

## 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<sup>a</sup>, 小林 龍<sup>a</sup>, 梶原 堅太郎<sup>b</sup>  
Ayuki Yoshizumi<sup>a</sup>, Kamui Kobayashi<sup>a</sup>, Kentaro Kajiwara<sup>b</sup>

<sup>a</sup> 日本製鉄(株), <sup>b</sup> (公財)高輝度光科学研究センター  
<sup>a</sup> Nippon Steel Corp. <sup>b</sup> JASRI

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 Zn めっき鋼板に対して、X 線 CT 測定を実施し、コンクリート/Zn めっき鋼板界面近傍の断面像を再構成した。再構成像の輝度を基に、再構成像全体の空隙率と、コンクリート/Zn めっき鋼板界面近傍の空隙率を算出した。その結果、再構成像全体の空隙率よりもコンクリート/Zn めっき鋼板界面近傍の空隙率は低い値であった。本手法にて、コンクリートと Zn 系めっき鋼板との密着性を評価できる可能性が示唆された。

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

### 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 pH12~13 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  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 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]。そこで、建材分野において、コンクリート構造物への亜鉛系めっき鋼板の適用を検討している。コンクリート中の環境において、亜鉛めっきは周囲のカルシウムと反応して、ヒドロキシ亜鉛酸カルシウム (CaHZn) を形成し、耐食性発現に寄与すると考えられているが[3]、めっき種による耐食性発現の違いについては不明な点が多い。また、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、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 Zn 系めっき鋼板の耐食性を評価する手法を開発するとともに、埋設する Zn 系めっき鋼板のめっき種による耐食性能、およびそれらの腐食環境や腐食時間による違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 Zn 系めっき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めっき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 Zn 系めっき鋼板表面近傍の構造を非破壊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 0.4 mm の Zn めっき鋼板および幅 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。その後、それぞれの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 か月実施したものを測定試料とした。

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 μm/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 :

冷延鋼板および Zn めっき鋼板を埋設したコンクリート片の、埋設深さ 2 mm 位置における断面再構成像を Fig.1 に示す。(a)が冷延鋼板、(b)が Zn めっき鋼板を埋め込んだコンクリート片である。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 (線吸収係数が大きい) 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。

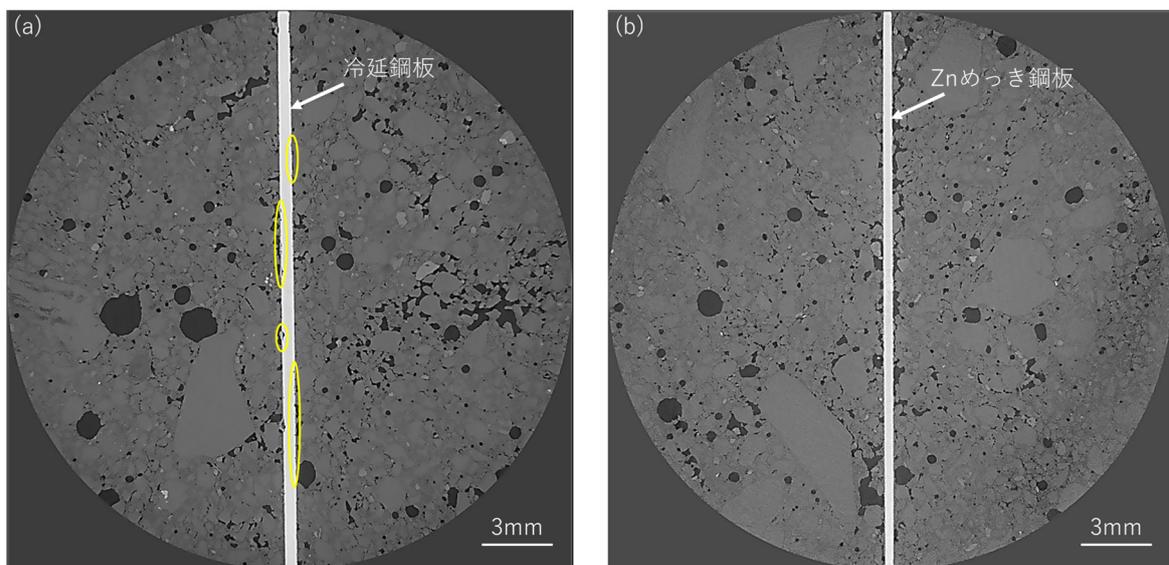


Fig.1 鋼板を埋設したコンクリート片の再構成像 ((a):冷延鋼板、(b):Zn めっき鋼板を埋め込み)

Fig.1 より、(a)では黄色で示した領域において冷延鋼板が減肉している様子が確認できる。一方で、(b)では、Zn めっき鋼板上で顕著な減肉は確認されなかった。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分析可能であると判明した。

### 今後の課題 :

本課題においては、めっき種の異なるコンクリート片の非破壊分析も実施しており、めっき種の違いが耐食性に及ぼす影響について解析を進める。また、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も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).

[3] A. Macias and C. Andrade; British Corrosion Journal, 22, 113(1987).