

変形を生じた鋼部材に対する炭素繊維シート接着工法の補修効果に関する実験的検討

長野工業高等専門学校 学生会員 ○丸山 寛斗
 長野工業高等専門学校 正会員 奥山 雄介
 長岡技術科学大学 正会員 宮下 剛
 日鉄ケミカル&マテリアル 正会員 秀熊 佑哉
 ものづくり大学 正会員 大垣 賀津雄

1. はじめに

近年、橋梁をはじめとする社会基盤構造物は、老朽化が進行しており、社会的なリスクが高まっている。鋼橋に目を向けると、老朽化に伴う塗装塗り替えの際に火災が発生するなどの問題が顕在化している。火災が発生すると、熱により部材が変形を生じることがある。変形した部材に対しては、加熱矯正や部材交換といった方法が一般的に用いられている。しかし、これらの工法は、施工が大掛かりとなってしまうことで早急な対策が困難であるという問題がある。

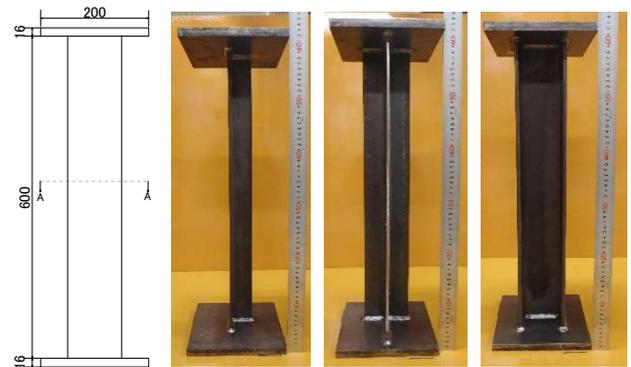
著者らは、これまでに腐食損傷を有する鋼部材に対して炭素繊維シートを貼り付けることで耐荷力を向上させる工法（以下、炭素繊維シート接着工法と記す）について検討を進めてきた。それらの成果は高速道路総合技術研究所から「炭素繊維シートによる鋼構造物の補修・補強工法 設計施工マニュアル」¹⁾としてまとめられている。

ここでは、先述した部材の変形といった問題に対する炭素繊維シート接着工法の適用性について検討を行う。炭素繊維シート接着工法は、従来工法と比較して、大掛かりな設備を必要としないことから、早急な対策が可能となる。これまでに、変形した平鋼板に対する炭素繊維シート接着工法の適用に関する実験的検討を行っており²⁾、そこでは、(1) 残留変形の大きさに比例して耐荷力が低下すること、(2) 炭素繊維シートを貼り付けることで終局強度が健全時まで回復すること、(3) 変形に対して凸側にシートを貼り付けることで効率的な補修が可能となることが明らかとなった。

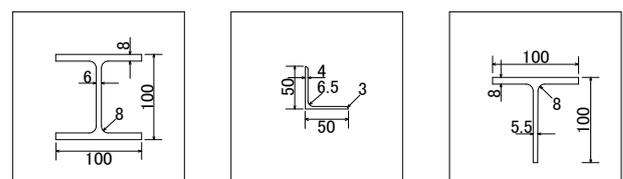
本研究では、それらの試験結果をもとに、2次部材を想定した形鋼（H、L、CT形鋼）を対象とする。試験方法はこれまでと同様、一軸圧縮試験とし、一度載荷を行い、座屈変形を生じた試験体に

表-1 試験体概要

種類	断面寸法 [mm]	降伏応力 [MPa]
	$H \times B \times t_1 \times t_2$	σ_y
H形鋼	100 × 100 × 6 × 8	351
L形鋼	50 × 50 × 4	361
CT形鋼	100 × 100 × 5.5 × 8	345



(a) 全体形状（右：実物写真）



H形鋼

L形鋼

CT形鋼

(b) 断面形状

図-1 試験体形状

対して炭素繊維シートを貼り付け、その補修効果について検討を行う。

2. 試験概要

本研究で使用する試験体は、鋼種 SS400 の形鋼である。使用した形鋼の概要を表-1 に示す。試験体の長さはいずれの形鋼も 600 mm とし、端部には 200 × 200 × 16 mm のエンドプレートを設置する。試験体形

表-2 座屈荷重計算結果

種類	断面寸法 [mm]	断面 2 次モーメント I_{min} [mm ⁴]	断面 2 次半径 r [mm]	細長比パラメータ λ_c	幅厚比パラメータ R_{max}	降伏荷重 P_y [kN]
H 形鋼	100 × 100 × 6 × 8	1,340,000	24.9	0.161 (< 0.2)	0.397 (< 0.7)	757.8
L 形鋼	50 × 50 × 4	37,600	22.4	0.177 (< 0.2)	0.788 (> 0.7)	459.9
CT 形鋼	100 × 100 × 5.5 × 8	669,000	9.8	0.414 (> 0.2)	1.121 (> 0.7)	140.5

状を図-1 に示す。

試験は、圧縮試験機（最大容量 2,000 kN）により行う、まず、座屈変形を生じさせるための圧縮試験を実施する。ここでは、載荷後の鉛直変位が 30 mm 程度残留するように載荷を終了し、除荷後に残留変形量を計測する。計測した変形量に応じて、炭素繊維シートの積層数を決定し、補修後に再度載荷試験を実施し、補修効果を確認する。いずれのケースについても 2 体の試験を実施する。

3. 研究成果

載荷試験については、今後進めていく予定であるため、現状では、試験に向けて検討した座屈荷重計算結果について示す。表-2 に計算結果を示す。ここで、断面 2 次モーメントおよび断面 2 次半径については、デザインデータブックから引用した³⁾。細長比パラメータ、幅厚比パラメータについては、以下の式を用いて算出した。

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}} \frac{l}{r} \quad (1)$$

$$R = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E} \times \frac{12(1-\nu^2)}{\pi^2 k}} \quad (2)$$

ここで、 l は有効座屈長 (= 600 / 2 = 300 mm)、 E は弾性係数 (200 GPa)、 ν はポアソン比 (0.3)、 k は座屈係数 (3 辺単純支持板 : 0.425, 周辺単純支持板 : 4.0) である。

本試験で用いる試験体の寸法は、細長比が小さいため、オイラー座屈の適用範囲外となる。したがって、ここでは以下に示すジョンソンの式を用いて座屈荷重を計算する。

$$\sigma = \sigma_s \left(1 - \frac{\sigma_s}{4\pi^2 E (l/k)} \lambda^2 \right) \quad (3)$$

さらに、局部座屈荷重については、周辺単純支

表-3 座屈荷重の計算結果

種類	ジョンソン式 [kN]	局部座屈荷重 [kN]
H 形鋼	756.6	-
L 形鋼	459.0	340.2
CT 形鋼	139.0	130.2

持板、3 辺単純支持 1 辺自由の板として、福本の式⁴⁾から算出する。

$$\sigma_u / \sigma_y = (0.7 / R)^{0.64} \quad (R > 0.7) \quad (4)$$

これらの計算結果を表-3 に示す。

表より、L 形鋼、CT 形鋼では局部座屈が先行する形で終局に至ると考えられる。一方、H 形鋼では、全断面が塑性することで終局に至ると考えられるため、座屈の評価が難しいプロポーションであると考えられる。

4. 今後の検討

載荷試験の実施を進める。これまでに計算した座屈荷重との比較や、最適な補修方法の検討等が課題として残されているが、実験の状況を詳細に分析しながら検討を進めていきたい。

参考文献

- 1) 高速道路総合技術研究所：炭素繊維シートによる鋼構造物の補修・補強工法 設計施工マニュアル，2013。
- 2) 奥山雄介，宮下剛，秀熊佑哉，広瀬剛，大垣賀津雄：変形を生じた鋼部材に対する炭素繊維シートを用いた合理的補修工法の検討，日本鋼構造協会，鋼構造年次論文報告集，Vol.26, pp.288-292, 2018。
- 3) 一般社団法人 日本橋梁建設協会：'16 デザインデータブック，2016。
- 4) 社団法人 土木学会：座屈設計ガイドライン 改訂第 2 版 [2005 年版]，2005。