

赤外線サーモグラフィー法による FRP シートの剥離評価

和歌山県 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

構造物の補強工法に連続繊維シート(以下、シート)接着工法がある。しかし、シートが剥離すると、その部分は補強効果を低減する。本研究では、シート・コンクリート界面、シート界面およびシート内部に欠陥を作製し、シートの種類、積層数などが探査精度におよぼす影響を検討した。

2. 実験概要

供試体は寸法 B250×H400×W400mm とし、欠陥は図 1 に示すように、シート・コンクリート界面およびシート内部に作製した。シートは炭素繊維 (CFRP) およびアラミド繊維 (AFRP) を使用した。シートの目付量および厚さを表 1 に示す。なお、シート内部欠陥の供試体に貼付したシートは目付量 200g/m² のみとした。シートの貼付にはエポキシ樹脂を用いた。

シート・コンクリート界面欠陥は、型枠内側に鋼板を貼り付けて打設し、図 2 に示す位置に窪みを設けたコンクリート表面にシートを貼付し、作製した。欠陥厚さは 4.5mm とした。シート積層数は目付量 600 g/m² 以上の場合 1 層、それ以外は 1、3 および 5 層とした。シート内部欠陥は、所定の位置に樹脂を塗布せずにシートを貼付し、作製した。シート積層数は 3 および 5 層とし、各シートに欠陥を作製した。

撮像は、日射後遮蔽過程とし、供試体の撮像面を除く周囲を厚さ 3cm の発泡スチロールで覆い断熱した。撮像距離 L は、シート内部欠陥の供試体では供試体全体が撮像できるように 3m とし、シート・コンクリート界面欠陥の供試体では 10mm 欠陥を対象に、赤外線カメラの最小検知寸法 L_{min} を考慮して決定した。L_{min} は式(1)より算出した。

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

ここで、 θ は瞬時視野 (rad) であり、本研究で使用した赤外線カメラの θ は 1.25mrad である。

3. 実験結果および考察

CFRP、目付量 300g/m² シート 5 層の供試体の撮像開始時と 3 分後との差画像を図 3(a) に示す。欠陥位置およびその形状が確認でき、すべての欠陥は探査可能であった。しかし、健全部と考えられる部分にも温度変化が生じている。熱負荷を与えると、樹脂量の多い部分は他の健全部に比べて高温になる¹⁾。そのため健全部を欠陥部と判断する可能性がある。しかし、図 3(b) に示すように、日射遮蔽後は熱負荷が小さく健全部での温度変化は確認できない。よって、健全部での温度変化は樹脂の塗布むらによるものと判断できる。また、図 3(a) は健全部との温度差が小さい 10mm 欠陥を対象に画像表示しているため、健全部での樹脂の塗布むらの影響も顕著に生じる

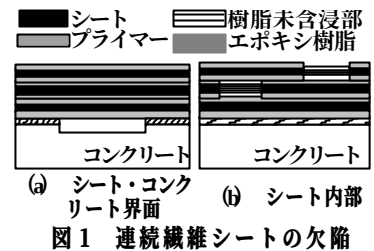


表 1 シート目付量および厚さ

シート種類	CFRP シート			AFRP シート		
目付量 (g/m ²)	200	300	600	200	415	623
シート厚さ* (mm)	0.111	0.167	0.35**	0.138	0.286	0.430

*: CFRP では炭素繊維の実断面積から設定した値
AFRP では目付を比重で割った値
**: 実測値

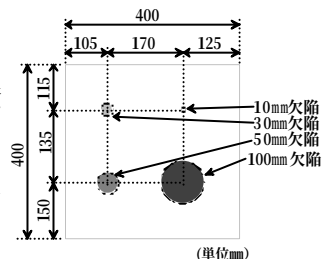


図 2 シート・コンクリート界面欠陥の配置箇所

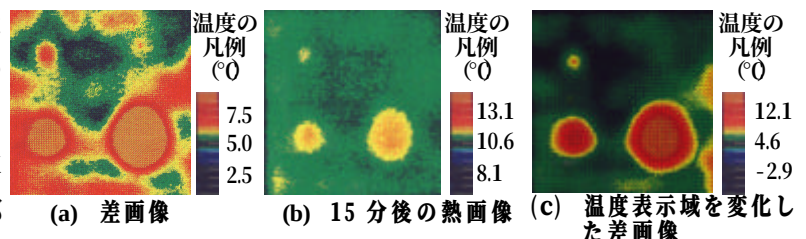


図 3 CFRPシート5層、目付量 300g/m²

Keywords：非破壊検査、赤外線サーモグラフィー法、連続繊維シート、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

と考えられる。しかし、図 3(c)に示すように、30mm 以上の欠陥を探索対象として²⁾、画像の温度表示域を変化すると、樹脂の塗布むらの影響を軽減することが可能である。

目付量 300g/m^2 の CFRP シートを 1 層貼付した供試体の表面温度の経時変化を図 4 に示す。日射遮蔽後の健全部と 30mm 以上の欠陥部との温度差は外気温により変化する。そのため、撮像時の外気温により 30mm 以上の欠陥においても日射遮蔽後の探索は困難となる場合が考えられる。しかし、前述したように日射後遮蔽することにより健全部温度のぼらつきが軽減されるため、日射遮蔽後にも撮像を行うことが推奨される。

図 5 に、10 mm 欠陥が撮像可能である限界の距離 L_{MAX} とシート積層数の関係を示す。健全部と欠陥部の温度差が大きくなると L_{MAX} は長くなる³⁾。積層数が少ないほど、また、AFRP に比べ CFRP シートの方が L_{MAX} は長い傾向が得られた⁴⁾。

目付量 600g/m^2 以上の供試体に対する L_{MAX} を表 3 に示す。同程度のシート厚さに相当する目付量 200g/m^2 、積層数 3 層の供試体と比較すると、 L_{MAX} が長くなっている。シートの 1 層貼付にくらべ 3 層貼付では使用する樹脂量が多くなり、熱が拡散しやすくなるためと考えられる。すなわち、シートが目付量の違いに比べ、積層数の方が L_{MAX} におよぼす影響が大きいと考えられる。

シート内部欠陥の供試体における 3 分後の健全部と欠陥部の温度差を表 4 に示す。最上層に存在する欠陥を除き、各供試体とも欠陥がいずれの層に存在しても、健全部と欠陥部の温度差に大きな差は生じていない。欠陥が表面に近くなるほど、欠陥下側に存在するシート数が多くなるため熱の拡散がしやすくなったものと考えられる。よって、シート内部欠陥の生じている層の違いが L_{MAX} におよぼす影響は小さいと考えられる。

4. 結論

本研究結果を要約すると、以下のようである。

- (1) 連続繊維シートの積層数が増加すると、樹脂の塗布むらが生じやすく、供試体に与える熱負荷が大きいとその影響が画像上に現れるため、撮像は熱負荷を変化させて行うことが推奨される。
- (2) シート・コンクリート界面の欠陥探索において、同一寸法の欠陥を探索する場合、シート積層数が増加すると、撮像できる限界の距離は短くなる。
- (3) シートの目付量にくらべ、積層数の方が欠陥の探索精度におよぼす影響が大きい。
- (4) シート内部の欠陥が生じている層の違いが撮像できる限界の距離におよぼす影響は小さい。

謝辞

本研究の実施にあたりご協力頂いた東レ・デュポン株式会社に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 相良健一 他：炭素繊維シートで補修・補強された RC 構造物の欠陥の検知について、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.18、No.1、pp1203-1208、1996
- 2) 宇佐美惣 他：炭素繊維巻き立て工法の施工時の欠陥が耐久性に及ぼす影響、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.21、No.2、pp1225-1230、1999
- 3) 小林香木 他：赤外線サーモグラフィ法による豆板および連続繊維シートの剥離探索、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.22、No.1、pp403-408、1996
- 4) 三井雅一 他：赤外線サーモグラフィ法を用いた FRP シート・コンクリート間の欠陥検出、土木学会論文集 No.655 V-48、pp107-117、2000.8

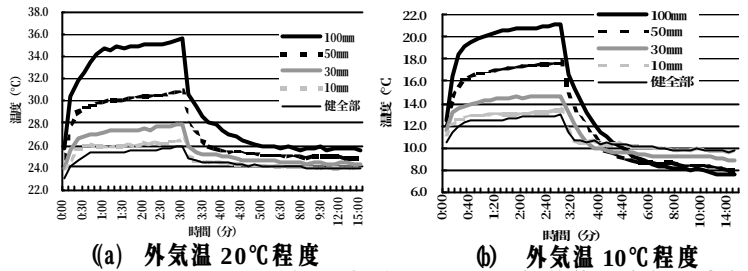


図 4 CFRP シート 1 層、目付量 300g/m^2 の供試体温度経時変化

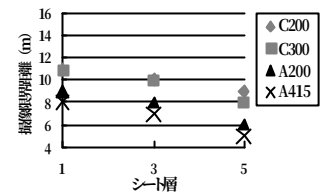


図 5 シート積層数と撮像限界距離

表 3 目付量 600g/m^2 以上の日射実験撮像結果

シート種類	C600	A623
撮像限界距離	11	9

単位 (m)

表 4 シート内部欠陥撮像結果

欠陥	温度差 (欠陥部-健全部)			
	AFRP		CFRP	
	3層	5層	3層	5層
2層目	1.4	1.7	2.5	4.6
3層目	-1.2	1.8	-0.5	4.7
4層目	-	1.7	-	4.2
5層目	-	-1.3	-	-2.1

単位 (°C)