

連続繊維シート接着用常温硬化型耐熱速硬化エポキシ樹脂の開発

日本大学 学生会員 ○小森 篤也

日本大学 正会員 阿部 忠

新日鉄住金マテリアルズ株式会社 正会員 秀熊 佑哉

1. はじめに

連続繊維補強材を用いる補修補強法には、現場で含浸接着作業を行う連続繊維シート型（以下 CFS という）と、工場で含浸がなされ、接着のみを行うストランドシート型（以下 CFSS という）、同じく接着のみを行うプレート型のものがあり、各々施工方法が異なる。本研究では、含浸作業が不要で接着のみで施工可能な、CFSS 及びプレートをコンクリートおよび鋼構造物に接着することを想定し、耐熱性と速硬化性能を高め、適応環境温度の拡大および工期短縮に有効な、耐熱・速硬化を有する常温硬化型エポキシ樹脂（耐熱速硬化型エポキシ樹脂）を開発したので報告する。

2. 従来品のエポキシ樹脂と耐熱速硬化型エポキシ樹脂

従来から、常温硬化型エポキシ樹脂を使用し、CFSS、プレート等の連続繊維シート接着工法が施工されているが、下地処理、材料の混合攪拌、張付作業、硬化養生の各工程で種々の課題が指摘されている。施工・養生時間に着目すると、工場設備等の定期修繕・道路橋上面での施工などの、限られた時間で、短時間施工が要求されることも多くあり、さらに、多数積層が要求される場面では、養生時間の制限で、施工を行う事ができないことがあった。そこで、従来型エポキシ樹脂で問題となるのが、施工後 8 時間から 12 時間程度の初期養生時間である。さらに、施工条件も様々であり上向きでの施工では、積層数を重ねる際、各々の段階で初期硬化を待ち、積層をおこなわないと CFSS 自重による剥がれ、浮きが懸念される。

そこで、開発する耐熱速硬化エポキシ樹脂は、従来品の性能・作業性は同等で、硬化時間を極端に短縮させ、樹脂を混合し、貼り付け施工を行った後、3 時間程度で初期硬化させ、解放・供用可能なエポキシ樹脂を目標とする。

さらに、一つの課題として、高温環境が多い工場内部などでの施工、夏季直射日光下の鋼材などの表面は施工後、接着面が高温になることもあり 70℃以上の耐熱性能が要求される。一般にエポキシ樹脂に耐熱性を付与すると硬化したエポキシ樹脂同士の塗り重ね時の接着性が低下するが、本開発では、従来のエポキシ樹脂と同等の性能を目標とし、層間での接着性能も考慮した樹脂組成とする。

樹脂組成は、従来のビスフェノール A 型エポキシ樹脂をベースに使用し、耐熱性能を向上させるため耐熱温度の高い樹脂成分を添加している。硬化剤の組成は、硬化速度に関係する触媒の検討および、高いガラス転移点温度（以下 T_g という）と、低温での塗り重ね性能を有する変性ポリアミンを使用した組成とする。粘度及びチクソトロピックインデックスの設定は、CFSS 及びプレートでの施工を前提とするため、パテ状で従来品と変わらないものとする。

3. 評価方法

樹脂硬化後の耐熱性は、ISO 11357-3 の示差走査熱量測定法（以下 DSC 法という）を用い、10℃/分の昇温速度にてセカンドスキンのチャートの変局点から T_g を読み取り樹脂軟化開始温度を評価した。また JSCE-E-545-2007¹⁾ に準拠する付着試験にて使用限界温度を求めた。硬化時間に関しては、温度上昇法による可使時間の測定と、指触により、初期硬化の時間を求めた。また試験片作成時には、併せて施工性の評価もおこなった。開発した樹脂の強度特性については圧縮強度・圧縮弾性係数・引張せん断強度を測定し従来品と比較した。

キーワード 連続繊維シート, エポキシ樹脂, 速硬化, CFSS, 耐熱性

連絡先 〒275-8575 千葉県習志野市泉町 1-1 日本大学大学院 生産工学研究科 土木工学専攻 TEL 047-474-2459

4. 評価結果

DSC 法による Tg 測定結果を図-1 に示す。本評価方法における Tg は 82℃であった。この時点で、硬化後の耐熱性能は 80℃近辺であることが、おおむね予想され、以後の試験評価は 80℃を上限として評価を行う。

硬化性能の評価では、23℃における、可使時間は 37 分、初期硬化時間は 180 分であった。これは 180 分後には繰返し施工することが可能となる。

パテ状の接着剤のため、従来品でもパテ状の粘性をもつため、一度に CFSS を 3 層程度の施工は可能であるが、鋼構造物などへの施工の場合、更に多くの積層を重ねる場合があり、このような場合でも、3 層積層ごとに長い養生時間を必要とせず、180 分程度の初期養生で施工をくり返し実施することができる。

熱硬化性樹脂であるエポキシ樹脂は、発熱をもって硬化するため、多積層の場合その厚みから、さらに発熱が助長され、早期に硬化させることができる。

測定した温度別の付着強度についての従来樹脂、耐熱樹脂の比較を図-2 に示す。試験は n=3 とし、平均値を求めた。

そして、付着試験結果では、80℃の温度環境でも常温と変わらない性能を発揮する事を確認し、DSC による Tg 測定結果とおおむね一致した。

付着試験は、各温度で 6 時間以上静置し、コンクリート・接着面・接着試験治具の全体の温度が均一になっている事を確認し、試験を行った。従来型のエポキシ樹脂は、60℃近辺から付着強度が低下しはじめ、70℃では規格を満足させられない結果となり、70℃では破壊の場所もコンクリート破壊から、コンクリート接着界面への剥離と変化する。速硬化耐熱型の樹脂は 80℃環境でも下地コンクリートから破壊し、樹脂軟化による性能低下は見られなかった。

樹脂単体の機械的物性を表-1 に示す。従来型・耐熱速硬化型の比較を行い、従来使用してきたエポキシ樹脂と、耐熱速硬化型のエポキシ樹脂の、各種物性は遜色ないことが確認される。

5. まとめ

開発した耐熱速硬化エポキシ樹脂は、速硬化性能と耐熱性能を持ち合す、常温硬化型エポキシ樹脂パテ剤であり、速硬化性能は、工期短縮および交通規制時間の短縮に、耐熱性能は、工場メンテナンスや鋼構造物への補修・補強に対応でき、連続繊維シートの種類としては CFSS とプレート接着工法に適応可能である。

CFS への施工は、現場含浸の必要性のため、エポキシ樹脂での速硬化性能は期待できないが、耐熱性能を向上させることも今後の課題としたい。

参考文献

- 1) 連続繊維シートとコンクリートとの接着試験方法（案）：コンクリート標準示方書基準編，pp.159-161, 2007, 土木学会

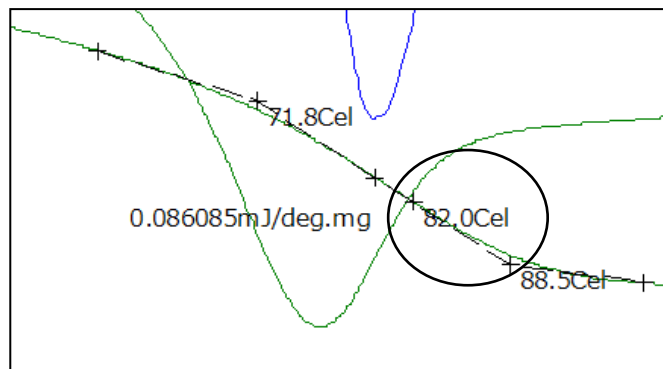


図-1 DSC 法によるガラス転移点温度測定結果

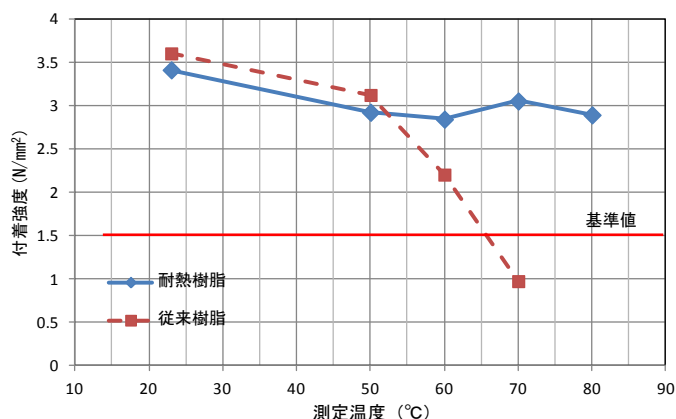


図-2 JSCE-E-545 による温度別付着試験結果

表-1 樹脂物性の比較

試験項目	耐熱速硬化樹脂	従来型樹脂	試験方法
硬化物比重	1.25	1.45	JIS K 7112
可使時間(分)	37.0	47.0	温度上昇法
初期硬化時間 (時間)	3.0	8.0	指触確認
圧縮強度 (N/mm²)	79.0	76.0	JIS K 7181
圧縮弾性係数 (N/mm²)	2,934	3,950	JIS K 7181
引張せん断強度 (N/mm²)	23.8	25.0	JIS K 6850