

連続繊維シート補強コンクリートの 新しい劣化評価方法に関する検討

新田 弘之¹・西崎 到²

¹正会員 (独) 土木研究所材料資源研究グループ新材料チーム (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)
E-mail:hnitta@pwri.go.jp

²正会員 (独) 土木研究所材料資源研究グループ新材料チーム (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)
E-mail:nisizaki@pwri.go.jp

繊維シート接着工法は、主にコンクリート構造物の耐震補強や剥落防止に適用され、20年以上供用されているものもある。樹脂は経年的に劣化し、接着性の低下につながる可能性が指摘されている。接着性の評価には、引張試験などの物理的試験の他、打撃音による方法、サーモグラフィを用いる方法など様々検討されている。

本研究では、新しい評価方法として、X線CTスキャナーを用いて、繊維シートで補強したコンクリートの撮影を行い、内部の劣化や破損を評価できるか検討した。その結果、破壊を伴わないため、同じ供試体を用いて劣化前後の観察が行え、また、接着面を面的かつ詳細に観察できるため、供試体内部の劣化でも成長過程の観察ができることが分かった。

Key Words : X-ray CT, carbon fiber sheet, epoxy resin, degradation evaluation method

1. はじめに

繊維シート接着工法は、主にコンクリート構造物の耐震補強や剥落防止に適用され、20年以上供用されているものもある。樹脂は経年的に劣化し、接着性の低下につながる可能性が指摘されている。接着性の評価には、引張試験などの物理的試験の他、打撃音による方法、サーモグラフィを用いる方法など様々検討されている。これらは、簡便であったり、広範囲を一度に把握できるなど、特に現場での評価に非常に有用な方法である。しかし、小さな欠陥部分などには対応が難しく、小さな欠陥の始まりから破損に至るまで同じ方法で追跡することは難しい。

一方、医療用では一般的となっているX線CT法は、物体の内部を非破壊で可視化できるため、非常に便利であることは知られているが、最近では産業用の機器も充実しつつあり、土木材料の観察にも用いられるようになって¹⁾²⁾³⁾いる。

そこで、本研究では、新しい評価方法として、X線CTスキャナーを用いて、繊維シートで補強したコンクリートの撮影を行い、内部の劣化や破損を評価できるか検討した。

2. 方法

コンクリート平板に、異なる条件で繊維シートを接着した後、促進劣化のための冷熱繰り返しによる負荷を与え、各段階でX線CT撮影をして、気泡の発生などの内部の変化を観察した。

(1) 繊維シート接着供試体

コンクリート平板上に表-1、2に示す繊維と樹脂を用い

表-1 使用した繊維シートの基本性状

繊維種類	繊維目付 g/m ²	設計厚さ mm	引張強度 N/mm ²	引張弾性率 N/mm ²
炭素繊維 (中弾性)	300	0.165	2,900	3.9×10 ⁵

表-2 使用した樹脂の基本性状

材質	引張強度※ N/mm ²	曲げ強度※ N/mm ²	使用温度※
エポキシ樹脂 (2液混合・無溶剤)	30以上	40以上	10～25℃

※カタログ値

表-3 供試体の作製条件

供試体No.	作製温度	表面水分
n-1	25℃	4.6%
n-2	25℃	11.2%
n-3	25℃	Full※
c-1	5℃	4.7%
c-2	5℃	11.0%
c-3	5℃	Full※

※Full：水中に浸漬しておいたものを取り出し、表面を拭いた後に施工したもの

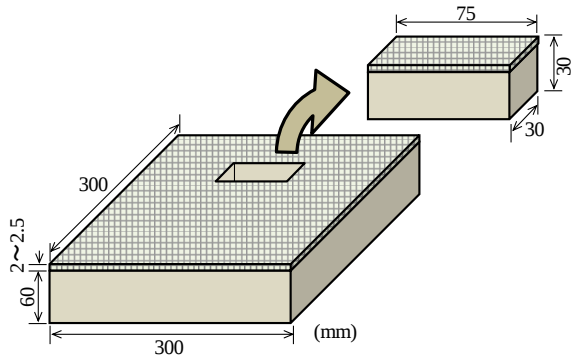


図-1 供試体の成型



図-2 供試体の例(Non-1)

て繊維シート接着供試体を作製した。供試体の作製条件は表-3に示す。作製温度では、用いた樹脂の施工温度範囲の25℃と、施工温度範囲を下回る5℃の2条件とし、表面水分はそれぞれの温度で、適切な表面水分、表面水分の多い状態、表面水分が逸脱して多い状態の3状態とした。プライマー塗布後に繊維シートを接着した。繊維シートは同じ繊維方向で2枚積層した。

本研究では、精細に撮影できることに主眼を置いたため、X線の透過量が著しく異なる状態を避け、図-1に示すような正四角柱に切り出して試験に供することにした。供試体の例を図-2に示す。

(2) 冷熱繰り返し試験

繊維シート接着供試体を促進劣化させるため、冷熱繰り返し試験を行った。試験条件は、60℃で24時間水中養

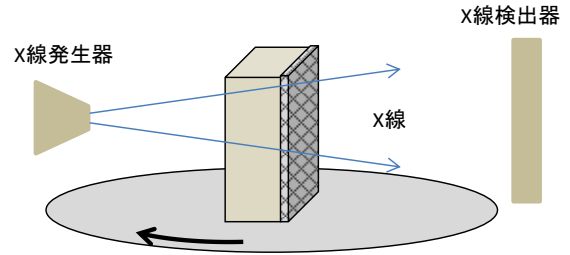


図-3 X線CT撮影の概要

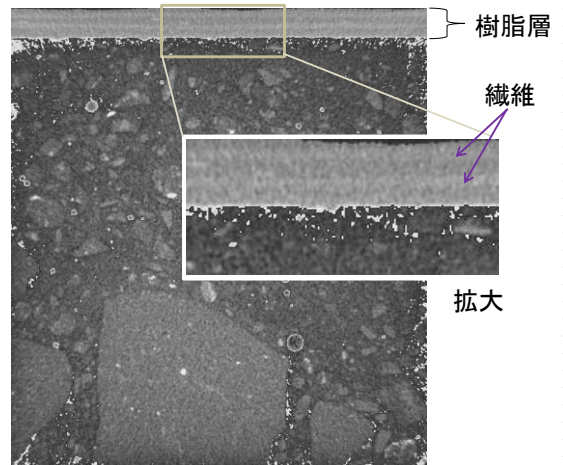


図-4 繊維の観察

生し、続けて20℃で24時間水中養生した。48時間を1サイクルとし、10サイクルまで試験を行った。途中、内部の破損等を観察するために、X線CT撮影を行った。

(3) X線CT撮影

本研究では、微細な観察に適したマイクロフォーカスCTスキャナーを用いた。本機は管電圧320kVと225kVが選択できるが、今回は225kVを使用した。撮影の概要を図-3に示す。撮影領域20mm×20mm、焦点サイズ20μm、表示画素数1024×1024ピクセルの条件で撮影した。

3. 結果

(1) 繊維シートの観察

劣化の観察をする前に、樹脂内にある繊維シートの観察を行った。図-4に断面の映像を示す。樹脂層内に縞模様が見えており、やや薄い2本のすじが繊維である。今回、繊維シートには炭素繊維を用いており、炭素繊維の密度が2g/cm³付近、エポキシ樹脂の密度が1.2g/cm³付近であり、密度の差が小さかったことと、約2mmの樹脂層の中を撮影したため、鮮明に繊維を映し出すことができ

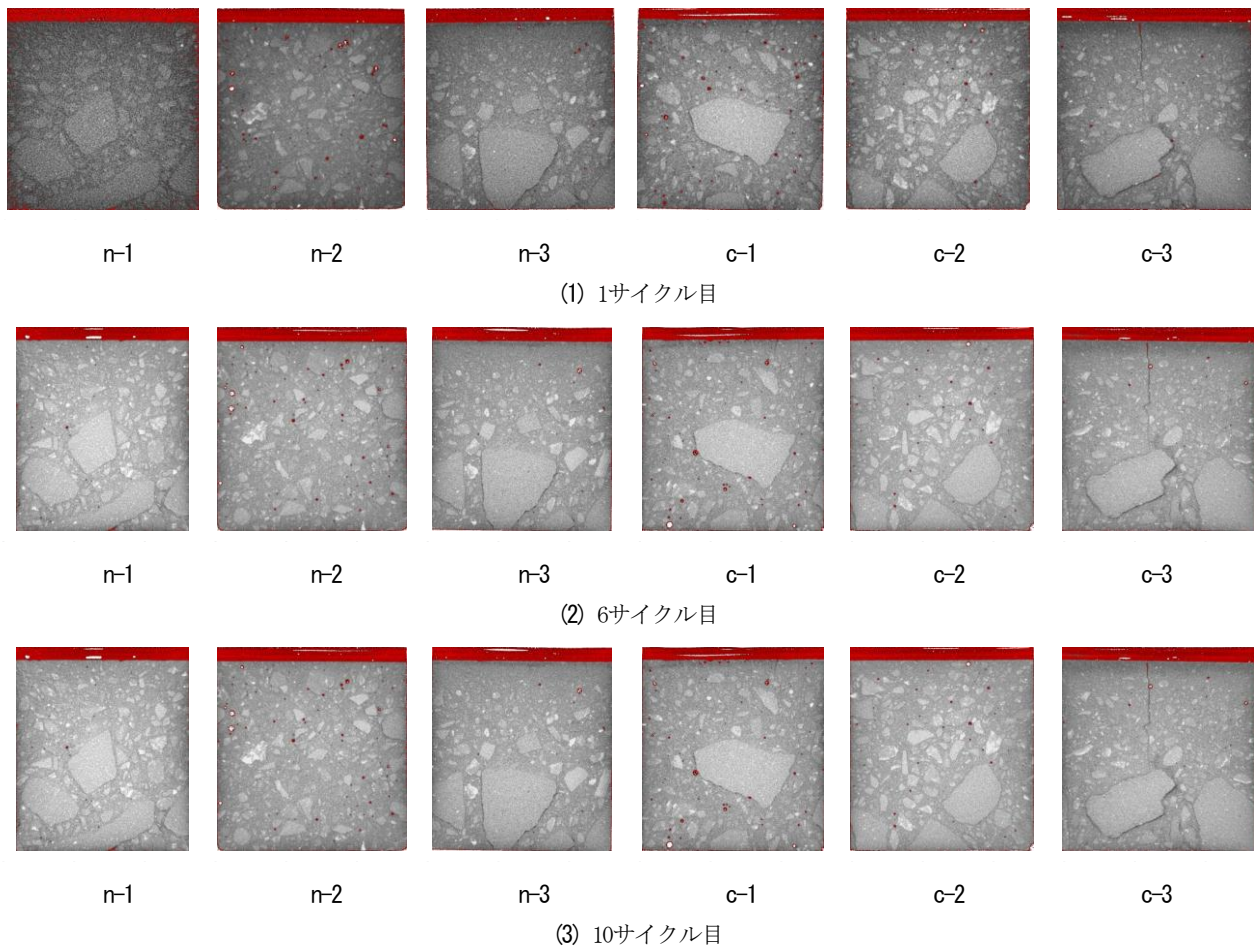


図-5 接着面を横から見た画像

なかったが、繊維の位置を確認することはできた。

(2) 接着面の横からの映像の観察

CT撮影は、立体的に撮影されているので、解析に当たっては、任意の断面での映像が観察できる。まず、接着面を真横からみた断面の観察を行った。概ね2劣化サイクル毎に撮影は行ったが、図-5にはこの中から劣化1サイクル後、劣化6サイクル後、劣化10サイクル後のできるだけ同じ箇所の映像を示す。CT映像は密度によって濃淡が付くため、画像解析により樹脂の密度に相当する領域には分かりやすいように着色を行った。実際のCT画像は白黒でありカラーで撮影できるわけではない。また、コンクリートの内部に赤色に着色された箇所があるが、空隙のまわりなどで、偶然樹脂と近い密度になった場合に誤認識されて着色されてしまったものであり、この部分には樹脂はない。

今回、10サイクルまでの劣化回数であったが、どの供試体も目立った損傷はなかった。接着面を真横から見た場合、どの映像でも、際だった剥離などは観察できなかった。断面はできるだけ同じ箇所にとるようにしているが、本研究で用いた装置は0.01mm間隔でしか位置

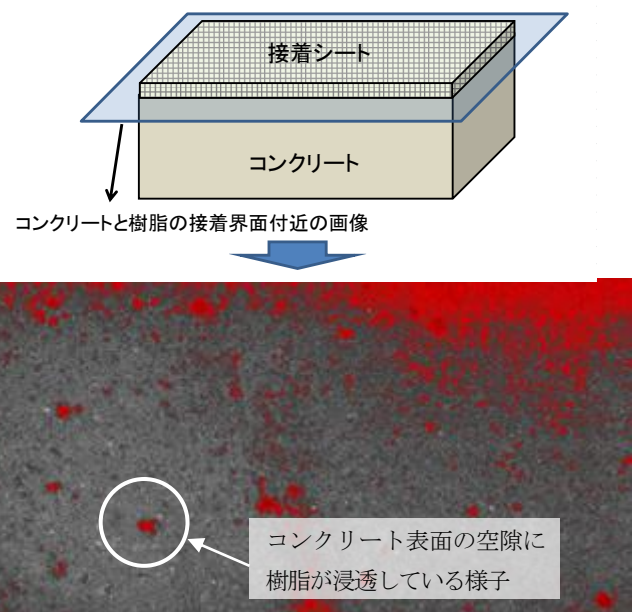


図-6 接着界面の観察例 (No.n-1)

を調整できないため、完全に同じ箇所にはできなかった。その影響もあり、今回の横からの観察では、劣化による微小な変化を捉えることが困難であった。

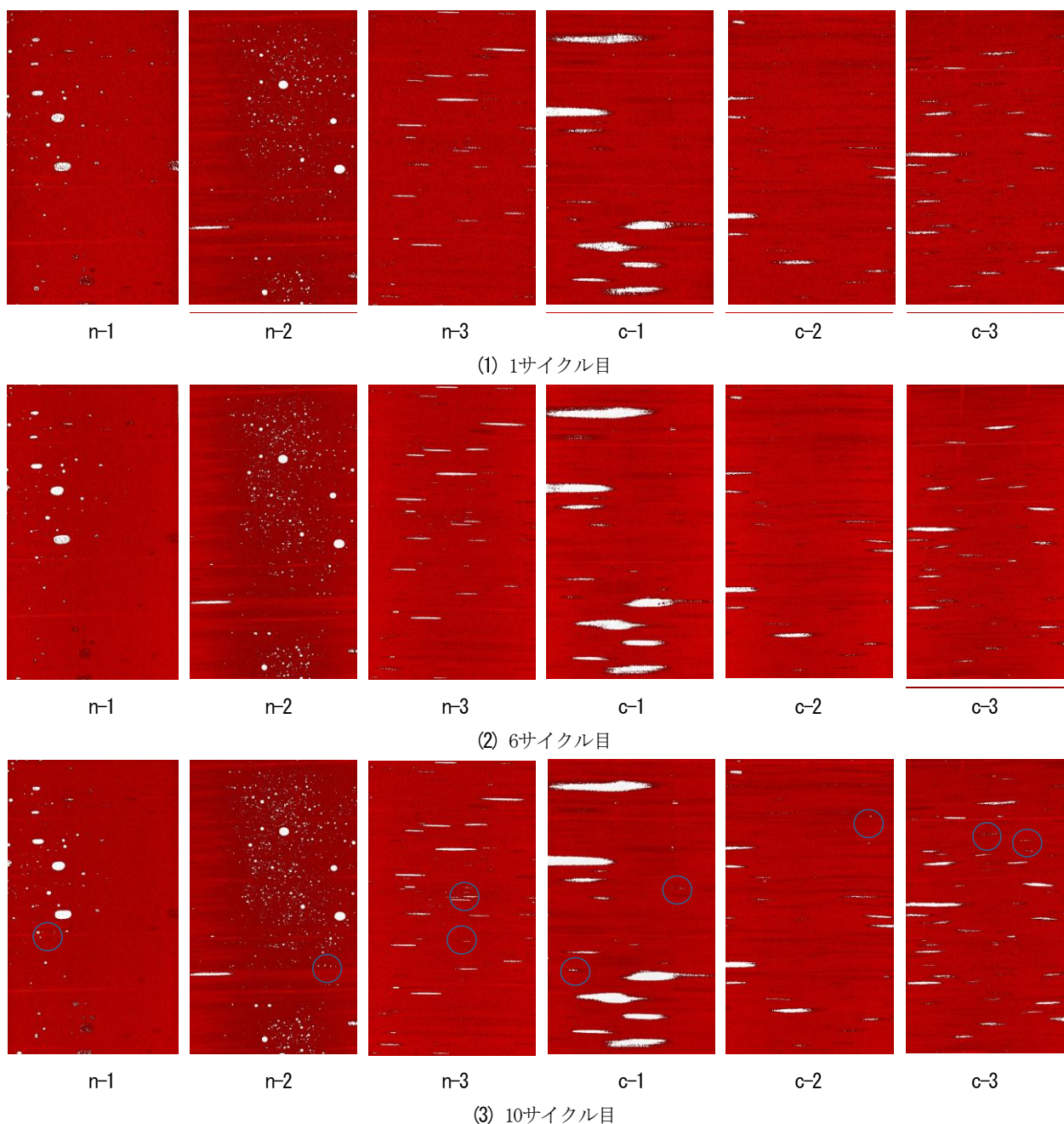


図-7 樹脂内部の気泡の変化

(3) 接着面の上からの映像の観察

CT画像では、任意の断面が見られるので、コンクリートと樹脂の界面等も観察できる。接着界面を取り出した例を図-6に示す。このように接着面の様子を破壊せずに、試験の途中でも観察できる。今回、劣化10サイクルでも接着面の剥がれなどが生じなかったため、施工条件による接着面の変化の様子は観察することはできなかった。

続いて、樹脂内部に発生した気泡などの変化を観察した。接着面より樹脂の内部寄りに気泡が観察された。今回の撮影では、繊維は横方向に入っており、気泡が繊維の方向に沿ってできたため、気泡は横に長くなった。各

供試体の特徴的な気泡が見られた箇所を選び出し、劣化サイクル毎に図-7に示す。特に劣化10サイクル目になると気泡が増えてきており、画像からも判別できた部分については、図中に○で囲った。かなり小さな変化であるため、判別はかなり難しい状況であった。

そこで、より定量的に気泡の変化を追うために、画像解析により、気泡の増減を追うことを試みた。具体には、画像から気泡の面積を割り出し、気泡の占める割合を求めるようにした。結果を図-8、9に示す。画像からは判別は難しかったが、画像解析によれば、劣化サイクルが増えるにつれ気泡が増加していることが把握できた。

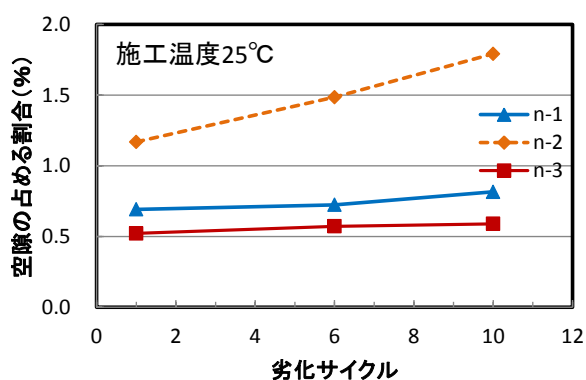


図-8 樹脂内部の気泡の増加 (25°C作製)

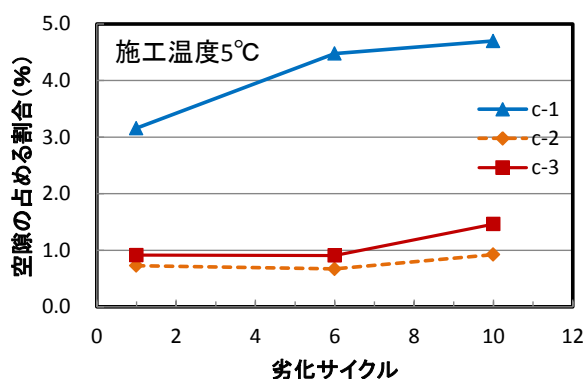


図-9 樹脂内部の気泡の増加 (5°C作製)

5. まとめ

本研究では、連続繊維シート補強コンクリートの新しい評価方法として、X線CTスキャナーを用いて撮影を行い、内部の劣化や破損を評価できるか検討した。その結果以下のことが分かった。

- (1) X線CTスキャナーにより、樹脂層内の繊維シートの位置が確認できた。

- (2) 接着面を真横から観察した結果、剥離が大きく進行していないことが観察できた。しかし、観察位置の厳密な位置合わせが難しく、劣化等の微小な変化を把握することは難しかった。
- (3) 接着面を面的に観察した場合、コンクリート表面の空隙に樹脂が浸透している様子が把握できた。
- (4) 樹脂層内部にある気泡の劣化による成長を観察した結果、映像からも気泡が増えてくる様子が観察できた。しかし、微細なものが多く、今回の劣化では視覚的にとらえるのがやや難しかった。
- (5) 樹脂層内部の気泡の占める割合を求めた結果、劣化が進につれ気泡は増えている様子が把握でき、視覚的にはとらえることが難しかったものでも、画像処理などで数値化することにより、変化をより明確に把握できるようになることが分かった。

今後、さらに促進劣化を進め、剥離の観察を行っていく。今回把握できなかった施工条件の違いの影響の把握を行っていく。また、繊維シート補強工法のような材料のX線CT撮影の方法の最適化を図っていく、これらの材料の劣化の評価の確立を目指していく。

参考文献

- 1) 大谷順, 棕木俊文, 菊池喜昭: X線CTを用いた気泡混合処理土の物性評価, 土木学会論文集 C, No.652, pp.269-278, 2000.
- 2) 天明敏行, 堤知明, 村上祐治, 尾原祐三: X線CT法によるコンクリート供試体の非破壊検査, コンクリート工学年次論文集, vol.25, No.1, pp.1643-1648, 2003.
- 3) 谷口聡, 小川慧一郎, 大谷順, 西崎到, X線CTを用いたアスファルト舗装材料の定量的評価に関する研究, 土木学会論文集 E 1, Vol.67, No.3, pp.L165-L172, 2011.

A STUDY ON NEW DETERIORATION EVALUATION METHOD OF THE CONCRETE STRENGTHENED WITH CONTINUOUS FIBER SHEET

Hiroyuki NITTA and Itaru NISHIZAKI

The fiber sheet adhesion method, which are mainly used to prevent spalling and seismic reinforcement of concrete structures, has been in service for more than 20 years. Since the resin deteriorates in many years past, it may lead to the fall of adhesive strength. The evaluation method of the adhesive, there are physical tests such as tensile test, there is also such a method of using the method according to impact sound, the thermography to the other. In this research, the concrete reinforced with the fiber sheet was photoed, using an X-ray CT scanner as a new valuation method. And it was examined whether internal degradation and breakage could be evaluated.