

サーモグラフィー法と打音法を併用した炭素繊維シート補強コンクリートの積層間剥離評価

中央工学校 正会員 ○金光 寿一 日本大学 正会員 柳内 睦人
日本大学 学生会員 三星 智典 日本大学 学生会員 黒古 剛司

1. まえがき

現在、連続繊維シート工法の剥離検査では、検査効率の高いサーモグラフィー法が注目されている。すでに筆者らはコンクリートと連続繊維シート間に起こる剥離評価については、画像処理法として検知したい剥離寸法に対応したメッシュを貼付け、各メッシュ内の温度分布の変動係数や面積を判定指標にすることによって検知精度の向上が図れることを明らかにしてきた¹⁾。本研究では、結露や水分などの要因によって起こる接着不良が各積層間に起こった場合を想定して疑似剥離の検知を試みた。さらに、打音法を併用して連続繊維シートの振動特性の相違から剥離領域及び寸法が定量的に評価できることを明らかにしている。

2. 繊維シートの剥離パターン及び試験体

表-1 試験体一覧

試験体	剥離状態	剥離記号	剥離寸法 (cm)	積層数	打撃回数
RHR剥離	接着不良	RHR3	3×3	6	3
		RHR5	5×5		6
		RHR10	10×10		11

試験体は、RC プレキャスト版 (600 × 450 × 60mm) に高強度カーボン(以下、シートと記す) を積層数 6 枚の 1 層と 2 層間から 5 層と 6 層間まで順次各層に擬似剥離を設けたもの(以下、RHR 試験体と記す)の計 5 種類である。RHR 試験体の剥離部は、離型テープを各層のシート上に貼付け、テープの上から接着剤を塗布することで作製した。表-1及び図-1に試験体一覧と剥離の大きさ及び剥離位置を示す。なお、サーモグラフィー法による温度測定及び打撃実験は 1 週間の養生後に行った。その測定時の外気温は、20 ± 5 の範囲である。

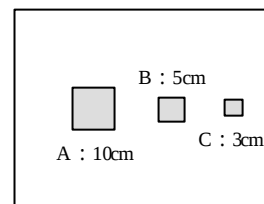


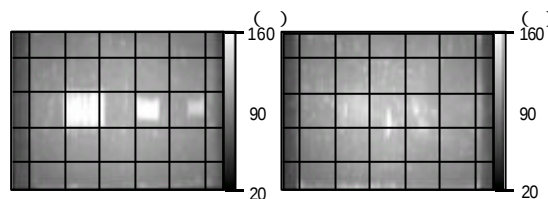
図-1 剥離位置

3. サーモグラフィー法の観測条件及び剥離判定結果

表-2 加熱による上昇温度 ()

加熱距離 (cm)	記号	加熱時間(sec)			
		30	60	90	120
50	Case1	17.62	63.53	111.47	151.14
	Case5	22.19	65.9	104.16	150.25

加熱方法は、高圧噴霧式温風ヒータを使用して加熱距離 50cm から加熱時間を 30 秒～ 120 秒まで変えて行い、熱画像への影響を検討した。また、熱赤外線センサによる温度測定は、測定距離 1.7m の位置から加熱停止直後より 3 分間連続して時系列の熱画像を得ることにした。表-2は、各加熱条件で上昇した加熱停止直後の試験体全面の平均温度である。なお、Caseの後の数字は剥離の積層位置を示すもので、シート 1 層目と 2 層目間を 1として表している。写真-1(a),(b) はCase1-120及びCase5-120における加熱停止直後に得られた熱画像である。なお、熱画像には画像処理時の判定エリアに用いる 10cm メッシュを RHR10 に対応して貼付けている。また、Case の -



(a) Case1-120 (b) Case5-120

写真-1 表面温度分布画像

の後の数字は加熱時間を示す。写真-1の熱画像を見ると、Case1 では RHR3、RHR5 及び RHR10 の剥離位置に白色の高温部が現れており、剥離を確実に確認することができる。しかし、剥離位置が表面に近い Case5 では剥離輪郭が不鮮明となり、RHR5 では誤診を起こす危険性がある。これは、熱エネルギーが剥離空隙上部に蓄積されるものの、シートは熱拡散性が高くシート表面から瞬時に放射されるためと考える。

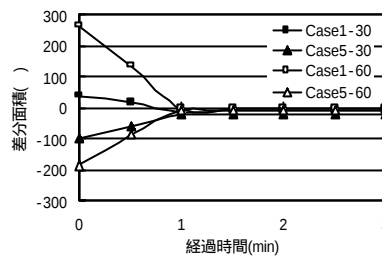
キ - ワ - ド : 炭素繊維シート、剥離評価、サーモグラフィー法、打音法、画像処理

連絡先 : 〒 114-0013 東京都北区東田端 1-8-11 中央工学校土木建設科 TEL: 03-3810-8553, Fax: 03-3810-8395

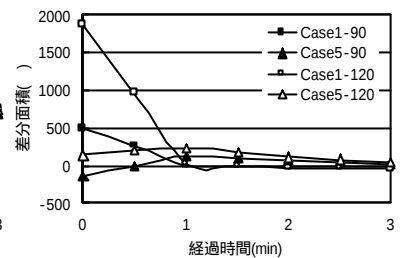
従って、事前にどの積層位置に剥離が存在するのか確認ができない以上、積層数を考慮した剥離判定時間や必要な加熱温度を設定しておく必要がある。

3.1 繊維シートの熱拡散特性と剥離判定時間及び加熱温度の選定

シートの品質・出来形検査の判断基準は、浮き、剥がれの接着不良個所が500mm角内に直径30mm程度のものが2箇所を越える場合には補修を行うことになっている。図-2(a)は、Case1-30、Case5-30 及び Case1-60、Case5-60、図-2(b)は Case1-90、Case 5-90



(a) 30及び60秒加熱



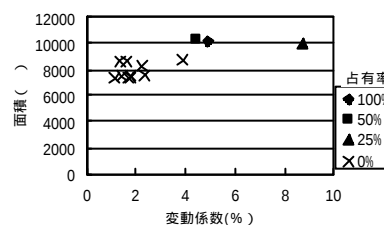
(b) 90及び120秒加熱

図-2 差分面積と経過時間の関係

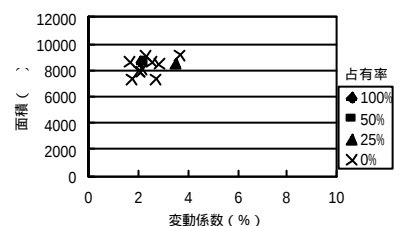
及び Case1-120、Case5-120 の熱画像に RHR3 を検出するために 3cm メッシュを貼付け、そのメッシュ内の剥離部と健全部で得られた表面温度と画素数を乗じた面積の差分を時系列で示したものである。なお、メッシュの貼付け方は、どのようにメッシュを貼付けても RHR3 が評価できるように 3cm メッシュ内の剥離占有面積を最小占有率の 25 %とした。その結果、同加熱条件では剥離がシート表面に近い位置に存在するほど相対差が極端に小さくなり、Case5 の RHR3 を検知するためには 120 秒加熱(上昇温度 150 程度)が必要であることが分かる。また、冷却時間では加熱停止直後が最も相対差が大きく定量評価には適していることが分かる。なお、RHR5 及び RHR10 は 30 秒加熱(上昇温度最 20 程度)で Case1 ~ Case5 まで最小占有率の 25 を加熱停止直後に評価することができる。

3.2 剥離の判定評価

図-3(a), (b)は、加熱停止直後の Case1-120 及び Case5-120 の熱画像に 3cm メッシュを貼付け、メッシュ内の表面温度の変動係数と面積の関係を示したものである。その結果、Case1 では健全部と剥離部の変動係数と面積は完全に分離しており、両指標から剥離を判定評価することができる。しかし、Case5 は健全部と同様の値を示しており剥離を評価することは困難である。



(a) Case1



(b) Case5

図-3 面積と変動係数を指標とした閾値処理

4. 打音法の測定条件及び剥離境界評価結果

自動剥離試験機を使用した剥離領域評価は、図-1に示す剥離中央位置を長手方向から 1cm 間隔で打撃した。その剥離境界間での打撃点の総数は、表-1に示すとおりである。図-4に、FFT 解析で得られた Case1 ~ Case5 の最大スペクトルを打撃位置毎に示す。特に、剥離位置が表面に近い Case5 の RHR3 では急激に最大スペクトルが小さくなるものの、全て接着部以上の値を示しており、剥離領域及び寸法を定量的に評価できる。

5. まとめ

本研究で得られた結果は、以下のとおりである。

- (1) 剥離を検知する場合、メッシュ毎の温度分布の相違から剥離の判定を行うことで精度の向上が図れる。
- (2) シートの積層間剥離評価では、剥離がシート表面に近くなるほど検知が困難になる。
- (3) 打音法では、接着部と剥離部の最大スペクトルの大きさを比較することで剥離領域を定量的に評価することができる。

【参考文献】(1) 金光寿一・柳内睦人：打撃法による炭素繊維シート補強コンクリートの剥離評価コンクリート工学年次論文集, Vol.22, No.1, pp.379-384, 2000.7

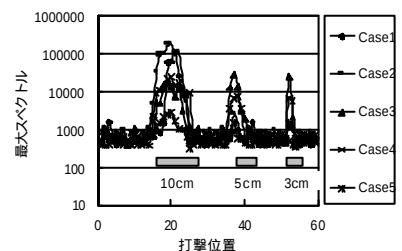


図-4 最大スペクトルによる領域評価