

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 2 日現在

機関番号：12608

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25820190

研究課題名(和文)電気抵抗モニタリングによる鉄筋コンクリート構造物の劣化進行評価手法の開発

研究課題名(英文)Development of Deterioration Evaluation Method for Reinforced Concrete using Electric Resistivity Monitoring

研究代表者

西田 孝弘(Takahiro, Nishida)

東京工業大学・理工学研究科・助教

研究者番号：10345358

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文):本研究では、鉄筋コンクリート構造物の鉄筋腐食による劣化進行に対する維持管理の省力化・高精度化に資するため、新たな劣化進行評価技術を提案した。そのために、腐食によるひび割れの発生を検知可能な電気抵抗モニタリングシステムを開発した。具体的には、(1)コンクリートに生じたひび割れの発生を検知可能な電気抵抗の計測方法の確立、(2)コンクリートの乾燥状態や周辺温度が電気抵抗に及ぼす影響の把握と劣化進行の判定基準の作成を行い、最終的には(3)上記(1)～(2)を踏まえた課題抽出及び既存鉄筋コンクリート構造物の劣化進行検知のための電気抵抗モニタリングシステムを提案した。

研究成果の概要(英文):This study focused on development of deterioration evaluation method for reinforced concrete using electric resistivity monitoring system. In order to complete the above objective, following items were conducted; (1) construction of measurement method of specific concrete resistivity for detecting a crack in concrete, (2) clarification of the influence of wet/dry condition or temperature on specific concrete resistivity and creation of deterioration criteria of deterioration progress. Finally (3) the monitoring system of specific concrete resistivity for detecting deterioration progress of reinforced concrete.

研究分野：工学

キーワード：劣化進行 非破壊評価 物質移動 鉄筋腐食

1. 研究開始当初の背景

資源が乏しく、四方を海に囲まれた我が国において構造物の維持管理システムの構築は喫緊の課題の一つである。中でも鉄筋コンクリート構造物の維持管理に際しては、その劣化進行を適切に把握・予測し、予防保全的に対処することが経済性・修復性の観点から有効な手段と認識されてきている。しかしながら、一連の構造物の劣化進行を適切に把握可能な手法がないことから、実務上は目視に主眼を置いた調査・評価とならざるを得ないのが現状である。目視調査では、広範囲に渡って構造物の状態を調べることが出来る反面、アウトプットが調査員の主観に大きく依存するという欠点がある。また、鉄筋腐食によるひび割れの発生やコンクリートの剥落など劣化がある程度表面化した段階での評価となるため、事後的な対策となりがちである。今後の我が国の技術者の減少および低経済成長率時代の到来（申請者の試算では30年後は人口および経済とも1970年代と同程度となる）を鑑みると、維持管理の省力化・高精度化をもたらす新システムの導入が必須であり、そのためのモニタリング技術を整備することが急務である。本研究では、上記に関連する新しいモニタリング技術を提案し、その有用性を明らかにすることにより、単純明快で経済性の高い維持管理システムの構築に資することに主眼をおいている。

上記に関しては、これまで鉄筋の腐食程度や腐食速度を把握する目的で、自然電位法や分極抵抗法といった鉄筋自体の電気化学的特性に主眼を置いた手法が提案・実施されており、申請者もこれに関連した検討を実施してきた。鉄筋コンクリート構造物の劣化の進行は電気化学的な物質移動現象や鉄筋腐食

現象に起因するため、これらの測定法に基づいて構造物の劣化進行を把握することは合理的であると考えられる。しかしながら、自然電位や分極抵抗等の測定では、計測システムの維持管理が煩雑であり、かつ測定結果の解釈が難しいという欠点がある。例えば、自然電位法や分極抵抗法では、基準となる銅/硫酸銅等の電極（参照電極）が必要となる。また、分極抵抗法では、参照電極に加えて、ステンレスやチタンなど腐食の影響を受けにくい材料で構成される対極も必要となる。数十年の長期の塩害劣化進行を把握するためには、これらの電極をコンクリート内部に埋め込むことが効果的であるが、この場合新設の構造物を対象としなければならない。また、既設構造物にも対応する目的で自然電位や分極抵抗をコンクリートの表面から測定することも可能であるが、長期にわたりこれらのシステムを維持するには波浪等の影響に耐えうる強固な計測機器や治具が必要となる。さらに、これらのシステムを設置できたとしても、港湾コンクリート構造物全体の連続モニタリングを行うためには大掛かりな設備が必要となる。

以上を踏まえ、本研究では、鉄筋コンクリート構造物に生じる劣化の進行に対する維持管理の飛躍的な省力化・高精度化を目指した新たな技術を開発することを主眼に置き、劣化要因物質の浸透およびひび割れの発生を連続計測可能とする電気抵抗モニタリング手法を構築する。なお、電気抵抗モニタリングの利点、特色、独創性に関してはにて後述する。

2. 研究の目的

本研究では、鉄筋コンクリート構造物の鉄

筋腐食による劣化進行に対する維持管理の飛躍的な省力化・高精度化に資するため、新たな劣化進行評価技術を開発することを目的とする。そのために、“劣化要因物質の浸透”および“腐食によるひび割れの発生”といった一連の劣化進行を検知可能とする電気抵抗モニタリングシステムを開発する。具体的には、(1)劣化要因物質の浸透およびひび割れの発生を検知可能な電気抵抗の計測方法の確立、(2)コンクリートの乾燥状態や周辺温度が電気抵抗に及ぼす影響の把握と劣化進行の判定基準の作成を行い、最終的には(3)上記(1)～(2)を踏まえた課題抽出及び既存鉄筋コンクリート構造物の劣化進行検知のための電気抵抗モニタリングシステムを提案する。

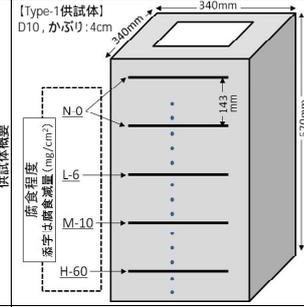
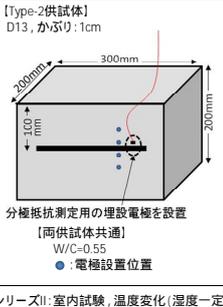
3. 研究の方法

本研究では、3つの実験シリーズ(シリーズI～III)に対し、2つの供試体(表-1参照)を用いた検討を実施した。シリーズIでは、電食による腐食ひび割れを導入したType-1供試体を用い、温度が一定(20±4)の条件下で浸漬状態から乾燥状態へと変化した際の比抵抗の変化を継続的にモニタリングした。シリーズIIでは、ひび割れのない直方体のType-2供試体を用い、環境試験室内で湿度一定(95±2%R.H.)の条件下で温度を5～40に変化させた場合の比抵抗の変化を継続的にモニタリングした。シリーズIIIでは、Type-2供試体を海水シャワー曝露場(横須賀市)に曝露し、実際の環境での比抵抗の変化について検証した。

モニタリングは図-1のC1-C2間に交流(1000mV, 1kHz)を印加し、V1-V2間の電圧を測定した。その後、電極間隔(2cm)を考慮し、比抵抗を算出した。電極は直径2cmの

円形とし、コンクリート表面に導電性接着剤で貼り付けた。

表-1 供試体の概要

供試体概要	試験条件
<p>[Type-1供試体] D10, かぶり: 4cm</p>  <p>[Type-2供試体] D13, かぶり: 1cm</p>  <p>分極抵抗測定用の埋設電極を設置 [両供試体共通] W/C=0.55 ●: 電極設置位置</p>	<p>シリーズI: 室内試験, 乾湿繰返し(温度一定) 劣化方法: 電食(通電時の水位により腐食量を調整) 腐食減量の評価方法: JCI-SC1に準拠 表面ひび割れ: N-0及びL-6は無, M-10及びH-60は有</p> <p>シリーズII: 室内試験, 温度変化(湿度一定) シリーズIII: 海水シャワー曝露 劣化方法: 海水噴霧による水分浸透 腐食減量の評価方法: 分極抵抗より算出 表面ひび割れ: 無</p>

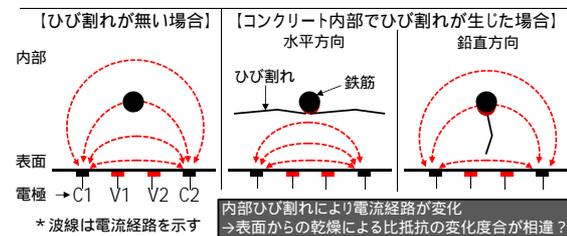


図-1 比抵抗によるひび割れ検知の概念

図-2にシリーズI(室内試験, 温度一定)の結果を示す。これより、乾燥時間の増加に伴い比抵抗が大きくなり、その増大幅は腐食ひび割れの進展に伴い大きくなることが確認される。特に表面で腐食ひび割れが確認されなかったL-6についてもN-0より比抵抗の増大幅が大きく、内部ひび割れを検知できる可能性が示唆された。一般に定常状態における水分の蒸発速度はFickの第一法則により説明される。そこで、乾燥時間の平方根に対する比抵抗の傾きを「比抵抗変化速度」と定義し、ひび割れとの関連性を調べた(図-3)。その結果、ひび割れの進展に伴い比抵抗変化速度が大きくなることが確認された。

図-4にシリーズII(室内試験, 湿度一定)の結果を示す。ここでは、環境試験槽内に曝露した供試体の比抵抗の温度依存性について

て、アレニウスプロット（比抵抗の対数と絶対温度の逆数の関係）を適用した結果を示している。これより、両者は比例関係にあり、湿度が一定の場合の比抵抗はアレニウス則に従うことが確認された。また、この際の活性化エネルギーは約3.7kcal/molであることが示された。

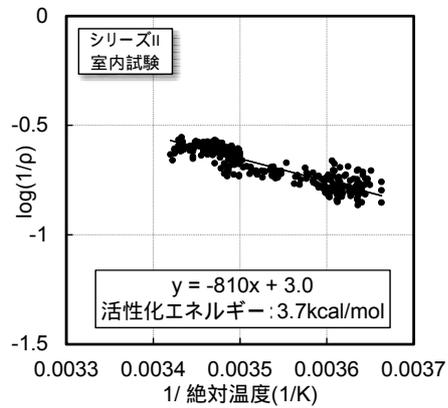


図-4 比抵抗の温度依存性

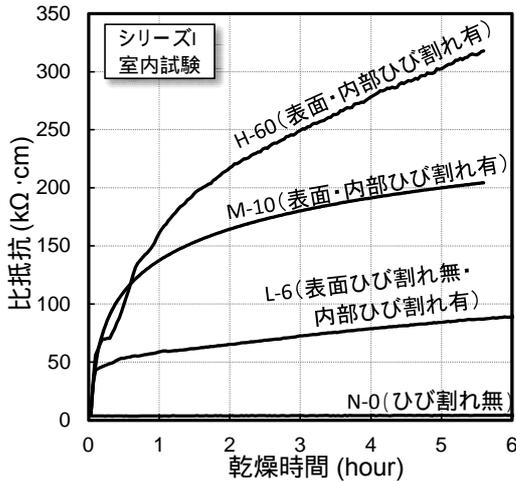


図-2 乾燥過程における比抵抗の変化

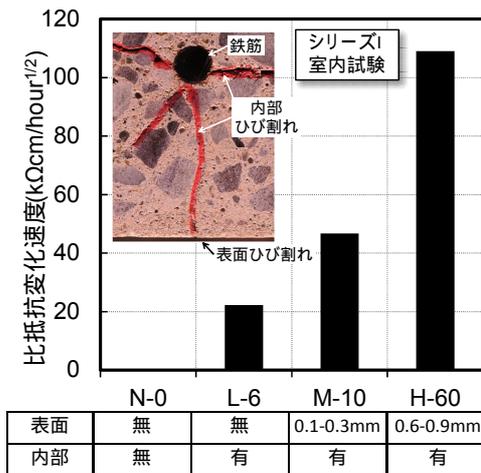


図-3 ひび割れと比抵抗変化速度の関係

図-5 にシリーズ III（屋外試験）の結果を示す。屋外試験では、海水噴霧およびその後の水分蒸発のみならず、外気温の影響を受け比抵抗が変動する。そのために、上記の活性化エネルギーを考慮し、得られた比抵抗を 20 の環境における比抵抗に換算した。同図

には、分極抵抗から算出した腐食減量も併せて示す。これより、屋外試験での比抵抗変化速度は温度の影響を考慮した後も若干変動することが確認される。これは、図-6 に示すように乾燥時の大気中の水蒸気量の平均値の違いにより、水分の蒸発速度が異なったためと推察され、大気中の水蒸気量と比抵抗変化速度の関係を考慮する必要があると考えられる。しかし、室内試験で表面ひび割れが確認されなかった L-6 の比抵抗変化速度（22k · cm/hour^{1/2}）と比較すると総じて小さい。今後、屋外試験の供試体の比抵抗モニタリングを継続し本手法の妥当性を検証するとともに、かぶり深さやひび割れ方向、湿度（大気中の水蒸気量）の影響に関する検討を行う予定である。

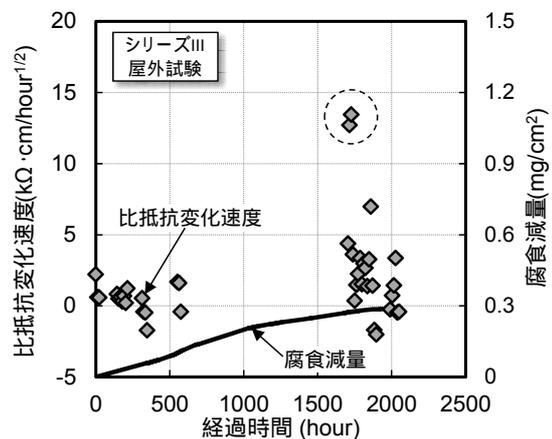


図-5 比抵抗変化速度及び腐食減量の推移

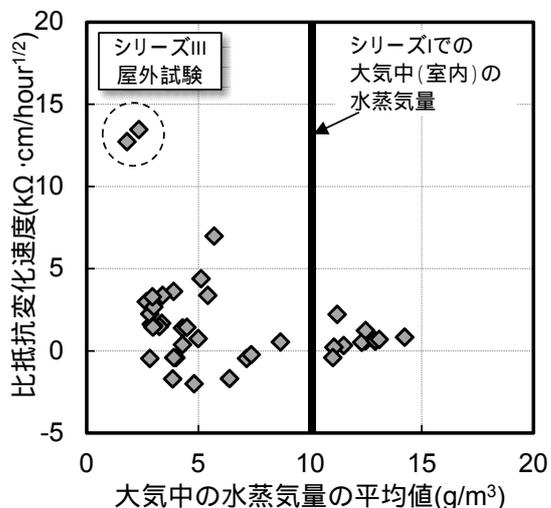


図-6 水蒸気量が比抵抗変化速度に及ぼす影響

4. 研究成果

本研究では、腐食ひび割れ存在下での乾燥による比抵抗の変化速度に着目し、塩害による腐食ひび割れの検知に対する比抵抗モニタリングの適用可能性を検討した。その結果、表面では認められないコンクリート内部での腐食ひび割れを比抵抗モニタリングにより検知できる可能性が示唆された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計1件)

Takahiro Nishida, Mitsuyasu Iwanami, Nobuaki Otsuki, Yuichiro Kawabata: Investigation of monitoring method for detecting the cracks due to steel corrosion in concrete using specific resistivity, Proceedings of Fourth International Symposium on Life Cycle Civil Engineering, pp.1532-1537, IALCCE2014, Waseda University, Tokyo, 2014.11.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西田 孝弘 (NISHIDA TAKAHIRO)
東京工業大学・大学院理工学研究科・助教
研究者番号：10345358