

各種接着剤により積層補強された CFRP スtrandシートとコンクリートとの付着特性

(株) さとうベネック 正会員 ○中村 智 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

1. はじめに

CFRP スtrandシート(以下、Strandシート)による RC 部材の補強工法は、あらかじめ工場で樹脂含浸させた炭素繊維等を棒状に硬化し、すだれ状に成形したStrandシートを用いるため、炭素繊維シート補強工法に比べ、1 層当りの補強量を大きくでき(200g 目付炭素繊維シート約 3 層分)、専用接着剤がプライマーおよび不陸修正を兼ね、工数を大幅に減らせるため、短工期、低コストとなる利点がある。本試験では、寒冷地や早期交通開放、湿潤環境等の各種条件に適合した接着剤を用い、Strandシートを積層(最大 5 層)した場合の補強効果を検討するため、コンクリートとの付着強度試験を実施し、設計で想定した界面剥離破壊エネルギーおよび付着強度を有することを確認し、設計上重要な有効付着長を検討した。

2. 試験概要

試験体種類を表-1、材料特性値を表-2、試験体概略図を図-1 に示す。試験体のパラメータは接着剤の種類およびStrandシートの積層数で各 3 体とした。作製方法は、既設コンクリート表面をブラスト処理した後、Strandシートを母材コンクリートの両面に幅 50mm で接着した。各接着剤の厚さはメーカー指定の単位面積当たりの塗布量とした。補強断面詳細図を図-2 に示す。PCM 試験体はドライアウト防止と表面保護のため t=10mm で表面保護用 PCM を塗布した。JCM 試験体は不陸修正用 JCM の界面にエポキシ系打継材を塗布し、表層の JCM とでStrandシートを挟み込むように設置した。また、実付着長は有効付着長を算出できるように 1~2 層試験体では 280mm、3~5 層試験体では 470mm とした。Strandシートを積層する際には端部での応力集中を避けるため、25mm ずつのテーパーを設けた。試験方法は連続繊維シートとコンクリートとの付着試験方法(案)(JSCE-E 543-2007)¹⁾に準拠し、載荷速度は一定の 2~5kN/min とした。

表-1 試験体種類

専用接着剤	積層数	実付着長 (mm)	ロット	特徴	用途
エポキシ樹脂	1	280	a	汎用型	多用途 (下記以外)
	2	280			
	3	470	b		
	5	470			
MMA樹脂	1	280	a	低温硬化型 早期硬化型	寒冷環境 上面増厚等
	2	280			
	3	470	c		
	5	470			
PCM	1	280	a	湿潤環境型	水路トンネル カルバート等
	2	280			
JCM	1	280	a	早期硬化型	上面増厚等
	3	470	b		
	5	470			

表-2 材料特性値

(a) Strandシート

規格	繊維目付量 (g/mm ²)	設計厚さ (mm)	弾性係数 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)
高強度型炭素繊維	600	0.333	2.45 × 10 ⁵	3400

(b) 専用接着剤

(単位: N/mm²)

種類	エポキシ樹脂	MMA樹脂	PCM	JCM
圧縮強度	78.3	79.0	11.3	55.3
弾性係数	3970	2500	4800	26200
引張強度	35.8	43.0	2.37	5.30
曲げ強度	58.8	71.0	6.50	9.50
引張せん断強度	25.8	22.0	-	-

(c) 母材コンクリート

ロット	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (N/mm ²)	材齢(日)
a	37.1	2.69 × 10 ⁴	28
b	36.2	-	28
c	38.5	-	28

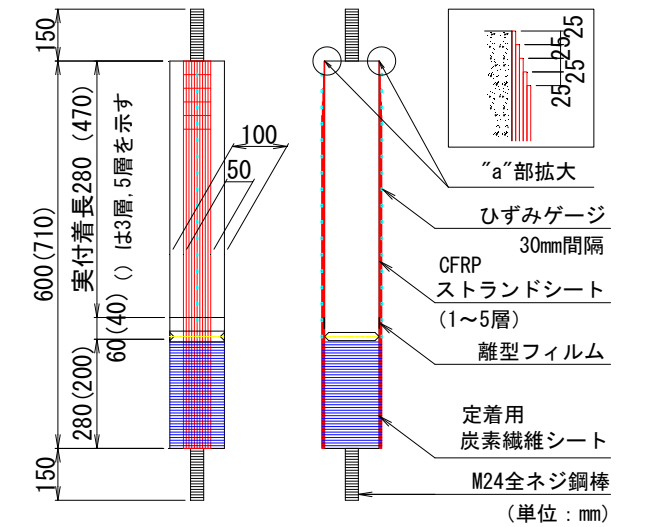


図-1 試験体概略図

キーワード Strandシート, 曲げ補強, MMA 樹脂, ポリマーセメントモルタル, 超速硬セメントモルタル
連絡先 〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東 3-11-28 (株)さとうベネック福岡支店 TEL092-482-2600

3. 試験結果および考察

表-3 に試験結果を示す。いずれの試験体も片側の付着面の剥離破壊を呈し、最大荷重は積層数が多いほど増加した。これは積層数の増加に伴い、付着強度が増大するためである。界面剥離破壊エネルギー G_f および付着強度 τ_u は、JSCE-E543-2007²⁾に準じて算出した。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 であるが、全ての試験体でこれを 1.10～2.88 倍上回った。このことから、本試験で用いた各接着剤はいずれの積層数においても十分な付着強度を有することが確認された。

また、連続繊維補強コンクリート研究委員会報告書(Ⅱ)³⁾に基づき、軸方向ひずみ分布よりひずみ増加区間でのひずみ勾配を求め、式(1)を用いて最大付着応力を求め、式(2)を用いて有効付着長を算定した。

$$\tau_y = \frac{\Delta \epsilon_F E_F A_F}{S_g b} \tag{1}$$

$$\ell_e = \frac{P_{max}}{2\tau_y b} \tag{2}$$

ここに、 τ_y : 最大付着応力(N/mm²)、 $\Delta \epsilon_F$: 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。一般に炭素繊維シートの有効付着長は1層で110mm、2層で150mmであるが各試験体の有効付着長はエポキシ樹脂で190～290mm程度、MMA樹脂で120～250mm程度、PCMで120～250mm程度、JCMで140～250mm程度となった。以上から、ストランドシートの有効付着長は5層(PCMは2層)までの場合で300mmとすれば設計上安全側であることが確認された。

4. まとめ

- 本研究では、得られた知見は以下の通りである。
- (1) 各種接着剤を用いてストランドシートを1層から5層(PCMは2層)まで積層した場合のコンクリートとストランドシートの付着強度は、積層数が増加するごとに上昇した。
 - (2) 界面剥離破壊エネルギーは、いずれの試験体も炭素繊維シート 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)を上回った。
 - (3) ストランドシートの有効付着長は、5層(PCMは2

層)までの場合で 300mm とすれば設計上安全側であることが確認された。

以上より、各種接着剤と積層した CFRP ストランドシートの付着特性が確認された。

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) 日本コンクリート工学協会：JCI 規準集(1977～2002年度)，pp.509-515，2004.4

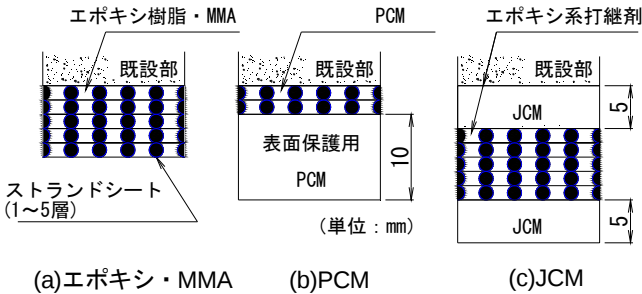


図-2 補強断面詳細図

表-3 試験結果

種類	ロット	層数 (層)	最大荷重 $P_{\max}$ (kN)		界面剥離破壊 エネルギー G_f (N/mm)		付着強度 τ_u (N/mm ²)		有効 付着長 ℓ_e (mm)	最大付着 応力度 τ_y (N/mm ²)	
			試験値	平均	試験値	平均	試験値	平均		試験値	試験値
エポキシ樹脂	a	1	43.3	42.1	1.15	1.09	1.55	1.50	188	2.24	
			41.9		1.08		1.50				
			41.2		1.04		1.47				
		2	51.2	51.7	0.80	0.82	1.83	1.85	262	1.97	
			46.6		0.67		1.66				
			57.2		1.00		2.04				
	b	3	56.1	54.4	0.64	0.60	1.12	1.09	285	1.91	
			52.3		0.56		1.05				
			54.7		0.61		1.09				
		5	68.6	70.6	0.58	0.61	1.37	1.41	264	2.67	
			67.6		0.56		1.35				
			75.5		0.70		1.51				
MMA	a	1	40.6	36.0	1.01	0.80	1.45	1.29	134	2.69	
			32.2		0.64		1.15				
			35.2		0.76		1.26				
		2	42.2	42.3	0.55	0.55	1.51	1.51	243	1.74	
			41.4		0.53		1.48				
			43.3		0.57		1.55				
	c	3	57.4	55.2	0.67	0.62	1.15	1.10	計測不良		
			51.5		0.54		1.03				
			56.8		0.66		1.14				
		5	81.6	75.0	0.82	0.69	1.63	1.50	234	3.20	
			75.5		0.70		1.51				
			67.8		0.56		1.36				
PCM	a	1	35.8	35.4	0.79	0.77	1.28	1.27	128	2.77	
			—		—		—				
			35.0		0.75		1.25				
		2	44.1	45.1	0.60	0.63	1.58	1.61	242	1.87	
			42.3		0.55		1.51				
			49.0		0.74		1.75				
JCM	a	1	54.6	48.2	1.83	1.44	1.95	1.72	127	3.80	
			43.5		1.16		1.55				
			46.6		1.33		1.66				
		3	64.6	72.8	0.85	1.09	1.29	1.46	267	2.73	
			78.4		1.26		1.57				
			75.3		1.16		1.51				
	b	5	114.5	107.1	1.61	1.42	2.29	2.14	232	4.62	
			93.5		1.07		1.87				
			113.3		1.57		2.27				