

鉄筋腐食調査手法の高度化に関する研究

A STUDY ON AN EFFICIENT METHOD FOR EVALUATING CORROSION OF CONCRETE REINFORCING STEEL

松山公年*・太田資郎*・藤原鉄朗*・金本康宏*

Kimitoshi MATSUYAMA, Shiro OHTA, Tetsuro FUJIWARA and Yasuhiro KANEMOTO

Electrical methods and a depth of carbonation in cover are used to evaluate corrosion activity of steel reinforcement due to carbonation of concrete. To know a depth of carbonation in cover, the carbonation depth and cover are measured by exposing and sampling the concrete. These methods provide information at a sampling point. We developed a method for evaluating reinforcing steel corrosion that would be efficient due to the combined use of radar and drilling using the half-cell potential method. We applied the method on a reinforced concrete structure.

Key Words : corrosion, carbonation, drilling, radar, half-cell potential

1. はじめに

我が国において、鉄筋コンクリート構造物の鉄筋腐食が問題となる主な劣化機構として、中性化や塩害などがあげられる。中性化は、大気中の二酸化炭素がコンクリート内に浸入し、水酸化カルシウムの酸化による炭酸カルシウムが生成され、細孔溶液中の pH が低下する現象である。これにより、コンクリート内部の鋼材腐食が進行し、ひび割れの発生、かぶりの剥離・剥落、鋼材の断面欠損による耐荷力の低下など、構造物あるいは部材の耐久性能の低下が生じる¹⁾。

中性化に関する調査として、フェノールフタレイン法による中性化深さ測定が一般的に行われている。フェノールフタレイン法による中性化深さ測定は、構造物のはつり箇所やコア試料に対して行われる。これらの試験結果は、信頼性が高いものの、小規模ではあるが破壊試験であるため、構造耐力上問題とならない場合でもはつりやコア採取に対する所有者および管理者の心理的抵抗が大きい場合がある。このため、構造物への損傷を最小限に抑える手法として、ドリル削孔法による中性化深さ測定方法が(社)日本非破壊検査協会で規格化されている²⁾。

腐食の開始と中性化の関係は、鉄筋のかぶり厚さと中性化深さの差で定義される中性化残りによって検討されており、塩分を含まないコンクリートで約 8mm、塩分を含むコンクリートで約 20mm とされている³⁾。

一方、コンクリート中の鉄筋腐食を調査する手法として、自然電位法や分極抵抗法などの電気化学的手法が注目されて

いる。自然電位法は、近年測定方法が規格化され^{4), 5)}、さらに実構造物への適用が増加するものと期待されるが、測定値がかぶりコンクリートの性質に影響を受けるため、各種の補正方法が提案されている⁶⁾。

そこで、本研究では、電磁波レーダ法(以下、レーダ法と呼ぶ)とドリル削孔法を自然電位測定時に活用することにより、自然電位測定作業の効率化を図った(図-1)。また、レーダ法による測定結果とドリル削孔法を用いて中性化残りを面的に把握し、中性化残り分布図を作成した。この中性化残り分布図と自然電位分布図とを重ね合わせることで、コンクリート中の鉄筋腐食状況を有効に評価することができたので報告する。

2. 対象構造物と測定範囲

対象構造物は、昭和 30 年代初期に建設された鉄筋コンクリート構造物である。対象物には、幅 0.1~0.2mm 程度のひび割れが散見され、鉄筋腐食による剥離・剥落箇所も見られた。この構造物の約 2m×2m の範囲に対して電磁波レーダ法およびドリル削孔法、自然電位法を適用した。測定範囲と変状を写真-1 に整理する。

* 社会環境エンジニアリング事業部 ライフサイクルマネジメント部

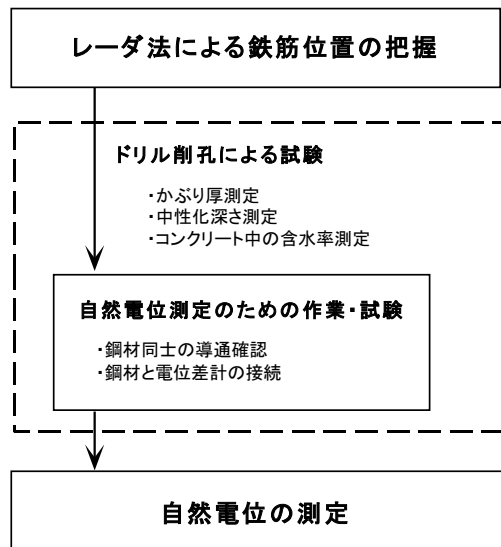


図-1 鉄筋腐食調査の流れ

3. 測定方法

(1) レーダ法による鉄筋位置の把握

レーダ法により、コンクリート中の鉄筋位置を面的に把握した。測定には、当社が独自に開発した多目的レーダ計測システムを使用した。多目的レーダ計測システムは、100、400、600、800、1,000、1,500MHz までの六種類の周波数が異なるアンテナを有しており、本対象物に対しては 1,000、1,500MHz のアンテナを使用した(写真-2)。本システムは、図-2、3 に示すように、基準波および直接波、反射波を同時に測定することにより、対象コンクリートの誘電率を測定し、精度の高いコンクリート厚さ測定を可能にしている⁷⁾。

(2) ドリル削孔法による測定および試験

1) かぶり厚さ測定

レーダ法で把握した鉄筋位置に対してドリル削孔を行った。ドリルが鉄筋に達した位置で削孔を停止し、孔長をノギスで測定することによりかぶり厚さを把握した。

2) 中性化深さ測定

ドリル削孔の際に中性化深さを測定した。中性化深さの測定は、(社)日本非破壊検査協会規格「ドリル削孔粉を用いたコンクリート構造物の中性化深さ試験方法」を参考に実施した。

3) 鉄筋同士の導通確認

かぶり厚さを測定したドリル孔を利用して配置が異なる鉄筋同士の導通を確認した。導通確認には、デジタルテスターを用いた。これにより、測定対象範囲内の鉄筋同士が電氣的につながっていることを確認した。

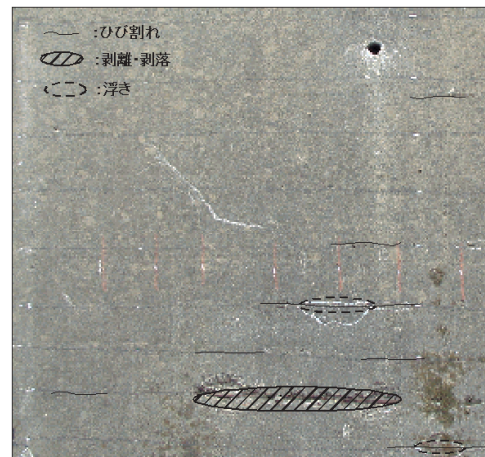


写真-1 測定対象と変状



写真-2 多目的レーダ計測システム

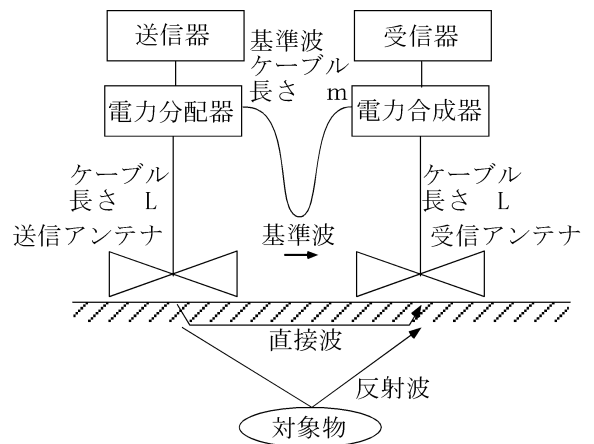


図-2 レーダ計測概念図

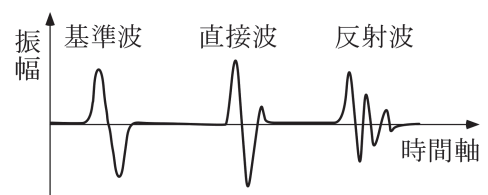


図-3 レーダ波形概念図

(3) 自然電位の測定

1) 照合電極

自然電位測定は、照合電極として鉛電極を使用した。測定前に、飽和硫酸銅電極と鉛電極のキャリブレーションを行い、飽和硫酸銅電極換算値を求めた上で、測定を実施した。

2) コンクリート表面の前処理

測定対象のコンクリート面が乾燥状態にあり、南向きであったので、一時間程度の断続的な噴霧散水で、コンクリート表面の湿潤状態を得た。自然電位の測定時に、市販の電気抵抗式の含水率計によりコンクリート表層部の含水率を測定した。

3) 自然電位の測定

自然電位の測定は、市販の電位差計を使用した。測定箇所は表面に近い横筋に対して行い、回転式照合電極を横筋

の直上で走査させて電位を測定した。測定ピッチは約 10cm である。

4. 測定結果

(1) レーダ法

1) レーダ画像と波形

レーダ画像と波形の例を図-4に示す。図-4で、アンテナ走査距離の増加に対し、基準波および直接波の到達時間は一定であるが、鉄筋からの反射波には、到達時間の遅延が見られる。

2) 配筋とかぶり厚さ分布

レーダ法で把握した鉄筋位置を図-5に示す。また、横筋のかぶり厚さを算出した結果を図-6に整理する。図-6に示すように、測定範囲の左上から右下の方向に、かぶり厚さが小さくなる傾向が見られる。

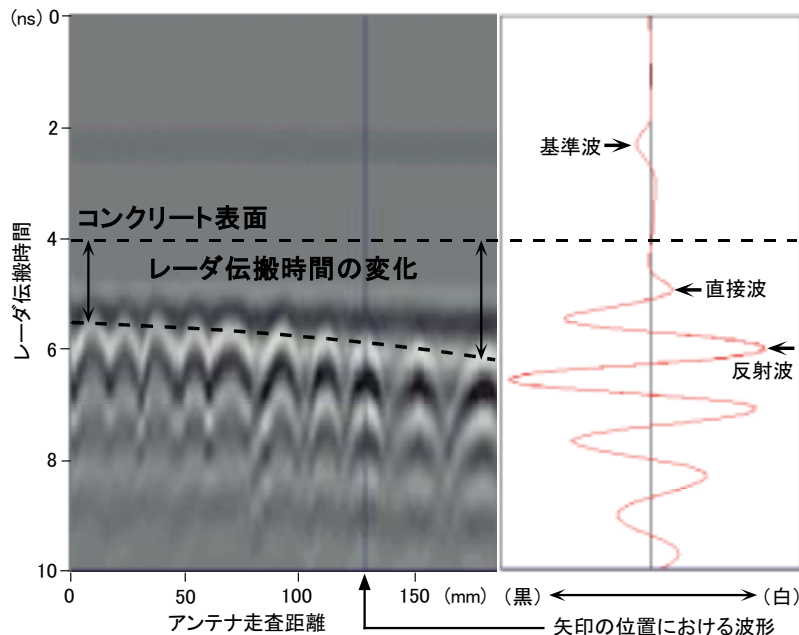


図-4 レーダ画像と波形例

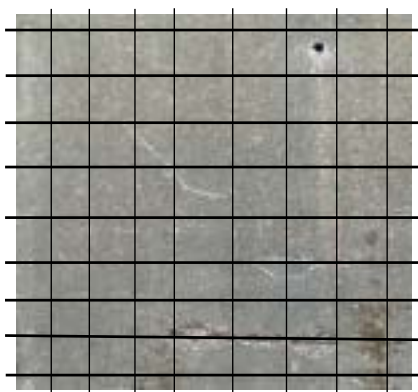


図-5 推定配筋図(実線部)

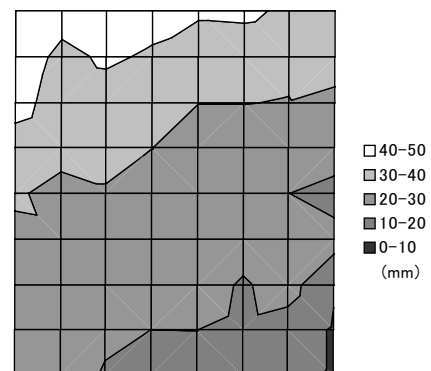


図-6 かぶり厚さ分布図

(2) ドリル削孔法(中性化深さ測定結果)

ドリル削孔法で中性化深さを測定した結果とコア(側面および割裂面)による結果を図-7に整理する。図-7に見られるように、割裂面での測定結果、コア側面での測定結果、ドリル削孔による測定結果の順で取得したデータの幅が増大している。平均値に着目すると、個々の平均値が15~20mmの範囲内に収まっている。

(3) 自然電位法

1) コンクリート表層部の含水率

噴霧散水前後のコンクリート表層部における含水率測定結果を図-8に示す。噴霧前のコンクリート表層(図-8のコンクリート深さ20mm)の含水率は約1.2%であり、非常に乾燥している状態であった。噴霧散水後は、表層の含水率が3.0%前後の状態に推移している。

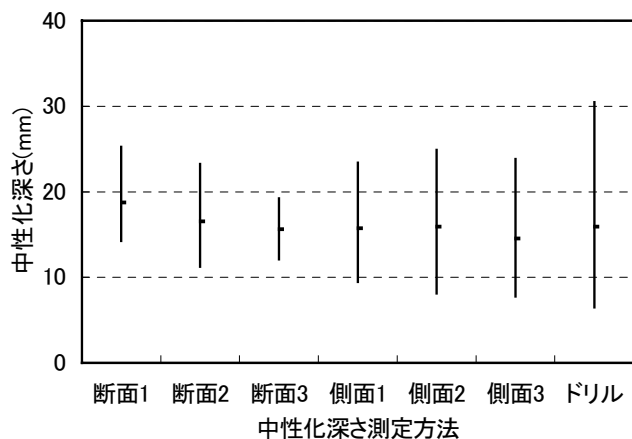


図-7 中性化深さ測定結果

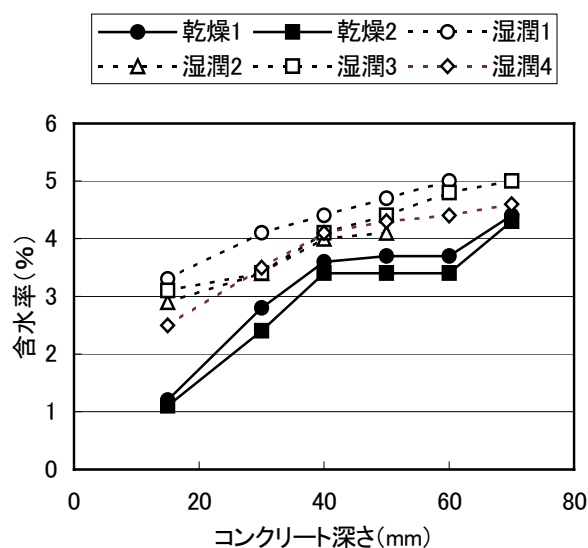


図-8 コンクリートの含水率分布

2) 自然電位分布

自然電位測定結果を等電位線図として示す(図-9)。電位の分布は、下部ほど電位が卑な(小さくなる)傾向が見られるものの、電位の全てが-350mV以上の値を示した。

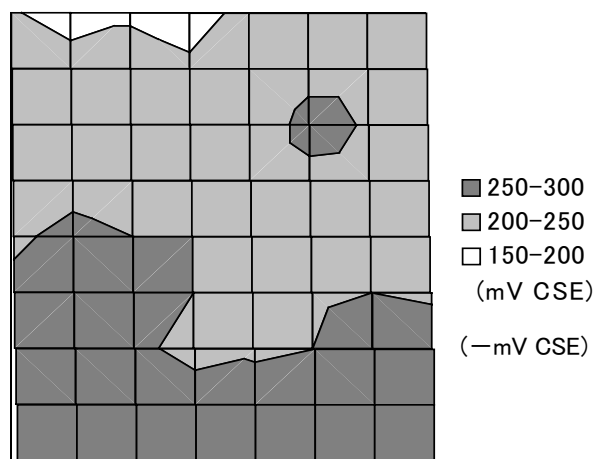


図-9 自然電位分布図

5. 考察

(1) レーダ法のかぶり厚さ測定精度

レーダ計測による推定かぶり厚さとドリル削孔によるかぶり厚さ測定結果を比較したものを図-10に示す。両者の値の差は4mm以内であった。両者を比較した場合、レーダ法によるかぶり厚さが、ドリル削孔によるものよりも、やや大きい傾向が見られた。この原因として、レーダ波形における伝搬時間の読み取り方法やコンクリートの誘電率設定の影響が考えられる。コンクリートの誘電率は、電磁波の伝搬速度に対応しており、コンクリートの誘電率の設定により、かぶり厚さの値が異なることになる。

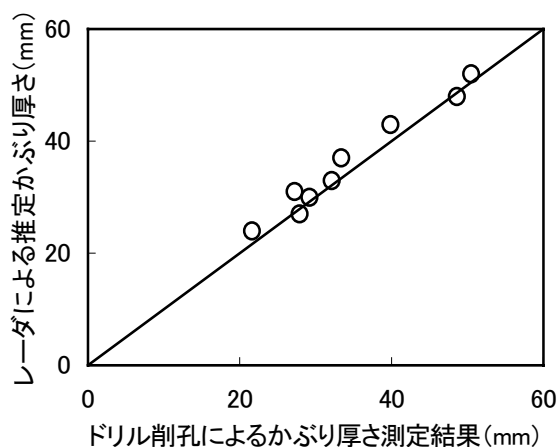


図-10 かぶり厚さ推定精度

(2) 中性化深さ測定方法と中性化残り

1) 中性化深さ測定方法

コアによる中性化深さ測定を行う場合、割裂面での測定値のばらつきが小さく、割裂面を対象とする方法が有効であることを確認した(図-7)。また、ドリル削孔による中性化深さ測定については測定位置が異なるため、コアの結果と直接比較できないが、ドリル削孔はコア採取に比べて少ない労力で多点のデータを採取できるので有効な手法であると考えられる。

2) 中性化残り分布

レーダ法により得られたかぶり厚さ分布に中性化深さを考慮し、中性化残り分布を得た(図-11)。中性化残りの算出は、かぶり厚さと中性化深さ(ドリル削孔法の平均:16mm)の差により求めた。図-11に見られるように、測定範囲の約40%の範囲で、中性化残りが10mm以下を示し、鉄筋位置まで中性化が達している部分も見られた。

(3) 鉄筋腐食の評価

本調査対象の測定自然電位は、飽和硫酸銅電極換算で-350mV以上を示し、ASTM C 876による評価⁸⁾では不確定となり、腐食状況を判断することが難しい。

そこで、中性化残り分布図と自然電位分布図を重ね合わせたものを図-12に示す。図中のグレースケールは適当に調整した。図-12において、グレーの濃い部分ほど中性化残りが少なくかつ電位が卑である(小さくなる)傾向を示す。

本調査範囲内において実施したかぶりコンクリートのはつりおよび目視調査による鉄筋の腐食状況は、下部に位置する鉄筋に腐食が見られ、上部には見られなかった。このことは、図-12の鉄筋腐食評価結果と実際の鉄筋腐食状況に良い対応があることを示している。

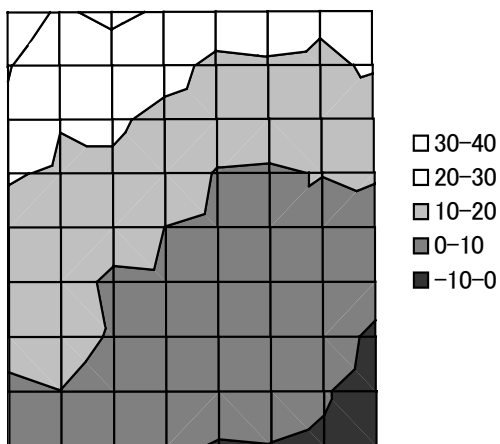


図-11 中性化残り分布図

このように、自然電位分布のみでは腐食状況を推定することが困難な場合に、中性化残り分布を重ねることにより、腐食状況を有効に評価することが可能である(図-13)。

6. まとめ

本研究で得られた結論を以下に列記する。

- ① 当社が開発した多目的レーダ計測システムにより、鉄筋のかぶり厚さ分布を約4mmの精度で表示することが可能である。
- ② ドリル削孔法は、鉄筋のかぶり厚さの測定と鉄筋同士の導通試験、中性化深さや含水率測定を兼ねることができるので、自然電位測定作業の効率化に有効である。
- ③ レーダ法で得られるかぶり厚さと中性化深さ測定結果により、中性化残り分布図を作成することが可能である。
- ④ 中性化残り分布図と自然電位分布図を重ね合わせることで、鉄筋腐食状況を有効に評価することが可能である。

今回の検討では、中性化残り分布を得るために、ドリル削孔法で測定した中性化深さの平均値を用いた。測定範囲が広い場合には、多くの箇所でドリル削孔による中性化深さ測定を実施し、中性化深さ分布を求めた上で、中性化残り分布図を作成し、自然電位分布と対応させることで鉄筋腐食評価を行いたい。

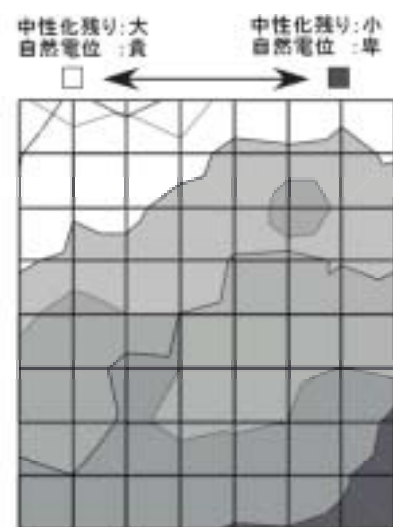
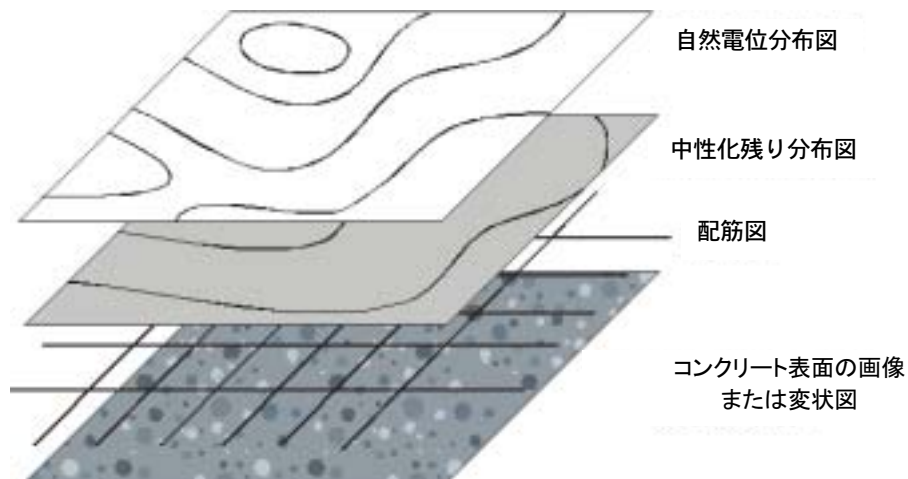


図-12 鉄筋腐食評価例



図ー13 鉄筋腐食評価方法の一例

謝辞：自然電位法に関して、(株)四国総合研究所の横田氏、日本防蝕工業(株)の山本氏にご指導いただきました。ここに記して、お礼を申し上げます。

参考文献

- 1) (社)日本コンクリート工学協会：コンクリート診断技術‘01[基礎編]、pp.32-33、2001. 3
- 2) (社)日本非破壊検査協会：NDIS3419 ドリル削孔を用いたコンクリート構造物の中性化深さ試験方法、1999. 8
- 3) (社)日本コンクリート工学協会：コンクリート診断技術‘01[基礎編]、pp.36-37、2001. 3
- 4) (社)土木学会コンクリート委員会腐食防食小委員会：鉄筋腐食・防食および補修に関する研究の現状と今後の動向、pp.113-129、1997. 12
- 5) (社)土木学会コンクリート委員会腐食防食小委員会：鉄筋腐食・防食および補修に関する研究の現状と今後の動向(その 2)、pp.247-256、2000. 12
- 6) 佐々木孝彦、飯島亨、立松英信：自然電位による鉄筋腐食判定に関する一考察、コンクリート工学協会年次論文報告集、Vol.18、No. 1、pp. 801-806、1996.6
- 7) 太田資郎、吉田典明、藤原鉄朗、松山公年、金本康宏：レーザ・レーダ法による水路トンネルの老朽化評価、構造物の診断に関するシンポジウム論文集、pp.17-22、1998.7
- 8) ASTM C 876-91 : Standard Test Method for Half-Cell Potentials for Uncoated Steel in Concrete, 1999