

炭素繊維シート接着により補強された鋼短柱の局部座屈強度に関する実験研究

新日鉄住金マテリアルズ株式会社 正会員 ○秀熊 佑哉, 小林 朗
ものづくり大学 正会員 大垣 賀津雄, 学生会員 菊地 新平
長岡技術科学大学 正会員 宮下剛, 長野工業高等専門学校 正会員 奥山雄介

1. はじめに

現在, 設計活荷重や地震荷重の改定以前の橋梁に使われている鋼部材は, 耐荷力が不足しているケースが見受けられる. とりわけ地震時における鋼製柱の設計には全体座屈と局部座屈の2種類を考慮する必要があり, その補強は容易ではない.

一方, 炭素繊維シート接着による鋼部材の補修・補強は, 腐食に対する補修検討は数多くあるが, 座屈に対する補強検討は十分には行われていない. そこで本研究では, 3種の幅厚比パラメータを有する鋼短柱を用い, 炭素繊維シートの種類, 貼り付け方向, 高伸度弾性パテ¹⁾の有無をパラメータとした一軸圧縮試験を行い, 各パラメータが局部座屈強度に与える影響を検討した.

2. 試験概要

圧縮試験の供試体は図-1に示すようなH型断面の短柱とした. 腹板の寸法は, 高さ720mm, 幅360mmで, 厚さは6mmを基本とし, 比較のため, 8mm, 11mmも1体ずつ用いた. 各鋼板の降伏応力は, それぞれ297N/mm²(6mm), 301N/mm²(8mm, 9mm), 287N/mm²(11mm)で, 各腹板の幅厚比パラメータは, 1.216, 0.918, 0.652である. 炭素繊維シートの材料諸元は表-1に示す通りである. シートは繊維目付け300g/m²の高弾性と中弾性の

2種類と, 繊維目付け600g/m²の中弾性ストランドシートの計3種を使用した. また, 圧縮試験の実験パラメータを表-2に示す. パラメータはシート種, 貼り付け方向, 高伸度弾性パテ(弾性係数: 61N/mm²)の有無とした.

施工は, 鋼材表面をディスクサンダーにて2種ケレン相当にケレンした後, 高伸度弾性パテ材有りの供試体では, ウレタンプライマーを塗布後, 高伸度弾性パテ材を塗布厚0.8mm程度になる様に塗布し, その後, 所定の層数の炭素繊維シートをエポキシ樹脂にて接着した. 高伸度弾性パテ材無しの供試体では, ケレン後にエポキシプライマーを塗布した後, 炭素繊維シートを両面全面に施工している.

炭素繊維シートの積層数は, 腹板厚6mmの試験体で局部座屈荷重が降伏荷重を上回るように, 引張剛性換算にて決定した. 3種のシートはそれぞれ引張剛性が同程度となるように, 高弾性4層, 中弾性6層, ストランドシート3層とした.

試験手順は, 最初に各供試体の初期たわみを計測し, その後, 炭素繊維シート施工し, 単調載荷にて座屈により荷重が低下するまで載荷を実施した. 計測項目は, 荷重, 鉛直変位, 供試体中央両面の水平変位および図-1に示すA~D点の載荷軸方向ひずみとした.

3. 結果と考察

表-2に圧縮試験より得られた各供試体の腹板座屈荷重, 終局荷重とそれぞれの全塑性荷重に対する比率を示している. ここで, 腹板座屈荷重は, 図-2に示すように腹板中央のA点の載荷軸方向ひずみが急変したときの荷重とした. 表-2より得られた知見を以下に示す.

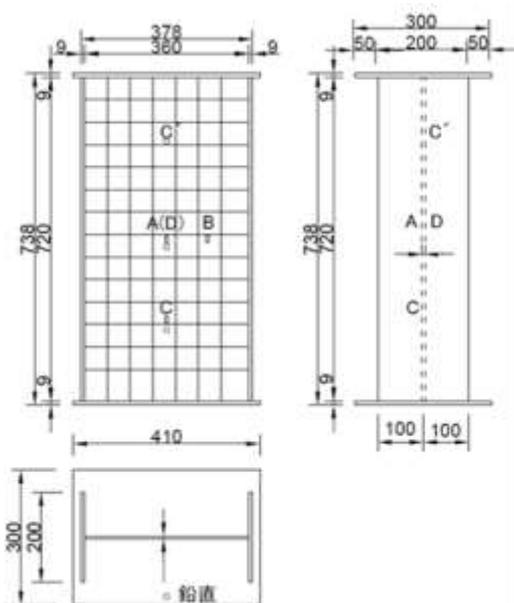


図-1 供試体図

表-1 炭素繊維シートの材料諸元

シート種	繊維目付 g/m ²	設計厚 mm	引張強度 N/mm ²	ヤング係数 N/mm ²	施工厚 mm
高弾性	300	0.143	2771	6.57 × 10 ⁵	0.643
中弾性	300	0.165	4102	4.23 × 10 ⁵	0.665
ストランドシート	600	0.330	3950	4.17 × 10 ⁵	2.413

※設計厚, 施工厚は1層あたりの値. 施工厚は計算値.

キーワード 炭素繊維シート, 鋼短柱, 局部座屈, 補強, 耐荷力

連絡先 〒103-0024 東京都中央区日本橋小舟町3-8 新日鉄住金マテリアルズ株式会社 TEL03-5623-5558

表-2 試験体一覧と圧縮試験結果

供試体	実験パラメータ					全塑性軸力 ① (kN)	腹板座屈荷重 ② (kN)	終局荷重 ③ (kN)	比率(%)		
	腹板 t_w (mm)	炭素繊維シート の種類	貼り付け方向と積層数		パテ				②/①	③/①	
			腹板	フランジ							
CASE0	6	なし	なし	なし	なし	1710	959	1497	56	88	
CASE1					あり		1357	1593	79	93	
CASE2					なし		1416	1705	83	100	
CASE3					なし		1359	1816	80	106	
CASE4		高弾性	鉛直 4 層 水平 4 層	なし	あり		1080	1638	63	96	
CASE5					なし		1458	2187	85	130	
CASE6		中弾性	鉛直 6 層 水平 6 層	なし	なし		なし	1259	1858	74	110
CASE7							鉛直 6 層	1500	2317	88	135
CASE8		ストランドシート	鉛直 3 層 水平 3 層	なし	あり		2536	2568	148	150	
CASE9		中弾性	鉛直 6 層 水平 6 層		なし		1950	1350	2394	69	123
CASE10	あり			2170	1407	2807	65	129			

(1) 炭素繊維シート種の影響

CASE3 と 5, CASE4 と 6 をそれぞれ比較すると, 腹板座屈荷重の全塑性に対する比率が 5~11%, 終局荷重は 14~24% 中弾性の方が高いことがわかる. 腹板座屈荷重の違いは, 中弾性の方が積層数が多く, 同じ引張剛性でも曲げ剛性が高くなるためであり, 腹板座屈荷重よりも終局荷重の方がより高くなるのは, シートの強度の違いによるものであると考えられる. 高弾性では, 早期にシートの座屈破壊が観察された.

また, CASE6 と 8 を比較すると, ストランドシートは中弾性と同等の引張剛性・強度にあるにも関わらず, 腹板座屈荷重, 終局荷重ともにストランドシートの方が大きい結果となった. これは, ストランドシートの方が施工厚が厚く, 曲げ剛性が高かったためと考えられる. 座屈強度の評価には, 炭素繊維シートを引張剛性ではなく, 曲げ剛性換算にて評価する必要があることがわかった.

(2) 貼り付け方向の影響

CASE1 と 4 を比較すると, 鉛直方向のみを補強するよりも, 水平方向も合わせて補強することで, 腹板座屈荷重は変わらないが, 終局荷重が大きくなることがわかった.

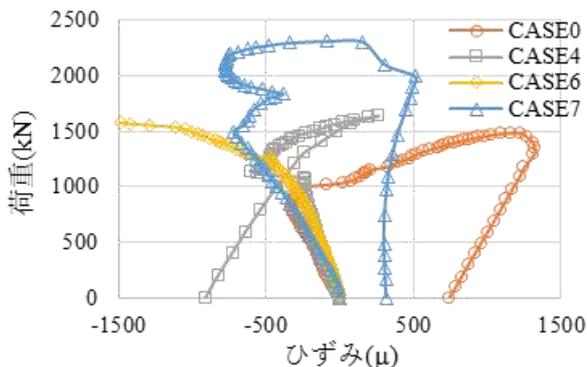


図-2 荷重と腹板の軸ひずみの関係 (CASE0, 4, 6, 7)

た. 軸方向の剛性は変わらないため腹板座屈荷重は向上しないが, 腹板座屈の面外変形に対しては水平方向のシートも抵抗するため, 終局荷重が向上したと考えられる.

(3) 高伸度弾性パテの影響

同条件の供試体において, 高伸度弾性パテなしの方が, ありと比較して腹板座屈荷重, 終局荷重ともに高い結果となった. これは高伸度弾性パテの弾性係数が低く, 補強効果のロスが発生したためと考えられる.

本試験では, 端部の局率が大きくならず高伸度弾性パテなしでもシート端部において剥離は発生しなかった. しかし, 橋脚などの実構造物では, 板要素に圧縮のみならず引張も交番的に载荷されるので, 炭素繊維シートの剥離が生じやすい可能性があり, 定着部の位置を含めた交番载荷実験が必要と思われる.

4. まとめ

鋼短柱を用い, 炭素繊維シートの種類, 貼り付け方向, 高伸度弾性パテの有無をパラメータとした一軸圧縮試験を行い, 各パラメータが局部座屈強度に与える影響を検討した結果, 中弾性炭素繊維シートを用いて, 鉛直方向および水平方向それぞれを補強することが望ましいことがわかった. 高伸度弾性パテに関しては本実験において, 優位性は確認されなかった.

謝辞: 本研究を遂行するにあたり, ものつくり大学の石川真君をはじめとする橋梁・構造研究室の方々にご多大なご協力を頂いた. 厚く謝意を表す.

参考文献

1) 若林, 宮下, 奥山, 秀熊, 小林, 小出, 堀本, 長井: 高伸度弾性パテ材を用いた炭素繊維シート接着による鋼桁補修設計法の提案, 土木学会論文集 F4, Vol. 71, No. 1, 44-63, 2015, 02.