

コンクリート比抵抗の環境作用依存性を活用した腐食ひび割れモニタリング手法の構築

東京工業大学大学院 (元港湾空港技術研究所)

正会員 ○西田 孝弘

正会員 岩波 光保

港湾空港技術研究所

正会員 川端 雄一郎

1. はじめに

港湾コンクリート部材には、塩害の影響を避けられない部位が多く存在する一方で、目視による点検が難しい部位がある。このような部位では、経年的な劣化を把握可能なモニタリング手法の構築が求められている¹⁾。これを受け、著者らは自然電位や分極抵抗、コンクリート比抵抗（以下比抵抗と称す）などの電気化学的なモニタリングにより、塩害による鉄筋コンクリートの劣化程度を評価する方法について検討を実施している。

自然電位や分極抵抗のモニタリングについては、従来から鉄筋の腐食状態を評価する方法としての検討事例がある。一方で、比抵抗については、試験条件や配合、含水状態等の影響の要因分析²⁾、コンクリートの緻密性³⁾及び拡散係数⁴⁾の評価法としての検討例があるが、鉄筋コンクリートの劣化程度をモニタリングする方法としての適用例はあまりない。特に、港湾コンクリート部材が曝される環境では、乾湿繰返しや温度変化などの環境作用を受ける部位が多く、これらを加味した評価手法の構築が必要となる。

そこで、本研究では、コンクリートの乾湿繰返しや温度変化による比抵抗の変化を活用し、その変化度合を指標とした鉄筋コンクリートの劣化程度のモニタリング技術に関して検討した。特に、腐食ひび割れが生じた後の電流経路を図-1のように想定し、表面からの水分蒸発による比抵抗の変化速度から表面では認められない内部の腐食ひび割れを検知する方法に関して検討した。

2. 実験概要

2.1 供試体概要および試験条件

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（ $20\pm4^{\circ}\text{C}$ ）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（ $95\pm2\%\text{R.H.}$ ）の条件下で温度を $5\sim40^{\circ}\text{C}$ に変化し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。

2.2 四電極法による比抵抗の測定方法

モニタリングは図-1の C_1 - C_2 間に交流（ 1000mV ， 1kHz ）を印加し、 V_1 - V_2 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。

3. 実験結果

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から

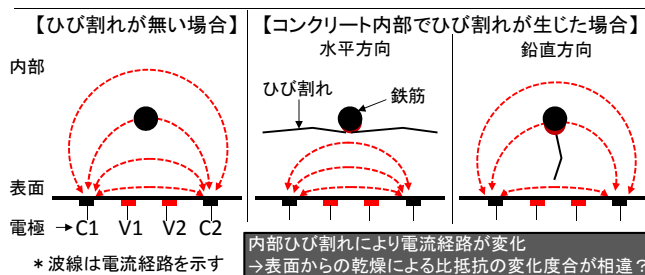


図-1 比抵抗によるひび割れ検知の概念

表-1 供試体の概要

【Type-1供試体】 D10, かぶり:4cm	【Type-2供試体】 D13, かぶり:1cm
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	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: 海水噴霧による塩分浸透 腐食減量の評価方法: 分極抵抗より算出 表面ひび割れ: 無

キーワード 比抵抗, 塩害, 鉄筋腐食, モニタリング, 比抵抗変化速度, 温度依存性

連絡先 〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1 TEL 03-5734-2594

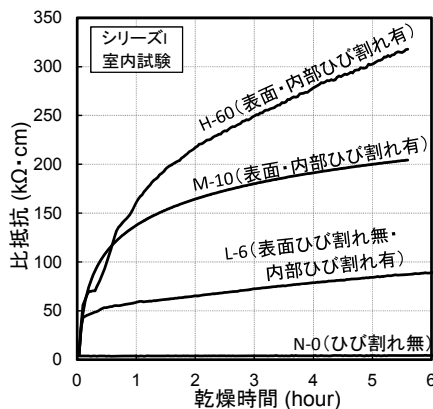


図-2 乾燥過程における比抵抗の変化

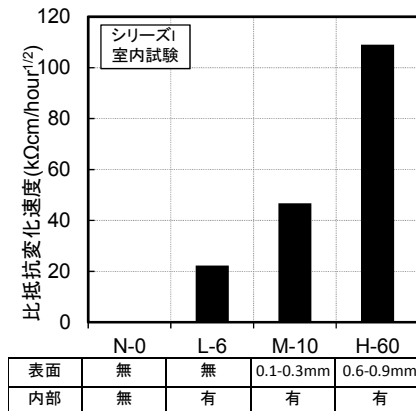


図-3 ひび割れと比抵抗変化速度の関係

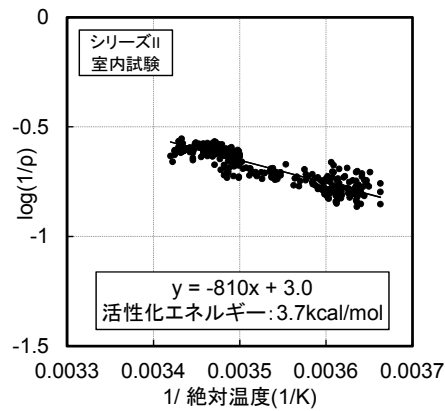


図-4 比抵抗の温度依存性

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

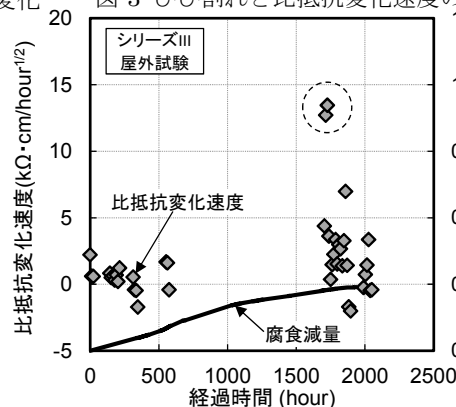


図-5 比抵抗変化速度及び腐食減量の推移

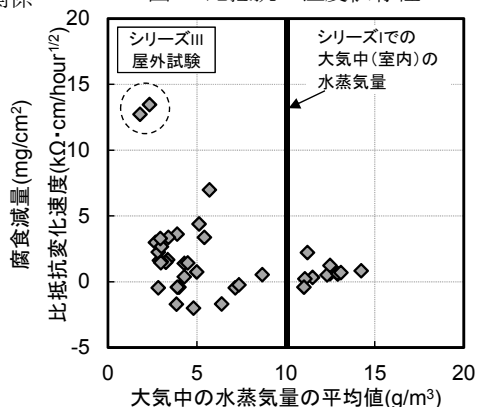


図-6 水蒸気量が比抵抗変化速度に及ぼす影響

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、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-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 (22kΩ·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。

4. おわりに

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。なお、本研究は平成 24 年度土木学会吉田研究奨励賞を授与された研究であり、ここに記して謝意を表す。

【参考文献】1)岩波光保：港湾コンクリート構造物の予防保全のための点検診断技術について，月刊建設 12-5，pp.16-18，2012. 2)建設省土木研究所：コンクリートの電気抵抗による耐久性評価の基礎的研究，土木研究所資料，第 3716 号，2000. 3)関博ほか：比抵抗によるコンクリートの緻密性に関する実験的一考察，土木学会論文集，No.451/V-17，pp.49-57，1992. 4)皆川浩ほか：コンクリートの電気抵抗率と塩化物イオンの見掛けの拡散係数との関係に関する基礎的研究，土木学会論文集 E，Vol.66，No.1，pp.119-131，2010.