

X線CT法を用いた鉄筋埋設モルタルの内部観察

北海道大学 学生員 ○高橋 駿人

北海道大学 正会員 志村 和紀

北海道大学 正会員 杉山 隆文

北海道立総合研究機構 田中 大之

1. 背景

コンクリート構造物におけるひび割れは、劣化因子の侵入経路となり、内部鉄筋が腐食すると、コンクリート構造物の耐久性が低下する。しかし内部鉄筋腐食を目視点検するには、表面に腐食によるひび割れが発生した、加速期段階に到達してからの判断になる。したがって、非破壊検査により内部のひび割れと鉄筋の状態を把握することが維持管理において重要である。

コンクリートの内部構造の観察において有効な手法の一つにX線CT法がある¹⁾。従来は、鉄とコンクリートの密度差に起因するアーチファクト(偽像)により鮮明な画像の取得が困難であったが、近年では、装置性能の向上により鉄筋が埋め込まれたコンクリートのX線CT撮影も可能であると考えられ^{2,3)}、ひび割れや腐食などの現象解明や劣化対策への研究に資することが期待される³⁾。そこで本研究では、X線CT法を用いて、水セメント比の違う、鉄筋が埋設されたモルタル供試体に曲げひび割れを導入し、電食試験による腐食前後において供試体の撮影を行い、内部の鉄筋およびひび割れの抽出を試みた。また腐食前後の断面積を算出し、水セメント比が異なる供試体の断面減少率を算出した。

2. 実験概要

使用した供試体は普通ポルトランドセメントを使用した水セメント比 0.5(NC)と 0.3(HC)の円柱モルタル供試体($\phi 55 \times 200\text{mm}$)で、D10 異形棒鋼を上部かぶりが 12mm となるように配置した。養生後に、中央 1 点载荷の 3 点曲げ試験により曲げひび割れを導入したが、NC 供試体は圧縮側にもひび割れが観察された。図-1 に供試体の概要および撮影した供試体の取得断面画像の軸設定を示す。

鉄筋を腐食させるため、電食試験を行った。曲げ

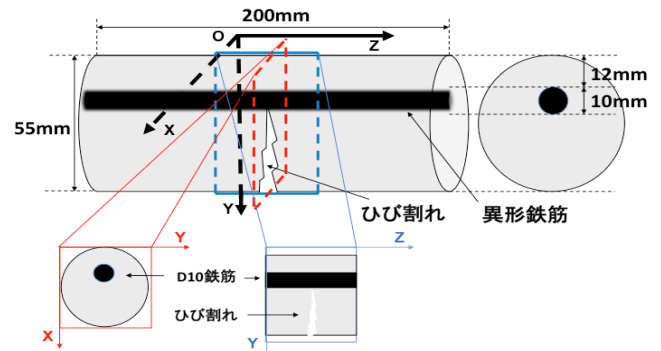


図-1 供試体の概要および軸設定

ひび割れ部に対して不織布を巻きつけ、その下部にスポンジと銅板を設置する。3%NaCl 水溶液をスポンジ高さまで浸漬させ、陽極を鉄筋に、陰極を銅板に接続して定電流試験を行った。電流は 0.15A とし、24 時間通電した。

撮影はマイクロフォーカス X 線 CT 装置を使用し、検出器には X 線フラットパネルを使用した。X 線装置の電源条件が管電圧 200kV、管電流は 100 μ A で行い、解像度は画素数が 2048 $\times$ 2048、1 ピクセルのサイズは 31 μ m、1 スライスの厚さも 31 μ m、スライス数は 1776 枚であった。

3. 実験結果

3. 1. 取得断面画像

NC, HC 供試体の曲げひび割れ導入後、電食試験前後の X-Y 断面および Y-Z 断面画像を取得した。取得した HC 供試体の断面画像を図-2 に示す。これによれば、供試体内部の鉄筋、曲げひび割れがそれぞれ確認でき、鉄筋周辺にアーチファクトがほとんど発生していないことが示された。また電食試験後の Y-Z 断面画像では、曲げひび割れを通じて塩分が供給され、鉄筋の断面が孔食しているのが確認できた。この画像を基に、供試体内の鉄筋およびひび割れの抽出を行った。

キーワード 曲げひび割れ, 鉄筋腐食, X線CT法, 閾値

連絡先 〒060-8628 北海道札幌市北区北 13 条西 8 丁目 TEL 011-706-6180

3. 2. 鉄筋およびひび割れの抽出

背景による影響を排除するため関心領域を、直径 1750 ピクセル、曲げひび割れ近傍の断面 1200 枚の円柱状に決定した。関心領域の輝度のヒストグラムを基に閾値を決定し、空隙、モルタル、鉄筋の輝度の範囲を判断した。鉄筋、空隙それぞれの閾値により断面画像を二値化し、三次元化した。電食試験後の NC 供試体の抽出した鉄筋の三次元画像を図-3 に示す。断面欠損した鉄筋表面の形状が再現できており、CT 断面画像から鉄筋を抽出することができた。

3. 3. 断面減少率の算出

電食試験後の各供試体について、鉄筋部を抽出して各断面画像の断面積を算出した結果を図-4に示す。腐食前の断面積の平均は NC 供試体、HC 供試体でそれぞれ 64.5mm^2 、 64.9mm^2 であり、D10 異形棒鋼の断面積の実測値は 67.6mm^2 であったことから、それぞれの鉄筋の抽出はほぼ妥当であったと考えられる。また断面が大きく欠損している部分では、NC 供試体では最大 29.6%だったのに対し、HC 供試体では 20.6%であった。これは鉄筋周辺の曲げひび割れの空間の差によるものと推察されるが、今後より詳細な説明が必要である。

4. まとめ

鉄筋を埋設して曲げひび割れを導入したモルタル供試体を、電食試験前後に X 線 CT 装置で撮影を行い、ひび割れと鉄筋を抽出することができた。また、画像解析から腐食による断面減少率の違いが算出された。X 線 CT 法は、鉄筋腐食現象の解明に有望な手法であると考えられる。

謝辭

本研究は、科学研究費補助金(基盤研究 B 課題番号 26289133)を受けて実施した研究成果の一部である。

参考文献

- 1) 杉山隆文ほか：高解像度型 X 線 CT による AE モルタル中の空隙構造の透視，土木学会論文集 E2，Vol.67，No.3，pp.351-360，2011
- 2) 高辻利之：計測用 X 線 CT の発展，検査技術 pp.6-11，2016.3
- 3) 高橋駿人ほか：X線CT法を用いた鉄筋埋設モルタルのひび割れおよび電食試験による腐食鉄筋の観察，日本コンクリート工学年次論文集 Vol.38，2016（採用済み）

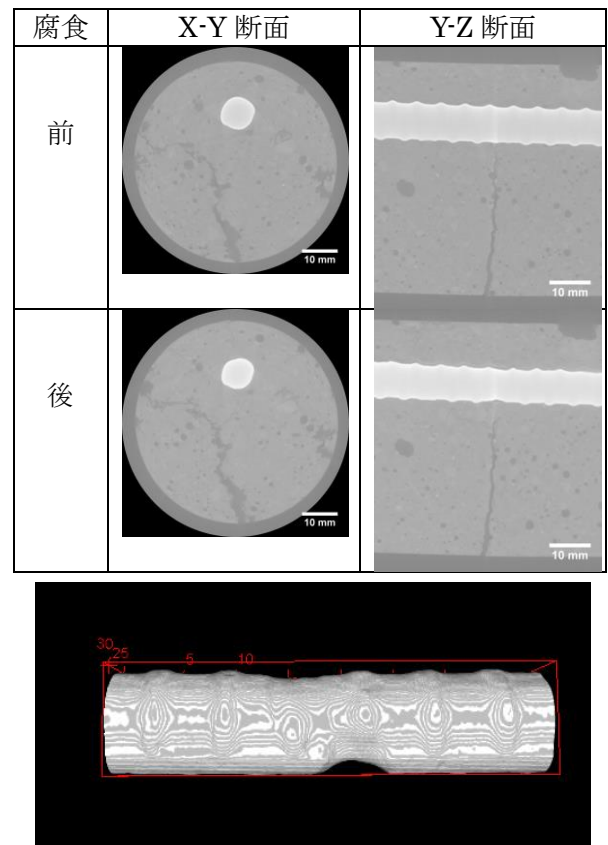


図-3 腐食後の NC 供試体の鉄筋の三次元画像 ³⁾

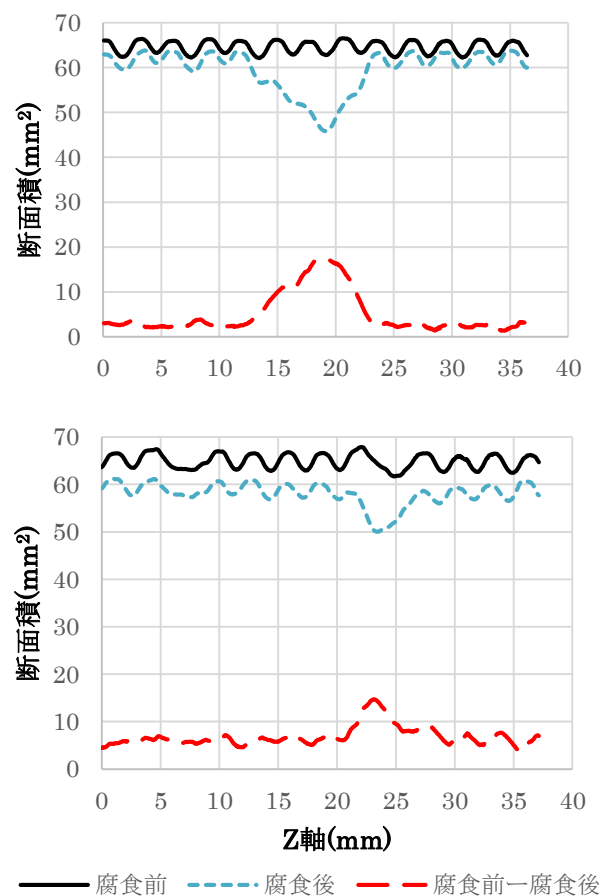


図-4 鉄筋の断面減少量(上:NC, 下:HC)