

各種 CFRP 材料による鋼板の引張補強効果に関する研究

日鉄コンポジット(株) 正会員 ○立石晶洋 秀熊佑哉 小林 朗
 長岡技術科学大学 正会員 長井正嗣 宮下 剛
 (株)品川マテリアルエンジ 大堀尚宏

1. はじめに

腐食等による経年劣化により力学的特性が低下した鋼部材の補修方法として、現状ではボルトや溶接による当て板添接補強や部材の交換等、大がかりな作業が行われている。そこで近年では、より効率的・経済的な補修方法として、補修箇所に炭素繊維補強材(以下 CFRP)を貼付する工法が注目されている。補強材として使用されている CFRP には現場含浸タイプの炭素繊維シート¹⁾や、事前に樹脂を含浸した CFRP プレート、連続繊維ストランド 1 本ずつに樹脂を含浸・硬化させた FRP 素線をすだれ状にシート化した CFRP ストランドシート²⁾等が用いられている。そこで本研究では、各種 CFRP 材料を貼付した鋼部材において、補強材の違いが補強効果におよぼす影響を検討することを目的として引張試験を行った。

2. 実験概要

本実験では、図-1 に示すように、鋼板 (SM490 降伏強度: 385 N/mm²) の両面に CFRP を接着し、CFRP 補強鋼板の荷重-ひずみ関係を測定すると同時に、CFRP の剥離状況を観察した。供試体の仕様は表-1 に示す通りであり、CFRP ストランドシート、CFRP プレート、炭素繊維シートの 3 種類の材料を積層数を変えて貼付した。CFRP の積層は、端部での応力集中を防ぐために、各層 25mm ずらして接着を行った。³⁾ ここで、剥離を一方から進展させて観察するために、片端に CFRP の剥離防止のため最外層にアラミドシート 1 層を貼付け、他端を計測側とした。また、本実験で用いた材料の特性は表-2 に示す通りである。

表-1 実験パラメータ

供試体 No.	材料積層構成		
	材料		層数(片面)
1-1	高強度ストランドシート	SSHT600	5
1-2	高弾性ストランドシート	SSHM600	1
1-3	高弾性ストランドシート	SSHM600	3
1-4	高弾性ストランドシート	SSHM600	5
1-5	高弾性ストランドシート	SSHM900	1
1-6	高弾性ストランドシート	SSHM900	3
1-7	高弾性ストランドシート	SSHM900	5
1-8	高強度CFRPプレート	PLHT20	1
1-9	高弾性CFRPプレート	PLHM20	1
1-10	高弾性CFRPプレート	PLHM40	1
1-11	高弾性炭素繊維シート	CFHM300	6
1-12	高弾性炭素繊維シート	CFHM300	10

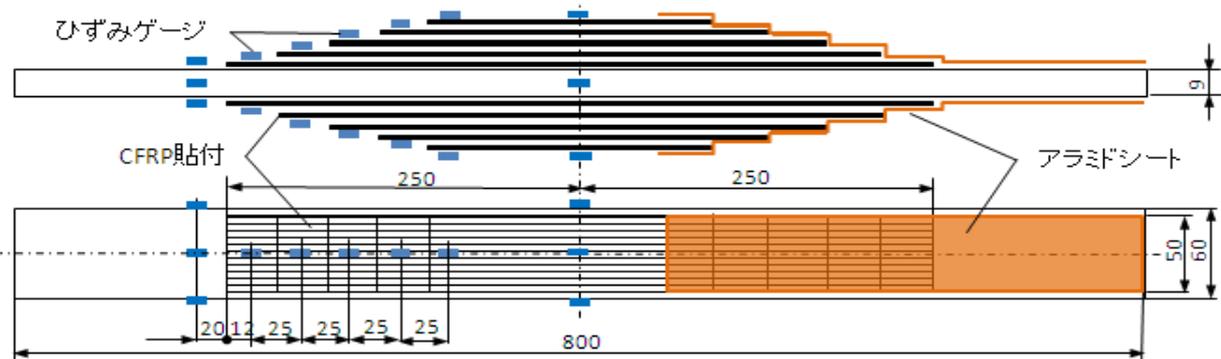


図-1 実験供試体

表-2 各材料の物性

	鋼板(SM490)	SSHT600	SSHM600	SSHM900	PLHT20	PLHM20	PLHM40	CFHM300
目付	g/m ²	-	600	628	910	-	-	314
幅	mm	60.8	50	50	50	50	50	50
厚み	mm	8.6	0.333	0.286	0.429	2.0	2.0	4.0
断面積 A	mm ²	523.5	16.65	14.3	21.45	100	100	200
弾性率 E	GPa	190	245	724	710	165	450	450

キーワード 鋼部材, 腐食補修, CFRP, 炭素繊維

連絡先 〒103-0024 東京都中央区日本橋小舟町 3-8 日鉄コンポジット(株) TEL 03-5623-5558

3. 実験結果

図-2、図-3 に剥離が発生していない No.1-7 と、剥離が発生した No.1-9 の無補強材の降伏荷重 (P_y) で無次元化した CFRP 補強鋼板の荷重と、無補強部・鋼補強部・CFRP 端部・CFRP 中央の4箇所のひずみとの関係を示す。また、同図に無補強部の計算値と、CFRP と鋼板の合成部材とした補強部の計算値も示す。これらの結果より、CFRP が剥離に至るまでは、実験値と計算値が一致していることがわかる。他の供試体においても同様の結果が得られた。

表-3 に引張剛性の計算値と測定値との比較および初期剥離荷重を示す。同表において、CFRP 部の引張剛性 EA_c は各 CFRP の弾性率と1層の断面積、積層数(両面)の積で計算した。また、全体の引張剛性の計算値 EA_{cal} は鋼板の引張剛性に CFRP 部の引張剛性 EA_c を足したものである。測定値 EA_{ms} は $P/P_y=0.2$ および $P/P_y=0.6$ での荷重と補強部鋼板ひずみの傾きより算出した。同表より得られた結果を以下に示す。

(1) 引張剛性

各供試体とも設計値より求めた全体の引張剛性と、測定値より求めた引張剛性がほぼ一致している。No. 1-12 は他の供試体と比べ若干引張剛性の発現率が低い値を示している。これまでの研究で十分な発現率を得るには補強部の最外層の長さが 200mm 以上必要とされているが¹⁾、No. 1-12 は10層を段差積層しており、最外層の長さが 50mm と短いため、応力の伝達が不十分であったと考えられる。

(2) 破壊様相

CFRP プレートで補強した No. 1-8 では鋼板降伏荷重の 57%、No. 1-9 では 32%、No. 1-10 では 30% で端部に初期剥離が確認され、その後、剥離が進展していき No. 1-8 では 82%、No. 1-9 では 52%、No. 1-10 では 35% で CFRP プレートは完全に剥離した。それ以外の供試体では鋼板の降伏荷重に至るまで剥離は発生しなかった。CFRP プレートは1層の厚さが厚く端部に応力集中がおこり剥離したと考えられる。また、剥離は鋼板と接着剤の界面で発生していることから、接着剤の違いも影響していると考えられる。

4. まとめ

炭素繊維シートを10層積層した No. 1-12 以外の供試体において、CFRP と鋼板の合成断面としたときの鋼材の荷重-ひずみ関係の計算値と実験値は、剥離が発生するまで一致しており、CFRP 補強鋼板は合成断面として計算可能であることが示された。また、CFRP プレートは降伏荷重の約 30~60% で CFRP が剥離しているのに対し、ストランドシートおよび炭素繊維シートでは降伏荷重まで剥離は発生しなかった。

参考文献

- 1) 杉浦、大垣、富田、稲葉、長井、小林：炭素繊維シート (CFRP) による鋼構造物の補修に関する研究：土木学会第 61 回年次学術講演論文集、2006. 9
- 2) 小林、佐藤、高橋：ストランドシート、CFRP プレート、炭素繊維シートによる RC はりの曲げ補強効果：土木学会第 62 回年次学術講演会講演概要集 V、pp763-764、2007. 9
- 3) 杉浦、小林、大垣、稲葉、富田、長井：鋼部材腐食損傷部における炭素繊維シート接着方法に関する解析的検討：土木学会論文集 A、vol. 64、No. 4、pp806-813、2008

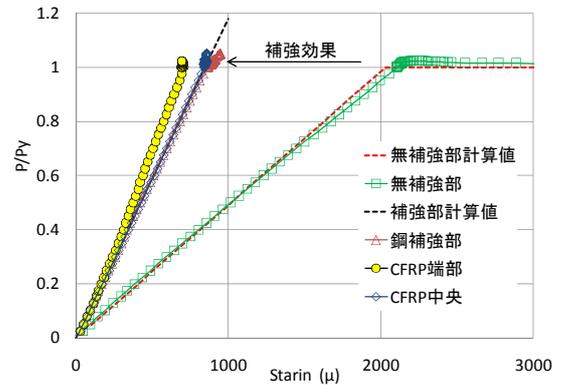


図-2 No. 1-7 の荷重-ひずみ関係

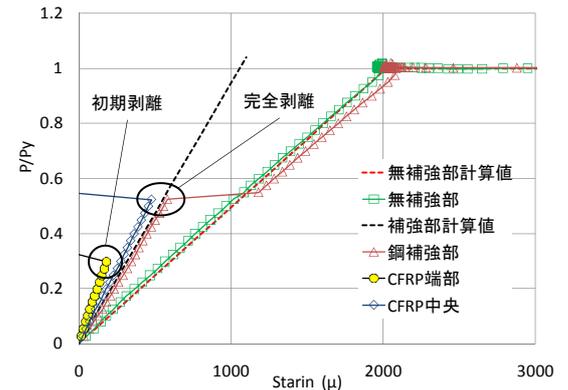


図-3 No. 1-9 の荷重-ひずみ関係

表-3 引張剛性の計算値と測定値との比較および初期剥離荷重

供試体 No.	CFRP部			全体引張剛性		引張剛性発現率 EA_{ms} / EA_{cal}	初期剥離荷重 P_{ip} / P_y	完全剥離荷重 P_{fp} / P_y
	材料	層数 (片面)	引張剛性 EA_c (kN)	計算値 EA_{cal} (kN)	測定値 EA_{ms} (kN)			
1-1	SSHT600	5	40790	139586	136883	98.1%	>100%	>100%
1-2	SSHM600	1	20706	118930	127951	107.6%	>100%	>100%
1-3	SSHM600	3	62118	160646	163296	101.7%	>100%	>100%
1-4	SSHM600	5	103530	202159	200788	99.3%	>100%	>100%
1-5	SSHM900	1	30460	129019	130938	101.5%	>100%	>100%
1-6	SSHM900	3	91380	190446	185047	97.2%	>100%	>100%
1-7	SSHM900	5	152300	251015	236971	92.5%	>100%	>100%
1-8	PLHT20	1	33000	132250	132661	100.6%	59%	82%
1-9	PLHM20	1	90000	189123	204596	113.7%	33%	49%
1-10	PLHM40	1	180000	278990	267588	95.9%	34%	35%
1-11	CFHM300	6	58512	157496	151926	96.5%	>100%	>100%
1-12	CFHM300	10	97520	196149	167067	86.4%	>100%	>100%