

残留変形を有する鋼部材への炭素繊維シート接着による補修工法に関する基礎検討

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
 新日鉄住金マテリアルズ 正会員 小林 朗, 秀熊 佑哉

1. はじめに

鋼構造物では、車両の衝突や火災時の温度上昇などによって、局所的な残留変形を生じることがある。これは、部材の強度低下に結び付くため、適切な対策を施す必要がある。このような問題に対しては、変形した部材を切り出し、新たに部材を添接する部材交換や熱を加えて矯正する加熱矯正などの工法が用いられている¹⁾。これらの工法は、変形量によらず一定の架設機材が必要となるなど、施工が大掛かりなものになる。

そこで、本研究では、鋼部材の補修・補強材料として盛んに研究がおこなわれ、腐食損傷に対してはNEXCOにおいてマニュアル化されている炭素繊維シート接着工法²⁾に着目し、上述した問題に対する適用性を明らかとするための基礎検討を行う。

2. 試験概要

本試験で使用した鋼板は、鋼種 SS400 (降伏応力 $\sigma_y=320$ MPa)、寸法は 1,250mm×60 mm×9 mm の平鋼板である。この鋼板の中央部に塑性変形を与え、ここに炭素繊維シートを接着し、一軸圧縮試験を実施することで補修効果を確認する。

使用した炭素繊維シートは、繊維目付量 300 g/m² の一方向炭素繊維シートであり、鋼板の長手方向に繊維方向を合わせて接着を行っている。施工については、文献2) に準じて行うものとし、鋼材と炭素繊維シートの間には高伸度弾性パテ材を挿入し、層間には端部のせん断応力を十分に低減させるために 25 mm のずらしを設けて積層する。

次に、試験ケースを表-1 に基づいて説明する。試験ケースは、健全な鋼板 (以下、N と記す)、平鋼板を両端固定の条件で圧縮し、载荷後の試験体中央部の変形量が 30 mm となるように塑性変形させた試験体 (以下、D30-N と記す)、D30-N と同様の鋼板に炭素繊維シートを貼り付けて補修した試験体 (以下、D30-2 と記す) の3ケースを実施する。N および D30-N

表-1 試験ケース

試験体番号	変形量	炭素繊維シートの積層数	N 数
N	-	-	1
D30-N	30 mm	-	1
D30-2		片面 2 層	3



写真-1 試験体形状 (D30-2)

については各 1 体、D30-2 については 3 体実施し、それぞれ D30-2-1, D30-2-2, D30-2-3 とする。炭素繊維シートの積層数については、いずれも鋼板の片面に 2 層、両面で 4 層とした。積層数の決定方法については、3 章で後述する。写真-1 に作成した試験体を示す。

载荷は容量 500 kN のアクチュエータを用いて行う。試験体の両端に切削加工を行い、治具を使用することで両端単純支持条件を満足するように载荷を行う。

3. 試験結果

試験により得られた最大荷重を表-2 に示す。ここで、健全な鋼板を用いた N についてみると、オイラーの座屈荷重 ($P_E=4.61$ kN) に対して試験値は 4.45 kN となり、単純支持条件で試験が実現されていたことが確認できる。これに対し、試験体の中央部に 30 mm の残留変形を与えた D30-N では、最大荷重は 3.32 kN となり、強度が大きく低下した。

さらに、各試験で得られた荷重と試験体中央の面

キーワード 鋼桁, 残留変形, 炭素繊維シート, 補修, 維持管理

連絡先 〒381-8550 長野県長野市大字徳間 716 長野工業高等専門学校 環境都市工学科 Tel 026-295-7096

外たわみの関係を図-2 に示す。○が健全時 (N), □が残留変形あり, 未補修 (D30-N), △が残留変形あり, 補修あり (D30-2) を示す。これより, 残留変形を与えた D30-N では, 健全時に比べて剛性が大きく低下していることが分かる。一方, 炭素繊維シートを貼り付けた場合には, 健全時までとはいかないものの, 剛性の回復が見られる。

ここで, 補修量の決定方法について述べる。本試験では, 曲げ剛性を増加させることで強度の回復を図ることを試みた。そこで, N と D30-N の試験結果より曲げ剛性の低下率を算出し, その逆数倍となるような枚数のシートを貼りつけることで強度を回復できるようにシートの枚数を決定する。

まず, 曲げ剛性の低下率については, 試験体の断面, 長さが同一であるため, 強度比として表すことができる。

$$\frac{EI_{(N)}}{EI_{(D30-N)}} = \frac{\text{健全時の最大荷重}}{\text{残留変形を与えた時の最大荷重}} \quad (1)$$

したがって N の曲げ剛性を 1.000 としたとき, D30-N は 0.746 となる。このため, 必要となる曲げ剛性の増加率は $1/0.746=1.34$ となる。

次に, 残留変形のない鋼板に炭素繊維シートを貼り付けた時の曲げ剛性の増加率は以下の式で計算できる。

$$\frac{(EI)_S}{(EI)_{S+CFRP}} = \frac{\frac{1}{12} E_S \cdot b_S \cdot t_S^3}{\frac{1}{12} E_S \cdot b_S \cdot (t_S + \frac{E_{CFRP}}{E_S} \cdot t_{CFRP} \cdot n)^3} \quad (2)$$

ここで, $(EI)_S$, $(EI)_{S+CFRP}$ はそれぞれ鋼単体の曲げ剛性, 鋼材と炭素繊維シートの合成板としての曲げ剛性, E_S , b_S , t_S は鋼材の弾性係数 (200 GPa), 幅 (60 mm), 板厚 (9 mm), E_{CFRP} , t_{CFRP} , n は炭素繊維シートの弾性係数 (640 GPa), 厚さ (0.143 mm), 積層数である。

これより, 片面 1 層とした場合には増加率 1.34, 2 層とした場合には増加率 1.74 となる。式(2)は残留変形のない鋼板に対する計算値であるため, 残留変形が存在する場合, 曲げ剛性の増加率が計算値よりも低下すると考えられるため, 本研究では片面 2 層として試験を実施することとした。

本試験の結果から, 片面 2 層の炭素繊維シートを積層することで最大荷重は健全時まで回復していることが分かるが, D30-N に対する曲げ剛性の増加率

表-2 最大荷重

試験体番号	最大荷重 [kN]	N に対する強度比
N	4.45	1.000
D30-N	3.32	0.746
D30-2	4.67	1.049

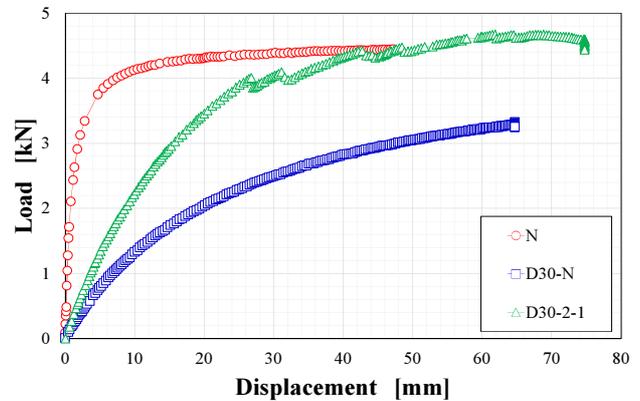


図-2 荷重-面外たわみ関係

は 1.41 となり, 計算値よりも小さくなる結果となった。これについては, 上述した通り, 残留変形の影響であると考えられるため, 形状に応じた低減率を考慮して, 設計式を検討していく必要がある。

4. まとめ

火災や衝突などに起因する残留変形に対する炭素繊維シート接着工法の適用性を明らかにするために, 残留変形を有する鋼板の一軸圧縮試験を実施した。

本研究では試験体中央部に最大 30 mm の残留変形を与え試験を実施したところ, 健全時に比べて 25.3 %の強度低下がみられた。これに対して炭素繊維シートを片面 2 層積層したところ, 健全時の強度まで回復することが確認できた。

今後は, 残留変形の大きさや形状を変化させ一軸圧縮に対するデータの蓄積を行い, 現場の状況に応じた設計が可能となるように, 評価方法の構築を進めていく。本検討により, 炭素繊維シート接着工法の適用範囲が広がると期待できる。

参考文献

- 1) 社団法人 日本道路協会:道路橋補修・補強事例集 (2012 年度版)
- 2) 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, 2015.