひとつである。この範疇の材料の研究は、炭素繊維・ガラス繊維複合 強化プラスチック(CFGFRP)の研究に端を発している。CFGFRP は 完全な破断に至る前に導電する炭素繊維のみが破断するので、電気抵 抗の変化を利用して損傷を自己診断することができる。ERIC 材はこ れを改良²⁾したものであり(図1)、炭素粒子を分散して配置し導電 相に用いたことが特徴である。ERIC 材にひずみが生じたとき、 導電相の炭素粒子同士の接触状態が変化して電気抵抗が変動す る。即ち、ERIC 材に引張ひずみが生じた場合は炭素粒子同士が 微視的に断絶して電気抵抗が増し、逆に圧縮ひずみが生じた場 合は炭素粒子同士がより接触して電気抵抗が減少する。ERIC ₹ 材はこの特徴的な電気抵抗変動の発現機構を有するため、長繊 維の破断により電気抵抗が変化する CFGFRP に比べ高感度のひ ずみ検知が可能²⁾である(図2)。また材料費は比較的安価で あり、単位ひずみあたりの抵抗変化率が通常の歪ゲージに比べ

10 倍程度高いので、テスタなど簡易な機器で計測が可能である。

3. RC 部材実験

(1)概要 今回の実験は、ERIC 材が低ひずみ領域からひずみに 対して高感度であることを利用し、RC 橋梁など鉄道土木構造 物(上部工)の健全度モニタリングへ ERIC 材が適用できるか



図2 代表的な CFGFRP と ERIC 材の 応カーひずみー電気抵抗の関係の例

どうか検証することを目的とした。なお、今回用いた ERIC 材の形状は、接着剤で構造物に容易に貼り付ける ことができる短冊形状であり、既存構造物へのレトロフィットが可能である。実験では複鉄筋の RC 梁を製作 し、梁スパンのほぼ全長にわたって ERIC 材を貼り付けた(図3)。また、RC 梁の曲げひびわれ幅と ERIC 材 キーワード:インテリジェント材料、鉄筋コンクリート、たわみ、ひび割れ、モニタリング 連絡先:〒185-8540 国分寺市光町 2-8-38 電話:042-573-7281 FAX:042-573-7282 の電気抵抗の変動との関係を確認するため、引張側 ERIC 材の全長にわたって等間隔で 10 個のπゲージを 取り付け、各々の区間で引張側の伸びを計測した。載 荷は2点単純曲げ載荷とし、破壊まで一方向に載荷し た。

(2)荷重・変位と電気抵抗の関係 変位 δ と荷重 P・電 気抵抗変動分 ΔR の関係を図4に示す。実験では、降 伏荷重の約 1/2 の $P \rightleftharpoons 15$ (kN)(変位 δ が 2mm 程度)の 時点で ERIC 材が RC 梁から剥離し、以降は ΔR が一定 となった。この剥離は、図4の $P - \delta$ 曲線が $P \rightleftharpoons 15$ (kN) において僅かな荷重低下を示していることからも確認 できる。剥離に至るまでは荷重 Pおよび変位 δ の進展 に応答して ΔR が変動している。

(3)ひび割れ幅と電気抵抗の関係 電気抵抗変動分 ΔR ${\cal E}_{\pi} f$ -ジから得た引張側伸び w との関係を図5に、ひび割 れ状況を図6に示す。図6によると、ERIC 材が剥離して電気 抵抗 ΔR が一定となった P=15(kN)時点では、RC 梁には4本の ひび割れが発生している。ERIC 材はこのひび割れ発生箇所で 局所的に大きな引張ひずみを生じているはずである。図5に よると、ひび割れ発生の前後で伸び w は大きく変動するため、 各々のひび割れ発生箇所の伸び w と電気抵抗 ΔR は比例しな いが、それらの和や全ての伸びの総和 Σ w とはほぼ完全な比例 関係となっている。このことから、ERIC 材を使用することに より、貼付けた区間に発生したひび割れの幅の総和を知るこ とが可能になると言える。

4. まとめ

本報では、インテリジェント材料である ERIC 材は、部材の たわみやひび割れ幅を知るのに有用であることを示した。既 存構造物のたわみの進展の把握は付加死荷重・活荷重の増加 や上部構造物の剛性の評価に有用であり、ひび割れ幅の進展 の把握は構造物の耐久性や使用性の検討に有用である。今後 は実構造物への適用性の検討のため、繰り返し載荷や大型の 試験体に対する適用性の検討を行い、また ERIC 材の剥離に対 する抵抗性を高めて、より大きい荷重範囲に適用できるよう に改良する予定である。

参考文献

- 1) 柳田博明:次世代素材インテリジェントマテリア ル、講談社、1993.5
- Yoshiki Okuhara, Soon-Gi Shin, Hideaki Matsubara, Hiroaki Yanagida and Nobuo Takeda : Development of Conductive FRP Containing Carbon Phase for Self-Diagnosis Structures, Proceedings of SPIE, Vol. 4238, 2001





(黒太線は P=15kN 時点のひび割れを、白破線は ERIC 材を示す)
図6 試験体のひび割れ状況