

鋼橋における炭素繊維シートを用いた耐震補強工法の基礎研究

構造研究室 濱 達矢

指導教官 宮下 剛

1. はじめに

現状、鋼橋の補修や補強では、当て板工法が採られているものの、施工に優れないという問題点がある。そこで、施工の効率化を目的に、炭素繊維シートを用いて鋼橋を補修する工法ならびに腐食部を補修する工法の開発を進めてきた。特に、後者の検討を通じて、鋼部材と炭素繊維シートの間を高伸度弾性パテ材(以降、パテ材とする)を挿入することで、座屈変形による大変形に追従して強度が向上することが確認された。そこで、当て板工法が採用されている鋼橋の耐震補強に本工法を適用することで、応力低減、耐力向上、じん性向上などの効果が期待される。

2. 研究目的

本研究では、炭素繊維シートを用いた耐震補強工法の開発に向けた圧縮試験より炭素繊維シートを接着した鋼柱の圧縮試験を行う。検討項目は、炭素繊維シート補強およびパテ材の有無、また炭素繊維シートの貼付方向が補強効果に与える影響とする。

3. 試験概要

3.1 幅厚比パラメータ

本研究では、トラス橋の弦材を想定した箱型供試体を使用した。供試体では板としての終局強度を評価するため、その長さを十分に短くして全体座屈を発生させないようにするとともに、板の幅厚比パラメータ R (式-1)を適切に決定する必要がある。

$$R = b_s t_s \sqrt{(\sigma_y / E_s) \cdot \{12(1 - \nu^2) / \pi^2 k\}} \quad (\text{式-1})$$

ここに、 b_s は鋼部材の板幅、 t_s は鋼部材の板厚、 σ_y は鋼材の降伏応力、 E は鋼材のヤング係数、 ν は鋼材のポアソン比(=0.3)、 k は座屈係数(=4.0)である。

ここで、炭素繊維シートによる補強効果を評価するために、鋼換算幅厚比パラメータ \bar{R} (式-2)を以下のように仮定する。

$$\bar{R} = b_s \bar{t}_s \sqrt{(\sigma_y / E_s) \cdot \{12(1 - \nu^2) / \pi^2 k\}} \quad (\text{式-2})$$

$$\bar{t}_s = t_s + N t_{cf,s} \quad (\text{式-3})$$

$$t_{cf,s} = t_{cf} \times E_{cf} / E_s \quad (\text{式-4})$$

ここに、 N は炭素繊維シートの積層数、 $t_{cf,s}$ は鋼換算した炭素繊維シートの厚さ、 t_{cf} は炭素繊維シートの厚さ、 E_{cf} は炭素繊維シートのヤング係数である。

表-1 試験ケース

| 供試体記号 | 幅厚比パラメータ | | 積層数 | 定着長 (mm) | ずらし量 (mm) | n | 備考 |
|-------------|----------|-----|-----|-------------|--------------|---|-------|
| | 補強前R | 補強後 | | | | | |
| R08-N0-N | 0.8 | - | 0 | 115 | 0 | 2 | |
| R08-N10-N | 0.8 | 0.5 | 10 | 115 | 0 | 2 | パテ材無 |
| R08-N10-P | 0.8 | 0.5 | 10 | 115 | 0 | 2 | パテ材有 |
| R08-N10-N-H | 0.8 | - | 10 | 115 | 0 | 1 | 周方向補強 |
| R08-N10-P-H | 0.8 | - | 10 | 115 | 0 | 1 | 周方向補強 |

3.2 供試体および試験ケース

供試体は、一般構造用圧延鋼材 SS400 で溶接組立された箱型柱の各側面に 10 枚の炭素繊維シートを積層した (図-1)。シートの定着長は 115mm, シート端部のずらし量は 0mm である。本実験で使用する材料の物性値を表-1 に示す。降伏応力はミルシートの値を用いた。

試験ケースを表-2に示す。炭素繊維シートの補強および高伸度弾性パテ材の有無を試験パラメータとした。表-2の供試体記号は、「R(A)-N(B)-(C)」と標記し、A:幅厚比パラメータ、B:炭素繊維シートの積層数、C:パテ材の有無である (P:パテ材あり、N:パテ材なし)。例を挙げると、「R08-N10-P」は幅厚比パラメータがR=0.8、積層数が10層、パテ材ありとなる。また、炭素繊維シートの貼付方向を周方向とした試験ケース(:H)を2体用意し、上記の記号に加えた供試体記号とした。

4. 試験結果

4.1 最大荷重と崩壊形態

表-3 に各試験ケースの最大荷重および崩壊後の供試体写真を示す。炭素繊維シートによる補強前後で 11~13%の耐荷力の向上を確認した。向上率はパテ材の有無で大きく差異はなかった。しかし、パテ材を挿入していない場合、シ-



図-1 供試体写真

ト端部からの剥離が生じたが、挿入した場合は、シート端部からの剥離は生じなかった。また、パテ材を挿入した場合、他の補強ケースと異なる崩壊モードを示した。周方向に補強した (R08-N10-N-H,R08-N10-P-H) ケースでは、補強前後で一定の耐荷力の向上を確認したものの、向上率は9%に留まった。

4.2 応力-ひずみ関係

図-2 に応力-ひずみ関係を示す。縦軸はロードセルで計測された荷重を降伏応力で除した値である。横軸は、各面の供試体中心部のひずみゲージを平均化した値である。また、白抜きマーカーは CFRP 上のひずみである。柱軸方向に炭素繊維シート補強を施したケースでは、パテ材の有無によらず、合成断面と仮定した理論値と一致していないことが確認できる。これは、炭素繊維シートの定着長、ずらし量の不足による応力伝達の遅れが原因と考えられる。

4.3 応力-軸方向変位関係

図-3 に応力-軸方向変位関係を示す。横軸は、上下端の変位計から圧縮方向を負として、変位量を算出している。パテ材を挿入していない場合、最大荷重時からの荷重低下が著しいが、パテ材を挿入した場合、荷重低下が抑えられていることが確認できる。これは、シート端部からの剥

表-2 材料定数

| (a) 鋼材(SS400) | | | (b) 炭素繊維シート | | |
|---------------|-------------------|----------------------|--------------|-------------------|----------------------|
| 降伏応力 | MPa | 369 | 弾性係数 | GPa | 701 |
| 弾性係数 | GPa | 200 | 目付量 | g/m ² | 300 |
| ポアソン比 | - | 0.3 | 厚さ | mm | 0.143 |
| (c) 含浸・接着樹脂 | | | (d) 高伸度弾性パテ材 | | |
| 弾性係数 | MPa | 2,533 | 弾性係数 | MPa | 68 |
| 塗布量 | kg/m ² | 0.60 | 塗布量 | kg/m ² | 1.00 |
| 質量密度 | kg/m ³ | 1.16×10 ³ | 質量密度 | kg/m ³ | 1.25×10 ³ |
| 厚さ | mm | 0.517 | 厚さ | mm | 0.800 |

離が生じず、鋼材の変形に対して、炭素繊維シートが追随したためと考えられる。

5. まとめ

本研究では、炭素繊維シートを用いた軸力部材の耐震補強工法の開発に向けて、実験的基礎検討を行った。以下に得られた知見を示す。

1. 幅厚比パラメータ $R=0.8$ の鋼柱の各面に炭素繊維シートを積層することで、耐荷力が 11 ~ 13% 向上した。
2. 高伸度弾性パテ材を炭素繊維シートと鋼板の間に挿入することで、シート端部からの炭素繊維シートの剥離を防止し、且つ最大荷重時からの荷重の低下が抑えられた。

今後の課題としては、今回幅厚比パラメータを変化させることで、局部座屈の発生を抑え耐荷力を向上させることを図ったが、目標値に比べて低い値となった。

これは供試体の崩壊が面外変位に起因しており、崩壊が部材の曲げ剛性に支配されているためと考えられる。

試験結果、曲げ剛性を考慮した実用的な設計法の提案を今後の課題とする。

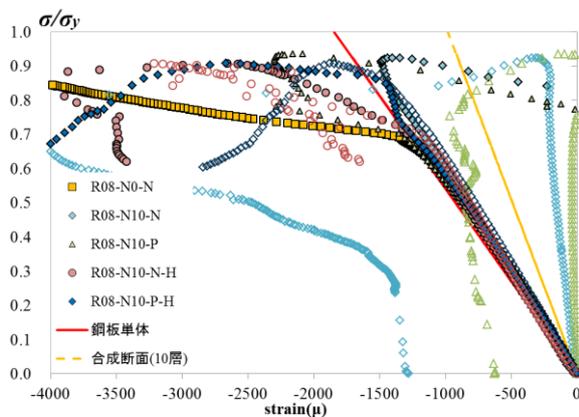


図-2 応力-ひずみ関係

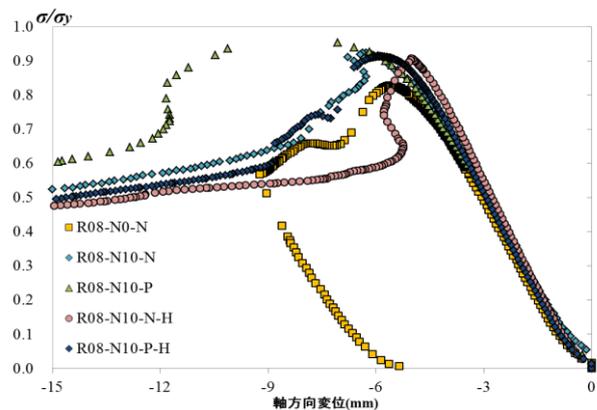


図-3 応力-軸方向変位関係

表-3 最大荷重と崩壊後試験体写真

| 試験ケース | | | R08-N0-N | | R08-N10-N | | R08-N10-P | | R08-N10-N-H | | R08-N10-P-H | |
|-------------------|---------------------|----|----------|------|-----------|------|-----------|------|-------------|------|-------------|--|
| 最大荷重 | P_u | kN | 1618 | 1565 | 1789 | 1745 | 1810 | 1767 | 1716 | 1723 | | |
| 最大/降伏 応力比 | σ_u/σ_y | - | 0.85 | 0.81 | 0.95 | 0.92 | 0.96 | 0.93 | 0.91 | 0.91 | | |
| | 平均値 | - | 0.83 | | 0.93 | | 0.95 | | 0.91 | | 0.91 | |
| 補強前後の 最大荷重の向上率 | | | - | | 11% | | 13% | | 9% | | 9% | |
| 圧縮試験後写真 | | | | | | | | | | | | |