

各種接着剤を用いた積層した CFRP スtrandシートとコンクリートの付着特性

(株) 仲田建設 正会員 ○大野 智恵
九州大学大学院 正会員 山口 浩平
新日鉄マテリアルズ(株) 正会員 小森 篤也

九州大学大学院 フェロー会員 日野 伸一
九州大学大学院 学生員 杵山 功樹
(株) さとうベネック 正会員 中村 智

1 はじめに

CFRP スtrandシート(以下, スtrandシート)工法は, 工場にて樹脂を含浸・硬化させた連続繊維スtrandをすだれ状にシート化し, 接着剤により構造物に貼付する, 部材の曲げ補強工法である. 従来の連続繊維シート接着工法と比べて, プライマー, 不陸修正および樹脂の含浸が不要であり, 施工性が向上する.

本研究では, 接着剤として従来のエポキシ樹脂に加え, MMA 樹脂, ポリマーセメントモルタル(以下, PCM), 打継剤併用型ジェットセメントモルタル(以下, JCM)を用いた場合の積層したスtrandシートとコンクリートの付着特性及び有効付着長について検討した.

2 試験概要

表-1 にスtrandシート, 接着剤およびコンクリートの材料特性を示す.

表-1 材料特性

a) CFRP スtrandシート

繊維種類	繊維目付量 (g/m ²)	厚さ (mm)	引張強度 (N/mm ²)	引張弾性係数 (N/mm ²)
高強度型炭素繊維	600	0.333	3,400	2.45 × 10 ⁵

b) 接着剤

接着剤	引張強度 (N/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)	引張せん断強度 (N/mm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)	圧縮弾性係数 (N/mm ²)
エポキシ樹脂	35.8	58.8	25.8	78.3	3,970
MMA樹脂	43.0	71.0	22.0	79.0	2,500
PCM	-	6.50	-	13.2	-
JCM	-	9.50	-	53.4	-

c) コンクリート

圧縮強度(N/mm ²)	弾性係数(N/mm ²)
37.1	2.69 × 10 ⁴

表-2 試験体種類

試験体名	接着剤	層数(層)	付着長(mm)	特長
EP1	エポキシ樹脂	1	280	従来型
EP2		2	280	
EP3		3	280	
MMA1	MMA樹脂	1	280	早期硬化型
MMA2		2	280	
MMA3		3	280	
PCM1	PCM	1	280	湿潤環境型
PCM2		2	280	
JCM1	JCM	1	280	早期硬化型

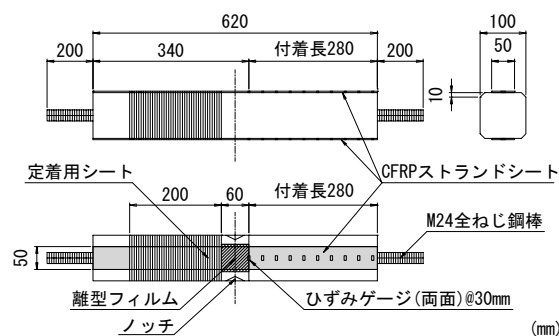


図-1 試験体概略図

連続繊維シートとコンクリートの付着試験方法

(案)JSCE-E543-2007¹⁾に準拠し付着強度試験を行った.

試験体概略図を図-1, 試験体種類を表-2 に示す. ひずみゲージは離型フィルムの端部から 30mm ピッチで貼付し, スtrandシートの軸方向のひずみを計測した.

3 試験結果および考察

3.1 界面剥離破壊エネルギーおよび付着強度

試験結果を表-3 に示す. 全試験体で片側のコンクリートとスtrandシート界面での剥離破壊を呈し, 剥離面は, スtrandシートにコンクリート表面が薄く付着した状態であった. 界面剥離破壊エネルギー G_f および付着強度 τ_{max} は, JSCE-E543-2007¹⁾に準じて式(1), (2)を用いて算定した.

$$G_f = \frac{P_{max}^2}{8b^2 E_f t} \quad (1)$$

$$\tau_{max} = \frac{P_{max}}{2bl} \quad (2)$$

P_{max} : 最大荷重(N), b : シートの幅(mm)

E_f : 弾性係数(N/mm²), t : 厚さ(mm),

l : 試験部分における有効付着長(mm)

表-3 付着試験結果

試験体名	P_{max} (kN)	G_f (N/mm)	τ_{max} (N/mm ²)
EP1	42.1	1.09	1.51
EP2	51.7	1.65	1.84
EP3	56.7	1.97	2.02
MMA1	36.0	0.802	1.29
MMA2	42.3	1.10	1.51
MMA3	47.1	1.37	1.68
PCM1	35.4	0.768	1.27
PCM2	45.1	1.25	1.61
JCM1	48.2	1.44	1.72

※全てn=3体の平均値である。

炭素繊維シート 1 層のコンクリートとの界面剥離破壊エネルギーは一般に 0.5 N/mm であり²⁾、各接着剤においてこれを上回った。また、付着強度に関しても、繊維材シートの設計用付着強度(0.44 N/mm^2)³⁾を満足した。各接着剤に関して界面剥離破壊エネルギーで比較を行えば JCM, エポキシ樹脂, MMA 樹脂, PCM の順に大きくなり、さらに、ストランドシートの層数の 2 乗根にほぼ比例して増加した。

3.2 有効付着長の検討

有効付着長は連続繊維補強コンクリート研究委員会報告書(Ⅱ)⁴⁾に基づき、ひずみ分布図よりひずみ増加区間でのひずみ勾配を求め、これより式(3)を用いて最大付着応力を求め、式(4)を用いて有効付着長を算定した。

$$\tau_y = \Delta \varepsilon_F \cdot E_F \cdot A_F / S_g / b \quad (3)$$

$$l_e = P_{max} / (2\tau_y \cdot b) \quad (4)$$

τ_y : 最大付着応力(N/mm^2)

$\Delta \varepsilon_F$: 最大荷重時のひずみ増加区間での隣り合うゲージひずみ値の差

E_F : 連続繊維シートの弾性係数(N/mm^2)

A_F : 連続繊維シートの断面積(mm^2)

S_g : ひずみゲージの貼り付け間隔(mm)

b : 連続繊維シートの幅(mm)

l_e : 有効付着長(mm)

P_{max} : 試験体の最大荷重(N)

一例としてエポキシ樹脂を用いたストランドシート 2 層(以下, EP2)補強試験体における軸方向ひずみ分布を図-2 に示す。

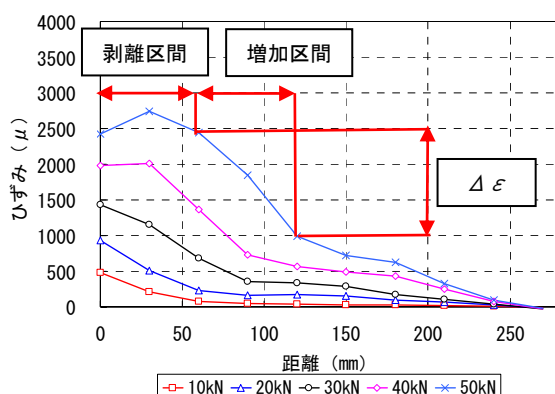


図-2 軸方向ひずみ分布 (EP2)

EP2 試験体における最大荷重は 51.7 kN である。図-2 より、 $P=50 \text{ kN}$ 時の軸方向のひずみに着目すれば、引張力の作用点からの距離 $0-60 \text{ mm}$ 区間ではひずみがほぼ一定で、剥離区間が存在していることが確認され、距離 $60-120 \text{ mm}$ ではひずみが急激に小さくなり、距離

120 mm 以降ではひずみは緩やかに減少している。以上から距離 $60-120 \text{ mm}$ 区間をひずみ増加区間とし、ひずみ差を求め、得られた有効付着長は 262 mm である。以下同様に、本試験により得られた各試験体の有効付着長を表-4 に示す。

表-4 有効付着長

試験体名	層数(層)	$P_{max}(\text{kN})$	$\varepsilon_{\text{max}}(\text{N/mm}^2)$	$l_e(\text{mm})$
EP1	1	42.1	2.24	188
EP2	2	51.7	1.97	262
EP3	3	56.7	1.61	352
MMA1	1	36.0	2.69	134
MMA2	2	42.3	1.74	243
MMA3	3	47.1	0.808	583
PCM1	1	35.4	2.77	128
PCM2	2	45.1	1.87	242
JCM1	1	48.2	3.81	127

各接着剤において、有効付着長はシートの積層数が増すごとに大きくなっている。各接着剤における 1 層試験体の有効付着長は $130-190 \text{ mm}$ 程度であり、2 層試験体の有効付着長は 250 mm 程度である。

エポキシ樹脂および MMA 樹脂における 3 層試験体については、軸方向ひずみ分布において明確な剥離区間は測定されず、引張力の作用点から直線的にひずみが減少する傾向であり、算定結果は試験体における付着長 280 mm を超えている。また、3 層のみエポキシ樹脂における有効付着長が MMA 樹脂に比べ小さい。

このことは試験体における付着長の不足あるいは、端部の応力集中を防ぐために設けたテーパ長が適切であったか等が考えられ、今後の検討課題である。

4 まとめ

- (1)コンクリートとストランドシートの付着に関する界面剥離破壊エネルギーは各接着剤とも 0.5 N/mm を上回り、十分な付着強度を得られる。
- (2)界面剥離破壊エネルギーおよび付着強度は層数を増すごとに大きくなる。
- (3)各種接着剤におけるコンクリートとストランドシートの有効付着長は 1 層試験体では $130-190 \text{ mm}$ 程度、2 層試験体においては 250 mm 程度である。

参考文献

- 1) 土木学会:コンクリート標準示方書 [基準編], 2007.5
- 2) 土木学会:連続繊維シートを用いたコンクリート構造物の補修補強指針, コンクリートライブラリー第 101 号, 2000.7
- 3) 海洋架橋・橋梁調査会:既設橋梁の耐震補強工法事例集, 2005.4
- 4) 日本コンクリート工学協会: JCI 規準集 2004, pp509-515