

コンクリート構造物にて生じた鉄さびのラマン分光法による生成物評価

清水建設(株) 正会員 ○齊藤 亮介
 京都大学大学院 正会員 高谷 哲

(株)島津テクノリサーチ 正会員 羽村 陽平
 (株)ブリッジ・エンジニアリング 正会員 西村 徹也

1. 目的

鉄筋コンクリート構造物の維持管理において、内部鉄筋の腐食による劣化は、重要な課題の1つである。近年、腐食によって生じるさびの状態や腐食生成物の組成などから腐食環境を評価する検討がされ、腐食生成物の詳細な分析の必要性が高まってきている。ラマン分光法は非晶質の検出も可能であり腐食生成物の有用な分析手法として期待できるものの、コンクリート構造物にて生じたさびの分析に活用された事例はそれほど多くない。本研究では、腐食劣化の生じた2つの構造物にて鉄さびを採取し、ラマン分光法による分析を行った。

2. 試料採取した実構造物と分析手法の概要

2. 1 試料採取した実構造物の概要

次の2つの構造物にて、劣化箇所のコンクリートをはつり取り、鉄筋を露出させたのちに試料を採取した。

(1)構造物 A

海岸から約 1km の位置に建設されたボックスカルバートの柱部材において写真 1 のような鉄筋腐食が生じていた。内部鉄筋を確認したところ、断面が著しく欠損しており、容易に剥離する脆い層状さびが形成されていた。コンクリートの打設年は 1983 年、材料や配調合に関しては不明で、かぶりは約 50mm と比較的大きい。地元住民が当該柱に隣接する手摺に漁網を干していたことがわかっており、腐食の原因はコンクリートに海水が供給されたためであると推察される。ここで採取した試料を試料 A とする。

(2)構造物 B

海にかかる橋梁の橋脚にて、写真 2 のように広い範囲で腐食劣化が生じていた。構造物 A と同様に層状さびが生じていたが、内部鉄筋はリブの形状が確認でき、鉄筋の損傷は構造物 A よりも軽度であった。コンクリート打設年は 1983 年、水セメント比は 54.1%、設計基準強度は 24N/mm^2 、セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は旧河川産の陸砂、粗骨材は不明で、かぶりは約 30mm である。また、腐食箇所は海岸からの距離が数 10m であるため海からの風を直接受けることから、飛来塩分が腐食の原因と考えられる。ここで採取した試料を試料 B とする。



写真 1 構造物 A



写真 2 構造物 B

キーワード 鉄筋腐食, 腐食生成物, ラマン分光法, 層状さび, 塩害

連絡先 〒135-8530 東京都江東区越中島三丁目 4-17 清水建設株式会社技術研究所 Tel : 03-3820-5326

2. 2 ラマン分光分析の概要

物質に単一の振動数を持つレーザーを照射した際に、レーザー光と物質の相互作用により生じる微弱な散乱光の中には入射光と異なる振動数の光（ラマン散乱光）が観測される。ラマン分光法は、ラマン散乱光と入射光の振動数差（ラマンシフト）が物質の構造に固有であることを利用した分析手法であり、ラマン散乱光のスペクトルから化合物の構造を解析することができる。本研究では、波長 532nm のレーザーを用いて分析を実施し、化合物の同定を行った。各構造物にて採取したさびサンプルを粉末試料に調整し、40 点程度の測定により平均スペクトルを取得した。

3. ラマン分光法による分析結果

ラマン分光法による分析結果を図 1 に示す。検出された腐食生成物は、試料 A では Fe_3O_4 (magnetite), $\alpha\text{-FeOOH}$ (goethite), $\beta\text{-FeOOH}$ (akageneite), $\gamma\text{-FeOOH}$ (lepidocrocite) の 4 成分、試料 B では Fe_3O_4 , $\alpha\text{-FeOOH}$, $\gamma\text{-FeOOH}$ の 3 成分であった。

4. 考察

AB どちらの構造物でも黒さびの層状さびが確認された。黒さびの層状さびの生成メカニズムは乾湿繰返しであることから¹⁾、両構造物において腐食が進行した原因は乾湿繰返しであると判断できる。

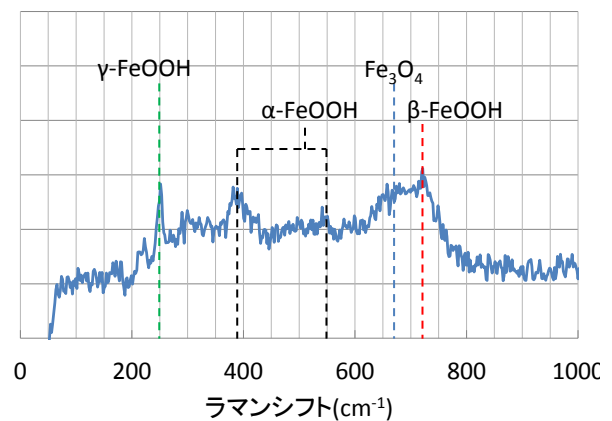
試料 A のみで確認された $\beta\text{-FeOOH}$ の生成には、塩化物イオンの存在に加え pH が中性以下になっていることが必要である²⁾。したがって、構造物 A では腐食の進行に伴い鉄筋近傍の pH が低い状態が継続していたか、あるいは低 pH の水が供給されたと考えられる。また、試料 B では試料 A に比べて $\alpha\text{-FeOOH}$ の相対的なピーク強度が高いことがわかる。このことから、構造物 B では構造物 A に比べて $\alpha\text{-FeOOH}$ の生成割合が高かったと判断できる。この $\alpha\text{-FeOOH}$ は他の腐食生成物が溶解あるいは加水分解された後に再結晶して生じる腐食生成物で、生成後は他の腐食生成物に変化しにくい安定さびとして知られている。生成には水分と時間を要す¹⁾ことから、構造物 B では湿潤期間が長かった、すなわち、乾湿繰返しのサイクルが長かったと考えられる。その結果、構造物 B の方が腐食速度は遅く、かぶり厚が小さかったにも関わらず構造物 A よりも鉄筋の損傷が軽度であったものと考えられる。

5. 結論

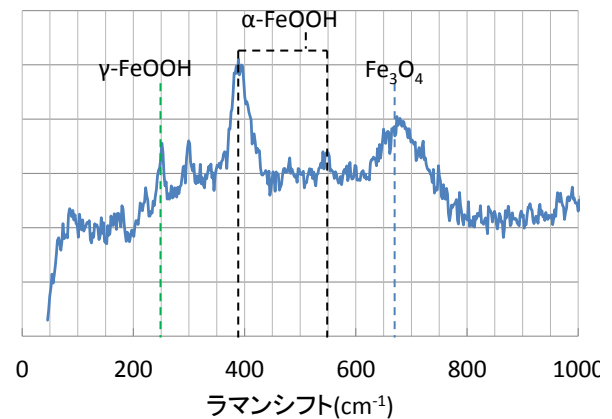
鉄筋腐食劣化が生じた 2 つのコンクリート構造物(構造物 A および構造物 B)にて内部鉄筋からさび試料を採取し、ラマン分光法により生成物の評価を行った。構造物 B は構造物 A よりも $\alpha\text{-FeOOH}$ の生成割合が高いことから乾湿繰返しのサイクルが長かったと考えられ、その結果、構造物 A に比べて腐食速度が遅く鉄筋の損傷が軽度であったと推察された。

参考文献

- 1) 川上圭司, 高谷哲, 羽村陽平, 山本貴士: 腐食生成物の分析に基づくコンクリート中鉄筋の腐食環境評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.1, pp.1107-1112, 2016.7
- 2) J.L.JAMBOR, J.E.DUTRIZAC, "Occurrence and Constitution of Natural and Synthetic Ferrihydrite, a Widespread Iron Oxyhydroxide", Chemical Reviews, Vol.98, pp.2549-2585, 1998.



(1) 試料 A



(2) 試料 B

図 1 ラマン分光分析結果