

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、炭素繊維シート接着工法がある。しかし、構造物への繰り返し荷重の作用や施工不良などにより炭素繊維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させる。本研究では、赤外線サーモグラフィ法により炭素繊維シートの剥離探査を行い、測定距離、空隙寸法および厚さが剥離探査におよぼす影響を検討した。

2. 実験概要

コンクリート表面の図-1に示す位置に、直径φ10および50mmの円形空隙を設け、この表面に1層、3層および5層と枚数を変化させた炭素繊維シート（目付量300g/m²、シート厚さ0.167mm）をエポキシ樹脂を用いて貼り付け、剥離欠陥をモデル化した。円形空隙は、型枠内側の所定の位置に、剥離欠陥と同寸法の鋼板を貼り付けて打設し、作製した。

測定は冬季に行い、発泡スチロールで覆い断熱した供試体を日射のある場所に設置し、撮影面の発泡スチロールを取り除いた直後に測定した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。測定距離*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。赤外線カメラの最小検知寸法は式（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は1.25mradである。

$$l_{min}=2\times l\times \tan(\theta/2) \dots\dots\dots (1)$$

ここで、*l_{min}*：最小検知寸法（mm）、*l*：測定距離（mm）、 θ ：瞬時視野（mrad）とする。

3. 実験結果および考察

炭素繊維シートの剥離探査結果の一例として、炭素繊維シート1層の供試体を*l*=8mで測定したときの測定開始から3分後の熱画像を図-2(a)に示す。すべての欠陥部が明確に探査可能であることがわかる。また、同過程での温度経時変化を図-2(b)に示す。日射過程では、日射直後から欠陥部温度は健全部温度より高くなり、すべての欠陥部は探査可能であった。日射遮蔽から50秒後には、φ50mmの欠陥部温度は空隙厚さに関係なく健全部温度より低く探査可能であったが、φ10mmの欠陥部は健全部との温度差が小さく、探査不可能であった。本実験では健全部と欠陥部の温度差が0.2℃以上で両者の区別が可能であると判断した。

日射中において、φ50mmとφ10mmの欠陥部温度を比較すると、空隙

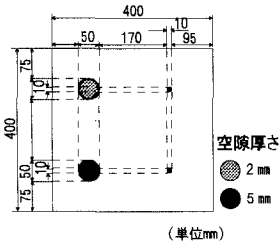
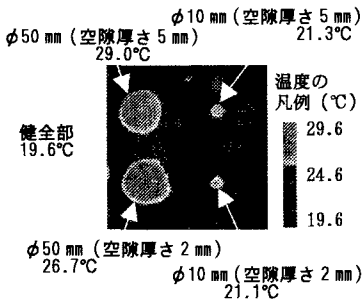
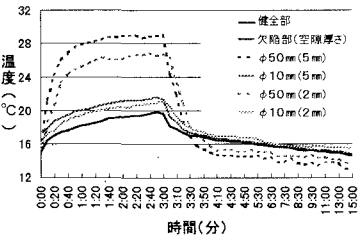


図-1 供試体表面の剥離欠陥配置箇所
表-1 撮影距離と最小検知寸法

撮影距離 (m)	最小検知寸法 (mm)
7	8.8
8	10.1
9	11.3
10	12.6
11	13.8



(a) 3分後の熱画像



(b) 温度経時変化

図-2 シート1層・測定距離8m

厚さに関係なくφ50 mmの欠陥部は、φ10 mmの欠陥部に比べ、高温である。健全部と欠陥部の温度分布を、日射後の経過時間による供試体表面温度の比較を図-3に示す。欠陥部寸法が小さい場合、その部分は周囲の健全部温度の影響を受けやすく、欠陥部寸法が大きい場合に比べ、温度上昇は小さい。また、日射によって高温になると、実際よりも大きく探查されると考えられる。

日射3分後の炭素繊維シートの剥離探查結果を表-2に示し、炭素繊維層数が熱画像による剥離探查におよぼす影響を検討した。

(1) 炭素繊維シート1層

$l=10\text{m}$ ($L_{\text{min}}=12.6\text{ mm}$) 以下の場合、φ10 mm欠陥部は日射過程において探查可能であった。最小検知寸法より小さいφ10 mmの欠陥が探查可能であったのは、欠陥部の熱が周囲の健全部に拡散し、実際の欠陥部寸法よりも高温になる部分が大きくなったためと考えられる。しかし、 $l=11\text{m}$ ($L_{\text{min}}=13.8\text{ mm}$) の場合、φ10 mmの欠陥部は、日射過程において探查不可能であった。これより日射中の熱画像における欠陥部寸法は、12.6 mm以上で13.8 mm未満になると考えられる。

(2) 炭素繊維シート3層

$l=9\text{m}$ ($L_{\text{min}}=11.3\text{ mm}$) 以下の場合、φ10 mm欠陥部は日射過程において探查可能であった。しかし、 $l=10\text{m}$ の場合、φ10 mmの欠陥部は日射過程において探查不可能であった。これより日射中の熱画像における欠陥部寸法は、11.3 mm以上で12.6 mm未満になると考えられる。

(3) 炭素繊維シート5層

$l=7\text{m}$ ($L_{\text{min}}=8.8\text{ mm}$) の場合、φ10 mm欠陥部は日射過程において探查可能であった。しかし、 $l=8\text{m}$ ($L_{\text{min}}=10.1\text{ mm}$) の場合、φ10 mmの欠陥部は日射過程において探查不可能であった。これより日射中の熱画像における欠陥部寸法は、8.8 mm以上で10.1 mm未満になると考えられる。

以上の結果から、赤外線サーモグラフィ法により同寸法の欠陥を探查する場合、シート層数が増加するにつれて、熱画像上の欠陥寸法が小さくなる傾向が得られた。シート層が厚くなることでシート内の熱移動量が多くなり、健全部と欠陥部で熱平衡になりやすいため、高温部分の面積が小さくなると考えられる。

日射中において、φ50 mm欠陥部はφ10 mm欠陥部に比べ、高温であるため、熱画像による探查では、φ10 mm欠陥部寸法の増加率より大きく（縮小率が小さく）になると考えられ、上記の結果と L_{min} から、φ50 mm欠陥部は、炭素繊維シート1層の場合、42m ($L_{\text{min}}=53\text{ mm}$)、3層の場合40 m ($L_{\text{min}}=52\text{ mm}$)、5層の場合は39m ($L_{\text{min}}=49\text{ mm}$) までの距離ならば探查可能であると考えられる。

4. 結論

赤外線サーモグラフィ法による炭素繊維シートの剥離探查について要約すると、以下のようである。

- (1) 直径10 mmの剥離欠陥は、炭素繊維シート1層で測定距離10m以下、炭素繊維シート3層で測定距離9 m以下、炭素繊維シート5層で測定距離7m以下の場合に探查可能である。
- (2) 同寸法の欠陥を探查する場合、炭素繊維シート層が厚くなると、測定距離が短くなる。
- (3) 連続繊維シート1層および3層の場合、熱画像により探查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。

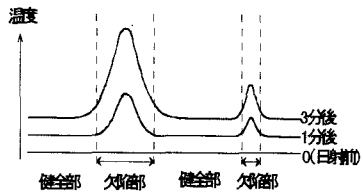


図-3 温度分布の経時変化

表-2 炭素繊維シートの剥離探查結果

(a) φ50 mm欠陥部

シート層	測定距離 (m)	瞬時視野 (mm)	温度変化過程	
			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	○	○

(b) φ10 mm欠陥部

シート層	測定距離 (m)	瞬時視野 (mm)	温度変化過程	
			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	×	×