

鋼桁腹板の腐食部補修に向けた FRP シート接着鋼板の一軸圧縮座屈試験

高速道路総合技術研究所 正会員 ○酒井修平 緒方辰男 藤野和雄
 長岡技術科学大学 正会員 長井正嗣 宮下剛
 長岡技術科学大学 学生会員 下鳥雄萌
 日鉄コンポジット 正会員 小林朗 小森篤也
 川崎重工業 正会員 大垣賀津雄
 クラボウ 正会員 堀本歴

1. はじめに

鋼構造物の腐食に対する補修・補強工法として、当て板や部材交換が行なわれているが、断面欠損や熱影響等の問題がある。これに対して、炭素繊維強化プラスチック（以下 CFRP）接着工法が提案されており、十分な補強効果の得られることが明らかになっている¹⁾。

従来、CFRP 接着工法では、軸力部材や I 桁のフランジなど断面の垂直応力に対する補修・補強を対象としている。しかしながら、鋼橋では桁端部下フランジ近傍における腹板の腐食が多い²⁾。そのため、この部位に CFRP 接着工法を適用する場合、CFRP がせん断力の卓越による腹板の座屈変形に追従できず、端部における剥離の発生が問題となりうる。

本研究では、座屈変形に追従し、補強効果が得られる FRP シートの選定を目的として、様々な FRP シートを鋼板に接着し、一軸圧縮座屈試験を実施した(図-1)。

2. FRP シート接着鋼板の一軸圧縮座屈試験

図-2 示すように、長さ 800mm の鋼材 (SM490YB) の中央 400mm の範囲の両面に FRP シートを接着した。使用した FRP シートと材料定数を表-1 に示す。また、プライマーと FRP シートの間にウレタン樹脂パテ層を設け、ウレタン樹脂パテの有無による変形性能の比較も行うこととした。試験体の総数は、FRP シート 6 種類、ウレタン樹脂パテ層の有無による 2 ケース、各試験体が 3 体の計 36 体である。

3. 一軸圧縮座屈試験結果

全試験体の試験結果を表-2 に示す。試験の終了は、FRP シートに剥離あるいは破断が生じた時点とした。ウレタン樹脂パテの有無による相違は、ウレタン樹脂パテ仕様では FRP シートの破断のみであったが、ウレタン樹脂パテ無しでは FRP シートの剥離もしくは破断が生じる結果となった。

荷重-中央変位ならびに荷重-中央ひずみを、P(高強度ポリエチレン)を代表例として、それぞれ図-2、図-3 に示す。図中には、鋼板単体の弾性座屈荷重ならびに 4 章で説明する鋼と FRP シートによる合成断面としての弾性座屈荷重も合わせて示している。

図-2 より、P は高い変形性能を有するものの、耐荷力の向上にはあまり寄与しないことがわかる。また、図-3 より、FRP シート引張側のひずみが繊維の破断ひずみに達した付近で、FRP シートに破断もしくは剥離の生じていることがわかる。

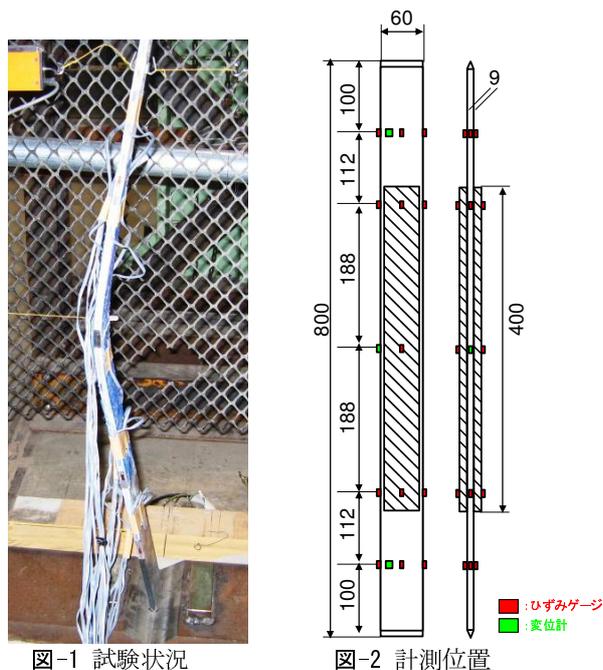


図-1 試験状況

図-2 計測位置

表-1 FRP シートと材料定数

繊維の種類	繊維の力学特性			
	弾性率 GPa	強度 MPa	破断ひずみ μ	厚さ mm
CU (高強度型炭素繊維)	240	4,900	20,417	0.121
CE (高弾性型炭素繊維)	640	3,430	5,359	0.116
G (ガラス繊維)	74	3,430	46,351	0.123
P (高強度ポリエチレン)	88	2,600	29,545	0.108
H (ハイブリッド C/G=1:1)	383	-	-	0.121
CS (高弾性型炭素繊維ストランドシート)	640	3,430	5,359	0.286

4. FRP シート接着鋼板の強度評価方法

FRP シート接着鋼板の座屈強度を評価するために、本研究では、以下の式で表される鋼材と FRP シートによる合成断面の弾性座屈荷重式を用いることとした。

$$P_v = k \frac{\pi^2 \cdot E_s \cdot I_v}{l^2}; \quad (k=1.0) \quad (1)$$

ここで、 E_s は鋼材の弾性係数、 I_v は合成断面の断面 2 次モーメント、 l は試験体長さである。なおここでは、試験体全長に FRP シートが接着されているものとして計算した。合成断面では、含浸樹脂を評価しないものとし、樹脂を無視した繊維の断面積と繊維のヤング係数を用いる。

図-4 に、補強効果の実験値および理論値の比較を示す。補強効果は鋼単体の弾性座屈荷重 P_E に対する、試験における最大荷重 P_{max} および合成断面の弾性座屈荷

キーワード 一軸圧縮座屈試験, FRP シート, ウレタン樹脂パテ, 破断, 剥離

連絡先 〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1903-1 長岡技術科学大学 建設構造研究室 0258-46-6000(内線 6307)

表-2 全ケースの弾性座屈荷重ならびに最大中央変位

試験体名			CUU1-1	CUU1-2	CUU1-3	CUN1-1	CUN1-2	CUN1-3	CEU1-1	CEU1-2	CEU1-3	CEN1-1	CEN1-2	CEN1-3
理論値	合成断面・弾性座屈荷重	P_V kN	10.57	10.82	10.47	10.57	10.57	10.63	12.27	12.02	12.08	12.13	12.08	11.99
	鋼・弾性座屈荷重	P_E kN	9.57	9.80	9.48	9.57	9.57	9.63	9.69	9.47	9.52	9.57	9.52	9.45
実験値	最大荷重	P_{max} kN	10.96	11.18	10.91	10.82	11.06	10.93	12.32	12.03	12.90	12.13	12.29	12.28
	破断(剥離)時の中央変位	δ_D mm	88.45	93.25	93.70	97.45	111.60	90.25	33.05	30.35	32.80	43.50	51.25	48.50
試験体名			GU1-1	GU1-2	GU1-3	GN1-1	GN1-2	GN1-3	PU1-1	PU1-2	PU1-3	PN1-1	PN1-2	PN1-3
理論値	合成断面・弾性座屈荷重	P_V kN	10.05	10.03	9.81	9.98	9.88	10.09	10.03	9.79	9.88	9.90	9.93	9.78
	鋼・弾性座屈荷重	P_E kN	9.73	9.71	9.50	9.67	9.57	9.77	9.70	9.46	9.55	9.57	9.60	9.46
実験値	最大荷重	P_{max} kN	9.86	10.36	10.50	10.77	10.62	10.93	10.13	10.76	10.71	10.05	10.36	10.24
	破断(剥離)時の中央変位	δ_D mm	79.65	100.70	76.75	-	198.20	153.00	109.45	228.40	177.85	210.70	218.05	125.45
試験体名			HU1-1	HU1-2	HU1-3	HN1-1	HN1-2	HN1-3	CSU1-1	CSU1-2	CSU1-3	CSN1-1	CSN1-2	CSN1-3
理論値	合成断面・弾性座屈荷重	P_V kN	11.29	11.37	11.14	11.19	11.06	11.25	16.32	16.17	15.94	16.85	16.11	16.17
	鋼・弾性座屈荷重	P_E kN	9.68	9.75	9.54	9.58	9.47	9.64	9.68	9.58	9.43	10.04	9.54	9.58
実験値	最大荷重	P_{max} kN	11.21	12.07	11.03	11.96	11.35	10.85	15.34	15.15	14.81	16.44	16.47	16.31
	破断(剥離)時の中央変位	δ_D mm	25.00	41.15	25.75	45.45	49.45	74.65	64.30	64.35	38.35	23.65	21.65	32.85

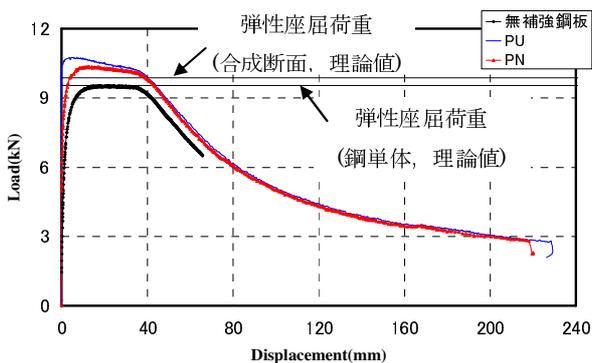


図-2 荷重-中央変位(U:パテ有り, N:パテ無し)

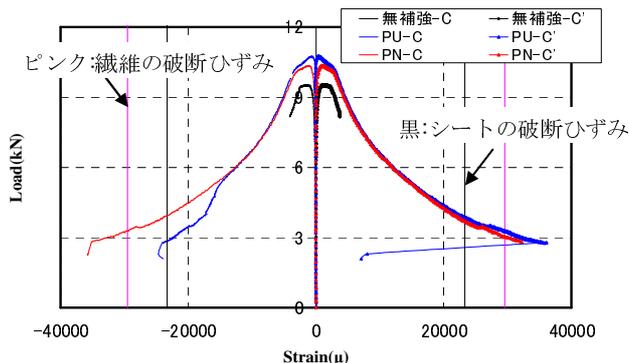


図-3 荷重-中央ひずみ(U:パテ有り, N:パテ無し)

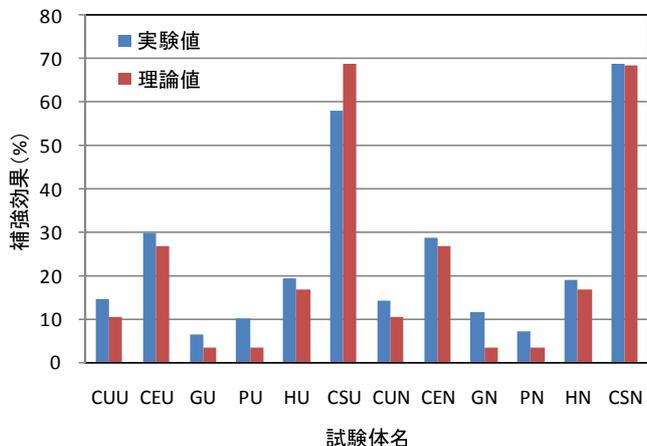


図-4 補強効果の実験値と理論値の比較 (U:パテ有り, N:パテ無し)

重の理論値 P_V の割合として算出した。同図より、各試験体とも理論値に近い補強効果が得られていることがわかる。しかし、CSU(ウレタン樹脂パテ仕様高弾性型炭素繊維ストランドシート)では、実験値が理論値に対して10%程度低い値となった。その原因は、ストランドシートの剛性が高く、試験片中央で座屈が発生する前に、シート端部で無補強部との境界で座屈したためであると考えられる。以上より、FRP 接着鋼板の弾性座屈強度は、座屈が試験片中央で発生する範囲では全長にFRP シートが接着されていると仮定した式(1)から評

価できるものと言える。一方、補強部の剛性が高く、また補強範囲が短い場合には、座屈が試験片中央で発生する前に補強外で発生するため、有限要素解析など補強範囲の影響を考慮して評価する必要がある。

5. まとめ

本研究では、鋼橋の桁端部における腐食を想定し、座屈変形に追従し、補強効果が得られるFRP シートの選定を目的として、様々なFRP シートを接着した鋼板の一軸圧縮座屈試験を実施した。

その結果、座屈荷重を向上させるFRP シートは、鋼単体での弾性座屈荷重から60%程度の補強効果が得られたCS(高弾性型炭素繊維ストランドシート)、次いで30%程度の補強効果が得られたCE(高弾性型炭素繊維)となった。

また、高い変形性能を有し、追従性の期待できるFRP シートは、FRP シートが破断あるいは剥離するまで165mm程度の変形性能を有しているP(高強度ポリエチレン)、次いで105mm程度の変形性能を有しているG(ガラス繊維)となった。

参考文献

- 1) 杉浦江, 小林朗, 稲葉尚文, 本間淳史, 大垣賀津雄, 長井正嗣, : 鋼部材腐食損傷部の炭素繊維シートによる補修技術に関する設計・施工法の提案, 土木学会論文集F, Vol.65, No.1, pp.106 - 118, 2009.
- 2) 土木学会 鋼構造委員会: 鋼構造の残存耐荷性能評価と耐久性向上方策研究小委員会報告書, 2007.4.