

プラスチック光ファイバーセンサを利用した鉄筋腐食の計測

東京地下鉄（株） 正会員 伊藤 聡
 東京地下鉄（株） 正会員 小西 真治
 東京地下鉄（株） 非会員 今泉 直也
 東京地下鉄（株） 非会員 榎谷 祐輝
 東京地下鉄（株） 非会員 田中 大介
 神戸大学 学生会員 鬼頭 朋宏
 神戸大学 学生会員 ○Hou Liang
 神戸大学 正会員 芥川 真一

1. はじめに

地下鉄のコンクリート構造躯体における経年劣化問題に対処するためには、きめ細かいメンテナンスの作業が不可欠である。それに関連する作業でコンクリートが劣化した部分を補修する際、補修個所の2次劣化が問題視されることがあり、特に補修個所内部の鉄筋腐食の状態を効率よく把握する技術の開発が望まれている。そこで、独自に開発したプラスチック光ファイバーセンサでセメントペースト内に配置した鉄筋の電食状況をモニタリングしたところ、さびの発生と進行を確認できることが分かったので、その概要を報告する。

2. プラスチック光ファイバーセンサの原理

ここで使用したセンサはプラスチック光ファイバー（直径1mm）二本を接着し、その先端部分をそれぞれ45度にカットしたものである。図-1に示すように、光源から出た光が一本目の光ファイバーの先端まで到達すると、その一部は屈折光L2として切断面を透過するが、残りは反射してL3として、二本目のファイバーに向かう。二本目のファイバーに侵入を果たした光は、すぐに切断面に到達し屈折透過光（L4）と反射光（L5）に分かれ、最終的に光用データロガーにはL5が記録されることになる。それぞれの光ファイバーの切断面で屈折透過、反射のプロセス2回ずつを経て記録されるL5の大きさは光ファイバーの屈折率（1.49）と周辺物質の屈折率（空気の場合は1.0003、水の場合1.33）の差に影響されて変動することがわかっている。具体的には、L5が上昇するときは光ファイバー先端の切断面で空気に接触している面積が増大していることを示し、逆に下降するときは水に接触している面積が増大していることを意味する。このように、光の屈折（Refraction）と反射（Reflection）の特性に基づいたセンシングを可能とすることから、このセンサをRRセンサと呼ぶこととする。

このRRセンサをセメントペースト内に配置した鉄筋の表面に図-2のように配置することを考える。Fiber 1の先端はセメントペーストに接する状態となっているので、この部分で水分の状態をセンシングできる状態になっている。また、Fiber 2の先端は鉄筋の表面の極近傍に配置されるため、ファイバー表面と鉄筋表面のわずかな隙間に侵入する水分や、鉄筋の表面の「色」に関する情報を読み取れる状態になる。その理由は、Fiber 2の表面から外に出る光L4は、目の前にある鉄筋の表面に当たって乱反射するため、鉄筋の色を見た後にFiber 2に再突入するためである。



図-1 プラスチック光ファイバーセンサ

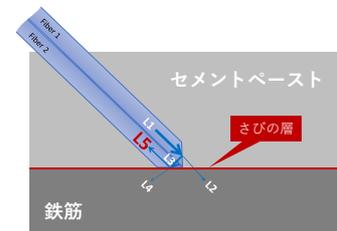


図-2 さびの発生を検知するためのRRセンサの設置方法

キーワード 鉄筋, 腐食, 光ファイバー, モニタリング

連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻 TEL078-803-6615

3. 電食実験

直径 10cm, 高さ 20cm のセメントペースト円柱供試体（普通ポルトランドセメント, W/C=50%）を作成した. 供試体内部には図-3 に示すように直径 16mm の鉄筋を配置し, 上面から 60mm, 160mm の箇所には RR センサ(センサ 1, センサ 2) を設置して鉄筋表面のさびの発生をモニタリングできる状態にした. また, センサ 3, センサ 4 は図示された場所に配置し, その場所における水分の状況をモニタリングできるようにした.

供試体を水槽内に設置して計測を開始し, 40 時間後に電食を開始した. 図-4 に計測開始から 96 時間後までの計測結果を示す. ここで, センサ 1 R/A やセンサ 2

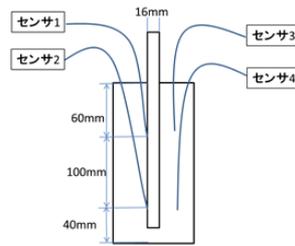


図-3 供試体内の光ファイバーセンサの位置と電食実験の全体概要

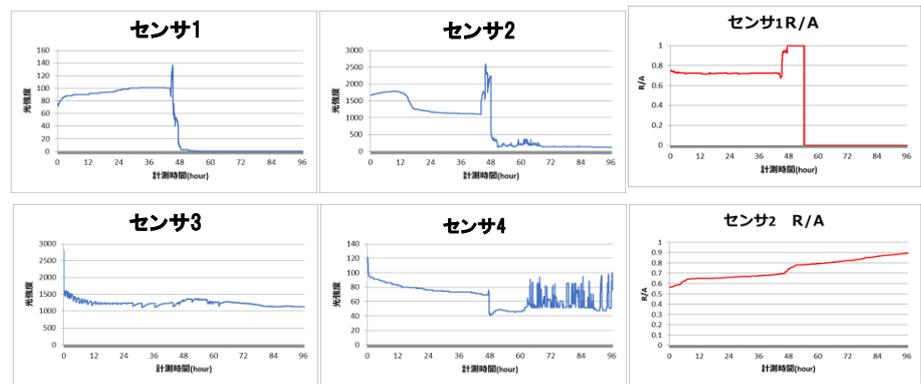


図-4 RR センサが捉えた水分移動とさびの発生

R/A のグラフは Fiber 2 が捉えた光 L5 の総量を A としたとき, その中に含まれる赤の光の強さ R の比を表し, さびの発生を表現するインデックスとしてプロットしている. 鉄筋に接する形で設置しているセンサ 1・2 については供試体の中心部に存在しているため, 水の侵入が遅れている. 特にセンサ 2 の光強度が減少し始めたのは 12 時間経過してからであることが分かる. また, センサ 1, 2 に関して, 40 時間経過したあたりで光強度が上昇し, その後急激に減少するといった変化が見られた. これについては, 電食試験が 40 時間後に開始されており, そのときに鉄筋表面から発生した気泡が RR センサの先端部分に接触することで光強度が上昇したと考えられる. その証拠に, より鉄筋に近いセンサ 1・2 の上昇量がセンサ 3・4 に比べて大きいことが挙げられる. その後, 光強度は急激に減少するが, これは電食試験の進行に伴って鉄筋が膨張し, その膨張圧から供試体にクラックが発生し, そこから水が浸入したためと考えられる. 電食実験の前後における RR センサの状況を確認したところ, 実験終了後に供試体を破壊して撮影した様子から, 光ファイバーの先端がさびの発生をしっかりと捉えていたことが確認できた. これはセンサ 1 の R/A の値が実験開始後 40 時間のところから急激に増大していることでも確認できる.

4. おわりに

今回実施した実験結果から, RR センサを用いることで鉄筋の腐食をモニタリングできることが分かった. ただし, ここで用いた供試体はセメントモルタルであったため, 砂や骨材を入れて一般的なコンクリート供試体においても同様の基礎実験を実施し, RR センサの適用によって供試体内部の水分移動状況や鉄筋腐食の状態を的確に把握できるかどうかを検証する必要がある.

参考文献

- 1) Akutagawa, S., Machijima, Y., Sato, T. and Takahashi, A. 2017. Experimental characterization of movement of water and air in granular material by using optic fiber sensor with an emphasis on refractive index of light, Proceedings of the 51st US Rock Mechanics / Geomechanics Symposium, ARMA 17-313, San Francisco.