

炭素繊維プレートで補強した梁の強度

(株) ダイクレ 正会員 ○大森 健太
日本舗道（株） 小林 智和
タカラ技研（株） 正会員 弓倉 啓右
山口大学工学部 正会員 浜田 純夫

1. はじめに

軽量で作業性がよく，耐食性に優れた性能を持つ連続繊維補強材のコンクリート構造への適用に対する期待が高まっている．中でもコンクリート部材の補修・補強においては炭素繊維シート接着工法が最も一般的であり，設計・施工指針などが現在整備されつつあるが問題点が多く有効な工法がない．そこで近年，板状に成形した炭素繊維集成板（以下 CCFP と示す；Consolidated Carbon Fiber Plate）による補強の可能性が研究されるようになってきた．本研究では，CCFP（写真-1 参照）を用いた補修・補強工法の確立を目指し，CCFP で RC 梁を補強した場合の補強効果確認，および補強効果に及ぼす端部固定補強の影響確認を曲げ静的試験によって行った．

2. 試験概要

使用した CCFP の性質を表-1 に示す．図-1 に梁の供試体の形状および寸法を示す．引張鉄筋，圧縮鉄筋ともに D10（SD295）を使用した．載荷点間距離 150mm，支点間距離 1500mm の 4 点曲げ載荷で試験を行い，無補強供試体 2 体，貼り付け枚数・端部固定方法を変えた供試体 11 体の計 13 体の比較検討を行った．使用した CCFP 板は厚さ 1.2mm，幅 50mm であり，CCFP の接着にはエポキシ樹脂を用い，供試体名は PL とした．供試体の諸元を表-2 に示す．



写真-1 炭素繊維板（CCFP）

表-1 CCFP の性質

引張強度 (N/mm ²)		2350
弾性係数 (N/mm ²)		1.52×10 ⁵
伸び (%)		1.9
比重		1.6
形状	厚さ (mm)	1.2
	幅 (mm)	50

3. 試験結果および考察

無補強供試体 2 体，CCFP 補強供試体 11 体の計 13 体の梁曲げ静的試験を行い，結果を表-2 に示す．破壊形式は曲げ破壊，CCFP 剥離曲げ破壊，CCFP 剥離せん断破壊の 3 種類となった．無補強比の基準値は PL-0 の平均値 (42.1kN) を用いて無補強比を比較すると，2 枚補強供試体と端部鋼板補強供試体を除いて無補強比 0.93～1.10 となり，最大荷重において著しい補強効果が表れる結果には至らなかった．

3-1 端部固定方法の確立

CCFP 端部に鋼板を設置し，φ10 のアンカーボルト 2 本で端部固定をした補強効果をたわみと荷重の関係から比較する．図-2 に示すようにたわみ量約 4mm まではほぼ同じような挙動を示したが，以後は端部に鋼板を挟むこと

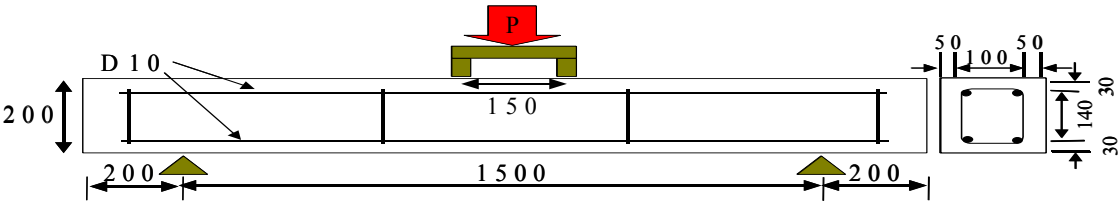


図-1 RC 梁供試体の概要（単位：mm）

表-2 梁曲げ供試体の諸元と結果

	供試体 No.	CCFP補強	定着部	端部固定	最大荷重 (kN)	無補強比	最大変位 (mm)	最大引張 鉄筋ひずみ ($\times 10^{-6}$)	最大コンクリート 上面ひずみ ($\times 10^{-6}$)	最大CCFP ひずみ ($\times 10^{-6}$)	破壊形式
1	PL-0	無補強			39.6	—	26.7	鉄筋降伏	3970	—	曲げ破壊
	PL-0	無補強			44.5	—	26.8	鉄筋降伏	2640	—	曲げ破壊
2	PL-1	単純貼付(1300mm)			44.7	1.06	4.5	鉄筋降伏	940	3480	CCFP剥離(曲げ)
3	PL-1-C	単純貼付(1300mm)	カギ爪補強		44.0	1.05	4.1	1920	650	2780	CCFP剥離(曲げ)
4	PL-1-T	単純貼付(1300mm)		扇	46.2	1.10	3.9	鉄筋降伏	750	3020	CCFP剥離(曲げ)
5	PL-1-A	単純貼付(1300mm)		アンカー	39.2	0.93	2.6	2090	590	2350	CCFP剥離(曲げ)
6	PL-1-CA	単純貼付(1300mm)	カギ爪補強	アンカー	46.1	1.09	5.3	鉄筋降伏	—	—	CCFP剥離(曲げ)
7	PL-1-CAS	単純貼付(1300mm)	カギ爪補強	端部鋼板+アンカー	54.8	1.30	12.1	鉄筋降伏	1796	4145	CCFP剥離(曲げ)
8	PU-1	単純貼付(上部1300mm)			44.7	1.06	22.9	鉄筋降伏	—	—	CCFP剥離(曲げ)
9	PL-1-L	全長貼付(1900mm)		端部L部品固定	43.9	1.04	3.2	鉄筋降伏	850	2650	CCFP剥離(曲げ)
10	PL-2-P	2枚重ね単純貼付(1300mm)			44.1	1.05	1.4	1240	—	—	CCFP剥離(曲げ)
11	PL-2	2枚並行単純貼付(1300mm)			67.3	1.60	4.3	鉄筋降伏	945	3100	CCFP剥離(せん断)
12	PL-2-D	損傷後2枚並行単純貼付(1300mm)			61.3	1.45	4.8	2738	826	2842	CCFP剥離(せん断)

数字：CCFP 貼り付け枚数，C：かぎ爪，T：扇，A：アンカーボルト，S：鋼板，L：端部L部品固定，P：2枚重ね，D：初期損傷

で終局荷重が約 11kN 向上した．さらに，破壊時のたわみ量も約 3 倍の 12mm まで剛性を保つことができ，端部鋼板固定による補強効果が確認できた．

3-2 損傷後の CCFP 補強効果

無補強供試体に損傷(静的試験結果の 80%の荷重)を与え，その後 CCFP を 2 枚補強し，その CCFP 補強効果をたわみと荷重の関係から比較する．図-3 に示すように概ねほぼ同じような挙動を示した．これより，損傷後の補強として十分な補強効果が確認できた．

3-3 引張鉄筋ひずみが 1800×10^{-6} 時の比較

表-2 で示したように，最大耐力で比較すると CCFP の効果が認められるものは少ないため，引張鉄筋が降伏するひずみを 1800×10^{-6} と仮定し，このひずみ時に CCFP の補強効果がどの程度表れるかを確かめた．無補強比の基準値は PL-0 の平均値(22.4kN)を用いた．表-3 に示すように下面補強を施した供試体(上面補強 PU-1 を除く)では無補強比 1.49～2.19 となり，補強効果は十分であると考えられる．鉄筋降伏時における変位の比較を行うと，PL-0 の変位が 1.05～1.29mm であるのに対して CCFP 補強供試体では 1.70～3.77mm であった．これにより，無補強供試体は小さなたわみ量で鉄筋の降伏に至るが，一方 CCFP 補強供試体は比較的大きなたわみ量が発生した後に鉄筋の降伏に至ることがわかる．以上により，CCFP が供試体に発生した引張応力を受け持つことで引張鉄筋ひずみの軽減となり，鉄筋降伏時における CCFP の補強効果が認められる結果が得られた．

4. まとめ

本研究で得られた知見は，鉄筋の降伏後の CCFP への応力負担が認められ，かつ梁の剛性が鉄筋降伏後もしばらく保たれていることから，補強材としての CCFP の十分な補強効果が発揮された．また，CCFP 端部に鋼板を設置し，φ10 のアンカーボルト 2 本で端部固定をした補強効果，さらに損傷後の CCFP 補強効果も認められた．

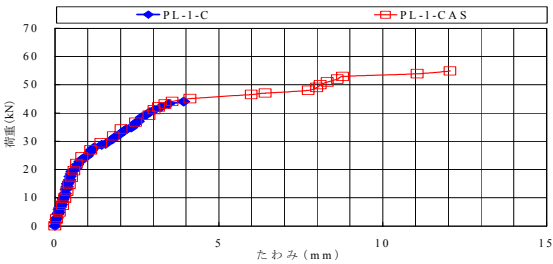


図-2 端部鋼板補強

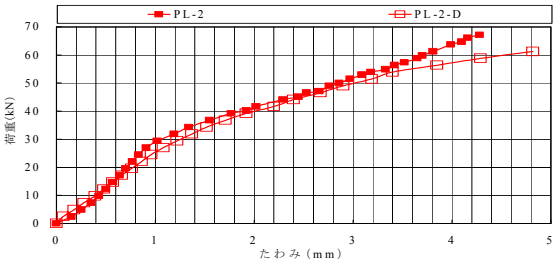


図-3 損傷後の CCFP 補強効果

表-3 引張鉄筋ひずみ 1800×10^{-6} 時の比較

供試体 No.	荷重 (kN)	変位(mm)	無補強比	コンクリート 上面ひずみ ($\times 10^{-6}$)	CCFPひずみ ($\times 10^{-6}$)
PL-0	20.0	1.05	—	410	—
PL-0	24.7	1.29	—	510	—
PL-1	34.7	2.44	1.55	530	2020
PL-1-C	38.9	2.86	1.74	530	1720
PL-1-T	38.2	2.64	1.71	510	1830
PL-1-A	35.4	2.16	1.58	520	2080
PL-1-CA	33.4	1.70	1.49	—	—
PL-1-CAS	34.3	2.02	1.53	458	1334
PU-1	29.1	3.77	1.30	—	—
PL-1-L	36.2	1.99	1.62	601	1760
PL-2-P	1260 $\times 10^{-6}$ で破壊				
PL-2	49.0	2.76	2.19	538	1489
PL-2-D	41.7	2.20	1.87	503	1578