

論文 CFRP 板とコンクリートの定着性状に関する研究

松永 健太郎*1・矢野 努*2・中村 洋行*3・金久保 利之*4

要旨: 本研究では, CFRP 板をコンクリートに貼付し, 炭素繊維シート, 増し貼り, 鋼板の 3 種類で定着させた場合の局所的な定着性状を把握することを目的とし, 1 面せん断付着試験を行った。炭素繊維シート定着では, 最大荷重に達した後, すべり量の増大とともに炭素繊維シートの歪も大きくなり, 面外拘束力が作用し CFRP 板の剥離および耐力低下を抑制した。一方向炭素繊維シート定着試験体での有効な定着長は 50 mm 程度であった。増し貼り定着では, 明確な定着効果がなかった。3 種類の定着方法の中で最も定着効果が現れたのは鋼板定着であり, 定着せず接着樹脂のみの付着耐力の 3.65 倍以上の強度を示した。

キーワード: CFRP 板, 付着, 定着, 炭素繊維シート, 増し貼り, 鋼板, アンカーボルト

1. はじめに

コンクリート構造物の補強用材料として, 連続繊維シートが用いられている。一方, CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastic) 板は炭素繊維シートに比べ剛性が大きく, 施工性が良いという利点を有しており, 梁や床スラブの曲げ補強等に使用されている。連続繊維補強材はコンクリートとの一体性を確保することが重要であり, 筆者らは CFRP 板を用い, 2 面せん断付着試験を行い要素レベルでの付着特性に関する研究報告をした¹⁾。

しかしながら, CFRP 板が付着のみで耐力を確保できない場合は定着部の工夫が必要となる。定着の方法として, 連続繊維シートを貼る方法, CFRP 板を増し貼りする方法, 鋼板とアンカーボルトなどで定着させる方法等がある。本研究では, CFRP 板を接着樹脂でコンクリートに接着させ, 種々の方法で定着させ 1 面せん断付着試験を行い, CFRP 板の局所的な定着性状を検討する。

1 面せん断付着試験は, CFRP 板の自由端部に CFRP 板の長さ (軸) 方向と同じ繊維方向の CFRP 板を増し貼りし定着させる方法である。CFRP 板と定着用 CFRP 板を同一の種類, 厚さとし, 長さ (付着長) 100 mm とする。定着用 CFRP 板の枚数を 1 枚または 2 枚とした。

図-1 右中段は, CFRP 板の自由端部に CFRP 板の長さ (軸) 方向と同じ繊維方向の CFRP 板を増し貼りし定着させる方法である。CFRP 板と定着用 CFRP 板を同一の種類, 厚さとし, 長さ (付着長) 100 mm とする。定着用 CFRP 板の枚数を 1 枚または 2 枚とした。

図-1 右下は長方形鋼板によりアンカーボルトで定着させる方法である。アンカーボルトの埋込長は全て $10d$ (d はアンカーボルトの径) とした。

試験体一覧を表-1~表-3 に示す。試験体名の最初のアルファベットは定着方法を表し, A が炭素繊維シート定着, B が増し貼り定着, C が鋼板定着である。試験体総数は 31 体である。

2. 実験概要

2.1 試験体

試験体形状を図-1 に示す。試験体は L 型のコンクリートブロックである。幅 50 mm の CFRP 板をコンクリートブロックに貼付し, 定着部の付着区間長さ (付着長) を自由端部から 100 mm とし, 図-1 の右図に示す 3 種類の方法で定着させる。

図-1 右上は, CFRP 板の長さ (軸) 方向に直交する方向に幅 100 mm の炭素繊維シートを CFRP 板自由端部に貼付する方法である。コンクリートブロック側面にさらに 100 mm 区間のシート定着部を設けた方法 (定着長 100 mm) と, ブロック側面の定着部を設けないもの (定着長 0 mm) の 2 通りとし, 0 mm の場合は炭素繊維シートを 3 層貼付した。なお, 定着長 100 mm の場合は, シ

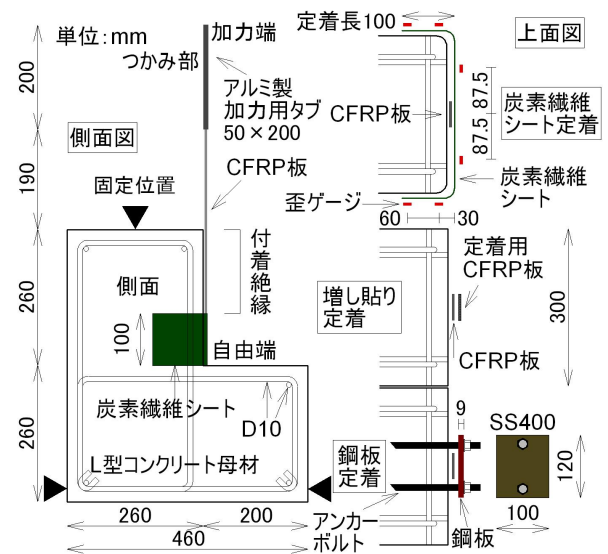


図-1 試験体形状

*1 筑波大学大学院 システム情報工学研究科構造エネルギー工学専攻大学院生 (正会員)

*2 (株) コンステック 補強技術本部課長 修士 (工学) (正会員)

*3 (株) コンステック 補強技術本部部長 修士 (工学) (正会員)

*4 筑波大学大学院 システム情報工学研究科構造エネルギー工学専攻准教授 博士 (工学) (正会員)

表-1 試験体一覧（炭素繊維シート定着）

試験体 No.	試験体名*	目標圧縮強度 (MPa)	CFRP 板	炭素繊維シート			
				弾性係数 E_f (GPa)	定着長 l_a (mm)	繊維方向	
1	A13-G2-230-100-1	13.5	G2	233	100	1	
2	A13-H2-230-100-1		H2				
3	A21-G1-230-100-1	21	G1	233	100	1	
4	A21-G1-390-100-1			384			
5	A21-G2-230-0-1		G2	0	233	1	
6	A21-G2-230-0-2				229	2	
7	A21-G2-230-100-1				233	100	1
8	A21-G2-230-100-2				229	100	2
9	A21-G2-390-100-1		H2	0	384	100	1
10	A21-H2-230-0-1				233	0	1
11	A21-H2-230-0-2				229	0	2
12	A21-H2-230-100-1				233	100	1
13	A21-H2-230-100-2		229	100	2		
14	A21-H2-390-100-1		384	100	1		
15	A36-G2-230-100-1		36	G2	230	100	1
16	A36-H2-230-100-1			H2			

*: A 目標圧縮強度-CFRP 板-規格弾性係数-定着長-繊維方向

表-2 試験体一覧（増し貼り定着）

試験体 No.	試験体名*	目標圧縮強度 (MPa)	CFRP 板	定着用 CFRP 板	定着枚数 (枚)
17	B21-G1-G1-1	21	G1	G1	1
18	B21-G2-G2-1			G2	1
19	B21-G2-G2-2		H2	H2	2
20	B21-H2-H2-1				1

*: B 目標圧縮強度-CFRP 板-定着用 CFRP 板-定着枚数

2.2 使用材料

(1) コンクリートと CFRP 板

コンクリート目標圧縮強度は 13.5, 21, 36 MPa の 3 種類で、目標強度 13.5 MPa の試験体を名称中では 13 と略記する。材料試験結果を表-4 に示す。CFRP 板の力学特性を表-5 に示す。CFRP 板の繊維方向は一方向であり、高強度タイプと高剛性タイプの 2 種類とした。幅 b_{fp} は全て 50 mm である。定着用 CFRP 板も同一のものをを用いた。また、 $t_{fp} \cdot E_{fp}$ を板剛性と呼称する。高粘度のモルタルベースのエポキシ系接着樹脂を用いて CFRP 板を貼付した。

(2) 炭素繊維シート

目付量を 300 g/m² とし、繊維方向が一方向の高強度シート（設計厚 $t_f = 0.167$ mm, 引張強度 4510 MPa, 弾性係数 $E_f = 233$ GPa), 二方向の高強度シート ($t_f = 0.167$ mm, 引張強度 4040 MPa, $E_f = 229$ GPa), 一方向の中弾性シート ($t_f = 0.165$ mm, 引張強度 3964 MPa, $E_f = 384$ GPa) の 3 種類の炭素繊維シートを使用した。

(3) 鋼板とアンカーボルト

幅 120×100 mm, 厚さ 9 mm の鋼板 (SS400) を使用した。アンカーボルト (F10T) の径 d は M12, M16 の 2

表-3 試験体一覧（鋼板定着）

試験体 No.	試験体名*	目標圧縮強度 (MPa)	CFRP 板	アンカーボルト	
				径 d (mm)	本数 (本)
21	C13-H2-M12-2	13.5	H2	M12	2
22	C13-H2-M16-2			M16	
23	C21-G1-M12-2	21	G1	M12	2
24	C21-G1-M16-2			M16	
25	C21-G2-M12-2		G2	M12	2
26	C21-G2-M12-4				4
27	C21-G2-M16-2		H2	M16	2
28	C21-H2-M12-4				4
29	C21-H2-M16-2		H2	M16	2
30	C36-H2-M12-2				36
31	C36-H2-M16-2	M16			

*: C 目標圧縮強度-CFRP 板-アンカーボルト径-本数

表-4 コンクリートの力学特性

目標圧縮強度 (MPa)	圧縮強度 σ_B (MPa)	弾性係数 E_c (GPa)	割裂強度 σ_t (MPa)
13.5	15.6	21.2	1.42
21	24.6	26.4	2.06
36	37.6	31.2	3.07

表-5 CFRP 板の力学特性

種類	名称	引張強度* (MPa)	弾性係数* E_{fp} (GPa)	厚さ t_{fp} (mm)	板剛性 $t_{fp} \cdot E_{fp}$ (kN/mm)
高強度	G1	2970	175	1.0	175
	G2	3520	165	2.0	330
高剛性	H2	1620	480	2.0	960

*: 繊維方向の物性値

種類, 本数は 2, 4 本の 2 通りとした。アンカーボルトの設置は実際の補強作業と同様に CFRP 板施工時に行い、エポキシ系接着剤を用いた接着系アンカーとした。

2.3 施工方法と実験方法

コンクリート表面をケレンし、CFRP 板貼付位置および CFRP 板側に接着樹脂を塗布し貼付した。増し貼り定着の場合も同様とした。炭素繊維シート定着の場合、プライマー、パテ材を塗布し、コンクリート表面と CFRP 板の段差をなくすようにテーパーを設けた。下塗樹脂を塗布し炭素繊維シートを貼り付け上塗りした。鋼板定着の場合、コンクリートにアンカーボルトを埋め込む位置に孔を設け、その中にカプセル状接着樹脂を入れアンカーボルトを埋め込み、接着樹脂を硬化させた。鋼板の貼り付け側とコンクリート側にパテ材を塗布し接着させ、ナットで仮締めし、パテ材が硬化した後、トルクレンチにより本締めを行った。トルクの値は既往のシート定着に関する文献²⁾を参考にして、M12 の場合は 84 N·m (8.6 kgf·m), M16 の場合は 137 N·m (14.0 kgf·m) とした。

加力装置には 2000 kN 万能試験機を使用した。コンクリートブロックを試験機ヘッドに固定し、CFRP 板の加力用タブをチャックでつかみ、上向きに引張力を与え、

1面せん断付着試験を行った。

計測項目は引張荷重 P , 水平変位 δ_h , 鉛直変位 (2ヶ所) δ_v , 炭素繊維シートの歪 ϵ_t とした。計測位置を写真-1に示す。水平および鉛直変位はCFRP板自由端部から150および100mmの位置でそれぞれ測定した。CFRP板が剥離しようとする方向(写真-1の手前側)を水平変位の正, CFRP板が上部に引張力を受ける方向を鉛直変位の正とした。シートの歪測定は二方向の炭素繊維シートの場合三軸歪ゲージを使用し, 水平歪 ϵ_h , 鉛直歪 ϵ_v および斜め歪 ϵ_d を測定した。

3. 炭素繊維シート定着試験体の実験結果

3.1 破壊状況

破壊状況を写真-2に, 実験結果を表-6に示す。付着応力は荷重を付着面積(5000mm²)で除し, すべり量は2ヶ所の鉛直変位の平均とした。終局時のすべり量は, 付着応力が最大付着応力の10%未満になる直前のすべり量とした。CFRP板が破断した試験体はなく, 全ての試験体において最大荷重時にCFRP板がコンクリートから剥離した(付着破壊)。コンクリート表層部がCFRP板とともに剥離し, CFRP板に数mm程度の厚さのモルタル分が

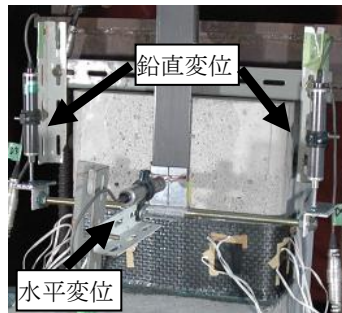


写真-1 計測位置

付着長100mm全長に渡り残っていた。これは, 接着樹脂とコンクリート表面の接着強度が大きく, 破壊がコンクリート表層内部で起きるためと推察される。定着長100mmの試験体では, 最大荷重に達した後引張荷重が急激に減少し, CFRP板近傍の炭素繊維シートにしわが寄り, 鉛直変位が増大するに伴い炭素繊維シートがコンクリートから徐々に剥離した。鉛直変位がさらに増大すると炭素繊維シートが繊維方向に裂け, CFRP板が炭素繊維シートから剥離し終局に至った。

試験体No.1は, CFRP板がコンクリートから剥離するとはほぼ同時に炭素繊維シートがコンクリートから剥離した。また, 試験体No.3, 7, 8, 13, 14では炭素繊維シートは裂けなかった。試験体No.16は, しわが寄ることなくCFRP板が徐々に抜け出した。炭素繊維シートが二方向の試験体では, シートのしわはほとんど観察されなかった。

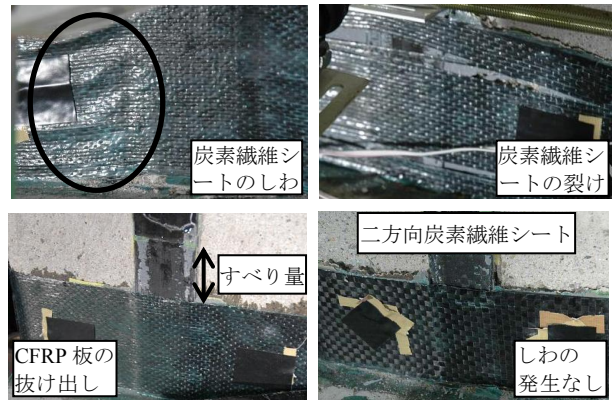


写真-2 破壊状況

表-6 実験結果一覧(炭素繊維シート定着)

試験体No.	試験体名	最大荷重時		付着強度計算値*1 (kN)	最大荷重 / 付着強度計算値	最大付着応力時		終局時 すべり量 (mm)	破壊形式*2	
		引張荷重 P_{max} (kN)	水平変位 $\delta_{h,max}$ (mm)			付着応力 $\tau_{b,max}$ (MPa)	すべり量 s_{max} (mm)			
1	A13-G2-230-100-1	24.10	0.260	19.63	1.23	4.82	0.138	12.036	BF(SE)→SC→PS	
2	A13-H2-230-100-1	20.57	0.214	22.08	0.93	4.11	0.008	15.749	BF→WSE→SC→PS	
3	A21-G1-230-100-1	20.96	0.004	18.12	1.16	4.19	0.187	16.859	BF→WSE→PS	
4	A21-G1-390-100-1	22.40	-0.328		1.24	4.48	0.302	10.328	BF→WSE→SC→PS	
5	A21-G2-230-0-1	26.20	0.474	21.38	1.23	5.24	0.097	1.641	BF(SE)	
6	A21-G2-230-0-2	31.96	0.084		1.50	6.39	0.195	1.452	BF(SE)	
7	A21-G2-230-100-1	24.00	-0.276		1.12	4.80	0.199	19.391	BF→WSE→PS	
8	A21-G2-230-100-2	25.18	0.408		1.18	5.04	0.108	8.583	BF→SE→PS	
9	A21-G2-390-100-1	23.51	0.228		1.10	4.70	0.105	7.588	BF→WSE→SC→PS	
10	A21-H2-230-0-1	27.50	0.164		24.35	1.13	5.50	0.399	1.773	BF(SE)
11	A21-H2-230-0-2	24.59	-0.162			1.01	4.92	0.106	0.840	BF(SE)
12	A21-H2-230-100-1	27.58	-0.120			1.13	5.52	0.077	17.375	BF→WSE→SC→PS
13	A21-H2-230-100-2	27.23	0.236			1.12	5.45	0.065	12.090	BF→SE→PS
14	A21-H2-390-100-1	26.77	0.236	1.10	5.35	0.005	12.021	BF→WSE→PS		
15	A36-G2-230-100-1	31.75	0.306	23.11	1.37	6.35	0.162	18.555	BF→WSE→SC→PS	
16	A36-H2-230-100-1	28.64	0.206	26.66	1.07	5.73	0.037	1.892	BF→PSL	

*1: 定着シートの効果を無視した場合の付着強度計算値¹⁾

*2: BFは付着破壊(CFRP板がコンクリートから剥離), SEは炭素繊維シートがコンクリートから剥離, SCは炭素繊維シートの裂け, PSはCFRP板が炭素繊維シートから剥離, ()はほぼ同時に起こることを表す, WSEは炭素繊維シートにしわができて炭素繊維シートがコンクリートから剥離, PSLはCFRP板の抜け出し

3.2 最大荷重と水平変位

炭素繊維シート定着試験体の実験結果の一覧を表-6に示した。コンクリート圧縮強度および板剛性が大きいと最大荷重も大きくなる傾向がある。炭素繊維シートの弾性係数は最大荷重に影響しないと考えられる。高強度タイプのCFRP板に補強する場合は一方向より二方向の炭素繊維シートの方が最大荷重が大きいが、高剛性タイプのCFRP板に補強する場合はその傾向が見られなかった。定着長0 mmと100 mmの試験体は同程度の最大荷重を示した。式(1)および(2)に示す既報告のCFRP板の付着強度算定式¹⁾で計算した付着強度を表-6に示す。これは定着効果を見逃したCFRP板の付着耐力の計算値である。最大荷重の付着強度の計算値に対する比は0.93~1.50であり、ほとんどの試験体において実験値が付着強度計算値を上回った。

$$l_b > l_e \text{ のとき, } P_{\max} = 0.428 \cdot \tau_{b,\max} \cdot b_{fp} \cdot l_e \quad (1)$$

$$l_b < l_e \text{ のとき, } P_{\max} = k \cdot \tau_{b,\max} \cdot b_{fp} \cdot l_b \quad (2)$$

$$l_e = \sqrt{1.09 \cdot t_{fp} \cdot E_{fp} / \tau_{b,\max}}$$

$$k = 0.286 \cdot \cos\left(\frac{l_b}{l_e} \pi\right) + 0.714, \quad \tau_{b,\max} = 2.5 \cdot \sigma_B^{0.23}$$

ここで、 l_b : 付着長 (100 mm), l_e : 有効付着長, b_{fp} : CFRP板の幅 (50 mm), k : 等価付着ストレスブロックの応力係数, その他の記号は前述

CFRP板にG2またはH2を用い、一方向の高強度シートを定着長100 mmで定着した試験体の引張荷重-水平変位関係を図-2に示す。最大荷重に達すると同時に水平変位が大きくなり始める傾向が見られる。付着破壊がコンクリート表層内部で起こり、CFRP板のすべりが生

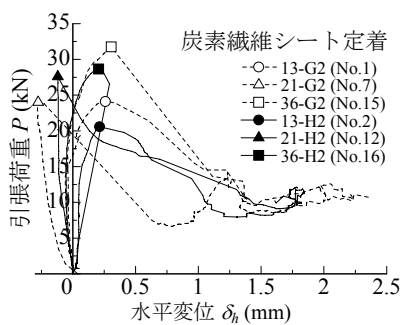


図-2 引張荷重-水平変位関係

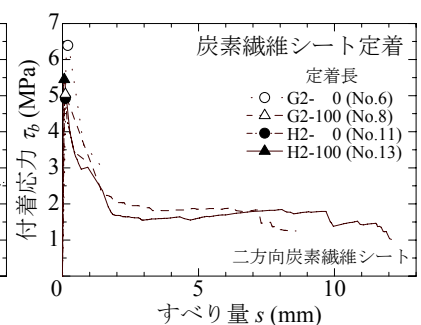
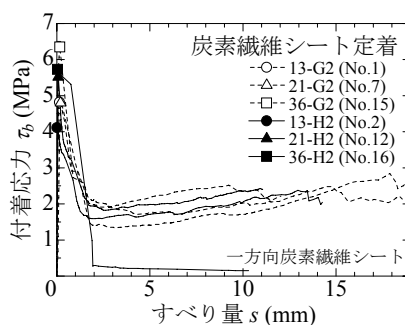


図-3 付着応力-すべり量関係

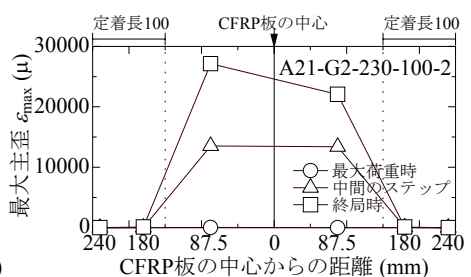
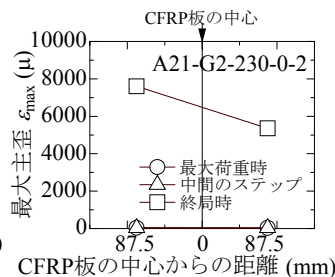
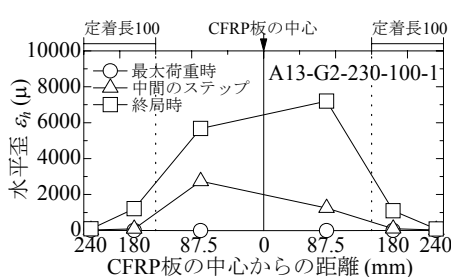


図-4 歪分布

じる時にコンクリート表面より浮き上がるものと考えられる。

3.3 付着応力とすべり量

CFRP板にG2またはH2を用い、一方向の高強度シートを定着長100 mmで定着した試験体およびコンクリート圧縮強度が21 MPaで二方向の高強度シートで定着した試験体の付着応力-すべり量関係を図-3に示す。最大付着応力およびその時のすべり量、終局時のすべり量を表-6に示す。最大付着応力後の応力低下がすべり量2 mm程度で終了し、その後すべり量の増大とともに付着応力が微増する。この間、炭素繊維シートとコンクリートとの間に付着応力が発生し、CFRP板の剥離を抑制していると考えられる。

3.4 炭素繊維シートの歪

炭素繊維シートの水平歪および最大主歪分布を図-4に示す。なお、図中にはすべり量増大時の歪として、最大荷重時と終局時の中間のステップにおける歪も併せて示す。二方向の炭素繊維シートに貼付した三軸歪ゲージの水平歪 ϵ_h 、鉛直歪 ϵ_v および斜め歪 ϵ_d から炭素繊維シートに発生する最大主歪 ϵ_{\max} を式(3)のロゼット解析により求めた。

$$\epsilon_{\max} = \frac{1}{2} \left[\epsilon_h + \epsilon_v + \sqrt{2 \left\{ (\epsilon_h - \epsilon_d)^2 + (\epsilon_d - \epsilon_v)^2 \right\}} \right] \quad (3)$$

一方向炭素繊維シート定着試験体における水平歪分布においては、最大荷重時の歪がほとんど発生していないため、最大荷重時までは炭素繊維シートからの面外拘束力(CFRP板を押さえつける力)がほとんど作用していないと考えられる。中間のステップではCFRP板貼付面の水平歪が1000~3000 μ 程度発生したが、定着長100

mm の位置にはほとんど水平歪が発生しなかった。終局時には CFRP 板貼付面に 5000~8000 μ 程度の水平歪が発生し、CFRP 板の中心から 180 mm の位置で 1000 μ を超える水平歪が発生した。炭素繊維シートの両端には水平歪がほとんど発生しなかった。以上より、一方向炭素繊維シート定着試験体において有効な定着長は 50 mm 程度と考えられる。

二方向炭素繊維シート定着試験体における最大主歪分布において、定着長 0 mm の試験体では最大荷重時および中間のステップではほとんど歪が発生しなかったが、終局時には 5000~8000 μ 程度の最大主歪が発生し、定着効果を得ることができた。定着長 100 mm の試験体でも最大荷重時にはほとんど歪が発生しなかった。中間のステップでは CFRP 板貼付面に 13000 μ 程度、終局時には 22000~27000 μ 程度の歪が発生していたが、定着長 100 mm の位置ではほとんど発生していなかった。以上より、炭素繊維シートの層数は異なるが定着長を大きくすると CFRP 板貼付面の歪は増大した。

4. 増し貼り定着試験体の実験結果

4.1 破壊状況

破壊状況を写真-3 に示す。炭素繊維シート定着試験体の最大荷重時の破壊形式と同様に付着破壊であった。

4.2 最大荷重と水平変位

増し貼り定着試験体の実験結果の一覧を表-7 に示す。CFRP 板の厚さが大きくなる (No.17 と 18) と最大荷重が 4.49 kN 増加し、定着枚数が増す (No.18 と 19) と 0.98 kN 増加するが、CFRP 板の弾性係数 E_f が大きい (No.18 と 20) と最大荷重は減少した。最大荷重の付着強度計算

値に対する比は 0.73~0.94 であり、局所的な付着強度に対する増し貼りの効果はない。

引張荷重-水平変位関係を図-5 に示す。最大荷重が大きいほど最大荷重時の水平変位は小さくなる傾向がある。最大荷重近傍では荷重がほぼ一定の状態では水平変位が大きくなり、最大荷重時に剥離していく様子がうかがえる。

4.3 付着応力とすべり量

付着応力-すべり量関係を図-6 に示す。板剛性が大きいと最大付着応力時のすべり量が小さくなる傾向が見られる。最大付着応力近傍ではすべり量が急激に大きくなった。

5. 鋼板定着試験体の実験結果

5.1 破壊状況

破壊状況を写真-4 に示す。最大荷重に達する前に、鋼板の周辺部のコンクリートにひび割れが発生した。その後、試験体によって CFRP 板の抜け出し、CFRP 板の破断、コンクリート母材全体の破壊が見られた。CFRP 板が抜け出した場合は、試験後、鋼板にモルタル分が付着していなかった。

5.2 最大荷重

鋼板定着試験体の実験結果の一覧を表-8 に示す。コンクリート圧縮強度、板剛性が大きいと最大荷重も大きくなる傾向がある。最大荷重の付着強度計算値に対する比は 3.65~5.66 であり、鋼板で定着を施すことにより付着耐力が大幅に上昇した。

最大荷重-アンカーボルトの総断面積関係を図-7 に示す。アンカーボルトの総断面積が大きいと、総じて最

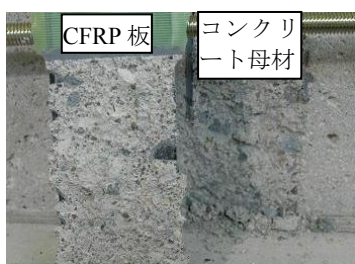


写真-3 破壊状況 (剥離面)

表-7 実験結果一覧 (増し貼り定着)

試験体 No.	試験体名	最大荷重時		最大荷重 / 付着強度 計算値*	最大付着応力時	
		最大荷重 P_{max} (kN)	水平変位 $\delta_{h,max}$ (mm)		付着応力 $\tau_{b,max}$ (MPa)	すべり量 S_{max} (mm)
17	B21-G1-G1-1	14.71	0.806	0.81	2.94	0.100
18	B21-G2-G2-1	19.20	0.516	0.90	3.84	0.101
19	B21-G2-G2-2	20.18	0.274	0.94	4.04	0.074
20	B21-H2-H2-1	17.78	0.688	0.73	3.56	0.037

*: 増し貼り定着部の影響を無視した場合の付着強度計算値¹⁾

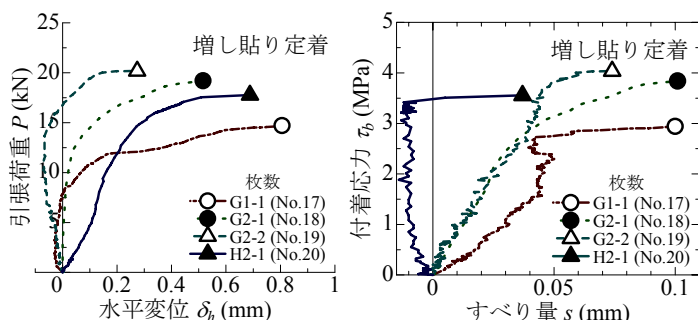


図-5 引張荷重-水平変位関係 図-6 付着応力-すべり量関係



写真-4 破壊状況

表-8 実験結果一覧 (鋼板定着)

試験体 No.	試験体名	最大荷重時		最大荷重 / 付着強度計算値*	最大付着応力時		破壊形式
		引張荷重 P_{max} (kN)	水平変位 $\delta_{h,max}$ (mm)		付着応力 $\tau_{b,max}$ (MPa)	すべり量 s_{max} (mm)	
21	C13-H2-M12-2	80.51	0.684	3.65	16.10	1.578	CFRP 板の抜け出し→破断
22	C13-H2-M16-2	93.67	0.802	4.24	18.73	1.916	CFRP 板の抜け出し→破断
23	C21-G1-M12-2	91.20	0.508	5.03	18.24	1.494	CFRP 板の抜け出し→破断
24	C21-G1-M16-2	70.92	0.850	3.91	14.18	0.776	CFRP 板の抜け出し
25	C21-G2-M12-2	94.25	1.208	4.41	18.85	0.965	コンクリート母材全体の破壊
26	C21-G2-M12-4	120.91	0.696	5.66	24.18	0.951	CFRP 板の抜け出し
27	C21-G2-M16-2	102.10	0.832	4.78	20.42	1.160	CFRP 板の抜け出し
28	C21-H2-M12-4	94.99	0.730	3.90	19.00	0.188	CFRP 板の抜け出し
29	C21-H2-M16-2	113.97	0.778	4.68	22.79	0.956	CFRP 板の抜け出し
30	C36-H2-M12-2	100.55	0.916	3.77	20.11	0.863	鋼板と CFRP 板が剥離
31	C36-H2-M16-2	102.78	0.856	3.86	20.56	2.659	CFRP 板の抜け出し

*: 鋼板定着部の影響を無視した場合の付着強度計算値¹⁾

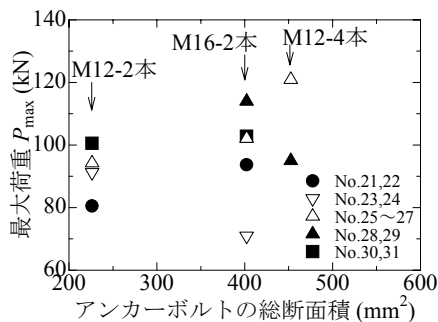


図-7 最大荷重-アンカーボルトの総断面積関係

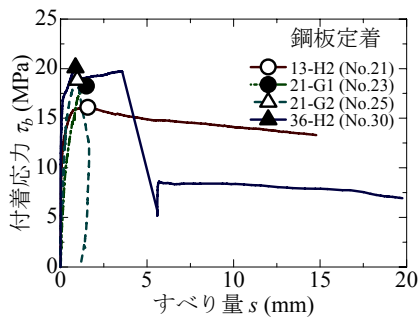


図-8 付着応力-すべり量関係

大荷重も増大している。

5.3 付着応力とすべり量

アンカーボルトに M12 を用い、本数を 2 本とした試験体の付着応力-すべり量関係を図-8 に示す。コンクリート圧縮強度、板剛性、アンカーボルトの径および本数が大きいと最大付着応力も大きくなるが、最大付着応力時のすべり量には明確な傾向が見られない。

6. まとめ

CFRP 板とコンクリートの局所的な定着性状を検討す

め、3種類の定着を施し1面せん断付着試験を行い、以下の知見を得た。

- (1) 炭素繊維シート定着試験体では、定着効果を無視した CFRP 板の付着耐力の計算値の 0.93~1.50 倍の最大荷重を示した。定着の効果が大きく見られたのは最大荷重に達し荷重が減少した後であり、すべり量の増大とともに炭素繊維シートの歪も大きくなり、面外拘束力が作用し CFRP 板の剥離および耐力低下を抑制した。
- (2) 一方向炭素繊維シート定着試験体における炭素繊維シートの有効な定着長は約 50 mm であった。
- (3) 鋼板定着試験体では、定着効果を無視した CFRP 板の付着耐力の計算値の 3.65 倍以上の最大荷重を示し、鋼板で定着を施すことにより付着耐力が大幅に上昇した。

謝辞

試験体の作製にあたっては、三菱化学産資(株)の協力を得た。実験の実施においては、筑波大学工学システム学類卒研究生張若平氏の協力を得た。

参考文献

- 1) 矢野 努ほか：CFRP 板とコンクリートの付着性状に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集（九州），C-2 構造IV，pp.113-116，2007.8
- 2) 松浦恒久ほか：炭素繊維シートによる既存 RC 部材の耐震補強に関する研究（その3）T 型梁補強実験，日本建築学会大会学術講演梗概集（九州），C-2 構造IV，pp.269-270，1998.9