

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

九州大学大学院 フェロー 日野 伸一
新日鉄マテリアルズ (株) 正会員 小森 篤也
(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	2.37	6.50	-	11.3	4,800
JCM	5.30	9.50	-	55.3	26,200

c) コンクリート

種 別	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (N/mm ²)	材 齢 (日)
早強ポルトランドセメント	37.1	2.69 × 10 ⁴	28

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

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_u (N/mm²) は, JSCE-E543-2007¹⁾に準じて式(1), (2)を用いて算定した.

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

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

ここに, 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)である.

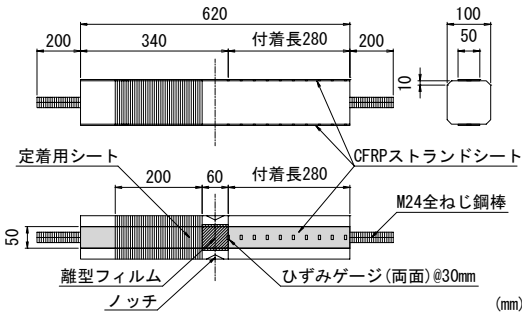


図-1 試験体概略図

表-3 付着試験結果

試験体名	P_{max} (kN)	G_f (N/mm)	τ_u (N/mm ²)
EP1	42.1	1.09	1.51
EP2	51.7	0.82	1.84
EP3	56.7	0.66	2.02
MMA1	36.0	0.80	1.29
MMA2	42.3	0.55	1.51
MMA3	47.1	0.46	1.68
PCM1	35.4	0.77	1.27
PCM2	45.1	0.63	1.61
JCM1	48.2	1.44	1.72

※全てn=3体の平均値である。

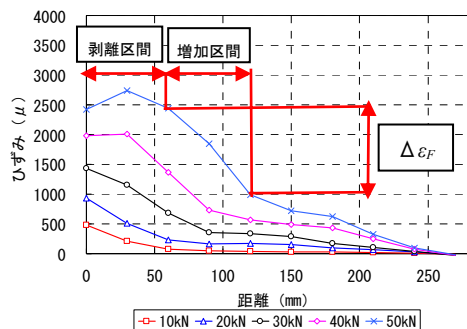


図-2 軸方向ひずみ分布 (EP2)

表-4 有効付着長

試験体名	層数(層)	P_{max} (kN)	τ_y (N/mm ²)	l_e (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	0.81	583
PCM1	1	35.4	2.77	128
PCM2	2	45.1	1.87	242
JCM1	1	48.2	3.81	127

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⁾, 概ねこれを上回ったが, MMA 樹脂3層の試験体においては 0.46 N/mm とやや下回った. また, 付着強度に関しては, 繊維材シートの設計用付着強度(0.44 N/mm²)³⁾ を満足した. 各接着剤の界面剥離破壊エネルギーは1層の場合で比較を行えば JCM, エポキシ樹脂, MMA 樹脂, PCM の順に大きく, さらに, スtrandシート積層数が増加するに従って減少した.

3.2 有効付着長

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.

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

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

ここに, τ_y : 最大付着応力(N/mm²), $\Delta \varepsilon_F$: 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/mm²), A_F : 連続繊維シートの断面積(mm²), 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)である. 一例としてエポキシ樹脂2層の試験体における軸方向ひずみ分布を図-2に, 各試験体の有効付着長を表-4に示す. 各試験体において, 有効付着長はシートの積層数が増すごとに長くなり, 1層で 130-190mm 程度, 2層で 250mm 程度であった. エポキシ樹脂および MMA 樹脂3層の試験体については, 軸方向ひずみ分布において明確な剥離区間は

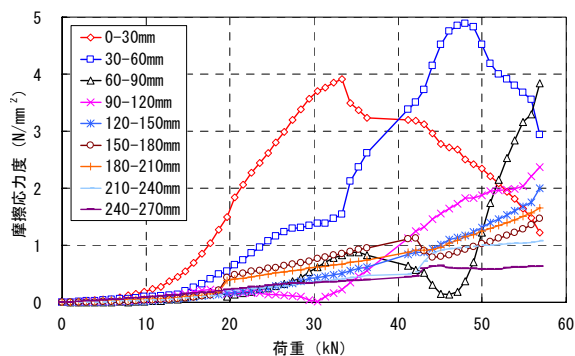


図-3 摩擦応力度-荷重関係 (EP3)

確認されず, 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, 本試験における付着長 280mm を超える算定結果となった. そこで, 本研究ではコンクリート部材の補修・補強に関する共同研究報告書(III)⁵⁾に基づき各ひずみ測定点のひずみ差から摩擦応力度を算出した. 図-3 にエポキシ樹脂3層の試験体の摩擦応力度-荷重関係を示す. 同図から, 引張力の作用位置に近い部分 0-60mm では剥離が生じていることが確認され, 最終的には荷重の増大に伴い剥離が進展し付着区間が短くなることで剥離破壊を呈したと考えられる. MMA 樹脂3層の試験体についても同様である.

4 まとめ

- (1) 各種接着剤を用いてスtrandシートを積層した場合のコンクリートとスtrandシートとの界面剥離破壊エネルギーは, MMA3 層試験体を除き炭素繊維シート1層のコンクリートとの界面剥離破壊エネルギー(0.5 N/mm)を上回り, スtrandシートの積層数が増えるほど減少した.
- (2) スtrandシートの有効付着長は接着剤の種類によらず積層数が増加するごとに長くなり, 1層で 130-190mm 程度, 2層で 250mm 程度, 3層で 350-580mm 程度であった.

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, pp.509-515
- 5) 建設省土木研究所:コンクリート部材の補修・補強に関する共同研究報告書(III), pp.121-128, 1999.11