九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

# 供用環境の異なる構造物より採取した腐食生成物の微視的観察

池田, 隆徳
九州大学大学院工学府建設システム工学専攻

濱田, 秀則
九州大学大学院工学研究院建設デザイン部門

佐川, 康貴
九州大学大学院工学研究院建設デザイン部門

https://hdl.handle.net/2324/15629

出版情報：コンクリート中の鋼材の腐食性評価と防食技術に関するシンポジウム, 2009-10-16
バージョン：
権利関係：

# 供用環境の異なる構造物より採取した腐食生成物の微視的観察

池田　隆徳[*1]・濱田　秀則[*2]・佐川　康貴[*3]

## 1. はじめに

コンクリート構造物の耐久性に関する重要な問題の一つに鋼材腐食の問題があげられる．近年，耐久性設計や維持管理に関する関心が高まっており，鋼材の腐食についても，腐食の開始とその進行を精度良く予測することは重要な課題の一つである．

鋼材の腐食が開始する発錆限界塩化物イオン量や腐食速度に関しては，これまで多くの知見が蓄積されている[1), 2)]ものの，解決すべき課題も残されている．その中の一つに鋼材の腐食と環境条件の関係の定量的評価が挙げられる．鋼材の腐食に影響を及ぼす環境条件としては，干満帯，飛沫帯等での塩化物イオンの供給の差異や温度，湿度等の様々な要因が挙げられている[3)]が，それぞれの要因の影響度は定量的に評価されていないのが現状である．

鋼材の腐食に対し環境条件の影響を定量化する際，かぶりコンクリートにおける物質透過性状に対する環境条件の影響と，鋼材自体の不動態の破壊や不動態の破壊後の腐食の進行に対する影響の両者を考慮する必要がある．前者のかぶりコンクリートの物質透過性状については，比較的多くの検討がなされているものの，後者の鋼材自体の腐食に対する環境条件の影響に関して検討を行った事例は少ない．

そこで，本研究では，腐食を生じた鋼材の観察より，鋼材腐食の進行に対する環境条件の影響を定量的に評価することを試みた．具体的には，腐食を生じた鋼材の特徴として，**写真-1** に示すように，層状の構造を呈していることに着目し，この層の間隔等が，腐食進行の相違を表しているものと考え，腐食生成物の構造的な特徴と環境条件との関係性を見出すことを目的としている．既往の研究において，腐食生成物に着目した検討事例はほとんどなく，本検討は，新たな観点からの腐食性評価となるものと考えられる．そのため，第一に観察手法の確立が必要不可欠であると考えられる．

本稿は，2 つの構造物より採取した鋼材の腐食生成物に対し，蛍光顕微鏡観察および走査型電子顕微鏡観察の 2 つの手法により，観察を行った結果を示し，腐食生成物の構造的な特徴を捉えることのできる観察手法の提案とその構造的な特徴より鋼材の腐食進行についていくつかの考察を加えたものである．

## 2. 実験概要

### 2.1 採取した試料の概要

本研究で観察を行った腐食生成物の試料は，試料 A および試料 B の 2 種類である．試料 A は，港湾構造物の RC はりの主筋より採取した．試料 B は，防波堤に位置する鋼製の手摺より採取したものである．試料 A および試料 B の外観を**写真-2** および**写真-3** に示す．

両試料とも外観では，層状の構造をしており，特に，試料 B は，ほぼ均等な層間隔での層構造を示していることが確認された．

**写真-1　層状の腐食生成物の一例**

*1　九州大学大学院　工学府　建設システム工学専攻　修士(工学)

*2　九州大学大学院　工学研究院　建設デザイン部門　准教授　博士(工学)

*3　九州大学大学院　工学研究院　建設デザイン部門　助教　博士(工学)

### 2.2 観察用試料の作製

本節では，観察試料の作製手順を示す．

観察試料作製の作業フローを**図-1**に示す．試料の作製は，まず，試料の切断より行うが，この際，切断による試料の破損を防ぐため，エポキシ樹脂を表面に含浸した後に精密カッターによる切断を行った．

試料の切断後は断面の研磨を行った後に，観察面に対し樹脂の含浸を行った．このとき，蛍光顕微鏡観察を行う場合には，エポキシ樹脂に対し，粉末状の蛍光塗料を加えた蛍光樹脂を含浸した．また，樹脂の含浸は真空含浸により行った．具体的には，**写真-4**に示すように，真空デシケータ内の容器に試料を入れ，樹脂の注入用のチューブを固定した後，デシケータ内を真空状態とし，チューブより樹脂の注入を行った．

樹脂の硬化後に，観察面の精研磨および琢磨を行ったものを観察試料とした．

### 2.3 観察方法

本研究では，観察手法として，蛍光顕微鏡観察および走査型電子顕微鏡(SEM)観察の2つの手法を用いた．蛍光顕微鏡観察は，主にマクロな層間隔を把握することを目的としており，SEM観察によってミクロな構造を把握することを目的としている．蛍光顕微鏡観察での，観察倍率は15倍とした．SEM観察は，20倍～500倍の倍率の範囲で観察を行った．

## 3. 観察結果

### 3.1 蛍光顕微鏡観察結果

試料Aについて，試料中央部において断面を切り出し，蛍光樹脂含浸を施した蛍光像を**写真-5**に示す．写真から分かるように，蛍光像からは，明確な層構造が認められないことがわかる．すなわち，腐食生成物の内部は比較的緻密な構造となっており，外観上観察される層構造が内部まで明確に反映されているわけではないことが分かる．

そこで，試料Aに比べ，より明確な層構造を呈していた試料Bについては，試料の端部を研磨・樹脂含浸を施し，外観上の層間隔を蛍光顕微鏡観察より確認可能であるかを検討した．**写真-6**に試料Bの蛍光像を示す．写真より，1.5mm程度の間隔で層が構成されている様子が確認できる．また，蛍光樹脂は，目視観察より層間と考えられた箇所に注入されていることが確認された．しかし，蛍光樹脂により連続した線が形成されているわけではなく，層間には必ずしも連続した空隙が存在するわけではないことが分かった．

以上より，マクロな層の間隔を把握するためには，試料端部において観察を行う必要があるといえる．

写真-2　試料Aの外観
（コンクリート中から採取）

写真-3　試料Bの外観
（露出した鋼材から採取）

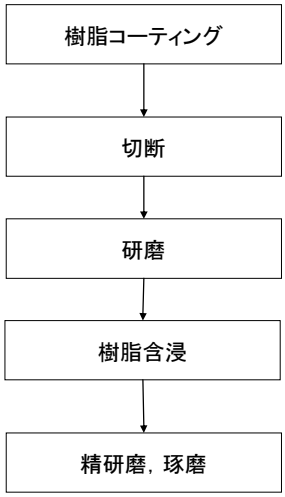



図-1　試料作製のフロー

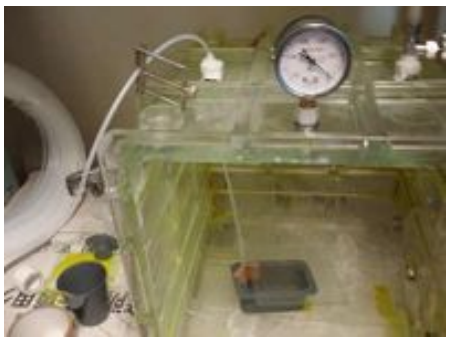


写真-4　樹脂含浸装置

### 3.2 SEM 観察結果

**写真-7** および**写真-8** に，試料 A および試料 B の二次電子像を示す.

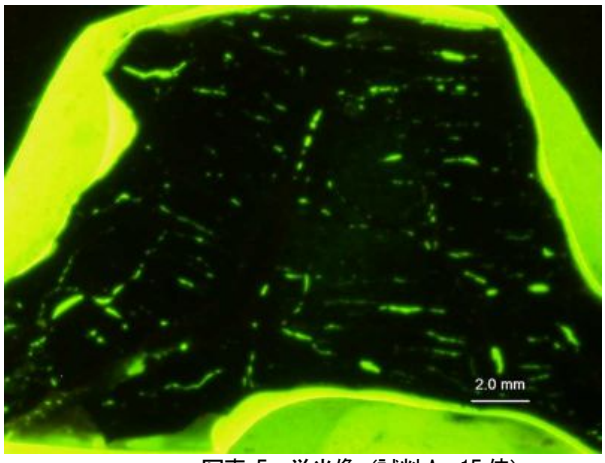



写真-5　蛍光像（試料 A，15 倍）

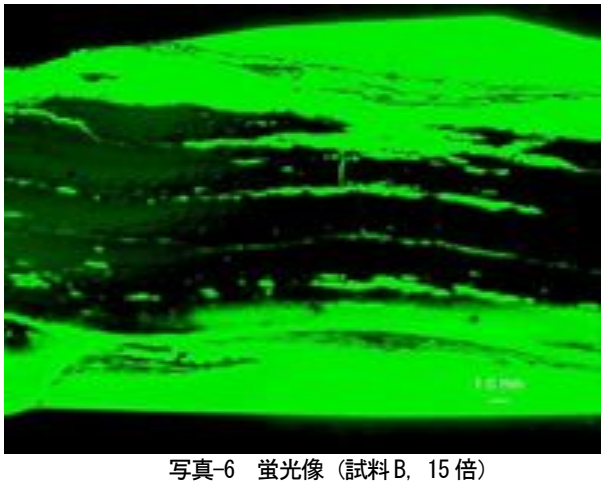
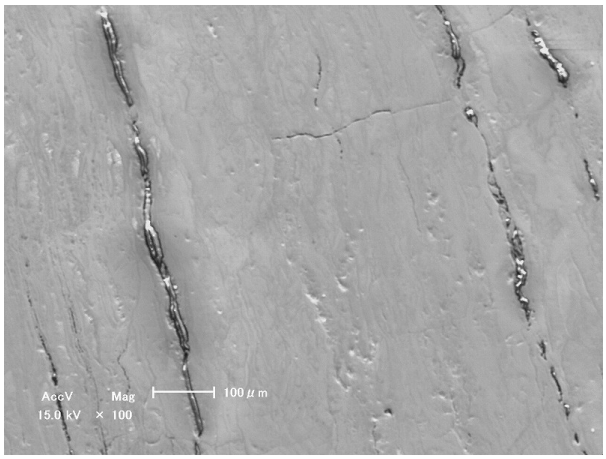


写真-6　蛍光像（試料 B，15 倍）



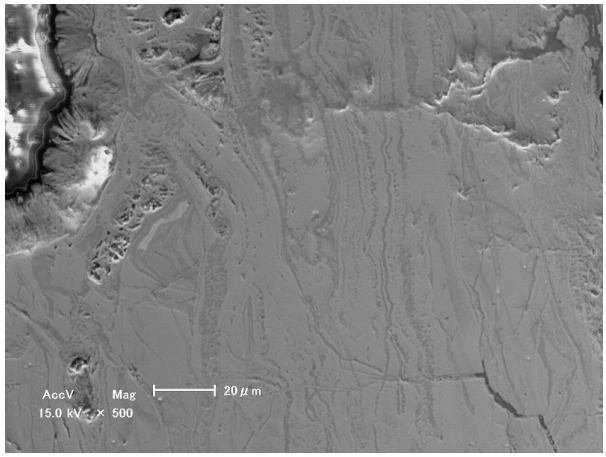
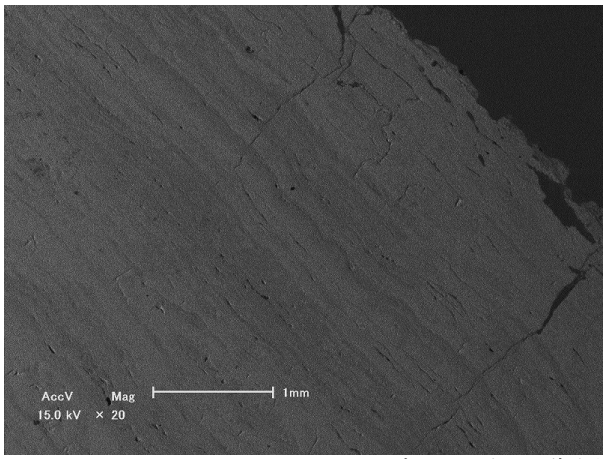




写真-7　二次電子像（試料 A，左：100 倍，右：500 倍）



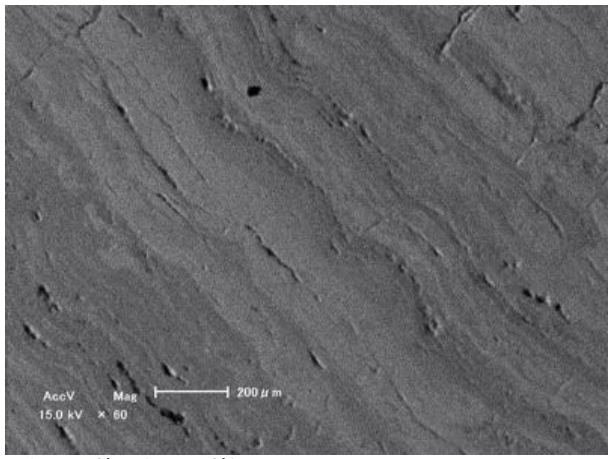




写真-8　二次電子像(試料 B，左：20 倍，右：60 倍)

写真より，試料 A および試料 B の両者において，微視的領域において層状の構造を呈していることがわかる．試料 A は，500 μm 程度の層が形成されており(**写真-7：左**)，その層の内部もまた，数 μm～数十 μm の層より形成されていることがわかる(**写真 7：右**)．試料 B についても同様に，マクロな層の内部は，50 μm～200 μm 程度の層が形成されている様子が観察された.

以上より，腐食の進行について考察すると，比較的短期間の腐食速度の変動が数μm～数百μmの微視的領域で観察される層を形成しており，一方で，数mm程度のマクロな領域で観察される層間隔は，長期的な腐食速度の変動を表しているものと考えられる．

## 4. 観察結果のまとめと今後の展望

本検討においては，2つの試料に対する観察のみであったが，両者において幾つかの構造的共通点が見られた．

1点目は，腐食生成物は，外観上は数mm程度の層(マクロな層)により構成されているが，断面観察の結果，腐食生成物の内部は緻密な構造であることが明らかとなった．すなわち，試料の端部にしか各層の間の空隙は存在せず，外観上の層の間隔を把握するためには，試料端部において研磨および樹脂含浸を施し，観察する必要がある．

2点目は，数mmのマクロな層も数μm～数百μmの薄い層が重なって形成されたものであることが分かった．このことから，腐食速度は，比較的短期間での小さな変動と長期的に大きな変動を繰り返しているものと考えられた．

本検討結果を踏まえての今後の展望として，まずは，様々な腐食生成物に対する観察によりデータを蓄積し，層構造の相違点と環境条件の違いを定性的に関連付けることが必要である．その後，微小領域で観察される薄い層間隔およびマクロな領域で観察される厚い層間隔のそれぞれがどの程度の期間で生成されるものであるかを把握することで，異なる環境条件における腐食進行を定量的に評価可能となるものと考えられる．

【謝辞】

本研究で観察を行った試料の採取にあたり，(独)港湾空港技術研究所の御協力を頂きました．また，本研究でのSEM観察には，九州大学中央分析センターの装置を利用しました．ここに付記し，厚く御礼申し上げます．

【参考文献】

1) 土木学会; 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-コンクリート委員会腐食防食小委員会報告書-, pp.20-34，1997
2) 土木学会; 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)-コンクリート委員会腐食防食小委員会(2期目)報告-，pp.1-41，2000
3) 松永篤，福手勤，小野義徳，濱田秀則: 海砂を用いたコンクリート中の鉄筋発錆に関する長期曝露試験，セメント･コンクリート，No.624，Vol.2，1999