

立命館大学大学院 学生員○小林 香木 立命館大学 正会員 尼崎 省二

1. はじめに

構造物の補強工法として、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、シートの種類などが剥離探査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×W400 mmとし、欠陥は図-1に示すように、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作製した。シートは炭素繊維製(CFRP)およびアラミド繊維製(AFRP)を使用した。シートが目付量および厚さを表-1に示す。なお、シート界面およびシート内部の欠陥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・コンクリート界面の欠陥は、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、モデル化した。欠陥寸法は直径 10、30、50 および 100 mm、厚さを 4.5 mmとした。シート積層数は 1、3 および 5 層とした。

撮像は、10℃程度以下の低温時に日射後遮蔽過程と日陰の両者で行った。両撮像とも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。日陰実験では、供試体を日射のない場所に一日置き、供試体温度を屋外の温度変動に慣らせた後、外気温の上昇した 11 時から 15 時の間に撮像を行った。

撮像距離は、シート界面およびシート内部の欠陥供試体の場合に供試体表面全体が撮像できるように 3m とし、シート・コンクリート界面の欠陥供試体では赤外線カメラの最小検知寸法 L_{min} および撮像条件を考慮して決定した。本研究で使用了赤外線カメラのθは 1.25mrad である。

3. 実験結果および考察

3.1 日射後遮蔽過程撮像

CFRP、目付量 300g/m²シートを 5 層貼付した供試体における、3 分後の熱画像および差画像を図-3に示す。熱画像での高温部分は欠陥位置およびその形状と一致し、欠陥探査は可能であった。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。これは温度変化量のみを抽出する差画像にも現れている。樹脂量の多い部分は、熱負荷を与えると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誤診する可能性がある。しかし、図-4(a)に示すように日射遮蔽および後述する日陰撮像のように熱負荷を小さくすると、健全部での温度変化は認められない。よって、それらの高温部分は

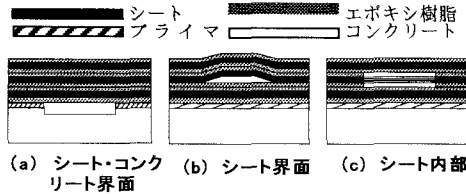


図-1 連続繊維シートの欠陥
表-1 シート目付量および厚さ

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

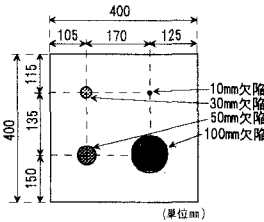


図 2 シート・コンクリート
界面欠陥の配置箇所

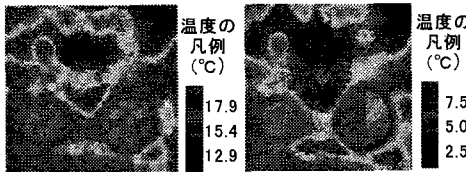


図-3 CFRP、目付量 300g/m²シート 5 層の供試体

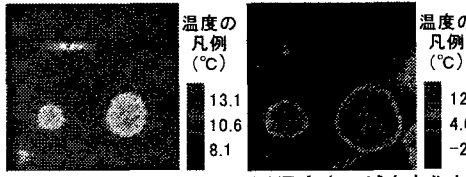


図-4 CFRP、目付量 300g/m²シートの画像

樹脂量の多い部分であると判断できる。また、図-3は健全部との温度差が小さい10mm欠陥が画像上で明確となるように表示しているため、健全部での温度変化も顕著に生じると考えられる。しかし、図-4(b)に示すように、30mm以上の欠陥を対象として、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。

図-5に、10mm欠陥の撮像限界距離 L_{MAX} とシート積層数の関係を示す。シート積層数が増加するにともない L_{MAX} は短くなる²⁾。また、AFRPに比べCFRPシートの L_{MAX} は長い傾向が得られた³⁾。

シート界面およびシート内部の欠陥供試体における3分後の健全部と欠陥部の温度差を表-2に示す。最上層のシート内部欠陥を除き、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、シート界面あるいは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。

3.2 日陰撮像

CFRP、目付量300g/m²シートを5層貼付した供試体の熱画像を図-6に示す。日射時に比べて供試体に与える熱負荷が小さいため、10mm欠陥部は健全部との温度差が小さく $L=1$ mにおいてもその形状を確認できない場合があるため、日陰撮像では30mm欠陥を対象に撮像を行った。

図-7に、日陰実験での L_{MAX} とシート積層数との関係を示す。日射中の撮像と同様に、両供試体ともにシート積層数が増加するにともない L_{MAX} が短くなる傾向が得られた。また、シートの種類の違いによる L_{MAX} の差は日射中における撮像の場合と比べて小さくなる。

シート界面およびシート内部欠陥の健全部と欠陥部の温度差を表-3に示す。両供試体とも健全部と各欠陥部の温度差は、日射後遮蔽過程の場合に比べて小さいが、欠陥形状を確認することは可能であった。

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なり、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やすくなる。しかし、熱負荷を小さくすると塗布むらの影響を軽減でき、明確な欠陥探査が可能となる。
- (2) 供試体に与える熱負荷を大きくすると、健全部と欠陥部の温度差は大きくなり、撮像できる限界の距離は長くなる。
- (3) シート界面および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。

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) 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査、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.22、No.1、pp403-408、1996 3) 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

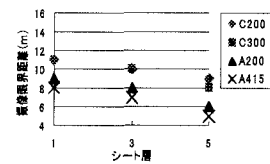


図-5 シート積層数と撮像限界距離

表-2 シート界面およびシート内部欠陥の3分後の健全部と欠陥部の温度差

欠陥	健全部と欠陥部の温度差							
	シート層間欠陥				シート内部欠陥			
	AFRP		CFRP		AFRP		CFRP	
	3層	5層	3層	5層	3層	5層	3層	5層
2層目	1.2	1.6	3.2	3.7	1.4	1.7	2.5	4.6
3層目	1.4	1.0	3.1	3.5	-1.2	1.8	-0.5	4.7
4層目	-	1.2	-	4.4	-	1.7	-	4.2
5層目	-	0.9	-	4.7	-	-1.3	-	-2.1

単位(°C)



図-6 CFRP、目付量300g/m²シート5層の熱画像

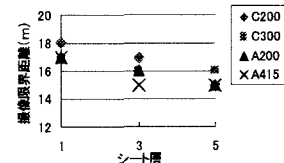


図-7 シート積層数と撮像限界距離

表-3 日陰実験におけるシート界面およびシート内部欠陥の健全部と欠陥部の温度差

欠陥	健全部と欠陥部の温度差							
	シート層間欠陥				シート内部欠陥			
	AFRP		CFRP		AFRP		CFRP	
	3層	5層	3層	5層	3層	5層	3層	5層
2層目	0.6	0.4	0.5	0.6	0.5	0.3	0.6	0.6
3層目	0.5	0.4	0.5	0.4	-0.2	0.3	-0.2	0.5
4層目	-	0.4	-	0.6	-	0.3	-	0.6
5層目	-	0.4	-	0.6	-	-0.2	-	-0.2

単位(°C)