

## 重ね貼りしたCFRP帯板とコンクリートの付着特性に関する実験的検討

CF ラミネート工法研究会 正会員・○松井孝洋

## 1. はじめに

高強度、軽量かつ易施工性を有する炭素繊維強化プラスチック (CFRP) 接着工法は一般化し、様々な構造物の補強に採用されている。CFRP 接着工法のなかでも、補強材品質、易施工性や工期短縮の向上を図る為に、炭素繊維を一方向に引き揃えて成形した CFRP 帯板を接着する工法<sup>1)</sup>が建築物の曲げ補強や開口補強を中心に適用されている。ところで、幅方向の接着スペースが限られ、かつ CFRP 帯板 1 層では満足する補強効果が得られない場合、CFRP 帯板の重ね貼りによる補強が期待される。しかし、重ね貼りの補強効果に関する既往の研究はほとんどない。CFRP 帯板を重ね貼りする場合、幅あたりに対する補強材厚みが増加するため、CFRP 帯板とコンクリートの付着への影響が懸念される。そこで、本検討は重ね貼りした CFRP 帯板とコンクリートの付着特性を実験的に検討した。

## 2. 試験の概要

重ね貼りした CFRP 帯板とコンクリートの付着性能を評価するため、CFRP 帯板の層数 (=補強材の引張剛性) とコンクリート強度に着目した 2 面接着せん断試験<sup>2)</sup>を実施した。試験体は、中央にノッチを設けたコンクリート角柱 (100mm 角) の評価側 2 面に長さ 800mm の CFRP 帯板が接着され、評価側反対に定着用 CF シートで固定されたものである (図 1)。

コンクリートは呼び強度 24, 30, 40 の 3 種類とし、CFRP 帯板は 1mm 厚材 (弾性率 170GPa, 引張強度 3,374MPa) と 2mm 厚材 (弾性率 171GPa, 引張強度 2,674MPa) の 2 種類を用いた。表 1 に試験水準を示す。

試験体両端から伸びるネジ部分に試験体固定治具を取り付け、万能力学試験機 (インストロン・最大載荷 500kN) の把持部に固定した。試験は、0.2mm/min の載荷速度で上側治具を引っ張り、試験体が破壊するまで載荷を継続した。試験時には、試験体の挙動を把握するために、ロードセルによる引張荷重の他、ノッチ部開口変位計測用として試験体両側面に変位計を、CFRP 表面に一軸ひずみゲージ (片面 16 点、両面 32 点) を設置し、測定した。

## 3. 試験結果

表 2 に 2 面接着せん断試験結果一覧を、図 2 に試験時の CFRP 帯板のひずみ分布の例を、写真 1 に破壊状態を示す。試験は引張荷重の増加と共に変位も増加し、試験体が破壊したときに最大引張荷重となった。ほとんどの試験体

KeyWords; CFRP 帯板, 重ね貼り, 2 面接着せん断, 付着特性

連絡先 〒103-8666 東京都中央区日本橋室町 2-1-1 東レ株式会社 ACM 技術部 E-mail: takahiro.mastui.f3@mail.toray

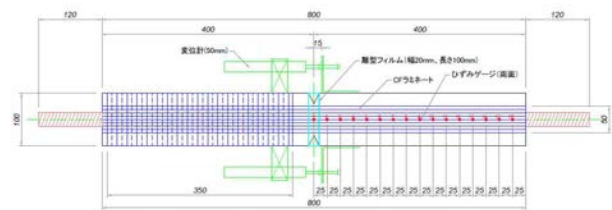


図 1 2面接着せん断試験体

表 1 試験水準

水準名	コンクリート		CFRP帯板				引張剛性 (KN)
	呼び	28日強度	タイプ	幅	厚さ	層数	
T11S-24	24	34.1	高強度	50	1	1	8,500
T12S-24	24	34.1			1	2	17,000
T13S-24	24	34.1			1	3	25,500
T12S-30	30	38.5			1	2	17,000
T12S-40	40	52.8			1	2	17,000
T21S-24	24	34.1			2	1	17,000

表 2 試験結果一覧

試験体名	最大引張荷重 (kN)	界面剥離破壊E (N/mm)	最大付着応力 $r_y$ (MPa)	有効定着長 $L_e$ (mm)	破壊状態	
					面	様相
T11S-24-1	66.52	1.301	3.70	180	A	①
T11S-24-2	59.42	1.038	5.24	113	A	①
T11S-24-3	64.14	1.210	4.27	150	A	①
平均	63.36	1.183	4.40	148		
T12S-24-1	100.04	1.472	5.22	192	A	①
T12S-24-2	99.24	1.448	4.82	206	A	①
T12S-24-3	103.22	1.567	5.23	197	B	①
平均	100.83	1.496	5.09	198		
T13S-24-1	122.30	1.466	5.29	231	A	①
T13S-24-2	119.52	1.400	5.12	233	C	②
T13S-24-3	129.84	1.653	5.80	224	C	②
平均	123.89	1.507	5.41	229		
T12S-30-1	112.36	1.857	4.77	236	B	①
T12S-30-2	100.64	1.489	4.14	243	B	①
T12S-30-3	109.26	1.756	5.89	185	C	②
平均	107.42	1.701	4.93	221		
T12S-40-1	105.88	1.649	4.47	237	A	①
T12S-40-2	104.84	1.616	6.09	172	B	①
T12S-40-3	111.70	1.835	5.42	206	B	①
平均	107.47	1.700	5.33	205		
T21S-24-1	94.04	1.293	4.49	209	A	①
T21S-24-2	93.42	1.276	4.78	196	B	①
T21S-24-3	103.16	1.556	5.04	205	A	①
平均	96.87	1.375	4.77	203		

破壊面: A: A面, B: B面, C: 試験体中心

破壊様相: ①コンクリート表面部破壊, ②コンクリート割裂

はコンクリート表面部で破壊したが、補強材の引張剛性が高い試験体でコンクリートブロック中心からの割裂破壊が確認された。また、試験中のCFRP帯板のひずみ分布を確認すると、試験体中央部に近い位置を頂点に端部に向かってゼロに近づく直線的なひずみ分布が確認された後、高引張荷重になるにつれて中央部付近のひずみが平坦化

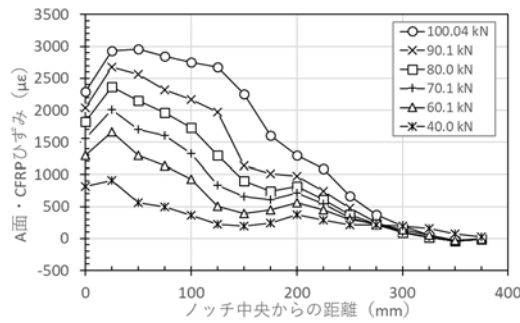


図2 ひずみ分布 (T12S-24-1)



写真1 破壊状態

する挙動 (CFRP帯板の剥離) が確認され、かつ直線的なひずみ分布は試験体端部へ徐々に移行していった。

付着特性を評価するために、コンクリート表面部破壊をした試験体を用いて、最大荷重  $P_{max}$  (kN)、界面剥離破壊エネルギー  $G_f$  (N/mm)、最大付着力  $\tau_y$  (MPa) および有効定着長  $L_e$  (mm) を比較した (図3~図6)。

1) **最大荷重**： 引張剛性の増加につれて最大荷重は増加したが、コンクリート強度の影響は確認されなかった。

2) **界面剥離破壊エネルギー**： 界面剥離破壊エネルギーは、平均で約 1.2~1.7 (N/mm) であった。補強材の引張剛性やコンクリート強度が増加すると界面剥離破壊エネルギーも増加したが、上限がある可能性も確認された。また、界面剥離破壊エネルギーは土木学会が示す 0.5 (N/mm)<sup>3)</sup> をいずれも余裕をもって上回ることが確認されたことから、重ね貼りしたCFRP帯板の剥離応力は土木学会値を用いて算定できる可能性を得た。

3) **最大付着力**： 最大付着力は、平均で約 4.4~5.3 (MPa) であった。ただし、引張剛性やコンクリート強度の明確な影響は確認されなかった。

4) **有効定着長**： 有効定着長は、平均約 150~230 (mm) であった。引張剛性が増加するにつれて有効定着長も増加したが、同じ引張剛性の有効定着長は概ね同等であった。コンクリート強度の明確な影響は確認されなかった。

4. まとめ

CFRP帯板の層数とコンクリート強度の影響に着目した2面接着せん断試験の結果、補強材の引張剛性は最大付着力以外の付着評価指標に影響を与えていたが、コンクリート強度はどの付着評価指標にもほとんど影響を与えなかった。なお、1mm厚材の2層貼りとはほぼ同じ結果となった。

今後、重ね貼りしたCFRP帯板による補強技術を確立するために、重ね貼りしたCFRP帯板の必要定着長の検討と、この必要定着長を使ったRC梁の曲げ補強試験を実施する予定である。

参考文献

- 1) (一財)日本建築総合試験所, CFラミネート工法研究会, “建築技術性能証明評価概要報告書 CFラミネート工法-CFRP板貼付による既存鉄筋コンクリート造構造部材の曲げ補修・補強工法”, 2015年4月1日
- 2) (社団)日本コンクリート工学協会, “コンクリート構造物の補強技術研究委員会 報告書”, 2003年7月
- 3) 土木学会, “コンクリートライブラリー101 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”, 2012年5月

付着特性評価式

①界面剥離破壊エネルギー

$$G_f = \frac{P_{max}^2}{8b^2 \cdot n \cdot E_f \cdot t_f}$$

②最大付着力

$$\tau_y = \frac{\Delta \epsilon_f \cdot E_f \cdot A_f}{S_g \cdot b}$$

③有効定着長

$$L_e = \frac{P_{max}}{2\tau_y \cdot b}$$

$b$ : CFRP帯板幅 (mm),  $t_f$ : CFRP帯板厚み (mm),  $n$ : CFRP帯板材の重ね数 (枚),  $A_f$ : CFRP帯板材の断面積 (mm<sup>2</sup>),  $E_f$ : CFRP帯板材の弾性率 (MPa),  $\Delta \epsilon_f$ : 最大荷重時のひずみ増加区間での隣り合うゲージのひずみ値の差,  $S_g$ : ひずみの増加区間 (mm)

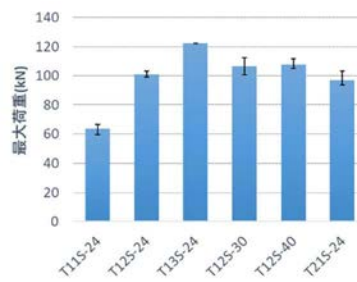


図3 最大荷重

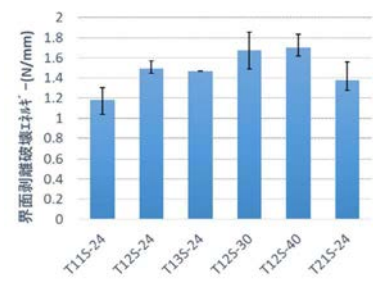


図4 界面剥離破壊エネルギー

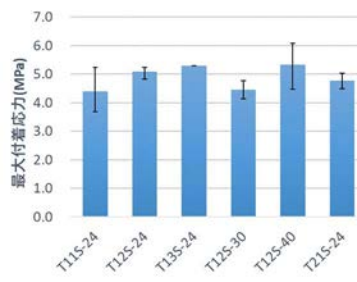


図5 最大付着力

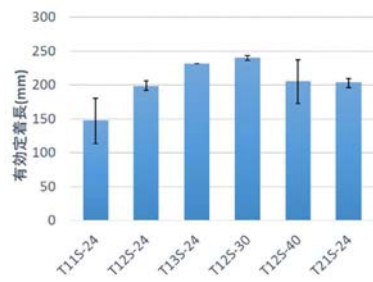


図6 有効定着長