

分極抵抗によるコンクリート中の鉄筋の腐食減量の推定に関する研究

中部大学 ○小林孝一 京都大学 宮川豊章

1. はじめに

近年RC構造物の早期劣化事例が報告されており、その代表的なものとして塩害、中性化などによる鉄筋腐食が挙げられる。鉄筋の腐食によりかぶりコンクリートにひび割れ、剥落が生じて以降は腐食が加速され、それにともない補修も大規模かつ困難となるため、劣化が軽微な時点でそれを探知し、適切な維持管理を行なうことが望ましいものと考えられる。

そこで本研究では電気化学的非破壊検査法の一つである分極抵抗法について解析的に検討を行い、その有効性について明らかにすることを目的とした。

2. 実験概要

図1に示すような供試体を作成した。供試体の左部、中央部、右部にはそれぞれ異なった水セメント比 (W/C=45, 60%), 含有塩分量 (Cl⁻=0, 4.75, 9.15kg/m³) のコンクリートを打設し、供試体内で鉄筋の腐食速度が不均一となるようにした。供試体には脱型後塩水を散布した。

供試体内の鉄筋の分極抵抗を重畳二重矩形波法 (電圧: ±2 ~ 20mV, 周波数: 0.1 & 800Hz) にて測定した。対極は供試体かぶり面全体を覆う銅板 (100 × 800mm, 以下: 矩形対極) とした。また交流インピーダンス法 (電圧: ±1 ~ 10mV, 周波数: 0.01 ~ 10Hz) にて同様に鉄筋の分極抵抗を測定したが、対極として電流分散抑制機能付き二重円盤 (主対極: 内径8mm, 外径40mm, ガード対極: 内径45mm, 外径106mm, 以下: 二重対極) を用い、図1に示す個所 (○印) にこの対極を設置して測定を行った。

3. 解析概要

解析対象としたモデル供試体の寸法は実験供試体と同一にしたが、鉄筋はかぶり20mmで1本のみ配置されたとした。この供試体を横断面は1mmメッシュ、縦断面は2.5mmメッシュに分割し、コンクリートは均質で、コンクリート中の電位 (uV) の分布は次の二次元ラプラス方程式を満たすものと仮定した。

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = 0 \quad \text{(式1)}$$

以上の条件のもとで、モデル供試体の横断面、縦断面について二次元の差分法にて電位分布および電流量の解析を行った。なお、節点間の電気抵抗はコンクリート抵抗の実測値から算出した。また鉄筋の分極は、鉄筋と供試体表面に設置された対極との間に電位差を10mV設けることによって表現した。

4. 結果

分極時における鉄筋への電流の流入状況の解析結果を図2に示す。ここでは鉄筋とかぶり面全体を覆う矩形対極との間のコンクリート抵抗の実測値 40Ω から節点間の抵抗を算出して用いた。

いずれの場合も鉄筋裏側に電流が回り込んでいるが、二重対極の場合には、内側の主対極から流出する電流が対極全体から流出する電流量の59.6%であるため、主対極から流出する電流はほぼ全てが鉄筋のかぶり側

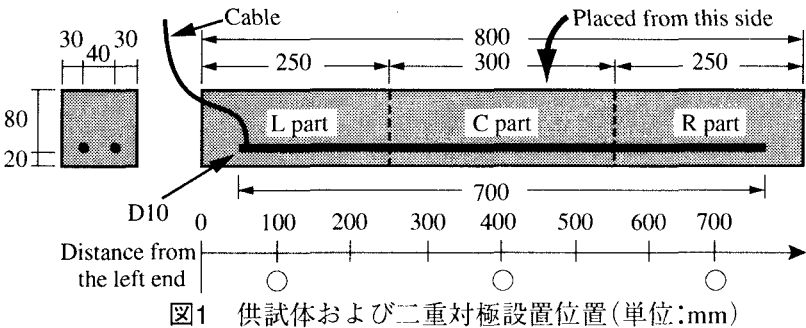


図1 供試体および二重対極設置位置 (単位:mm)

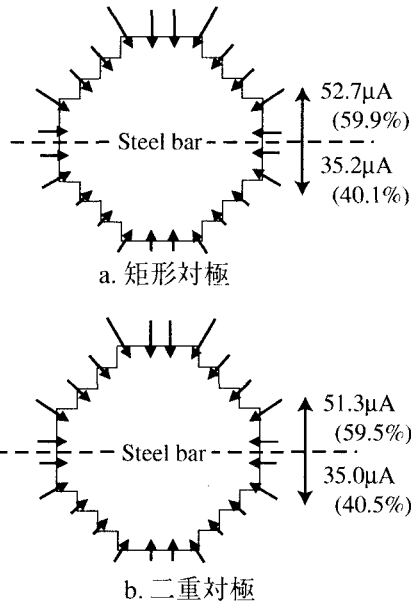


図2 分極時の鋼材への電流流入量

面に流入すると考えることができる。

また縦断面に関する解析結果によっても、二重対極の主対極から流出した電流は、分散せずに直下の鉄筋にほぼすべて流入することが明らかとなった。したがって分極面積は、二重対極を用いた場合には40mm（主対極の外径）× $\pi D \div 2$ （D：鉄筋の直径）となるものと考えられる。一方、供試体全面を覆う対極の場合には、鉄筋裏面に回り込む電流も考慮する必要があることから、分極面積は700mm（鉄筋長さ）× πD とする必要があると考えられる。

以上の検討結果を用い、2つの手法で測定した分極抵抗（＝測定値×分極面積）の逆数を算出し、それらの比較を図3に示す。ここでは腐食速度は分極抵抗の逆数に比例することから、この値を腐食速度指標とよぶこととする。

この図によれば、両手法による分極抵抗から算出した腐食速度指標は3～6倍程度異なるが、供試体内における塩分濃度が均一な供試体では、腐食速度指標の差は若干小さい。

図4に、主対極およびガード対極からなる二重対極、および矩形対極をそれぞれ用いた場合の、鉄筋分極時における供試体縦断面での鉄筋への電流の流入状況を、「3.解析概要」と同様の条件で解析した結果を示す。ただし、ここではコンクリートと鉄筋との界面に分極抵抗の存在も考慮し、分極抵抗の値は交流法による実測値を用いた。

この図から、二重対極を用いた場合には、分極時に主対極からの電流が主対極直下から分散することがないのに対し、矩形対極を用い、健全部と腐食部を同時に分極させた場合には、腐食部および健全部に流入する電流量は相違し、分極抵抗の測定時にこれらを分離して取り扱うことは不可能であるため、得られる腐食速度指標は鉄筋全長における平均値となる。

以上の検討結果から、分極抵抗から腐食速度を算出するには、分極面積、鉄筋の周方向での腐食速度の分布、分極周波数の相違、部材における腐食部と非腐食部の混在を考慮する必要があることが明らかとなった。

このような要因を考慮した結果、重畳矩形波法によって得られた分極抵抗を用いて算出した鉄筋の腐食減量の予測値（図5）を図6のように修正することができた。

5. まとめ

本研究の結果から、分極抵抗測定時の鉄筋の分極挙動が明らかになるとともに、重畳矩形波法と矩形対極によって簡易に測定されたデータをもとに、二重対極を用いた交流インピーダンス法によるデータを組合せることによって、より正確な腐食量予測が可能となった。

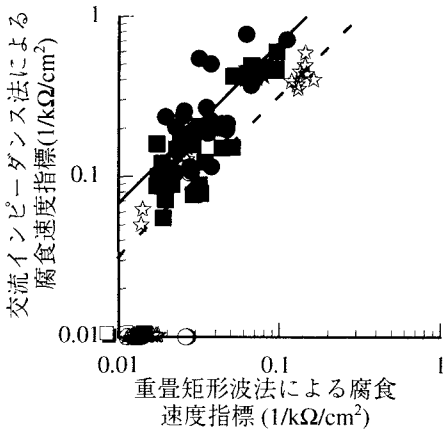


図3 腐食速度指標

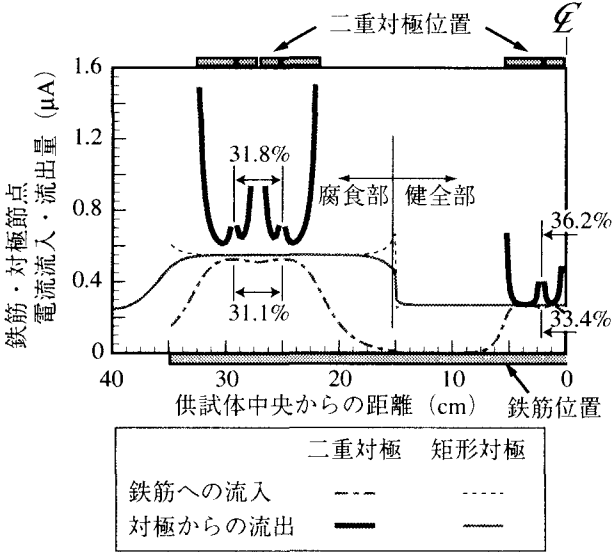


図4 鉄筋・対極節点の電流入入・流出量（鉄筋の分極抵抗考慮）

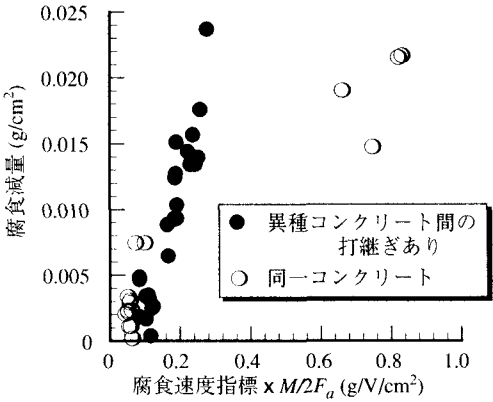


図5 腐食減量の測定値と重畳矩形波法から求めた腐食速度指標との関係

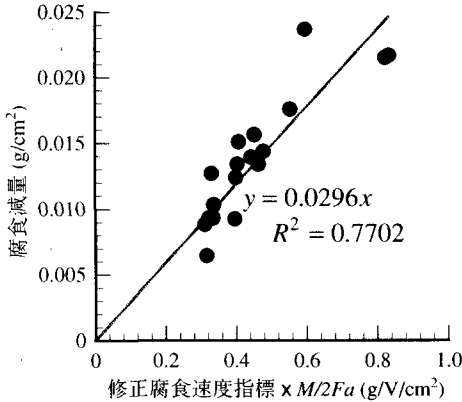


図6 腐食減量の測定値と修正腐食速度指標との関係