

改良型熱可塑樹脂と IH を用いた炭素繊維シートとコンクリートの接着特性

秋田大学 正会員 ○徳重英信, 秋田大学 非会員 村岡幹夫
 秋田大学 非会員 寺境光俊, 北海学園大学 正会員 高橋良輔
 秋田大学 非会員 山下剛司, (株)三栄機械 非会員 野口洋介

1. はじめに

炭素繊維 (CF) シートや CF ロッドをコンクリートの補修・補強に用いる場合、樹脂強化や接着のためには熱硬化性エポキシ樹脂が一般に多く用いられている。一方、近年、熱硬化性樹脂より安価である熱可塑性エポキシ樹脂を用いて成型した CFRP シートやロッドを用いた補強方法に関する研究¹⁾も行われてきている。本研究では熱可塑性エポキシ樹脂自体を低粘性化や不織布化などによる改良を行い、さらに電磁誘導加熱(IH)技術等により、低温・高湿度環境下での補修・補強工法への適用が期待できる新たな接着工法を開発し、その基礎的な接着特性について明らかにすることを目的とした。

2. 実験概要

2.1 改良型熱可塑性樹脂の概要

本研究では市販の熱可塑性エポキシ樹脂を秋田大学で改良を行ったものを用いた。市販のものも加熱によって可塑化するが、特に粘性と温度を含めた品質安定の制御が難しい。本研究ではコンクリートの品質変化に影響ない温度として 250°C以下で適切な含侵が期待できる粘性に制御するために、溶剤等の種類を変えながら分子量を制御した。樹脂粘性と温度の関係の一例を図-1 に示す。本研究では溶剤の種類や分子量をパラメータとし後述する Step1 以降の実験に用いた。

2.2 IH 接着工法の概要

上述の樹脂を熱可塑化しコンクリート供試体に接着させるために、本研究では電磁誘導加熱 (IH) と負圧によって加圧成型する IH バギング工法を改良しながら、コンクリートに図-2 の様に CF シートを接着している。

2.3 コンクリートとの接着性能評価試験

接着性能評価に用いたコンクリート供試体の圧縮強度は 30MPa 程度であり、200×200×20mm の平板の中央に 40×40mm 程度の CF シートを前述の樹脂と IH 加熱を用いて貼り付け、建研式付着試験機を用いて付着破壊荷重の測定と破壊モードの確認を行った。

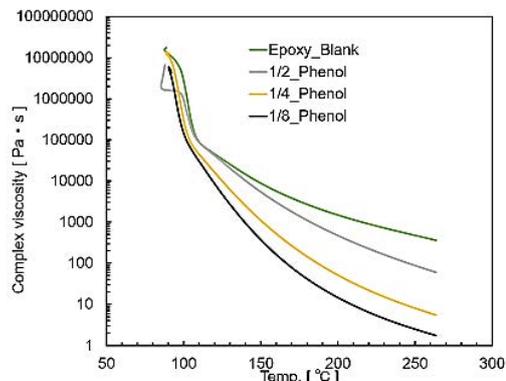


図-1 樹脂粘性と温度の関係例

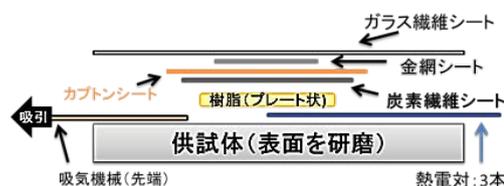


図-2 炭素繊維シート接着方法概念図

3. 実験結果

一般の熱硬化性エポキシ樹脂を用いた CF シートの付着強度試験を行った結果より、以降の付着試験での目標破壊荷重を 4.0kN とした。なお、以下の各 Step における検討結果を図-3 にとりまとめて示している。

Step 1 NMP 添加の影響

溶剤に NMP (N-メチル-2-ピロリドン) を用いた改良熱可塑性樹脂を用いた結果を図-3 に示す。NMP の配合要素を熱可塑エポキシ樹脂に対して調整し、エポキシ分子量を 140×102 (NMP140), 60×102 (NMP60) と調整した。NMP60 では接着強度が低下したが、NMP140 は目標強度に近い破壊荷重で再現性が確認でき、付着性能の確保が期待できることが明らかとなった。

Step 2 NMP からビスフェノールへの変更

Step 1 においては熱可塑性樹脂に NMP を添加して粘性を低下させ、さらに付着強度も確保可能である目途がついた。しかし NMP は廉価とはいえ、さらに反応安定性に乏しくハンドリングが困難であり、有害物質

キーワード 熱可塑性樹脂, 付着強度, 電磁誘導加熱, 炭素繊維シート, コンクリート, 不織布

連絡先 〒010-8502 秋田県秋田市手形学園町 1-1 秋田大学 大学院理工学研究科 Tel : 018-889-2367

としての懸念もあることから、実用化を想定した作業環境安全性の観点からも他の添加物の検討が必要となった。そこで、Step 2としてビスフェノール A を添加剤として用い、分子量の調整による粘性制御を行った4種類の改良型熱可塑性エポキシ樹脂を用いて付着性能評価を行った。樹脂の種類は、Full (エポキシのみ)、エポキシ+フェノール 1/2、エポキシ+フェノール 1/4、エポキシ+フェノール 1/8 の4種類であり、“フェノール 1/4”とは樹脂全体のうち樹脂成分が 1/4 でフェノール分が 3/4 という意味であり、1/8 が最も粘性が低く分子量も低下する。図-3 に示す付着試験の結果より、目標付着強度 (4.0kN) を上回るものはなかったが、Full→1/2→1/4→1/8 と粘性の低下に伴い付着強度が増加する傾向が明らかとなった。

Step 3 ビスフェノール添加樹脂の分子量改善効果

Step 2 の結果からエポキシ(フェノール 1/8)に近い粘性を保ち、かつ強度が高くなるよう分子量を調整した2種類の樹脂 bisA30(分子量 11000)、エポキシ bisA20 (分子量 18000)を用いて付着試験を行った結果を図-3 (橙) に示す。bisA30 および bisA20 とともに、Step 2 での 1/8 フェノールに近い値を示したが強度向上が必要である。

Step 4 プライマー塗布の効果

Step 3 までの実験においては、プライマーの塗布を行っていない。そこで本 Step では、強度安定化と向上のために、Step 3 で使用した bisA20 樹脂を溶剤に溶かして液状にしたプライマーを製造した。このプライマーを供試体表面に塗布後、樹脂プレートと CF シートに IH 加熱を行った結果、接着強度試験結果は図-3 (赤) に示すとおり、接着強度の安定化と接着強度の向上が認められた。しかし、Step 1～本 Step までの IH 接着時間に 30 分程度費やす必要があることから、この段階では実際の技術として用いるには現実的ではなく、樹脂成分や常温時固体形状の改良が課題として認められた。

Step 5 樹脂の不織布化による接着性能の改良

接着時間の短縮や、各種施工状況(屈曲部への接着)などの課題を解決するため、Step 4 で用いたビスフェノール添加樹脂 (bisA20 : 分子量 18000) をメルトブローン法により不織布化した樹脂を用い、本 Step で性能評価を行った。bisA20 は図-4 に示すとおり、常温ではプレート状であり、これを熱可塑化して用いていたが、本 Step では、これを不織布化している。なお、樹脂の不織布化に伴い、IH 加熱時の電源出力やバギング時の使用

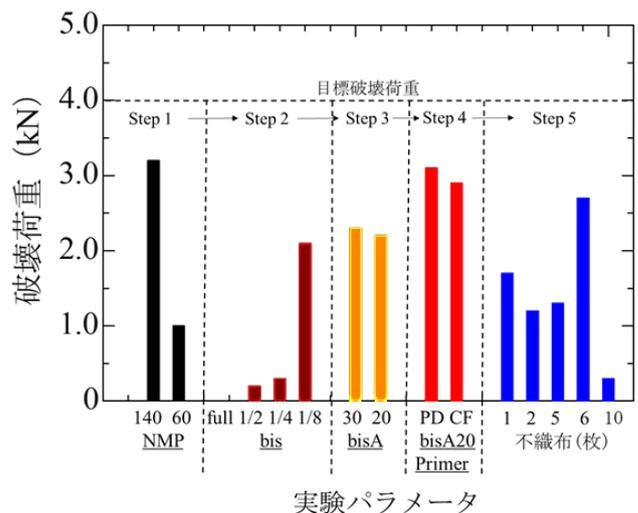


図-3 各実験 Step における付着試験結果



写真-1 熱可塑性樹脂 (プレート型と不織布型)

材料等も一部変更している。付着強度試験結果を図-3 (青) に示す。樹脂を不織布化したため、IH 加熱時でのコンクリート表面温度に保温効果が現れ、結果として加熱時間の大幅な短縮(一供試体付着面積あたり 2 分程度)に繋がることが明らかとなった。さらに図-3 に示すように不織布枚数の増減が樹脂量の最適化にも繋がることが明らかとなり、付着荷重安定も認められた。

4. まとめ

本研究では、熱可塑性エポキシ樹脂の改良と、IH バギング法との組み合わせによる接着工法の開発を用い、コンクリートと CF シートの接着性能に関する基礎的な検討を行った。今後は樹脂自体の改良による接着性能性能向上の検討を続け、梁供試体等を用いた曲げ補強効果の検討を行う予定である。

参考文献

例えば、1) Md. Golam MOSTOFA et al. : Flexural Strengthening Effect of RC Beam by Hybrid Bonding Method using Thermoplastic CFRP, 第 8 回 FRP 複合構造・橋梁に関するシンポジウム講演概要集, pp.77-86(2020)
謝辞 実験遂行にあたり秋田大学卒業生 平澤悠亜氏に多大な助力を得ました。ここに謝意を表します。