

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

近年、コンクリート構造物の補強方法として連続繊維シート工法が採用されている。しかし、接着施工のために剥離を起こす危険性がある。そこで、本研究では打音法から剥離と完全接着された炭素繊維シート（以下、シートと記す）の表面振動によって生ずる振動特性の相違から剥離領域が定量的に評価できることを明らかにした。この検知手法は、まず検査の効率化を図るために、サーモグラフィー法を採用して剥離の有無の確認を行い、その画像処理によって現れた剥離箇所の周辺部を打撃することで剥離の境界評価を行うものである。また、サーモグラフィー法での剥離判定評価では、精度の向上を図るために熱画像内の試験体に検知したい剥離寸法に対応したメッシュを貼付け、各メッシュ当たりの温度分布のばらつきから検討した。

2. 繊維シートの剥離パターン及び試験体

試験体は、高強度カーボンを RC プレキャスト版 (600 × 450 × 60mm) に完全接着させたもの（以下、RC 試験体と記す）と、コンクリート表面とシート間に 2 パターン及び各積層間に 1 パターンの疑似剥離を設けたものの計 4 種類を作製した(表-1 参照)。

RH 試験体の剥離部は、コンクリート表面にエポキシ系接着剤を塗布しないことで作製し、RH 及び RHR 試験体の剥離部は離型テープをコンクリート表面及び各層シートに貼付け、テープの上から接着剤を塗布することで作製した。また、シートの貼付け枚数は、今回使用した打撃試験機のエネルギーの関係から RG 試験体は 5 層まで、RH 及び RHR 試験体は 6 層までとし、各層 1 週間の養生後にサーモグラフィー法による温度測定及び打撃試験機による打撃実験を行った。なお、評価したい剥離の大きさは 3 × 3cm 及び 10 × 10cm の正方形とした(図-1 参照)。

表-1 試験体一覧

試験体	剥離状態	記号	剥離寸法 (cm)	積層数	打撃回数
RC接着	—	RC	—	1～6	9
RG剥離	含浸不良	RG3	3 × 3	1～5	3
		RG10	10 × 10		7
RH剥離	接着不良	RH3	3 × 3	1～6	3
		RH10	10 × 10		11
RHR剥離	接着不良	RHR3	3 × 3	1～6	3
		RHR10	10 × 10		11

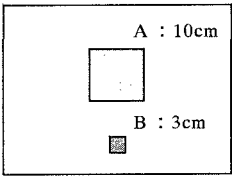


図-1 剥離位置

3. サーマグラフィー法の観測条件及び剥離判定結果

実験に用いた試験体は、サーモグラフィー法にとって最も検知が困難と考えられる剥離が小さく深い RH 接着不良試験体を対象とした。加熱方法は、高圧噴霧式温風ヒータを使用して加熱距離は 50cm と 100cm から、加熱時間は 30 秒～ 180 秒まで変えて行い、熱量の強弱が熱画像にどのような影響を与えるのかを検討した。また、熱赤外線センサによる温度測定は、測定距離

表-2 上昇温度 (RH試験体)

記号	積層数	加熱時間 (sec)				
		30	60	90	120	180
CaseS1	1	30.5	54.5	64.0	—	—
CaseS3	3	37.4	54.5	85.0		
CaseS6	6	28.6	55.5	80.5	—	—
CaseL1	1	—	33.2	—	55.9	62.9
CaseL3	3	—	49.5	—	49.5	74.1
CaseL6	6	—	31.6	—	43.5	70.1

※加熱距離 S:50cm,L:100cm

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 RH 試験体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。また、図-2(a)～(b)には CaseL6-60 及び CaseL6-180 における加熱停止後 1 分経過時に得られた熱画像を示す。なお、ここに示す CaseL の後の数字は積層数を、—の後は、加熱時間を表す。図-2の熱画像を見ると、いずれも 10cm の剥離を有するシー

キーワード：サーモグラフィー法、打音法、炭素繊維シート、剥離評価

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

ト表面には、剥離の境界を明確に判読するまでには至らないまでも、白色の高温部が現れており、6層までは確実に剥離を検知することができる。しかし、3cm剥離は、いずれの加熱条件においても3層以上では視覚的な確認は困難であった。その剥離の有無の判定評価では、精度の向上を図るために熱画像内の試験体に検知したい剥離剥離寸法に対応したメッシュを貼付け(図-2 参照)、各メッシュ当たりの平均温度差や温度分布のばらつきを示す度数分布曲線の相違から検討した。まず、剥離が検知可能な冷却時間と必要な上昇温度の関係では、6層では1分経時の30℃程度が剥離部に温度差を生じさせる最小の上昇温度と思われる。

一方、実現場では剥離部に合わせてメッシュを貼付けることは困難である。そこで、剥離部に対してメッシュがずれた場合について度数分布のばらつきを示す変動係数と面積との関係から検討した(図-3 参照)。なお、図中の剥離0%の11個のデータは、剥離部以外のメッシュで得られたものである。図-3から、6層の剥離3cm(CaseS6-90-3)は誤診を起こす可能性もあるが、10cmでは6層まで確実に度数分布曲線の面積を指標として剥離を抽出することができる。

4. 打音法の測定条件及び剥離境界評価結果

打撃試験機を使用して行った打撃点の総数は、図-4及び表-1に示すとおりである。

図-5は、比較対象となるRC試験体の4層中央部を打撃して得られた周波数分布である。図-6及び図-7は、RC、RG、RH及びRHR試験体の10cmで得られた最大スペクトルである。

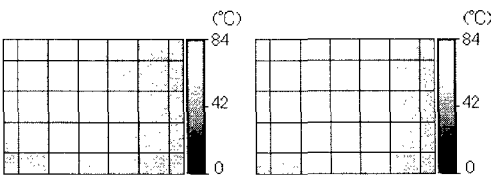
剥離中央付近では、RC試験体の最大スペクトルとほぼ同様な値

を示すものが現れるが、このような位置については多方向からの打撃や打撃点両側の値から剥離の連続性は評価できるものとする。なお、RG10の2打点目に変化が現れていないのは、エポキシ樹脂がシート貼付け施工時に剥離内部まで入り込んだためと考える。

5. まとめ

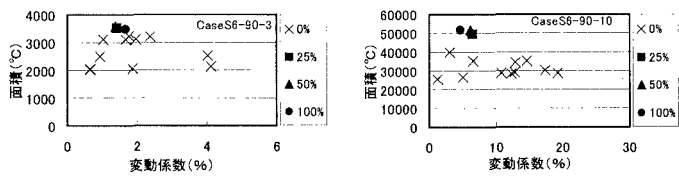
本研究で得られた結果は、以下に示すとおりである。

(1)熱画像から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った方がより検知精度の向上が図れる。(2)打音法では、完全接着と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。



(a) Case L6-60 (b) Case L6-180

図-2 表面温度分布画像



(a) Case S6-90-3 (b) Case S6-90-10

図-3 変動係数と面積の関係

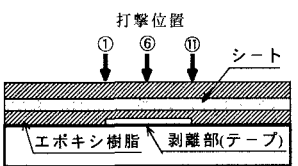


図-4 打撃位置 (RH試験体)

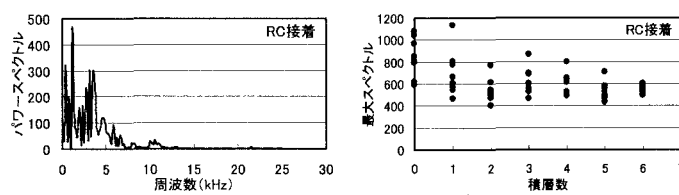
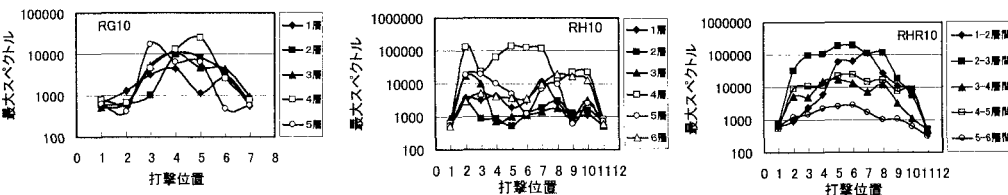


図-5 周波数分布 (RC試験体) 図-6 最大スペクトル (RC試験体)



(a) RG試験体 (RG10) (b) RH試験体 (RH10) (c) RHR試験体 (RHR10)

図-7 最大スペクトルの相違