

## 光ファイバセンサを用いた鋼材の腐食検知に関する研究

太平洋セメント(株) 正会員 ○早野 博幸 井坂 幸俊 江里口 玲

## 1. はじめに

光ファイバセンサは、様々な対象物のひずみや温度などの計測に用いられている。その特長としては、電気センサが長距離の場合に伝送損失が大きいのに対して光信号のため長距離伝送が容易であること、外部の電磁ノイズによる影響がない、1本の光ファイバで多点計測が可能である等が挙げられる。本報告では、光ファイバセンサを用いたモニタリングによって、RC構造物の鋼材腐食を検知する手法について検討を行った結果を報告する。

## 2. 実験概要

本検討では、RC構造物の鉄筋の近傍に腐食センサを設置し、その内部の鋼材が腐食することによって鉄から様々な腐食生成物に変化した場合の体積変化を、ひずみによって捉えようとするものである。ひずみ計測には、FBGセンサを設けた光ファイバケーブルを用い、以下の2系統の実験を行った。

## 2.1 実験1：みがき棒鋼による腐食検出

基礎的検討として、棒鋼の腐食を周長方向のひずみとして検知可能かどうかの検討を行った。みがき棒鋼（JIS G 3108、 $\phi 20 \times h50\text{mm}$ ）の高さ方向の中央区間 25mm に、FBG センサ部（ $\phi 155 \mu\text{m}$ ）が中央に位置するように光ファイバケーブルをらせん状に巻き付け、ケーブルの両端を固定した。光ファイバケーブルの鋼棒への周回数が多ほど鋼棒表面との接触長さが長くなり、腐食部分に接する確率が高くなって早く検出できるが、周回数が多過ぎると鋼材への腐食因子の到達を妨げることになる。今回はファイバの周回数を 1, 3 回の 2 水準とし、みがき棒鋼を恒温恒湿槽に入れ、腐食の程度を目視で確認しながら計測を行った。

## 2.2 実験2：腐食センサとしての腐食検出

実験 1 と同様に光ファイバケーブルを巻き付けたみがき棒鋼（ $\phi 20 \times h25\text{mm}$ ）を W/C60% のモルタルで被覆し、30°C95%RH 下で 3 日間養生後、上部 20mm をエポキシ樹脂で全面被覆した腐食センサ（図-1）を試作した。その後、30°C一定下で NaCl10%水溶液に 1 日浸漬、70%RH 乾燥、NaCl10%水溶液に 1 日浸漬、以降、70%RH 乾燥とした腐食促進環境下で計測を行った。また、腐食センサと同形状とし、NaCl 水溶液の代わりに水に浸漬して棒鋼を腐食しないようにしたダミーセンサの挙動も計測した。なお、浸漬はいずれもエポキシ樹脂被覆面の下側までとした。

## 3. 実験結果および考察

ひずみへの換算は既往の研究<sup>1)</sup>に基づき、測定時の波長から式(1)を用いてひずみとして算出した。

$$\varepsilon = (\lambda - \lambda_{int}) / 1.2 \times 1000 \quad \dots \dots \text{式(1)}$$

ここに、 $\varepsilon$  : ひずみ( $\mu$ )、 $\lambda$  : 測定時の波長(nm)、 $\lambda_{int}$  : 初期波長(nm)

実験 1 におけるひずみの変化を図-2 に示す。図中には各測定時の棒鋼の腐食状況の写真も併せて示す。測定開始から 2 日目までは 20°C 60%RH 環境下であり、一定値の安定したひずみを計測できることを確認した。2 日以降は腐食反応を促進させるために 30°C70%RH としたが、あまり進行しなかったため、6 日目に NaCl 水溶液を脱脂綿にしみ込ませ、1 巻\_No.1 および 3 巻\_No.1 の棒鋼の FBG センサ付近の中央部に付着させ、7 日以降はさらに 30°C90%RH とした。その結果、NaCl 水溶液を付着させた棒鋼は 6 日以降に腐食が著しく進行し、写真①～③に示すように 1 巻\_No.1 は目視でも明確に分かるように腐食の進行に合わせてひずみは大きく膨張挙動を示した。

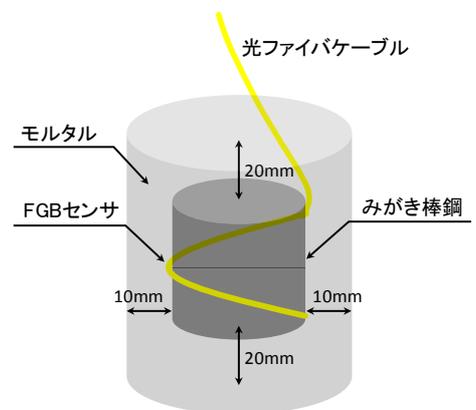


図-1 腐食センサの概要

キーワード 腐食, 鋼材, 光ファイバ, モニタリング, ひずみ, 検知

連絡先 〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2 太平洋セメント(株) 中央研究所 TEL043-498-3902

NaCl 水溶液を付着しなかった 1 巻\_No.2 および 3 巻\_No.2 は、30°C90%RH にした 7 日以降で徐々にひずみが増加し、それに伴い腐食が若干進行した。写真④に示すように棒鋼の上下端部は腐食が進行しているが、光ファイバケーブルが覆われた中央部は点錆が発生するに留まり、ひずみの挙動とある程度一致していることが分かる。

実験 2 の腐食促進環境下におけるひずみの変化を図-3 に示す。測定開始直後および 5 日には NaCl 水溶液または水に浸漬後、乾燥させているため、光ファイバに接しているモルタルの乾湿に伴う挙動が生じている。光ファイバ 1 巻の腐食センサは 4 日に、3 巻の腐食センサは 6 日に顕著な膨張挙動を示しており、腐食生成物発生に伴う腐食をひずみによって検知した可能性が高い。いずれも計測を終了した時点で、被覆モルタルを除去し棒鋼の腐食状況を観察した。3 巻の棒鋼の腐食状況を図-3 中の写真①に示すが、光ファイバ付近で棒鋼が腐食している状況が伺える。ただし、ダミーセンサとの比較の観点からは、1 巻の方は 4 日に検知していると考えられるが、3 巻の場合は測定 1 日後のひずみ挙動がダミーセンサと異なっていることから、この時点で腐食が開始していたとも考えられる。

なお、環境に応じて腐食生成物の種類は異なり、その体積膨張率も異なることが知られている<sup>2)</sup>。そこで、実験 2 の腐食センサのモルタルを除去した後、直ちに内部の棒鋼から腐食生成物を採取し、X 線回折を行った結果を図-4 に示す。腐食生成物として代表的な Goethite, Lepidocrocite の他、塩分環境下のみで生じる Akaganeite も含まれていることが分かった。

4. まとめ

鋼材の腐食を、光ファイバセンサによって検知可能であることを実験的に検証した。今後は、鋼材の腐食量や腐食の程度とひずみの関係、さらには腐食ひび割れ発生限界腐食量との関係について検討を行う予定である。

参考文献 1) Kersey, et al: Fiber Grating Sensors, Journal of lightwave technology, Vol.15, No.8, pp.1441-1442, 1997.  
 2) 須田ほか: 腐食ひび割れ発生限界量に関する解析的検討, コンクリート年次論文報告集, Vol.14, No.1, pp.751-756, 1992

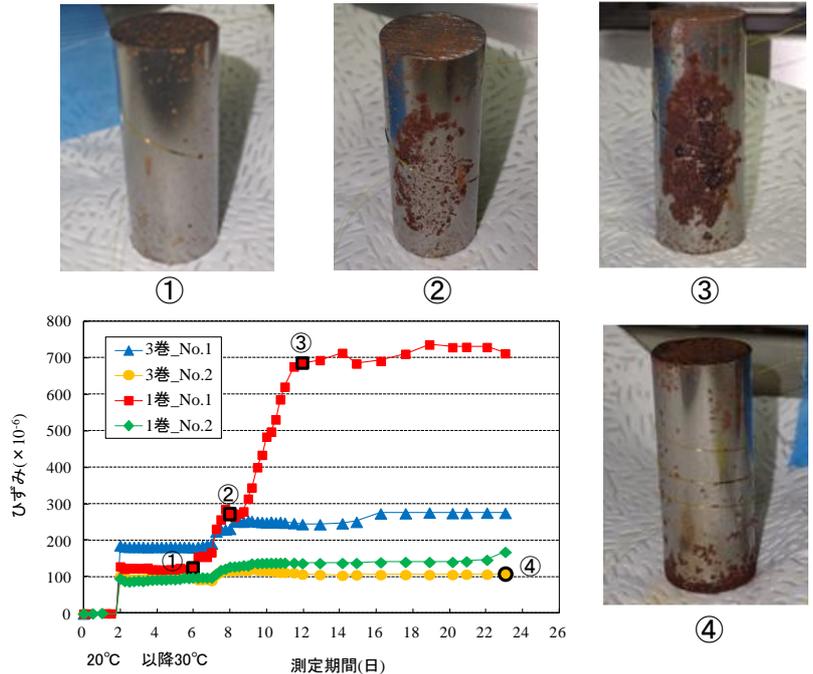


図-2 実験 1 におけるひずみの変化

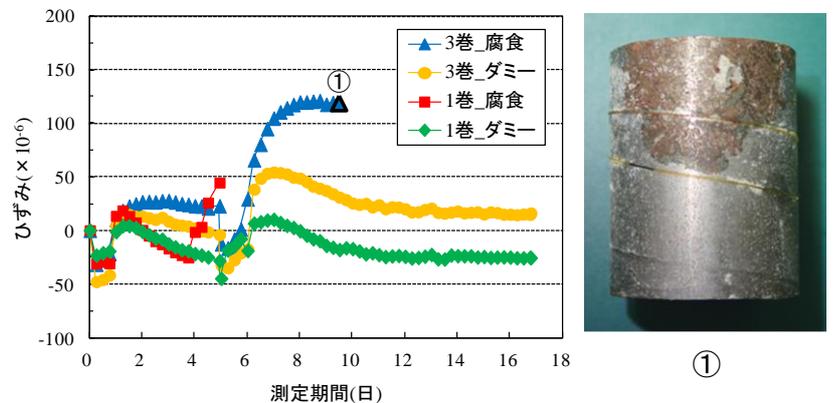


図-3 実験 2 におけるひずみの変化

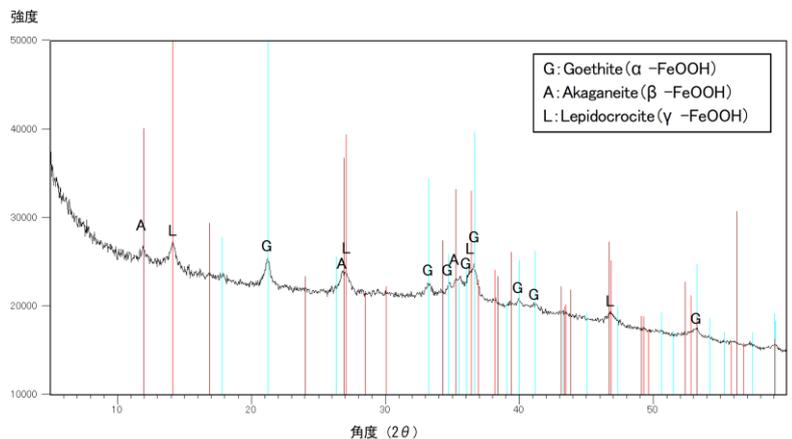


図-4 腐食性生物の X 線回折結果