

鉄筋コンクリート構造物中で形成された層状さびの構造

清水建設(株) 正会員 ○齊藤 亮介 清水建設(株) 非会員 清村 俊介
清水建設(株) 正会員 野村 朋宏

1. はじめに

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。日本では、鉄筋腐食によって実構造物で生じるさびの形状は、乾湿繰り返しを受けることで形成される層状さびの場合が多いことが報告されているが、層状さびの構造に関して検討した事例は少ない。そこで本研究では、鉄筋コンクリート構造物中で生じた層状さびについて、腐食生成物の判定と断面観察を行った。

2. 試料を採取した構造物の概要

海上に建設され、塩害による腐食劣化が生じた構造物にて試料を採取した。劣化部位は、常に海水の飛沫を受ける厳しい塩害環境にさらされた基礎柱である。1972年に施工された後、1990年に表面被覆が施され、2003年には塗直しがされている。その後も経過観察によって劣化の進行が認められ、補修に至った。

最外縁の鉄筋は劣化が激しく、著しく断面欠損した状態であった。コンクリートについては、設計基準強度が 225kgf/cm^2 であることが判明しているものの、その他の詳細は不明である。補修工事に伴い、コンクリートをはつり取り、新たに露出させた基礎柱のハンチ部の鉄筋から層状さびを採取し、試料とした。試料採取を行ったハンチ部のコンクリートはつり後の劣化状況と採取した試料を 図 1 に示す。



図 1 腐食状況と採取した層状さび

3. 分析概要

層状さび中に含まれる腐食生成物を把握するため、ラマン分光法による定性分析を行った。採取した層状さびの一部を粉末に調整したものと、層状さびを割裂し層断面を露出させたものの2種類を分析試料とした。詳細は後述するが、層状さび断面を観察したところ黒色層と赤色層が確認されたため、断面を露出させた試料についてはそれぞれの層で分析を行った。入射光は波長 532nm のレーザーを用いて、各試料について数十点の測定により平均スペクトルを取得した。また、同位置で採取した別の層状さびを樹脂でコーティングし、層断面が露出するまで $\#500 \rightarrow \#1200 \rightarrow \#2000$ の順に研磨した後、デジタルマイクロスコップと走査型電子顕微鏡(SEM)にて断面を観察した。

4. ラマン分光法による定性分析結果

粉末試料および層断面から得られたラマンスペクトルを分析結果を図 2 に示す。粉末試料から、 Fe_3O_4 、 $\alpha\text{-FeOOH}$ 、 $\beta\text{-FeOOH}$ 、 $\gamma\text{-FeOOH}$ の4種類の腐食生成物が検出された。 $\beta\text{-FeOOH}$ は塩分環境下で生成することが知られている腐食生成物であり、隣接する基礎柱に対して2012年に実施された調査では、最外縁の鉄筋位置の塩化物イオン量が 5.0kg/m^3 程度であったことから、今回試料を採取した部材においても同様に鉄筋位置まで塩分の浸透があったと考えられる。また、層断面の分析結果から、黒色層では Fe_3O_4 、赤色層では Fe_3O_4 、 $\alpha\text{-FeOOH}$ 、 $\beta\text{-FeOOH}$ が検出され、オキソ水酸化鉄は赤色層に存在することが確認された。

キーワード 鉄筋腐食, 塩害, 層状さび, 腐食生成物, ラマン分光法

連絡先 〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17

清水建設(株)技術研究所 TEL03-3820-5326

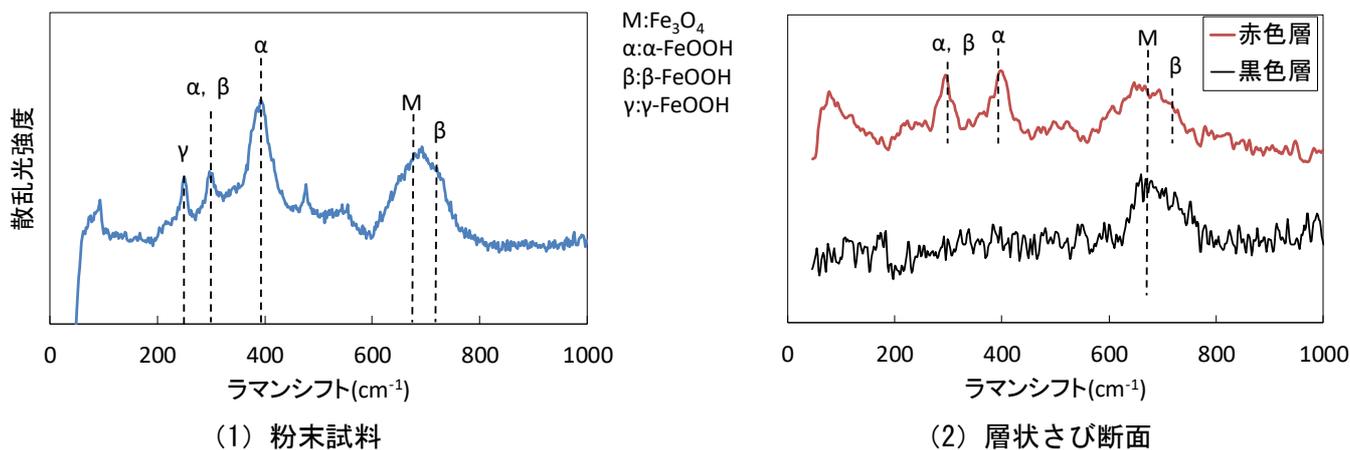


図2 取得したラマンスペクトル

5. 層状さび断面の観察

デジタルマイクロスコープで観察した層状さびの断面を図3に示す。層状さびは大部分が黒色層であり、黒色層の間に赤色層が形成している。黒色層にはほとんど空隙が見られないものの、赤色層の特に厚い層は、目視で確認できる程度の空隙を有していた。黒色層と赤色層のSEM像を図4および図5に示す。図4は黒色層の反射電子組成像、図5は赤色層の二次電子像である。図4から、黒色層は厚さ数 μm ~数十 μm の層によって構成されていることが確認できる。図5から、微視的にも黒色層は密実な構造であるのに対し赤色層は空隙であることがわかる。さらに、赤色層の空隙の表面に腐食生成物が確認できるが、これは図2(2)からオキソ水酸化鉄と考えられる。層状さびが形成する乾湿繰り返し過程において、黒色層の形成は湿潤時、赤色層の形成は乾燥時と考えられ¹⁾、両者の構造の違いは形成環境の違いによるものと推察される。

6. まとめ

- ・ 塩害環境にある鉄筋コンクリート構造物から採取した層状さびから、 Fe_3O_4 、 α - $FeOOH$ 、 β - $FeOOH$ 、 γ - $FeOOH$ の4種類の腐食生成物が検出された。
- ・ 層状さびは黒色層と赤色層で構成されており、大部分が黒色層であった。
- ・ 黒色層は Fe_3O_4 であり、密実な構造で、数 μm ~数十 μm の層によって構成されていた。
- ・ 赤色層は空隙を有しており、空隙の表面にオキソ水酸化鉄と考えられる腐食生成物が生成していた。

参考文献

1)高谷哲ほか：アルカリ環境下における鉄系腐食生成物の生成プロセスおよびコンクリート中における鉄筋の腐食環境，材料，Vol.66，No.8，pp.545-552，2017.08.

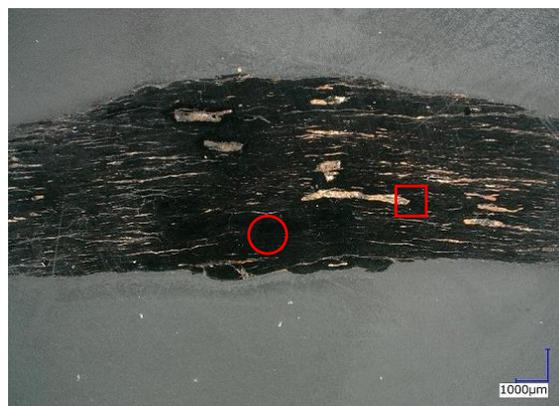


図3 層状さび断面

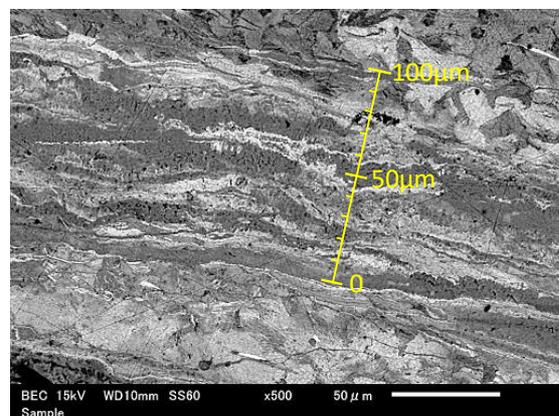


図4 黒色層の反射原子組成像 (図3○位置)

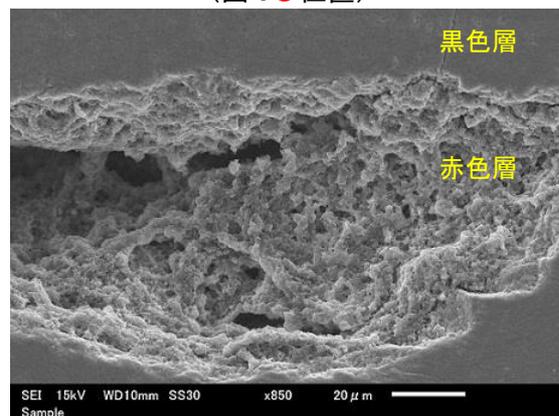


図5 赤色層の二次電子像 (図3□位置)