塩分環境下における鉄筋腐食の自然電位による測定方法の検討

岩手大学大学院　学生員　○川又　裕介
岩手大学工学部　浦島　貴之
岩手大学工学部　正　員　藤原　忠司
岩手大学工学部　正　員　小山田哲也

１．はじめに

実構造物における塩害や中性化による鉄筋の腐食を診断する方法として、自然電位法があり、原理が単純で、測定も容易であることから、広く用いられている。しかし、この方法は、調査時点での腐食の可能性を診断するものであり、鉄筋の腐食速度を測定するものではないとされている。実験室レベルでは、この方法により、腐食速度の把握が可能と考え、筆者らは、塩分環境下における鉄筋腐食を調べてみた。その結果、自然電位の経時変化は安定せず、実験は失敗に帰した。原因は、電位差計の端子を鉄筋に接続する方法にあったと推察されたため、本研究では、この点に改良を加え、再度自然電位法による鉄筋腐食の把握を試みた。

２．実験概要

鉄筋腐食の程度は、コンクリートの配合によって異なることが知られている。自然電位の変化も、配合によって差がなければならない。本実験では、**表１**に示すように、水セメント比を５水準としたコンクリートを対象として、自然電位法が鉄筋腐食を的確に捉えられるかを検討することにした。

表１　コンクリートの配合

W/C	単位量（kg/m^3）				SP
(%)	W	C	S	G	(kg/ m^3)
30	173	577	679	919	4.8
40	173	433	728	985	2.2
50	173	346	757	1025	－
60	173	288	777	1051	－
70	173	247	791	1070	－

セメントには普通ポルトランドセメント（密度：3.15g/cm^3）、細骨材および粗骨材には川砂（密度：2.52g/cm^3）と川砂利（密度：2.52g/cm^3）を用いた。鉄筋としては、φ19mm のみがき丸鋼を用いた。

供試体は、φ10×20cm の円柱とし、**図１**に示すように、鉄筋は、円柱の中心に設置した。側面からのかぶり厚は、約 4cm であり、これに合わせ、鉄筋の下端は、底面から 4cm になるようにした。鉄筋の上部は、コンクリート表面から、10cm 露出させておく。前の実験では、鉄筋をコンクリート中に埋設し、電位差計の端子をハンダ付けしておいたが、この異種金属の接合が自然電位を乱したと推察された。鉄筋の端部を露出させておき、シリコンで被覆して酸化を防ぎ、測定時に被覆を剥がして電位差計の端子をあてがう。この方法により、乱れは解消すると考えた。かぶり厚を一定にするため、コンクリートの上面も、シリコンで被覆しておいた。

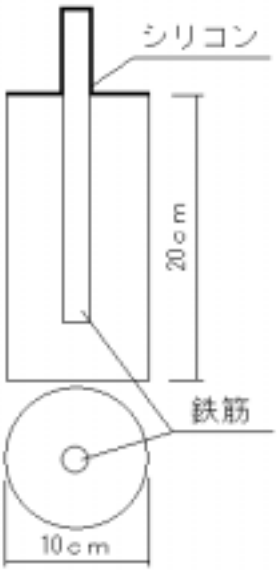

図１　供試体断面

以上のように作成した供試体を、温度+60℃の乾燥炉で 3 日間乾燥させる。その後、同じ温度で、3%濃度の塩化ナトリウムの水溶液に 3 日間浸漬する。この乾湿の工程を 1 サイクルとし、10 サイクルまで繰り返した。自然電位の測定は、乾燥前の湿潤状態で行なった。測定には、飽和カロメル電極を使用し、照合電極は、鉄筋下端の側面にあてがった。

測定された自然電位の妥当性は、鉄筋腐食面積との照合により検討する。腐食面積測定用の供試体に同じ環境で乾湿の繰返し作用を与え、3、6 および 10 サイクル終了時に供試体を割裂して鉄筋を取り出し、腐食面積を求めた。さらに、割裂したコンクリートからドリルによって粉末を採取し、かぶり方向の塩分浸透量の分布を測定した。

キーワード：自然電位、鉄筋腐食、塩害、乾湿繰り返し、腐食面積率
連絡先：岩手県盛岡市上田 4 丁目 3-5 岩手大学工学部建設環境工学科　TEL・FAX：019-621-6442

３．実験結果および考察

図２は、乾湿繰返しサイクルの進行に伴う自然電位の変化を示している。サイクルの進行に伴い、自然電位は卑の側にシフトしており、その推移も比較的滑らかな曲線状である。水セメント比によっても、明瞭な差が見受けられ、水セメント比が大きいほど、自然電位は卑となる。ASTM の腐食評価基準によれば、本実験で使用した電極の場合、自然電位が-0.126V より貴では、鉄筋腐食の確率は 10%以下、-0.276V より卑での腐食の確率は 90%以上としており、この間では、不確実であるとされている。水セメント比 70%の場合、3 サイクル終了時において、-0.276V より卑となっており、この基準によれば、この段階で、鉄筋腐食はかなりの確率で生じていることになる。他の水セメント比においても、4 サイクル目で、この境界を超えている。与えた乾湿繰返し作用は、きわめて厳しく、乾燥によるひび割れが夥しく発生するのを観察した。塩水浸漬では、ひび割れを通して、塩分が容易に浸透すると予想され、さらに高温であることから、鉄筋腐食は速やかに進行すると推察される。自然電位の変化は、この推察を裏付けるものであると言える。しかし、自然電位の信頼性を確認するためには、実際の塩分浸透や鉄筋腐食との関連を検討する必要がある。

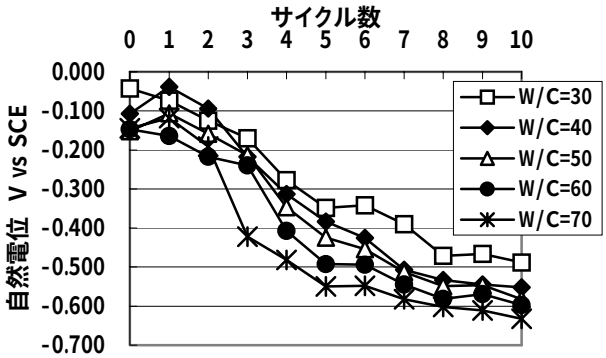

図2　サイクルの進行に伴う自然電位の変化

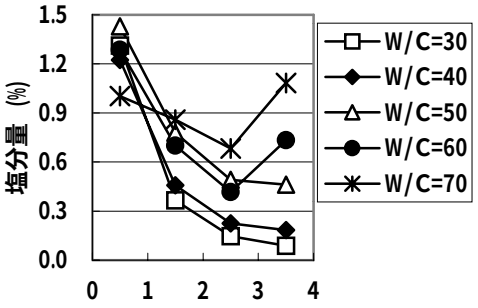

図３　６サイクル終了時の塩分浸透量

図３に、塩分浸透の例として、6 サイクル終了時の塩分浸透量を示す。表面からの距離 4cm は、ほぼ鉄筋の表面であり、この段階で、塩分浸透は、鉄筋近傍にまで達し、水セメント比が大きいほど、その量が大きい結果となっている。

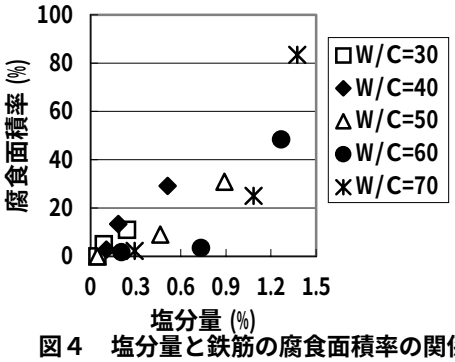

図４　塩分量と鉄筋の腐食面積率の関係

鉄筋近傍（表面から 3～4cm）の塩分量に着目し、それと鉄筋の腐食面積率との関係を求めたが図４である。3、6 および 10 サイクルでの測定値を包括して示した。塩分量が大きいほど、鉄筋の腐食が著しい傾向は明瞭である。

自然電位と鉄筋の腐食面積率との関係を図５に示す。両者には、一定の関係が見られ、自然電位が卑であるほど、腐食が著しい。換言すれば、自然電位は、腐食面積率によく対応しており、自然電位の変化でもって、鉄筋の腐食状況を把握できることになる。前述のように、ASTM の腐食評価基準では、自然電位が-0.276V より卑となれば、鉄筋腐食の確率は 90%以上と判断する。本結果の場合、この電位は、腐食の始まりの段階に相当する。さらにサイクルが進めば、腐食も進行し、水セメント比 70%では、10 サイクルで腐食面積率が 100%に迫る。すなわち、腐食が鉄筋全面にわたる。この段階でのプロットも、全体の傾向に収まっており、自然電位の測定により、腐食の程度の広い範囲にわたって診断が可能であると考えられる。

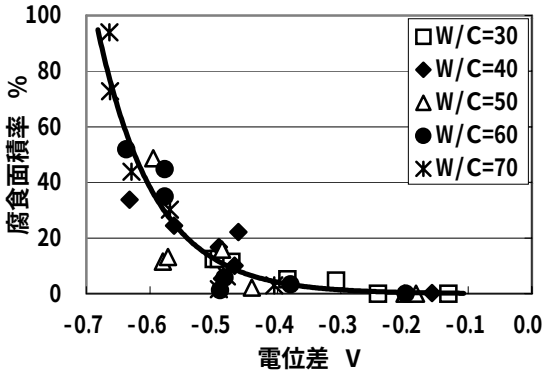

図５　自然電位と鉄筋の腐食面積率の関係

鉄筋腐食の程度を知るには、たとえば腐食面積率などの測定がもっとも確実であるが、供試体を破壊しなければならず、きわめてやっかいな方法となる。本実験では、自然電位の測定方法に工夫を凝らし、塩分環境下での自然電位の変化を求め、それが腐食面積率によく対応するとの結果を得た。少なくとも、実験室レベルでは、有用な手法になり得ると評価できる。