

MMA 樹脂の CFRP 接着工法への適用

九州大学工学部 学生員 牛込 敏幸
ショールド建設㈱ 正会員 岳尾 弘洋
日鉄コンポジット㈱ 正会員 斉藤 誠

九州大学大学院 正会員 鶴田 浩章
九州大学大学院 学生員 佐川 康貴

1. はじめに

一般的に炭素繊維シートを用いた補強工法では、含浸接着剤としてエポキシ樹脂が用いられているが、5℃以下の環境下では硬化不良を起こすことが知られている。一方、MMA 樹脂はエポキシ樹脂に比べ低温での硬化特性が優れており、硬化時間が短いことより緊急工事への適用も期待されている。しかしながら、予備実験として本実験と同様の両引き実験を行なったところ、MMA 樹脂を用いた場合の剥離時付着強度はエポキシ樹脂の場合に比べて低いことが確認された。よって剥離時付着強度を上げるために各種物性を変えたプライマーを用いて両引き実験を行ない、その効果を確認した。また、RC 梁の曲げ実験も行なったのであわせて報告する。

2. 実験方法

(1) 供試体

図-1 に両引き実験供試体の概略図を示す。無筋コンクリート供試体に幅4cm のシートをエポキシ樹脂仕様、予備実験で用いた MMA 樹脂仕様、プライマーの物性を変えた MMA 樹脂仕様により接着した(以下それぞれの供試体をエポキシ、MMA、改良 MMA とする)。また片側で破壊するように測定側と補強側に区別し、補強側には軸方向に繊維が配列されるようシートを増貼した。梁の曲げ実験の供試体概略図を図-5 に示す。エポキシ樹脂仕様、改良 MMA 樹脂仕様により梁底面にシートを接着した。使用したシートの物性は、弾性係数 $2.30 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ 、引張強度 $3.48 \times 10^3 \text{N/mm}^2$ 、目付量 300g/m^2 である。両引き実験に用いたコンクリートは、W/C=55%、粗骨材最大寸法 20mm、スランプ8cm 空気量4%で圧縮強度30MPa を目標として作製した。曲げ実験では呼び強度 27、スランプ 10cm のレディーミクストコンクリートを用いた。

(2) 実験要因

両引き実験の実験要因を表-2 に示す。室温の供試体は、28 日間湿潤養生した供試体に室温(20℃)の温度環境下のもとでシートを貼り付け、さらに1週間室温養生したものである。低温の供試体は、28 日間湿潤養生した供試体に低温(2℃)の温度環境下でシートを貼り付け、さらに1週間低温養生したものである。両引き実験および曲げ実験は室温で行なった。

(3) 実験方法および測定項目

両引き実験は載荷速度 0.15mm/min.で行なった。荷重はロードセルから読み取り、最大荷重を測定し、またシートの表面にひずみゲージを

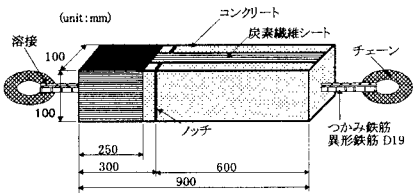


図-1 両引き実験供試体概略図

表-1 各プライマーの物性 (単位 N/mm²)

プライマー名	弾性係数	曲げ強度	引張強度
エポキシ	3633.8	102.3	34.8
MMA	2796.9	57.0	15.9
改良MMA	882.0	72.2	33.3

表-2 両引き実験結果

実験要因	最大荷重 (kN)	破壊形態
エポキシ 室温	① 29.1	荷重29.1kNでつかみ鉄筋先端部位置にひび割れが発生し、そのひび割れからもノッチ部に向かい剥離進行。片面全面剥離。
	② 26.2	荷重25.8kNでつかみ鉄筋先端部位置にひび割れが発生し、そのひび割れからもノッチ部に向かい剥離進行。片面全面剥離。
	③ 26.8	荷重26.6kNでつかみ鉄筋先端部位置にひび割れが発生し、そのひび割れからもノッチ部に向かい剥離進行。両面全面剥離。
MMA 室温	① 19.5	片面全面剥離
	② 15.8	片面全面剥離
	③ 17.3	両面全面剥離
改良MMA 室温	① 21.6	両面全面剥離
	② 19.3	補強部が引き抜け試験終了
	③ 20.2	両面全面剥離
MMA 低温	① 17.6	片面全面剥離
	② 16.1	補強部が引き抜け試験終了
改良MMA 低温	① 18.4	両面全面剥離
	② 17.3	両面全面剥離
	③ 18.4	両面全面剥離

貼り付けひずみの変化および破壊形態も測定した。曲げ実験は中央一点載荷で行ない、中央点側面に変位計を取り付け各荷重時のたわみを測定した。

3. 実験結果および考察

(1) 両引き実験

図-2に各供試体別最大荷重の平均値を示す。また、シート表面のひずみゲージより算出した最大付着応力および付着抵抗長さの最大値、最小値そして平均値をそれぞれ図-3、図-4に示す。剥離形態はエポキシがコンクリート表面部の凝結せん断剥離、MMA および改良 MMA は含浸接着剤とプライマー間の界面せん断剥離であった。

図-2において室温での各仕様の最大荷重を比較すると、MMA よりも改良 MMA の最大荷重が 10%大きくなっている。これは図-4に示す有効付着域が(8cm)が変化していないにもかかわらず、図-3に示す最大付着応力が大きくなっていることにより説明できる。ちなみに、付着有効域、最大付着応力が最大であるエポキシは最大荷重も大きくなっている。

また、図-2において低温での各 MMA 仕様を比較すると、いずれの仕様とも室温での MMA と同様の最大荷重を示している。エポキシ樹脂が本実験では、低温時硬化しなかったことを考慮すると、MMA 樹脂は十分な低温硬化特性を持っているといえる。これは、MMA 樹脂の反応が温度依存性が低く、いったん硬化反応が始まれば連鎖的に進行する反応形態であることによる。

(2) 曲げ実験

図-6に各曲げ供試体の荷重-スパン中央たわみ関係を示す。シート補強供試体は、無補強供試体に比べひび割れ発生荷重、鉄筋降伏荷重は大きくなった。改良 MMA はエポキシと同一ような荷重-たわみ関係を示し、最大荷重はエポキシの 93%であった。これより、曲げ破壊に対して改良 MMA はエポキシとほぼ同等の補強効果があるといえる。

また、改良 MMA の荷重-スパン中央たわみ曲線において剥離が段階的に進行するポップイン現象¹⁾が明確に見られた。これは MMA プライマーの弾性係数を小さくしたために、段階的に剥離が進行した結果と考えられる。

4. まとめ

本研究で得られた結論を以下に示す。

- (1) 両引き実験より、プライマーの物性を改良することで、MMA 樹脂仕様のシート剥離時付着強度を向上させることが出来た。
- (2) MMA 樹脂は十分な低温硬化特性を持っている。
- (3) 曲げ実験より、MMA 樹脂を使用したシート接着補強効果はエポキシ樹脂を使用したものとほぼ同等であることが認められた。

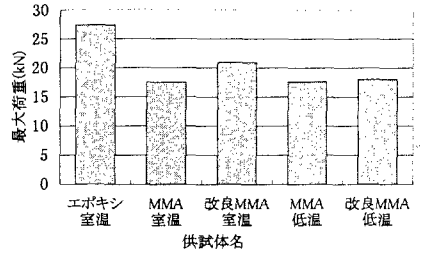


図-2 供試体別最大荷重の平均

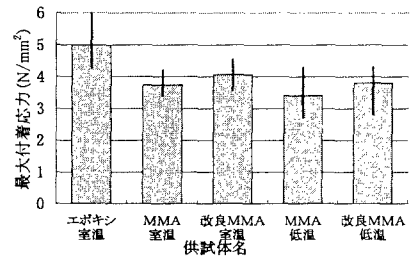


図-3 供試体別最大付着応力

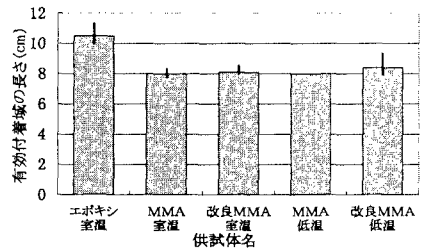


図-4 有効付着域の長さ

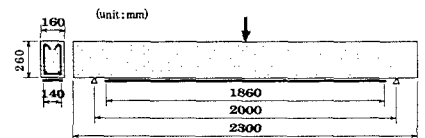


図-5 曲げ実験供試体概略図

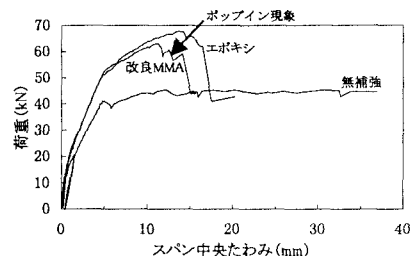


図-6 荷重-スパン中央たわみ関係

参考文献: 1) 武田浩二ほか、炭素繊維シートによる鉄筋コンクリートはりの曲げ補強効果、セメント・コンクリート論文集、No.49、pp.886-891、1995