

### 腐食生成物の微視的観察による腐食環境評価に関する実験的検討

九州大学大学院	学生会員	○池田 隆徳	正会員	濱田 秀則
	正会員	佐川 康貴	学生会員	多田 昂平
			学生会員	Rita Irmawaty

#### 1. はじめに

近年、塩害劣化における進展期の腐食速度の評価に関する関心が高まっており、環境条件に応じた腐食進行を高精度に予測する技術の開発が求められている<sup>1)</sup>。本研究では、腐食環境評価手法として、鋼材の腐食によって生じる腐食生成物が、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た。すなわち、この層構造の違いが各種環境における腐食反応の進行の違いを表しているものと考え、腐食生成物の観察によって、鋼材の腐食環境を評価する上での重要な情報を得る手法について着想した。

本稿は、腐食の進行に影響を及ぼす環境条件として気候条件の違いに着目し、温暖湿潤気候である日本と熱帯雨林気候であるインドネシアより採取した腐食生成物の観察および比較を行った結果を示すものである。

#### 2. 実験概要

##### 2.1 採取した試料

観察に用いた試料は、国内（東日本）およびインドネシアにおいて海洋環境に置かれた鉄筋コンクリート（RC）構造物よりそれぞれ1つずつを採取したものである。

本稿では、国内で採取した試料を試料A、インドネシアで採取した試料を試料Bと称し、試料を採取した部材の詳細は、以下に示す通りである。試料Aは、塩害劣化を生じたRC 栈橋の桁において、かぶりコンクリートが剥落し、露出した鉄筋より採取した。試料Bは、試料Aと同様に塩害の影響を受けたRC 岸壁の鉄筋より採取したものである。写真-2は、各試料の採取部材の状況を示しており、写真中の丸印の箇所から採取した。また、写真-3に採取した試料の外観を示す。



写真-1 層状の腐食生成物の一例



試料A（日本-RC 栈橋桁）



試料B（インドネシア-RC 岸壁）

写真-2 試料を採取した部材の状況

##### 2.2 観察試料の作製および観察方法

本研究では、観察方法として、蛍光顕微鏡および走査型電子顕微鏡（SEM）による観察を行った。観察試料の作製方法を以下に示す。すなわち、採取した試料は、腐食生成物の積層方向に対して直角に切断し、断面に蛍光樹脂を真空含浸により、含浸させた。その後、精研磨・琢磨を施し、観察に供した。観察倍率は、蛍光顕微鏡観察では、5～20倍、SEMでは、100～1000倍の範囲とした。



試料A



試料B

写真-3 試料の外観

#### 3. 観察結果

写真-4にそれぞれの試料の蛍光顕微鏡

キーワード 腐食生成物, 腐食環境, 蛍光顕微鏡観察, 電子顕微鏡観察

連絡先 〒819-0395 福岡市西区元岡 744 TEL:092-802-3387

察結果を示す。なお、蛍光に発色した部分が、蛍光樹脂が含浸した箇所であり、すなわち空隙が存在していることを示している。

国内より採取した試料 A では、0.5~1.0mm の間隔で平行に空隙が存在していることが分かるが、一方、インドネシアより採取した試料 B は、蛍光顕微鏡観察では、明確な層構造は観察されなかった。

写真-5 に各試料の二次電子像を示す。両試料において、微視的領域においては、層状の構造を呈していることが分かる。

試料 A では、50~150 $\mu\text{m}$  程度の厚さの層が確認できる。一方、試料 B では、蛍光顕微鏡観察では、明確な層構造が観察できなかったが、SEM による観察では、50 $\mu\text{m}$  程度の厚さで層が形成されていることが分かり、平均的な厚みは、試料 A と同程度であることが分かった。また、試料 B の方が、試料 A に比べ、均等な厚みの層が形成されている状況が観察された。また、両試料において、50 $\mu\text{m}$  程度の一つの層を高倍率で観察すると、数 $\mu\text{m}$  オーダーの層より形成されている様子が確認された。

#### 4. 腐食進行に対する気候条件の影響に関する考察

本研究の観察結果より気候条件の異なる試料 A と試料 B の違いを整理すると、蛍光顕微鏡観察による巨視的な観察において、マクロな層の有無で相違があった。また、SEM による微視的観察では、平均的には、同程度の層厚であったが、インドネシアから採取した試料 B の方がより均等な厚みの層が形成されていることが分かった。

腐食生成物における層構造の形成は、腐食速度の変動を表しているものと考えられる。すなわち、腐食反応が不活性になるにつれ、腐食速度が低下もしくは停滞したときに、一つの層が形成されるものと考え、以上の結果を整理すると日本に比べ、インドネシアにおける腐食速度の変動は小さく、比較的一定の速度で腐食が進行することが推察される。

以上より、腐食生成物の層構造の観察は、腐食進行に関する有益な情報を得られる可能性が示され、今後、データを蓄積し、精査が必要である。また、本稿では、気候条件の違いといった非常に広範囲におよぶ環境の違いについて検討したが、より詳細な環境条件の違いによる腐食進行の相違を腐食生成物の観察により把握可能であるかを検討が必要である。

#### 5. まとめ

本研究では、日本とインドネシアの鉄筋コンクリート構造物中の腐食した鉄筋より採取した腐食生成物観察を行った。以下に、本研究で得られた知見を示す。

- (1) 日本の腐食生成物の層構造では、0.5~1.0mm 程度のマクロな層が確認されたのに対し、インドネシアの腐食生成物では、それが確認されなかった。
- (2) 微視的領域においては、層の平均的な厚みは、日本とインドネシアの腐食生成物で同様であったが、インドネシアの腐食生成物の方がより均等に層を形成していることが分かった。

【参考文献】土木学会：コンクリート中の鋼材の腐食性評価と防食技術研究小委員会 委員会報告書、コンクリート技術シリーズ, No.86, pp.96-120, 2009

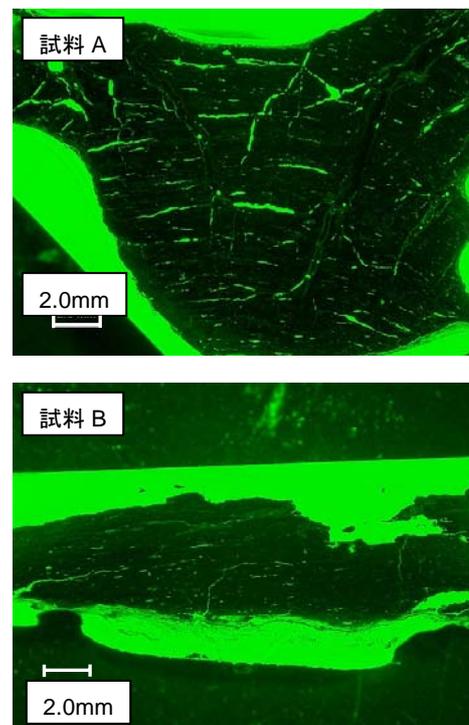


写真-4 蛍光顕微鏡観察結果

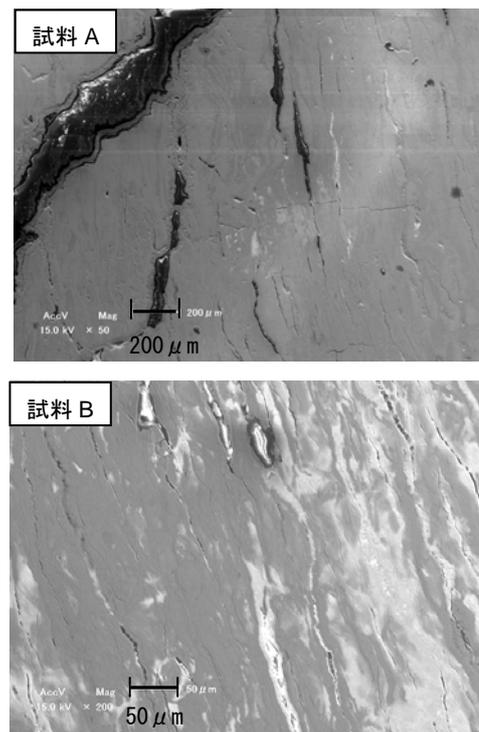


写真-5 二次電子像