

BFRP シートに生じた浮きのサーモグラフィによる検知に関する研究

名城大学大学院 学生会員 ○藤井 祐太
 名城大学 理工学部 山内 大雅
 名城大学 理工学部 正会員 岩下 健太郎

1. はじめに

長期供用等で老朽化した RC 構造物の補強や剥落防止を目的として、コンクリート表面に接着された FRP シートに、施工時などにシートの内側に気泡が入り、長期的な変化に伴う膨張収縮により FRP シートに浮きが生じるケースがあり、この場合には早期発見して注入等で補修することが必要である。本研究では、このような浮きの早期発見のためのセンシング技術として、コンクリートの表面剥離やコンクリート中の浮き、剥離、内部欠陥の検知に用いる方法としてコンクリート標準示方書〔維持管理編〕(土木学会編, 2013 年制定)¹⁾ に取り上げられている赤外線サーモグラフィ法に着目し、そのセンシング性を実験的に検証した。

2. 実験方法

本研究では、図-1 に示す 300mm×300mm×60mm のコンクリート板供試体を作製し、FRP シートを、部分的な浮きを模擬した 20mm×20mm×2mm の発泡ポリエチレン片を中央部に挟み、接着した上で、サーモグラフィ (InfReC Thermo FLEX F50, 日本アビオニクス株式会社製, 分解能±0.1℃) により温度分布を測定した。なお、本研究では FRP シートにバサルト繊維よりなる BFRP シートを用いた。サーモグラフィ法により BFRP シートの浮きを検知するためには、一度、ヒーター等により高温あるいは低温に変化させたうえで、ヒーター等を取り除いて常温の環境下で静置することで、サーモグラフィの測定精度を超える温度分布を生じさせる必要があることが、三井らの研究²⁾ により明らかになっている。そこで本研究では、30℃、40℃、50℃に設定した恒温槽内に供試体を 12 時間程度静置したのち、外気温環境に移動し、温度分布を生じさせた上でサーモグラフィによる測定を行った。ここで、コンクリートの表面

処理は、ディスクサンダーにより骨材が現れる程度の深さまで研削し、エタノールを浸透させた布で洗浄したうえで、プライマーとして BFRP シート接着材と同様のエポキシ樹脂を 1000g/m²/層の分量で塗布した。その後、12 時間程度、プライマーの可使時間が経過した上で、エポキシ樹脂で BFRP シートを含浸、接着した。BFRP シートとしては 0°/90°配向の 2 方向面状シートを用いた。なお、目付量

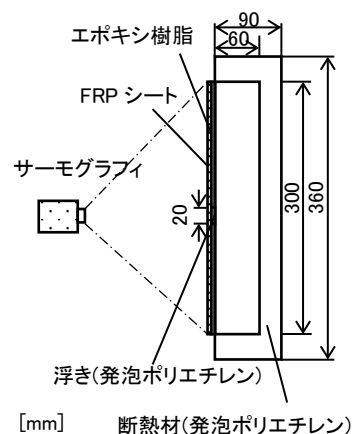


図-1 供試体の図

表-1 BFRP シートの目付量と公称厚さ

特性	バサルト繊維シート (補強グレード)
目付量(g/m ² /層)	580×2 方向(90°)=1160
公称厚さ(mm/層)	0.22×2 方向(90°)=0.44

表-2 各種物性値 (非発熱体)

対象材料	エポキシ樹脂	BFRP シート	発泡ポリ エチレン
熱伝導率 (W/m・℃)	0.1	0.0345	0.038
比熱 (kJ/kg・℃)	1.18	0.795	0.44
密度(kg/m ³)	499.2	2615	30
ヤング係数 (N/mm ²)	3430	91000	9500
ポアソン比	0.34	0.2	0.38
熱膨張係数 (×10 ⁻⁵ /℃)	8.0	0.55	14.5

表-3 物性値 (発熱体)

対象材料	コンクリート
使用セメント	普通ポルト ランドセメント
水セメント比	50%
熱伝導率 (W/m・℃)	1.4
比熱 (kJ/kg・℃)	1.05
密度(kg/m ³)	2200
ポアソン比	0.2
熱膨張係数 (×10 ⁻⁵ /℃)	1.0

と公称厚さは表-1 に示す。

サーモグラフィによる測定はコンクリート板供試体の直上 300mm の位置から行った。サーモグラフィの測定対象温度は、20℃から各供試体の恒温槽の設定温度 (30℃, 40℃, 50℃) とした。サーモグラフィにより取得した温度分布データから、各供試体の 4 隅における温度を平均した温度と FRP シートの浮きを模擬した箇所の中央部の温度の差を求めた、FRP シート浮きのセンシング精度に対する評価指標とした。

また、日本コンクリート工学会の温度応力解析プログラム JCMAC3-U を用いて FEM 解析モデルを作成し、解析的にも FRP シート浮き部分の温度分布を評価した。解析に用いた物性値を表-2 および表-3 に示す。解析モデルは 3×3mm, FRP シート浮き周辺を 1×1mm にメッシュ分割した 3 次元モデルとした。

3. 実験結果

外気温環境下に静置し、1 時間後に測定した温度分布を恒温槽の設定温度別に表-4 に示す。温度差は 1.1℃ (設定温度 30℃), 2.1℃ (設定温度 30℃), 3.3℃ (設定温度 30℃) であり、健全部と FRP シート浮き部の違いが明確に見えた。また、サーモグラフィの温度分解能 ±0.1℃ の 10 倍を超える温度差が生じており余裕をもって FRP シートの浮きを検知している。温度の違いが生じるのは、健全部と FRP シートの浮き部の熱伝導率の相違であると考えられる。

健全部と FRP シート浮き部の温度差を実験値と解析値と比較したグラフを図-2 に示す。実験値と解析値それぞれの槽内温度の違いの傾向は類似して見える。このことから、本研究における FEM 解析モデルは実際の温度分布をおおむね表現できる傾向が見られた。また、30℃程度の加温でも、約 1.5℃の温度差があり、サーモグラフィにより余裕をもって検知可能であり、実構造物への適用可能性が示唆された。

4. おわりに

本研究では、FRP シートを接着したコンクリート板を作製し、サーモグラフィによる測定により、事前に模擬した FRP シートの部分的な浮きを検知する研究を実験と解析の両面から

行い、30℃程度の加温でも、余裕をもって FRP シートの浮きを検知できる傾向が見られた。今後は FRP シートの種類や層数を考慮した実験や、解析の精度を向上する試みを進め、実構造物への適用性を高める。

参考文献

- 1) 土木学会編, コンクリート標準示方書 [維持管理編], 2013.
- 2) 三井 雅一, 福澤 公夫, 沼尾 達弥: 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, pp.107-117, 2000.

表-4 槽内温度別の温度分布 (温度レンジ: 槽内温度 - 外気温)

槽内温度	30℃	40℃	50℃
測定温度 分布 1 時間後			
解析温度 分布 1 時間後			

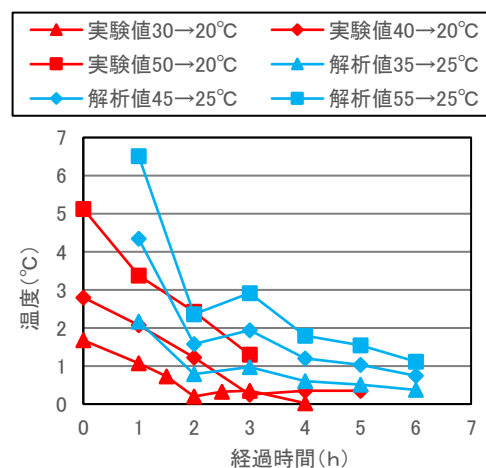


図-2 実験値と解析値の温度差 (FRP シート浮き部-健全部) 比較