

## 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

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  
 長岡技術科学大学 正会員 宮下 剛  
 長岡技術科学大学 学生会員 濱 達矢

### 1. はじめに

現状、鋼橋の補修や補強では、鋼板当板工法が採られているものの、施工に優れないこともある。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間にポリウレタ樹脂からなる高伸度弾性パテ材(以下パテ材)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。

本研究では、炭素繊維シートを接着した鋼柱の圧縮試験を通じて、炭素繊維シートを用いた耐震補強工法の基礎検討を行う。

### 2. 試験概要

#### 2.1 幅厚比パラメータ

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。

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

ここに、 $b_s$ は鋼部材の板幅、 $t_s$ は鋼部材の板厚、 $\sigma_y$ は鋼材の降伏応力、 $E_s$ は鋼材のヤング係数、 $\nu$ 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、強後の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。

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

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

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

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。

本研究では、幅厚比パラメータ $R$ を0.8とした鋼柱に対して、鋼換算幅厚比パラメータ $\bar{R}$ が0.5となるように炭素繊維シートによる補強を行い、耐荷力の向上を図る。

#### 2.2 供試体および試験ケース

供試体は、炭素繊維シートによる補強効果を明確とするため、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

表-1 材料定数

(a) 鋼材(SS400)			(b) 炭素繊維シート		
降伏応力	MPa	317	弾性係数	GPa	701
弾性係数	GPa	200	目付量	g/m <sup>2</sup>	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 <sup>2</sup>	0.60	塗布量	kg/m <sup>2</sup>	1.00
質量密度	kg/m <sup>3</sup>	1.16 × 10 <sup>3</sup>	質量密度	kg/m <sup>3</sup>	1.25 × 10 <sup>3</sup>
厚さ	mm	0.517	厚さ	mm	0.800

表-2 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



図-1 供試体写真

キーワード 炭素繊維シート, 鋼橋, 耐震補強, 圧縮試験

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

-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)。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。

3. 試験結果

3.1 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。炭素繊維シート補強により、降伏応力に対する局部座屈応力  $\sigma_u/\sigma_y$  が1.0まで向上する設計であったが、0.94程度にとどまり、補強前と比較し11~13%の耐荷力の向上となった。向上率はパテ材の有無で差異はなかった。しかし、各ケースでの破壊形態には差異がみられ、パテ材を挿入していない場合、シー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ず、繊維破断を伴う崩壊モードを示した。周方向に補強したケースでは、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。

3.2 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鋼材の断面積で除した応力を、降伏応力にて無次元化した値である。横軸は、各面の供試体中心部に貼付したひずみゲージの値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

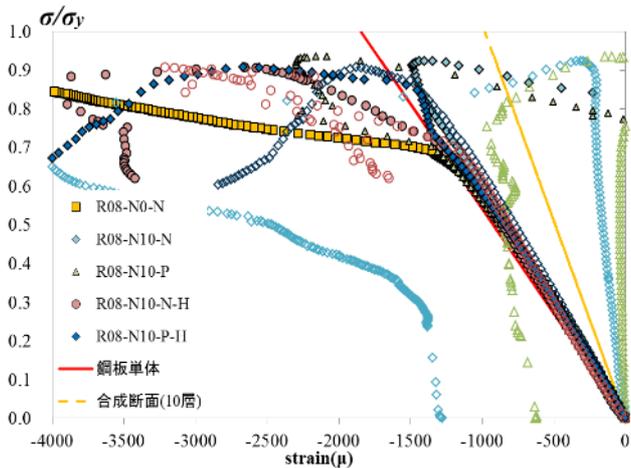


図-2 応力-ひずみ関係

いないことが確認できる。これは、耐荷力向上が設計通り発現しなかった原因であり、炭素繊維シートの定着長不足による応力伝達の遅れに起因すると考えられる。

3.3 応力-ひずみ関係

図-3に応力-軸方向変位関係を示す。横軸は、上下端の変位量である。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、じん性が向上していることが確認できる。これは、シート端部からの剥離が生じず、鋼材の変形に対して、炭素繊維シートが追従したためと考えられる。

4. 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10枚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じん性が向上した。

今後の課題としては、供試体の崩壊過程、崩壊メカニズムを反映した設計体系の構築や、繰り返し載荷試験による正負交番水平力を考慮した耐震性能の評価が挙げられる。

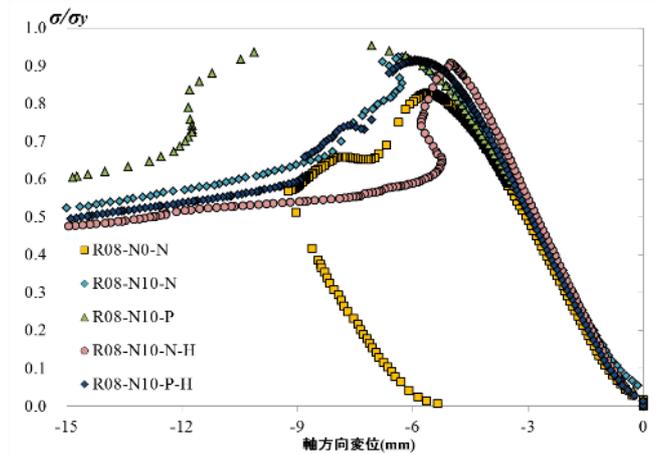


図-3 応力-軸方向変位関係

表-3 最大荷重と崩壊後供試体写真

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	$\sigma_u/\sigma_y$	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											