

V-13

自然電位測定結果によるRC中の鉄筋腐食に関する劣化予測

北見工業大学工学部	正 員	桜井 宏
北見工業大学工学部	正 員	鮎田耕一
北海道大学工学部	正 員	佐伯 昇
北見工業大学大学院	学生員	中尾和武

1. はじめに

コンクリート構造物中の鉄筋腐食を非破壊で的確に評価し、適切な時期に対策を実施することは、コンクリート構造物の維持管理上重要なこととなっている。コンクリート中の鉄筋の腐食を診断する方法の一つとして非破壊で簡単に測定できる自然電位測定法がある。しかし、これらの測定結果が鉄筋腐食の定量的な把握に十分に生かされていないのが現状である。筆者らは、JCI補修工法(委)の活動の中でこれらの方法を検討し提案してきた。^{1) 2)}

本研究の目的は、自然電位測定結果によりRC中の鉄筋腐食に関する劣化予測の基礎的な検討をすることである。

2. 検討方法

以下の手順で検討を行う。

第一に、自然電位測定結果を有効に活用することを試みるため、曝露実験等で得られた自然電位測定結果より、曝露供試体の内部の鉄筋に発生する腐食電流と鉄筋の腐食量の目安となるモデル(自然電位測定結果による腐食量推定モデル)を作成し鉄筋腐食の進行程度の劣化予測方法を検討する。

第二に、補修供試体内の自然電位分布の測定と検討を行い、劣化予測に関する基礎的な考察を行う。

2.1 自然電位と腐食電流のモデル化

曝露供試体の鉄筋内で、図-1のような電位:Eと電流:i(電流は時計回りを正とする)が発生しているものと仮定しモデルを検討する。

ここで、コンクリート供試体中の鉄筋をn個の線形要素に分割し、k番目の要素の位置に着目する。 E_{kx} を任意の点kと各点xの電位差、 r_{kx} を図の各点(x)の距離や塩分混入等によって影響を受ける2点間の抵抗とする。また、 r_{kx} は、k番目の要素からx番目の要素の抵抗値の和とすると、任意の点kに各点から流れる腐食電流 i_{kx} (密度)は、

$$i_{kx} = E_{kx} / r_{kx} \dots \dots \dots \text{式(1)}$$

となり、任意の点(k)での電流(密度) I_k は、次式で表せられる。

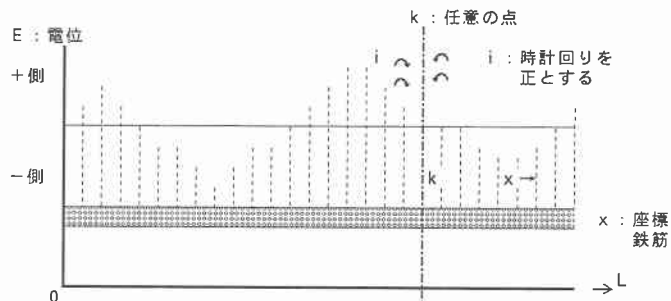


図-1 自然電位と腐食電流(密度)及び腐食量の検討のためのモデル

Deterioration Prediction on Steel Corrosion in RC by Measuring Electric Potential Distribution
by Hiroshi SAKURAI, Koichi AYUTA, Noboru SAEKI and Kazutake NAKAO

$$I_k = \int_0^L i_{kx} dx = \int_0^L E_{kx} / r_{kx} dx \dots\dots\dots \text{式(2)}$$

一方、鉄筋全体に発生する腐食電流量を I_t とすると

$$I_t = \int_0^L I_k |dk| \dots\dots\dots \text{式(3)}$$

また、任意の時間 t までに鉄筋全体に発生する積算腐食電流量を I_T とすると

$$I_T = \int_0^t I_t dt \dots\dots\dots \text{式(4)}$$

そのときの腐食量 S_c は、

$$S_c = \int_0^t f(I_T) dt \dots\dots\dots \text{式(5)}$$

として表せる。

2.2 モデルによる腐食量推定の手順

モデルによる腐食量推定の手順のフローチャートを図-2に示す。



図-2 モデルによる腐食量推定の手順のフローチャート

2.3 検討のためのデータ

2.3.1 自然電位測定結果による腐食量推定モデルの検討のデータ

本研究では、JCIのコンクリート構造物の補修工法の研究委員会報告²⁾による鉄筋の自然電位分布を用いた。その一部を図-3に鉄筋の自然電位分布として示す。

全体的にばらつきが大きく、ランダムに分布しているが、測定ごとに次第に自然電位の絶対値が高くなっていることが分かる。初期に、自然電位の絶対値が高かった部分は、後に測定しても他の測定位置と比較して高くなる傾向にある。

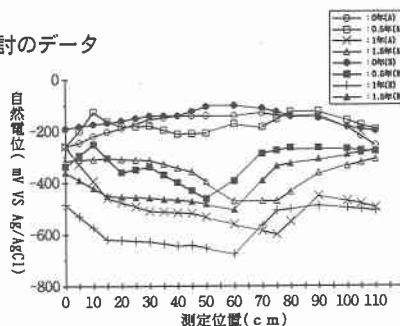


図-3 鉄筋の自然電位分布

2.3.2 補修供試体の自然電位分布の検討のデータ

検討に用いた供試体の形状及び寸法を図-4に、供試体の補修の種類を表-1に示す。W/Cは46.5%、鉄筋径10mm、鉄筋の降伏強度3500～4500kgf/cm²、コンクリートの配合強度320kg/cm²の供試体を計6供試体用いて図-4のように設置し、最大ひびわれ幅を0.5mm程度に制御して供試体中央部分にひびわれを導入した。

自然電位測定位置は、端部(ボルト位置)を基準として50mmごとに800mmまで上下鉄筋位置の表面部(図-4では引張面)を補修前、海水中に浸水し24時間の時点で測定した。また、測定した全ての自然電位を飽和甘こう電極基準(SCE)に換算した。以下に換算式を示す。

$$E = E_m \times (-1) + E_{ref} \dots \dots \dots (式6)$$

ここに、E：換算値、E_m：測定値、E_{ref}：使用した照合電極の電位(ここでは、-46mV SCE)。

表-1 供試体の補修の種類

ケース	補修	供試体NO	補修材料
1	無し	P-1	無し
		P-2	無し
2	有り	P-3	防食剤モルタル系
		P-4	樹脂系
		P-5	モルタル系
		P-6	防水剤

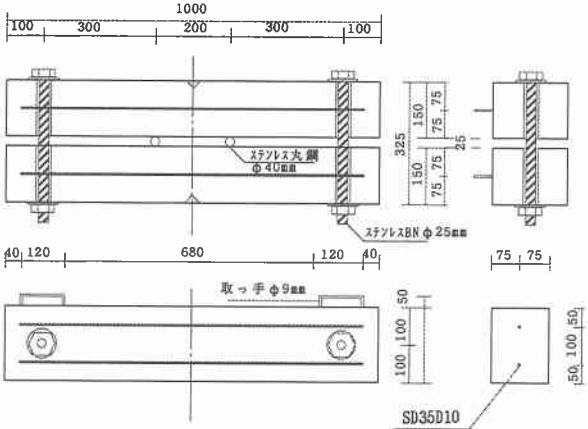


図-4 供試体の形状及び寸法 (単位：mm)

3. 検討及び考察

3.1 自然電位測定結果による腐食量推定モデルの検討

鉄筋腐食量として、ここでは、縦ひびわれ発生長さ率(腐食による縦ひびわれの合計値/鉄筋の長さ)を用いた。なお、2.1で述べた各要素の抵抗値は、全て1と仮定した。傾向のみを把握することを目的とし測定が等しい時間間隔(Δt=1)で行われたものとして計算した。

図-5に鉄筋を流れた積算腐食電流量の絶対値の計算値と縦ひびわれ発生長さ率の関係を示す。鉄筋を流れた積算腐食電流量の絶対値の計算結果と縦ひびわれ発生長さ率に相関のあることが確認できる。

3.2 補修供試体の自然電位分布の検討

図-6より、無補修の供試体において初期の自然電位をみるとかなりのばらつきが見られ、海水に24時間浸水した後は、自然電位の絶対値が大きくなっている。また、海水に浸水24時間の自然電位で、全体的に滑らかであるが、ひびわれ導入部分の供試体中央付近で少し自然電位の絶対値が大きくなっている。

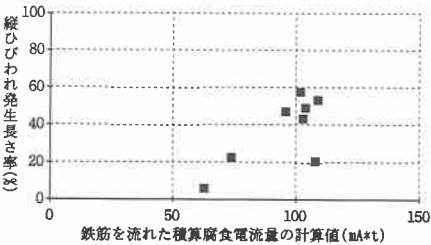


図-5 鉄筋を流れた積算腐食電流量の絶対値の計算結果と縦ひびわれ長さ率の関係

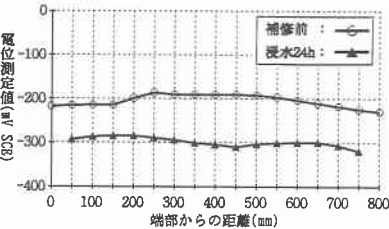


図-6 自然電位測定結果 (P-1, 2の平均値)

図-7より、防食剤モルタル系による補修において海水に浸水24時間の自然電位をみると補修部分は、自然電位の絶対値はまだ小さいが、補修を行っていない部分の自然電位の絶対値が大きく、ばらつきがみられる。補修材料に防食剤を混入したため補修部分と無補修部分とで自然電位の差が他と比べて大きく生じていると思われる。

図-8より、樹脂系による補修において、補修部分の自然電位の絶対値は、同様に小さくなっているが、全体的に自然電位の分布が多少にばらついている傾向がある。

図-9より、モルタル系による補修において、全体的に自然電位の絶対値が小さく、中央の補修部分で自然電位が若干小さくなっているが全体的に水平で安定している。また、補修前と海水に24時間浸水した後とはさほどの変化が見られない。

図-10より、防水剤の表面塗布のみの補修において、自然電位の絶対値がばらついて、ひびわれ付近が大きい。防水剤による補修なので、接触水が十分に浸透していなかった可能性もあるが、今後鉄筋腐食の状態を検討する必要がある。

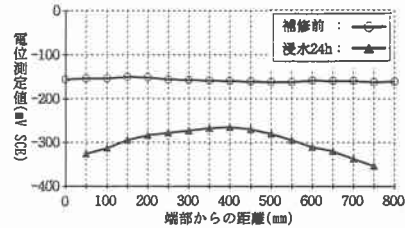


図-7 自然電位測定結果 (P-3)

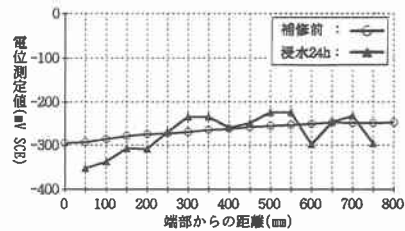


図-8 自然電位測定結果 (P-4)

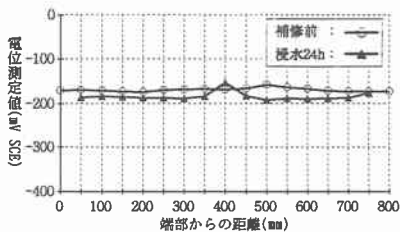


図-9 自然電位測定結果 (P-5)

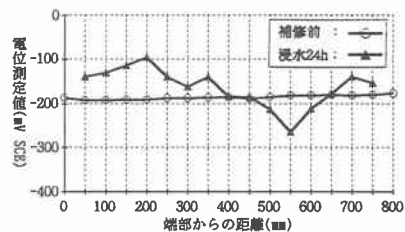


図-10 自然電位測定結果 (P-6)

4. まとめ

自然電位測定結果によるRC中の鉄筋腐食に関する劣化予測の検討より以下のことが分かった。

- ①自然電位分布の測定結果により鉄筋腐食の程度が劣化予測できるとされる。
- ②補修供試体については、補修部分の自然電位は絶対値が小さく、無補修部分の自然電位は絶対値が大きい傾向がある。

なお、本検討の補修供試体は現在、海水中の凍結融解試験を行っているので、将来その結果について報告する予定である。

<謝辞>本研究にあたりコンクリート構造物の補修工法研究委員会(委員長魚本健人東大教授)の委員より貴重なご意見を頂いた。北見工業大学岡田技官、猪狩技官、北見工業大学卒論生の川上、西村氏の御協力を得た。また、(株)西村組の吉田、井上、山角氏の御協力を得た。ここに感謝する。

<参考文献>

- 1) 社団法人日本コンクリート工学協会：コンクリート構造物の補修工法に関するシンポジウム，1992. 10，pp23～28.
- 2) 社団法人日本コンクリート工学協会：コンクリート構造物の補修工法研究委員会報告書(Ⅱ)，1994. 10