

塩害環境下におけるチタンワイヤセンサーでの自然電位計測に関する研究

金沢大学大学院 自然科学研究科環境デザイン学専攻 学生会員 ○杉浦 尚樹
 (株)ピーエス三菱 技術本部技術部メンテナンス技術グループ 正会員 青山 敏幸
 (株)ピーエス三菱 技術本部技術部 正会員 石井 浩司
 金沢大学 理工研究域環境デザイン学系 正会員 鳥居 和之

1. はじめに

近年、コンクリート構造物の適切な維持管理に対する予防保全的な対策が重要となっている。コンクリート構造物の鉄筋腐食の診断法のひとつである自然電位法は、照合電極を用いて対象構造物の鉄筋電位を測定し、調査時点での鉄筋の腐食傾向を推定するものである。照合電極の使用法として、コンクリート表面から鉄筋電位を計測する方法とコンクリート内部に埋設する方法があり、前者はコンクリート表面の含水の影響を受けやすいという点が課題であった。著者らはコンクリートの含水の影響を受けにくい後者の照合電極の使い方に着目し、加えて従来の照合電極よりも安価なチタンワイヤセンサー（以下、ワイヤセンサーと称す）を使用した自然電位法の実構造物への適用を目指した。本研究では、塩害環境下にて試験体中の鉄筋における自然電位の経時変化をワイヤセンサーにより計測し、一般的な照合電極の値と比較検討を行うとともに、その利点について考察した。

2. 実験概要

2.1 使用材料

試験体の配合を表-1に示す。コンクリートは、プレテンション方式のPC桁を対象とし、材齢28日における設計基準強度が50N/mm²、材齢14時間でのプレストレス導入時の強度35N/mm²を満足する配合である。セメントは早強ポルトランドセメント（密度3.14kg/cm³、ブレン値4480cm²/g）を使用した。また、細骨材に富山県庄川産の川砂（表乾密度2.57g/cm³、吸水率1.55%、F.M.:2.74）、粗骨材に富山県庄川産の砕石（表乾密度2.61g/cm³、吸水率0.9%、F.M.:6.69）を使用した。

表-1 試験体の配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)			
		W	C	S	G
39.0	40.1	150	385	702	1067

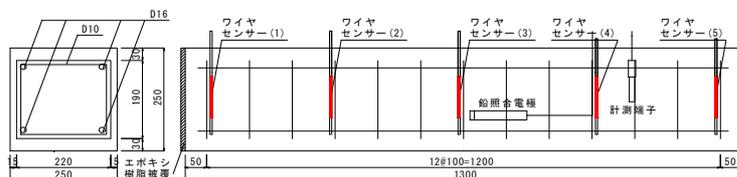


図-1 試験体の形状および寸法

2.2 試験体の概要および暴露環境の条件

試験体は、250mm×250mm×1300mmとし、主筋には、D16の鉄筋を上側、下側に各2本の計4本、スターラップにはD10の鉄筋を100mmピッチで配置した。また、試験体の上下面の鋼材かぶりは30mm、側面の鋼材かぶりは15mmとした。試験体の内部にはリード線付きの鉄筋（以下、計測端子と称す）を内部鉄筋と結束し、電気化学的測定（自然電位法）に供した。また、試験体のスパン中央部近傍に、市販の鉛照合電極を設置した。ワイヤセンサーは、直径3mmの特殊貴金属被覆された耐食性に優れた棒状のチタンである。ワイヤセンサーの両端部を自己融着性絶縁テープにより鉄筋と絶縁処理した状態で、スターラップと平行に、図-1のワイヤセンサー(1)~(5)の位置に設置した。なお、試験体の端部から侵入する塩化物イオンを防ぐ目的で、両端部はエポキシ樹脂により被覆した。

試験体は2014年6月に製作され、翌月から金沢市角間町金沢大学敷地内の屋外に暴露した。試験体の暴露条件は1回/週の塩水（5%NaCl溶液）を散布し、試験体へ塩分浸透を促進させている。

キーワード 自然電位, 鉄筋腐食, チタンワイヤセンサー, 塩害

連絡先 〒920-1192 石川県金沢市角間町 金沢大学大学院 自然科学研究科環境デザイン学専攻 TEL076-264-6373

3. 実験結果および考察

3.1 自然電位の経時変化

測定時の試験体の表面温度と試験体の自然電位の経時変化を図-2, 図-3 にそれぞれ示す. ワイヤセンサーの自然電位の値は, 図-1 の鉛照合電極に近いワイヤセンサー(3)の値を用いる. また, 照合電極で測定した値は, 鉛照合電極電位 (mV vs. PRE) であるので, $CSE = PRE - 800$ として飽和硫酸銅電極電位 (mV vs. CSE) に換算した.

暴露を開始し, 100 日前後 (9 月から 10 月) から自然電位が急激に卑側に移行し, 鉛照合電極で計測された自然電位の値は鉄筋腐食が不確定な領域となった. これは, 1 回/週の塩水 (5%NaCl 溶液) 散布を実施したことに加えて, 図-2 より暴露 100 日以前の夏季に, 試験体の表面温度が 25°C 以上の日が続き, コンクリート内部が鉄筋の腐食しやすい状態になったことが考えられる. その後, 暴露 200 日から 300 日にかけて自然電位の貴側への回復があり, さらに暴露後半 (夏季から冬季にかけて) に卑側への移行が確認された.

試験体における鉛照合電極とワイヤセンサーによる自然電位の測定値を比較すると, 測定時期によらず全て同じような挙動で少しずつ電位は卑側に移行している. したがって, ワイヤセンサーは鉄筋の自然電位の変動を的確に評価できると考えられる. また, 図-3 よりワイヤセンサーで計測した自然電位は鉛照合電極での値よりも変動の幅が大きいことが確認された. これは, 鉛照合電極はスターラップの部分的な電位を測定しているのに対して, ワイヤセンサーはスターラップ 10cm の全長を測定しているため, スターラップ全体の腐食傾向を捉えているため, 電位の変動に違いがあるものと考えられる.

3.2 各ワイヤセンサーの自然電位の経時変化

試験体のワイヤセンサー(1)から(5)までの自然電位の経時変化を図-4 に示す. 電位が貴側にある暴露初期はワイヤセンサーごとの自然電位の差は小さいが, 自然電位が卑側に移行するにつれ, ワイヤセンサーの自然電位の差は大きくなっている. したがって, この電位差による腐食の程度の違いを今後検討することで, コンクリート中の鉄筋の局所的な腐食状況の把握が可能となることが期待される.

3.3 試験体の外観の変状

試験体は暴露 180 日以降に試験体の側面約 250mm 地点に錆汁の発生が確認された. その後, 暴露 300 日以降に試験体の側面 450mm 付近で浮き, 暴露約 400 日には 450mm 付近の浮きが拡大した. さらに, 暴露約 500 日には試験体の側面 1050mm 付近に錆汁の発生が確認された. また, 暴露約 580 日において 50mm 付近でも浮きが見られた. 図-3 の自然電位の測定結果では, 暴露約 3 ヶ月半において自然電位が卑化し, その後暴露 200 日頃までの間は電位の卑化が続いている. 錆汁の発生時期は, 自然電位の卑化の時期と一致していることから, 自然電位を継続的に測定することにより, 鉄筋腐食の可能性を的確に評価できるものと考えられる.

4. まとめ

- (1) ワイヤセンサーは, 測定時期やコンクリート中の塩分の影響に関係なく, 市販の照合電極と同様に鉄筋の自然電位の変動を的確に評価でき, 照合電極よりも自然電位の卑側への移行を明確に捉えることが確認された.
- (2) 試験体のワイヤセンサーの測定結果より, 電位が貴側にあれば各ワイヤセンサーの自然電位の差は小さいが, 自然電位が卑側に移行するにつれて自然電位の差が大きくなる傾向が確認された.

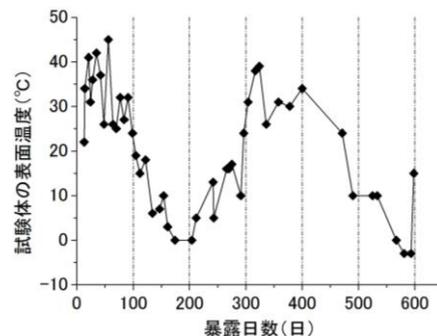


図-2 測定時の表面温度

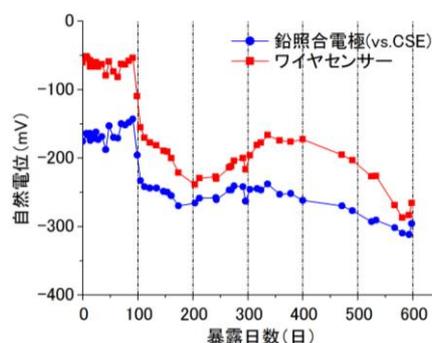


図-3 自然電位の経時変化

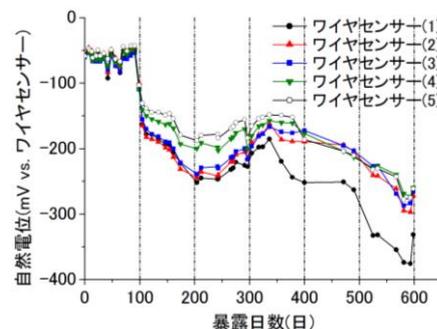


図-4 各ワイヤセンサーの自然電位の経時変化