

## コンクリート中鋼材周囲の飽水度が腐食速度に与える影響の把握 Study on the Effect of Water Saturation of Hardened Cement around Steel Rebar in Concrete on Corrosion Rate

高橋 駿人

Hayato Takahashi

東北大学 (前: 東京理科大学)

Tohoku University (Former: Tokyo University of Science)

キーワード: コンクリート, 中性化, 水分, 鋼材腐食, 非破壊 CT-XRD 連成法

### 背景と研究目的:

中性化はコンクリートの pH を低下させ、鉄筋周囲の酸化皮膜を消失させる。その中で、酸素と水の供給が十分な場合は、鉄筋の腐食速度が増大するため、コンクリート構造物の重大な劣化へとつながる。したがって、中性化したコンクリートの水の挙動を理解することは重要である。しかし、これまでの腐食速度に関する研究では、様々なコンクリート供試体サイズに対して外部湿度で整理されており、得られる値の範囲も大きいため、メカニズムの統一的理解がなされていないのが現状である。それに対して、申請者の研究グループでは、鉄筋周囲の環境を模擬した実験系を構築し、飽水度を指標とすれば腐食速度が整理できることを明らかにしたため、水分移動解析等を連成させれば、飽水度を指標とした実構造物の腐食速度を推定できる可能性が示唆された [1]。より詳細に現象を明らかにするため、本研究では、鉄筋周囲の環境を模擬したモルタルに対して鋼材種を変えて作製し、中性化させた後に様々な環境履歴を与えて飽水度を変化させた際の腐食速度を、BL28B2 で実施できる非破壊 CT-XRD 連成法による CT イメージングにより腐食減量から測定して、それぞれの要因を整理する。その際に、鋼材周囲のモルタル中の化学分析を実施し、形成される細孔溶液環境を把握し、また腐食生成物も分析することを目的として、本研究課題を実施した。

### 実験:

試料は水結合材比 (W/B) が 0.6 のセメントペーストで、セメント単味およびセメントに高炉スラグ微粉末で 80% 置換したものを作製した (それぞれ、OPC, B80 と称する)。使用したセメントは普通ポルトランドセメント (密度:  $3.15 \text{ g/cm}^3$ )、高炉スラグ微粉末はエスメント (密度:  $2.91 \text{ g/cm}^3$ , 比表面積:  $3970 \text{ cm}^2/\text{g}$ , 石こう添加あり) を、水は上水道水 (密度:  $1.00 \text{ g/cm}^3$ ) である。上記の材料を練り混ぜた後に、 $\phi 4.0 \times 10 \text{ mm}$  の型枠に、中央に鉄筋を模擬した鋼線を設置して打設した。打設後 1 日で脱型し、材齢 7 日まで水中養生した。測定手法として、X 線 CT 法により供試体内部の幾何学的形状や劣化状態を把握した上で、非破壊で局所 XRD を実施できる、非破壊 CT-XRD 連成法を用いた [2]。図 1 に非破壊 CT-XRD 連成法の概要を示す。CT 測定では、特定のエネルギーを取得するようシリコン単結晶で回折させ、透過像を取得して画像を再構成する。局所 XRD では、関心領域の固定のため白色 X 線を使用し、エネルギー分散型の回折プロファイルを取得する。実験測定条件は、X 線 CT 測定のエネルギー:  $25 \text{ keV}$ 、投影数: 1500 枚、露光時間: 0.4 秒、画素長:  $3.19 \mu\text{m}$  で実施した。XRD 用の半導体検出器 (SSD) と光軸のなす角度は  $5^\circ$  ( $2\theta = 10^\circ$ ) であり、ビームの幅は  $50 \mu\text{m}$ 、高さ  $300 \mu\text{m}$  であった。また XRD 測定では、供試体から下流側のスリット 2 までは  $170 \text{ mm}$ 、スリット 2 から SSD 前のスリット 3 までは  $450 \text{ mm}$  であった。

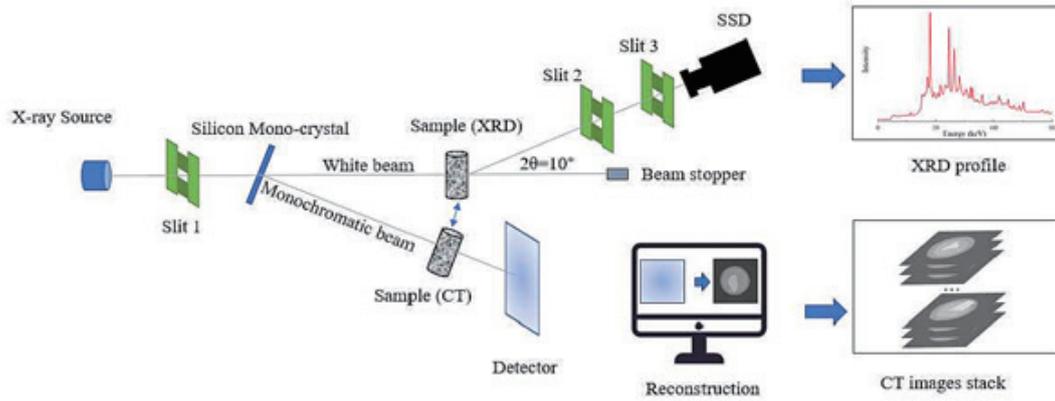


図 1. 非破壊 CT-XRD 連成法の概要[2]

**結果および考察：**

図 2 に供試体の CT 断面画像および XRD 測定箇所を示す。供試体外縁部から、中心に向かったセメントペーストと判断できる領域の 3 点とした。図 3 に XRD の各点の測定結果を示す。これに

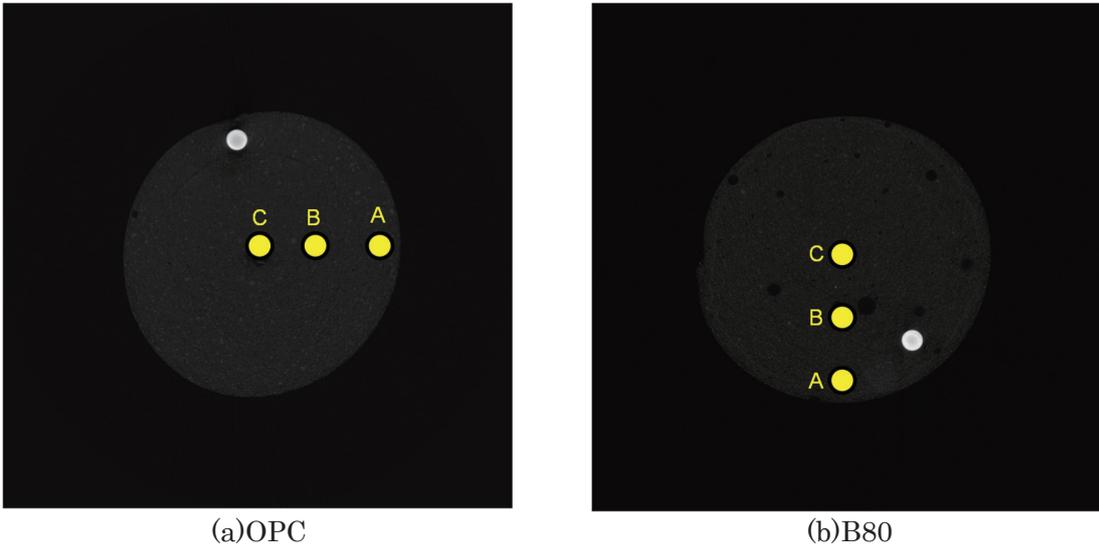


図 2. 鋼線入りセメントペースト供試体の CT 画像および XRD 測定点

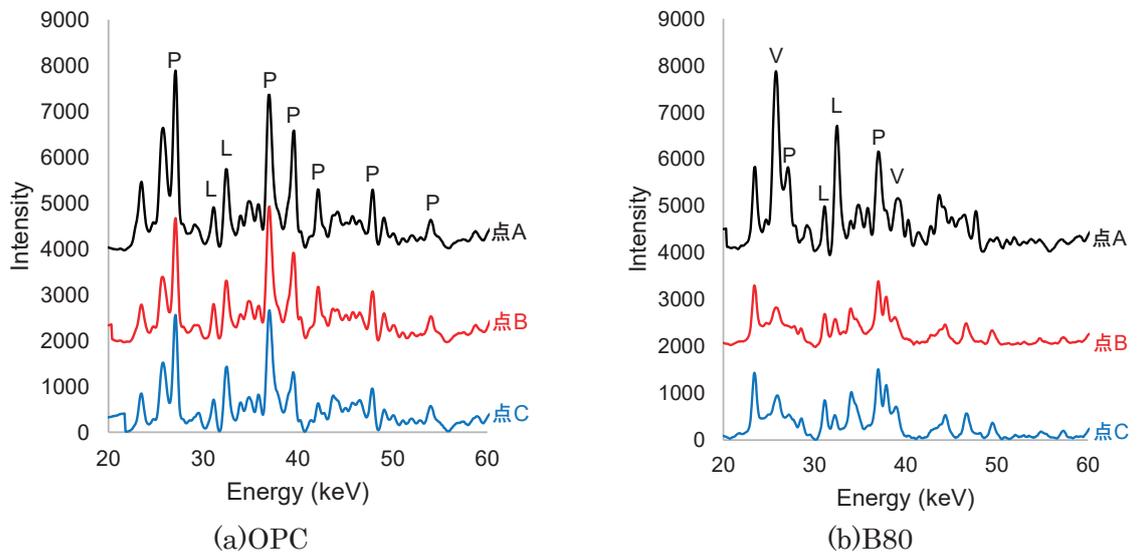


図 3. XRD プロファイル

よると、OPCでは、P (Portlandite:  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )やL (Lanite:  $\text{C}_2\text{S}$  未水和セメント鉱物)のピークが検出され、特段の中性化は確認できなかった。一方、B80では、点Aでは、V (Vaterite:  $\text{CaCO}_3$ )のピークが若干は検出された。しかし、いずれにせよ、全面的な中性化は確認できなかった。事前の中性化の方法などに検討が必要と考えられる。また図4に鋼線付近のXRDプロファイルを示すが、これによるとすべてFeのピークが確認されており、腐食も確認されなかった。

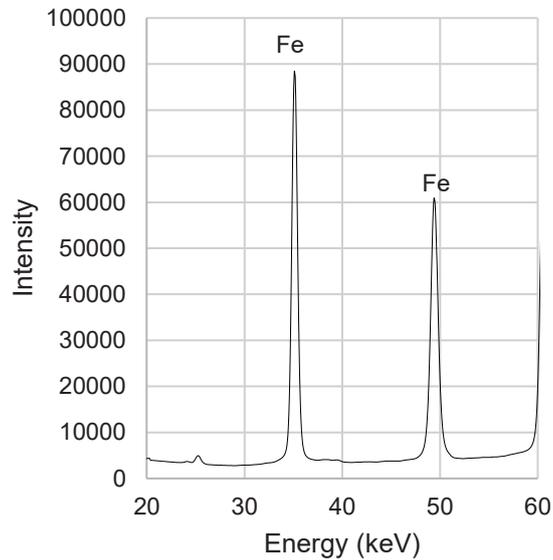


図 4. 鋼線の XRD プロファイル

#### 今後の課題：

鋼材のプロファイル等は正しく検出できることを確認したため、実験系を正確に組み立てて、再度実験を行うことを検討したい。

#### 参考文献：

- [1] 高久ら，第 78 回セメント技術大会講演要旨，78 (2024).
- [2] Y. Tan et al., *Construct. Build. Mater.* **369**, 130526 (2019).