

放射光 X 線イメージングを用いたコンクリート中鋼板の非破壊観察 Nondestructive Observation of steel sheet in concrete using Synchrotron Radiation X-ray Imaging

吉住 歩樹, 小林 龍
Ayuki Yoshizumi, Kamui Kobayashi ^a

日本製鉄(株)
Nippon Steel Corp.

40 mmΦ × 高さ 50 mm のコンクリート中に埋設された幅 25 mm × 高さ 60 mm の冷延鋼板に対して、X 線 CT 測定を実施し、腐食試験前後のコンクリート／鋼板界面近傍の断面像を比較した。その結果、同一視野におけるめっき組織の腐食による構造変化が非破壊で観察された。

キーワード：コンクリート中鋼板、高エネルギー白色 X 線放射光、X 線イメージング、コンクリート／鋼板界面構造

背景と研究目的：

コンクリート構造物は通常の状態においてはすぐれた耐久性を有している。コンクリートは水和反応によって生成した水酸化カルシウムなどによって pH 12 ～ 13 の強アルカリ性を示しており、コンクリート内の鉄筋は通常 γ -Fe₂O₃ の安定な酸化皮膜で保護されている[1]。しかし、コンクリートが空気中の二酸化炭素を吸収して中性化を起こすことで、鉄筋は腐食環境に移行する。また、塩化物イオンが混入した場合には、強アルカリ性の環境下であっても不動態皮膜は局部的に破壊され、鉄筋の腐食が急激に促進されて、コンクリート構造物の耐久性は著しく低下する[2]。コンクリート構造物は、腐食が進行すると腐食生成物の形成や、鋼板の減肉によってコンクリート／めっき鋼板界面の構造が変化すると考えられるが、同一視野における鋼板の構造変化を追跡して検証された例はない。

本研究は、コンクリート中に埋設した鋼板の耐食性を評価する手法を開発するとともに、腐食環境や腐食時間による腐食度合いを調査することが目的である。最終的には得られた知見を基に、客先の使用環境に応じて適切な鋼板を選択すると共に、既存の製品群にて対応ができない場合は、客先のニーズに対応した新しい鋼板を開発して客先に提供する。本課題では、高エネルギー白色 X 線放射光を用いた X 線 CT 法を用いて、コンクリート中に埋め込まれた鋼板表面近傍の構造を非破壊で追跡観察する測定条件を検討することとした。

実験：

本実験の供試材は、幅 25 mm × 高さ 60 mm × 厚さ 0.5 mm の冷延鋼板をそれぞれ約 40 mmΦ × 高さ 50 mm のアクリル筒に入れてコンクリートを流し込み、鋼板を 20 mm 露出させて 40 mm をコンクリート中に埋設させたコンクリート片を作製したものを測定試料とした、測定試料に対して X 線 CT 測定を実施後、コンクリート片に鋼板を露出させた面から、噴霧器で 5 日間水をかけ、2 日間乾燥させる工程を 1 か月実施したのに対して再び X 線 CT 測定を行った。

高エネルギー白色 X 線放射光を用いた CT 測定は、SPRING-8/BL28B2 において実施した。試験片が装填された透明アクリル管は、鉛直方向に平行な回転軸を持つ回転ステージ上に設置・固定した。そして、高エネルギー白色 X 線放射光 (200 ± 50 keV) を試料に照射して、試料の後方に配置された X 線カメラで X 線透過像を撮影した。ビームサイズは 3.0 mm (V) × 25 mm (H) であり、X 線透過像の

撮影にはビームラインに常設されている X 線イメージングユニットと CMOS カメラを組み合わせた X 線カメラ（カメラ長：2220 mm）を用いた。透過像 1 枚当たりの露光時間は 180 ms で、試料を 180° 回転させながら、約 2700 枚の透過像を撮影した。

この構成における X 線カメラの実効的な画素サイズは $7.77\text{ }\mu\text{m/pixel}$ であった。断面像の再構成はフィルター補正逆投影法（FBP：Filtered Back Projection）で行った。

結果および考察：

冷延鋼板を埋設したコンクリート片の、埋設深さ 1 mm 位置における断面再構成像を Fig.1 に示す。(a)が腐食試験前、(b)が腐食試験後の冷延鋼板を埋め込んだコンクリート片の同一視野における再構成像である。再構成画像のコントラストは主に密度による線吸収係数の違いを表しており、密度が高い（線吸収係数が高い）ほど明るいコントラストとなる。そのため、金属（白）、コンクリート（灰）、空隙／き裂（黒）が判別できる。

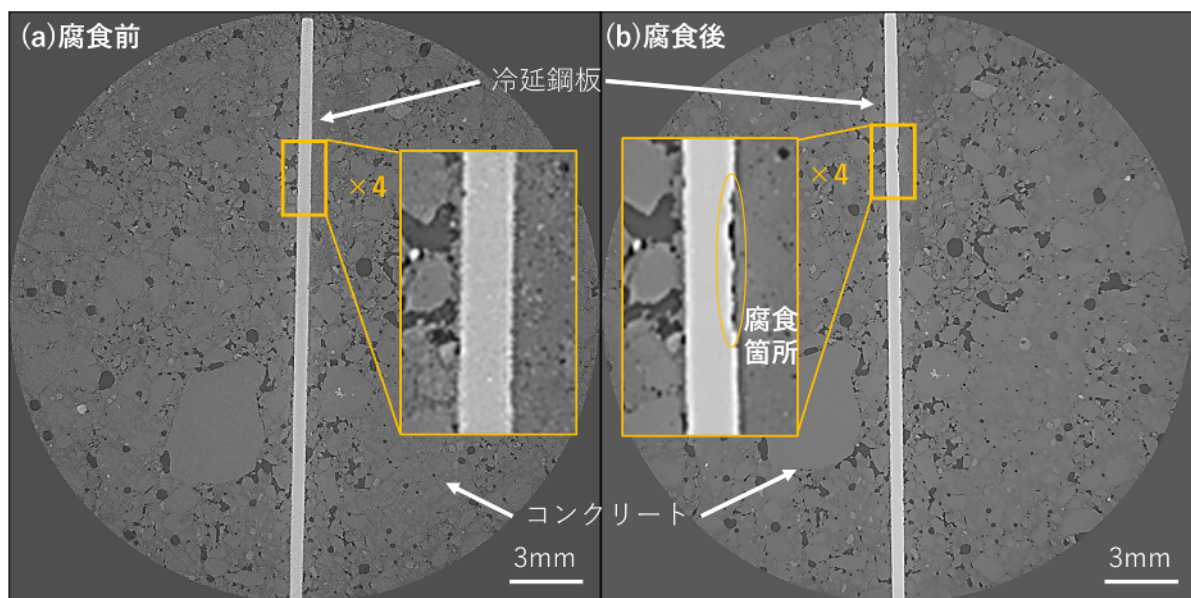


Fig.1 冷延鋼板を埋設したコンクリート片の再構成像 ((a):腐食試験前、(b): 腐食試験後)

Fig.1 より、橙枠の箇所に注目すると、腐食試験前は平坦だった鋼板表面が、腐食試験後では減肉している様子を非破壊で確認することができた。以上より、コンクリート中に埋め込んだ鋼板の、腐食による構造変化を非破壊で追跡可能であると判明した。

今後の課題：

本課題においては、同一試料で噴霧器による腐食進行をさらに進め、腐食進行による内部構造の経時変化を測定する予定である。

参考文献：

- [1] M. Pourbaix: "Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solution", p307, Pergamon Press, (1966).
- [2] 岸谷孝一: 防食技術, 24, 137(1975).