

**浸透性ケイ酸系表面改質剤による  
コンクリート構造物のひび割れ修復性能確認**  
**Performance Confirmation of Repair Technique for Cracked Concrete  
Structures Using by Silicious Surface Improvement Agents**

鈴木美樹<sup>\*1</sup>, 長沼 洋<sup>\*1</sup>, 遠藤裕丈<sup>\*2</sup>

Miki Suzuki<sup>\*1</sup>, Hiroshi Naganuma <sup>\*1</sup>, Hirotake Endoh <sup>\*2</sup>

LINACK(株)<sup>\*1</sup>, (独)土木研究所<sup>\*2</sup>

LINACK Co., Ltd. <sup>\*1</sup>, Public Works Research Institute <sup>\*2</sup>

内部にひび割れを発生させたコンクリートに対し、表面にケイ酸系表面改質剤を塗布して、そのひび割れ修復性能を X 線 CT により検証した。その結果、表面改質剤を塗布したものの一部でひび割れが充填物で閉塞されている様子が確認された。また、ひび割れの内部や骨材との界面部分を、完全には塞いではいないものの改質剤の生成物が生じているとみられる箇所も観察され、ケイ酸系表面改質剤によるひび割れ修復性能が示唆された。

キーワード： X 線 CT, コンクリート構造物, ひび割れ閉塞, ケイ酸系表面改質剤

**【背景と研究目的】**

コンクリート構造物に発生するひび割れを閉塞することは、劣化を抑制し構造物の長寿命化につながるが、ひび割れ幅が小さい(0.2 mm 以下)場合や、深部にまでおよんだ微細なひび割れに対する補修方法は確立されていない。

本報告で用いたケイ酸アルカリを主成分とするケイ酸系表面改質剤は、コンクリート表面から含浸させるとコンクリート内部のカルシウム等のイオンと反応し、生成物による組織の緻密化をもたらすもので、ひび割れ閉塞効果が期待される。本研究では、内部にひび割れを発生させたコンクリートに同改質剤を含浸させた後の状態を X 線 CT により観察し、ひび割れ閉塞効果を検証した。

**【実験】**

観察対象の内部ひび割れは、凍害による劣化を想定した。凍害はコンクリート内部の水分が凍結と融解の繰り返しに伴い、水と氷との体積の差異などから組織に微小破壊(ひび割れ)を蓄積するもので、劣化進行の程度は弾性係数変化から判定ができる。しかし観察サンプルとして、凍結融解作用により均一な内部ひび割れを発生させることは難しく、圧縮強度の 8~9 割程度の荷重を繰り返し与えることで、凍害に類する微細な内部ひび割れを発生させた。なお、劣化程度は静弾性係数を 80%程度まで低下させるものとした。

コンクリートの配合は、普通ポルトランドセメント(以下 OPC と記す)および高炉スラグセメント(以下 BB と記す)の 2 種を用いて、水セメント比はいずれも 55%とした。材齢 28 日で繰返し荷重によりひび割れを発生させた後に、ケイ酸系表面改質材 A, B の 2 種を表面から塗布、含浸させた。

改質剤は A, B ともにケイ酸アルカリを主成分とするが、それぞれの特徴は異なり、A 剤は表面から 40 mm まで深く浸透するもので、B 剤は含浸表面を特に強化するものである。塗布後 28 日間湿潤養生を行ない、5 mm 角の観察サンプルを表面からの深さ、0, 5, 10, 15, 20, 40 mm 位置で切り出し、反応を停止させる為アセトンに 1 日浸漬した後、40℃で一日乾燥させた。

X 線 CT(ビームライン: BL19B2 使用)の予備測定の結果、発生しているひび割れ幅は 10 μm 程度であったことから、測定条件をエネルギー強度 23 keV, 測定間隔 0.2 d, ピクセルサイズを 2.74 μm とした。またサンプルの形状が立方体だったため観察に適するようサンドペーパーを用いて直径 4 mm 程度の円柱状に削り出した。

各改質剤のひび割れ閉塞性能は、撮影した 0.2 d 分の X 線透過画像 900 枚を再構成して得られる断面画像(以下、再構成画像と記す)から評価した。画像上で、黒色部は X 線吸収が無い箇所すなわち空隙もしくはひび割れを示し、逆に密度が高い場合 X 線吸収が多いため白色を呈する(高密度な箇所では X 線吸収が過多となるため、近接部が本来よりも黒色に変じることがある)。また、断面画像を更に画像処理で積層することで得られる 3 次元の画像(以下、3D 画像と記す)からも評価を行った。

同様の処理を行った供試体を用いて、弾性係数の経時変化および JIS-A 1148 A 法による凍結融解試験も行った<sup>1)</sup>。

#### 【結果および考察】

標準として観察した無塗布のサンプルは 5 点で、採取位置は OPC が深さ 0, 10, 20 mm, BB が 0, 20 mm のものである。いずれのサンプルでも、ひび割れ(画像上、黒色を呈する線形状の部分)が多数確認された。ひび割れの大半は骨材(画像上では濃い灰色から白色、または斑状の不定形塊状の部分)の界面で観察され、モルタル部分のひび割れは骨材間または、気泡間を繋ぐように発生しているものが多かった。コンクリート組織中では、骨材界面や気泡は強度的に劣るため繰返し荷重による応力が集中して、ひび割れが発生したものと考えられる。なお、今回の観察ではセメント種類の違いおよび表面からの深さの違いがひび割れの発生状態に与える影響は確認されなかった。

改質剤 A を塗布したサンプルは OPC が深さ 0, 10, 20 mm, BB が 0, 15 mm から採取した 5 点を観察した。この内の OPC の深さ 10 mm 位置のサンプルの再構成画像および 3D 画像を図-1 に示す。図より、ひび割れの一部が X 線吸収を示す白色の物質で充填されている状態が観察された(矢印部)。塗布した改質剤が内部のひび割れまで浸透し、生成された反応物が観察されたものと考えられる。

改質剤 A 塗布の他の 4 点では、ひび割れと同様の線形を示しながら白色を呈する部分や、骨材の界面に沿って白色を呈する部分が多数確認された。また黒色の線状部分も観察されたが、無塗布に比べ幅が細く、不明瞭な箇所が確認された。いずれも改質剤がひび割れに浸透し、閉塞または緻密化した結果を示唆すると考えられる。

改質剤 B を塗布したサンプルは OPC が深さ 0, 10 mm, BB で 0, 15 mm から採取した 4 点を観察した。この内の OPC の深さ 0 mm 位置のサンプルの再構成画像および 3D 画像を図-2 に示す。図より、改質剤 B 塗布の場合でも骨材界面やひび割れと同様形状の白色の線状部分が確認されたが、明確にひび割れを充填している状態はいずれのサンプルでも観察されなかった。

また弾性係数の測定結果<sup>1)</sup>では、改質剤を塗布した場合、A, B のいずれも無塗布の場合よりも高く、ひび割れ導入前と同程度までの回復が示されたことから、前述のひび割れの充填が改質剤の浸透による結果と推察される。

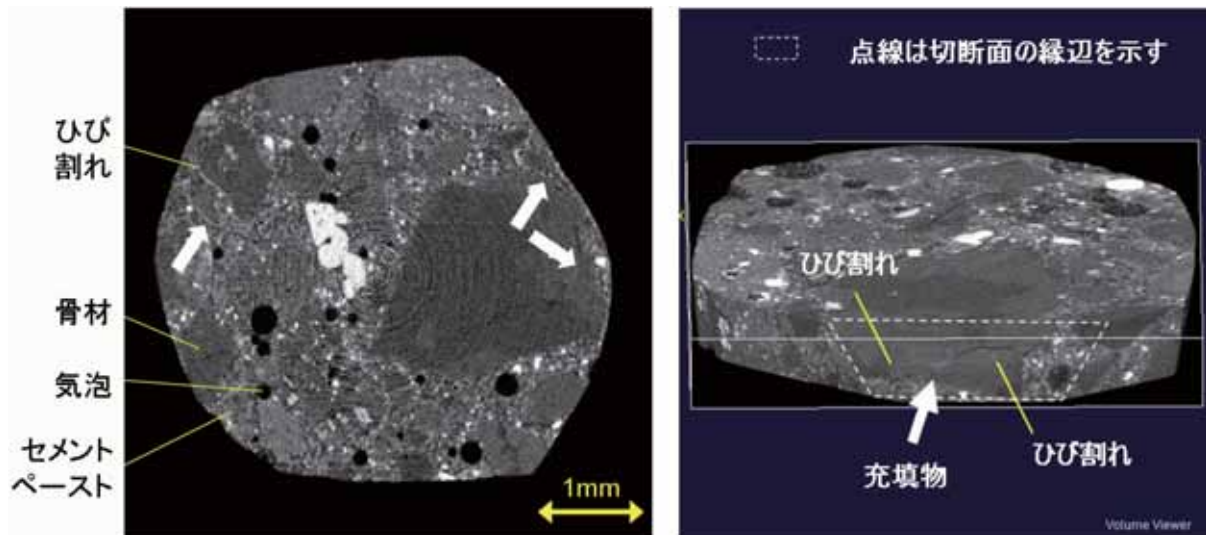


図-1 X線CTによる再構成画像(左)および3D画像(右)  
(改質剤A塗布, OPCコンクリート, 深さ10mm)

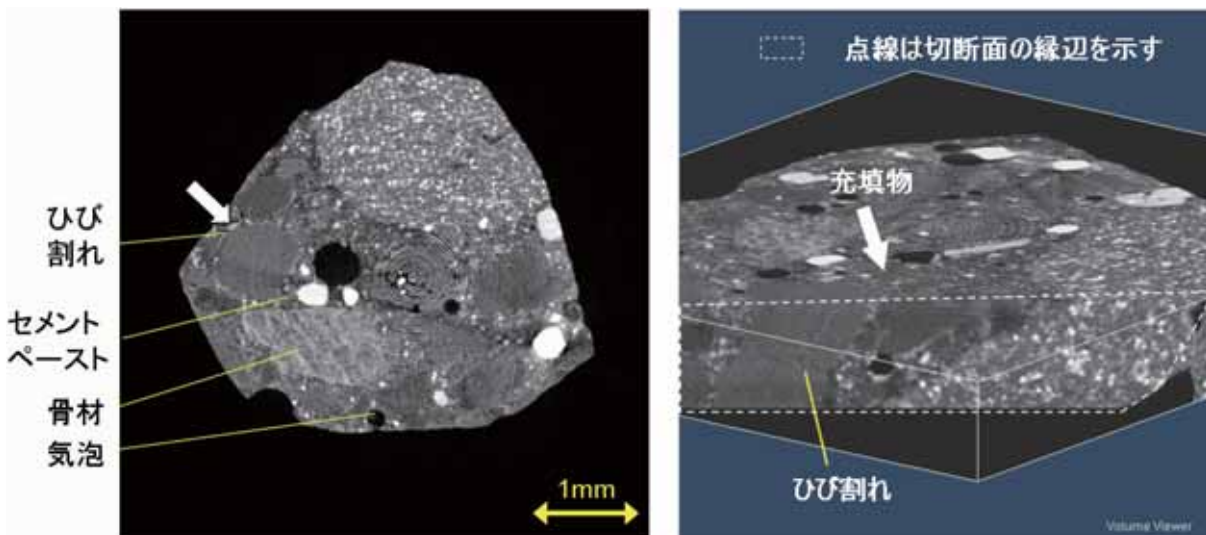


図-2 X線CTによる再構成画像(左)および3D画像(右)  
(改質剤B塗布, OPCコンクリート, 深さ0mm)

【今後の課題】

今回の測定では、ひび割れ内の充填物が改質剤由来のものであるかどうか判定する分析は行わなかった。今後、無塗布の状態ではひび割れの位置、形状等を確認したサンプルに改質剤を塗布し、再度X線CTによる観察を行うことで、「ひび割れと同様の線形を示しながら白色を呈する部分」が改質剤による閉塞か否かを検証することができると考えられる。また、今回は条件設定やサンプルの調整に時間を要したため、ひび割れの無いサンプルや、深さ40mmのサンプルは観察できなかった。

また画像処理に際し、北海道大学大学院工学研究科の胡桃澤清文准教授にご協力いただいた。ここに感謝の意を表す。

【参考文献】

- 1) 遠藤裕丈他：ケイ酸塩系表面含浸材によるコンクリート品質向上効果に関する実験的評価，土木学会第64回年次学術講演会概要集，2009.9(投稿中)