

赤外線サーモグラフィー法による炭素繊維シートの剥離評価

立命館大学大学院理工学研究科 学生員 小林 香木
立命館大学理工学部 正会員 尼崎 省二

1. はじめに

コンクリート構造物を補修・補強するために、炭素繊維シート（以下、CF シート）接着工法がある。しかし、構造物への繰返し荷重の作用や施工不良などにより CF シートは剥離する場合があります、その部分は補強効果を低減する。赤外線サーモグラフィー法は遠隔地からの測定が可能のため、目視では困難な欠陥探査を行うことができると考えられる。本研究では、赤外線サーモグラフィー法により CF シートの剥離探査を行い、撮像距離、剥離寸法およびシート層数が探査におよぼす影響を検討した。

2. 実験概要

型枠内側の所定の位置に、直径 D10mm および D50mm で厚さ 2mm の鋼板を貼り付けて打設し、窪みを設けたコンクリート表面に、CF シート（目付量 300g/m²、シート厚さ 0.167mm）をエポキシ樹脂で 1 層、3 層および 5 層貼り付け、剥離欠陥をモデル化した。コンクリートの熱的特性は、水セメント比とほとんど関係しない¹⁾ため、本実験で用いた供試体は RC 構造物を対象とした W/C=60% の 1 種類とした。

撮像は冬季に行い、撮像前の供試体を、状態 1：屋外の日射のない場所に保管および状態 2：屋内保管とし、それぞれの状態のまま発泡スチロールで覆い断熱した供試体を、屋内の撮像面に太陽光があたる位置に移動させ、測定面の発泡スチロールを取り除いた直後の熱画像を初期画像とし、その後 10 秒間隔で 3 分間測定を行い、直ちに日射を遮蔽し、10 秒間隔で 2 分間、30 秒間隔で 5 分間および 1 分間隔で 5 分間の、計 15 分間測定を行った。撮像距離 L および赤外線カメラの最小検知寸法 L_{min}を表-1 に示す。赤外線カメラの L_{min}は式（1）より算出した。なお、本実験で使用した赤外線カメラの瞬時視野 θ は 1.25mrad である。

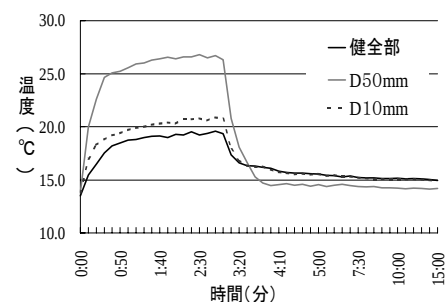
表-1 撮像距離と最小検知寸法

撮像距離 L (m)	最小検知寸法 L _{min} (mm)
7	8.8
8	10.1
9	11.3
10	12.6
11	13.8

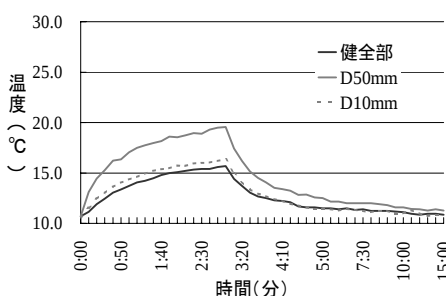
$$L_{\min}=2 \times L \times \tan (\theta / 2) \quad \dots \dots \dots (1)$$

3. 実験結果および考察

CF シートの剥離探査結果の一例として、状態 1 の供試体をシート 1 層、L =8m で測定したときおよびシート 5 層、L =7m で測定したときの温度経時変化を図-1 に示す。シート 1 層の日射過程では、測定開始直後から欠陥部温度は健全部温度より高くなり、いずれの欠陥部も探査可能であった。また、遮蔽 50 秒後からの、D50mm 欠陥部温度は健全部温度より低く、測定終了まで探査可能であったが、遮蔽後の D10mm 欠陥部は、健全部との温度差が小さく探査困難であった。本実験では、熱画像での健全部温度のばらつきを考慮して、健全部と欠陥部の温度差が 0.2 以上あれば客観的な剥離探査が可能であると判断した。シート 5 層の供試体では、測定時間中は健全部の温度が高く、探査可能であった。1 層に比べて層が厚くなることで熱が拡散しやすくなるため、健全部と欠陥部の温度差は小さく、欠陥部の温度変



(a) シート 1 層・撮像距離 8m



(b) シート 5 層・撮像距離 7m

図-1 状態 1 の供試体表面温度経時変化

Keywords：非破壊検査、赤外線サーモグラフィー法、炭素繊維シート、剥離、撮像距離

連絡先：〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1 立命館大学理工学部土木工学科 Tel 077-561-1111

化も緩やかであること、また、日射遮蔽 2 分後には健全部温度がほぼ一定になったため、欠陥部温度が健全部温度より低くならなかったと考えられる。また、遮蔽後の D10mm 欠陥部を明確に探査することは困難であった。状態 2 では、撮像前の供試体が室内保管であり、状態 1 に比べて撮像開始時の供試体温度が高いため、いずれのシート層の場合でも撮像終了時には開始時の温度より低くなっている。シート 5 層の供試体を $L=7\text{m}$ で撮像したときの温度経時変化を図-2 に示す。遮蔽 2 分後以降も健全部温度が低下し、そのため撮像開始から 13 分後には健全部と欠陥部温度が等しく、探査困難となった。状態 2 のいずれの場合でも日射遮蔽後の D10mm 欠陥の探査は、健全部との温度差が小さく困難であった。

シート 1 層での D10mm と D50mm の中心線上の、日射による温度分布の変化を図-3 に示す。欠陥部と健全部の境界は温度遷移帯となるために、境界付近の健全部温度は他の健全部よりも高くなっており、実際の欠陥よりも大きく探査されることになる。そのため、検知される欠陥寸法の欠陥実寸法に対する比（以下、欠陥寸法比）は健全部と欠陥部の温度差によって変化する。その温度差は、欠陥寸法およびシート層数による欠陥部の温度上昇程度に左右する。

CF シートの剥離探査結果を表-2 に示す。日射中において、D10mm 欠陥を探査できる赤外線カメラの $L_{\min}$ は、シート層数によって異なり、シート 1 層が 12.6mm、3 層が 11.3mm、5 層が 8.8mm と、シート層数が増加するにともない小さくなる。すなわち赤外線カメラにより検知される欠陥部寸法はシート層数によって変化し、シート層数が増加するとともに、熱画像上の欠陥部寸法が小さくなる傾向が得られ、 $L_{\min}$ の関係から、1 層および 3 層の場合は実際の欠陥部より大きく、5 層の場合は小さく探査されることがえられる。

日射中において、D50mm 欠陥部は D10mm 欠陥部に比べ温度上昇が大きくなるため、欠陥寸法比も大きくなると考えられ、 $L_{\min}$ の関係から、シート総数が 5 層以下の場合の D50 mm 欠陥部は、 $L=40\text{m}$ 程度の距離までならば探査可能であると考えられる。

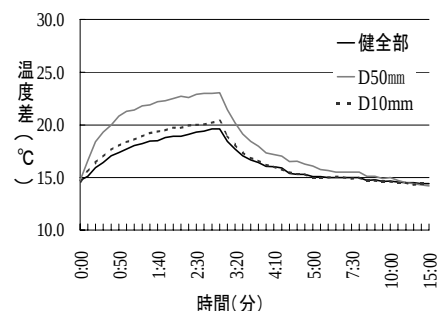
4. 結論

本研究について要約すると、以下のようである。

- (1) 日射により、直径 10mm の剥離欠陥は炭素繊維シート 1 層で撮像距離 10m 以下、3 層で 9m 以下、5 層で 7m 以下の場合に探査可能である。
- (2) 日射による剥離探査では、炭素繊維シート 1 層および 3 層の場合、熱画像により探査できる欠陥部寸法は、実際の欠陥部より大きくなり、5 層の場合は実際の欠陥部より小さくなる。
- (3) 同寸法の欠陥を探査する場合、炭素繊維シート層が厚くなると、撮像距離は短くなる。

【参考文献】

- 1) 日本熱物性学会編：熱物性ハンドブック、p.207、1990.5



シート 5 層・撮像距離 7m

図-2 状態 2 の供試体表面温度経時変化

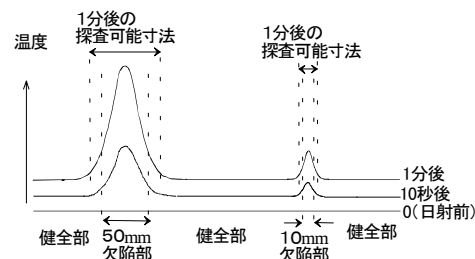


図-3 シート 1 層での供試体表面の温度分布の経時変化

表-2 炭素繊維シートの剥離探査結果

シート層	撮像距離 (m)	最小検知寸法 (mm)	D10mm 欠陥部		D50mm 欠陥部	
			日射	遮蔽後	日射	遮蔽後
1	8	10.1	○	×	○	○
	9	11.3	○	×	○	○
	10	12.6	○	×	○	○
	11	13.8	×	×	○	○
3	8	10.1	○	×	○	○
	9	11.3	○	×	○	○
	10	12.6	×	×	○	○
5	7	8.8	○	×	○	○
	8	10.1	×	×	○	○

○：探査可能 ×：探査不可能