

FRP シートによる鋼桁腹板の腐食部補修方法に関する基礎的研究

建設工学課程 学部4年 下鳥 雄萌
指導教官 長井 正嗣

1. はじめに

鋼構造物は腐食により、性能の低下が生じる。力学性能を回復させるため、ボルトや溶接によって鋼板を添接する当て板補修や、損傷部材を交換する部材交換等による補修・補強が行なわれるが、断面欠損、熱影響等、様々な影響が生じる。そのため、腐食損傷が軽微な箇所は再塗装を行う程度で、補修が行われない場合がある。このような状況の中、炭素繊維に樹脂を含浸させ硬化させた炭素繊維強化プラスチック（CFRP）を補修材料として用いる方法が提案されており、十分な補強効果が得られることが既往の研究¹⁾から明らかになっている。

CFRP による鋼部材腐食部の補修工法では、断面の垂直応力に対する補強を対象としている。しかしながら、鋼橋では桁端部付近における下フランジ近傍の腹板の腐食が多く²⁾、せん断力の卓越による腹板の座屈変形に追従できず、端部における剥離の発生が問題とされている。

そこで、本研究では、CFRP に限らず、様々な繊維による FRP で一軸圧縮座屈試験を行い、座屈変形に追従し、補強効果のある FRP シートの選定を目的とした。

2. FRP シート接着鋼板の強度評価方法

本研究で用いた鋼材と FRP の合成断面換算法を説明する。合成断面の断面性能は、樹脂を無視した繊維シートの断面積 A_{FRP} と繊維のヤング係数 E_{FRP} を用いて評価する。また、含浸樹脂も評価しないものとする、以下の式で表される。

$$P_v = k \frac{\pi^2 \cdot E_s \cdot I_v}{l^2} \quad (k=1.0) \quad (1)$$

ここで、ヤング係数比: $n = E_{FRP} / E_s$, 合成断面積: $A_v = A_s + 2n \times A_{FRP}$, 合成断面 2 次モーメント: $I_v = I_s + 2n \times A_{FRP} \times y_{FRP}^2$. E_s : 鋼材のヤング係数, A_s : 鋼材の断面積, I_s : 鋼材の断面 2 次モーメント, y_{FRP} : FRP 断面中心から中立軸までの距離, l : 試験体長さである。

3. FRP シート接着鋼板の一軸圧縮座屈試験

FRP シート接着鋼板の一軸圧縮座屈試験に対する補強効果・追従性を検証し、各種繊維シートの破壊モード

の判定を目的としている。本試験では以下の項目に着目し、比較検討を行った。

- A) 無補強鋼板と FRP シート接着による補強効果
- B) ウレタン樹脂パテの有無による追従性
- C) 各種繊維シートとウレタン樹脂パテの有無による破壊モード

表-1 FRP シートに用いた繊維と繊維の材料定数

繊維の種類	繊維の力学特性			シートの力学特性			
	弾性率 GPa	強度 MPa	破断ひずみ μ	厚さ mm	弾性率 GPa	強度 MPa	破断ひずみ μ
CU(高強度炭素繊維)	240	4900	20.417	0.121	279	3994	14.315
CE(高弾性炭素繊維)	640	3430	5.359	0.116	780	2777	3.560
G(ガラス繊維)	74	3430	46.351	0.123	102	2280	22.353
P(高強度ポリエチレン)	88	2600	29.545	0.108	93	2169	23.323
H(ハイブリッドC/G=1:1)	383	-	-	0.121	501	1701	3.395
CS(炭素繊維ストランドシート)	640	3430	5.359	0.286	745	2810	3.772

また、FRP に使用した繊維と材料定数を表-1 に示す。

4. 一軸圧縮座屈試験結果

ここでは、P(高強度ポリエチレン)と CS(高弾性型炭素繊維ストランドシート)の試験結果を取り上げる。

・P(高強度ポリエチレン)

図-1 に荷重-中央変位、図-2 に荷重-中央ひずみの結果を示す。図中の SM490YB は鋼板単体の値である。

P(高強度ポリエチレン)は最も変形性能が良く、追従性があったが、耐荷力の向上は微少であり、補強効果は期待できない。

ウレタン樹脂パテの有無による破壊状況の違いは、ウレタン樹脂パテ仕様では FRP の破断のみであったが、ウレタン樹脂パテ無しでは FRP に破断と剥離が生じた。また、座屈は試験体中央で生じた。

図-2 の荷重-中央ひずみを比較すると、ウレタン樹脂パテの有無で FRP 圧縮側のひずみに違いが見られる。このことから、座屈変形が進行していくにつれ、ウレタン樹脂パテ仕様の試験体内で、鋼材とウレタン樹脂パテのずれが生じているのではないかと考えられる。しかし、仮にこのような現象が生じているとしても、ウレタン樹脂パテ無しと比較すると若干ではあるが補強効果が期待できることから、本 FRP シートはウレタン樹脂パテ仕様とする方が望ましい。

・CS(高弾性型炭素繊維ストランドシート)

図-3 に荷重-中央変位、図-4 に荷重-中央ひずみの結果を示す。図中の SM490YB は鋼板単体の値である。

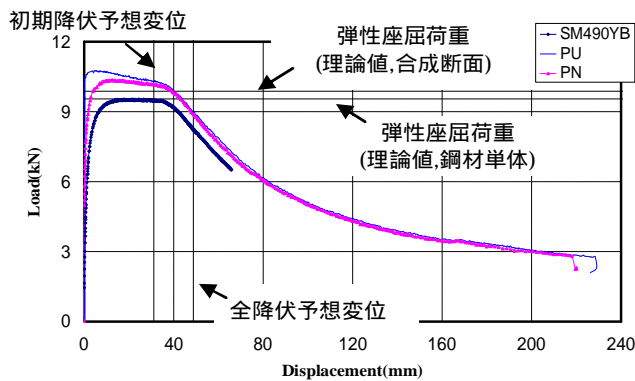


図-1 荷重-中央変位(U:パテ有り, N:パテ無し)

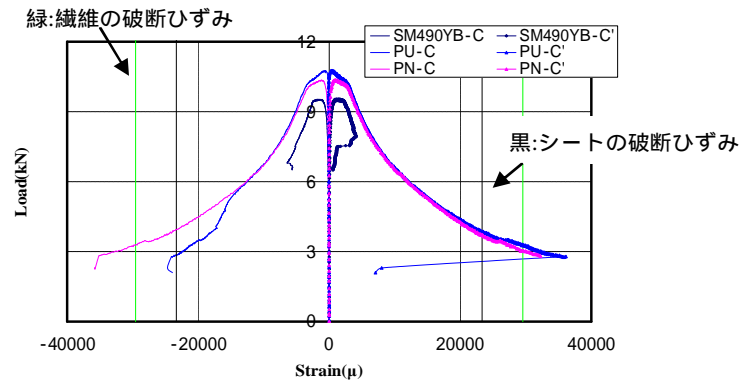


図-2 荷重-中央ひずみ(U:パテ有り, N:パテ無し)

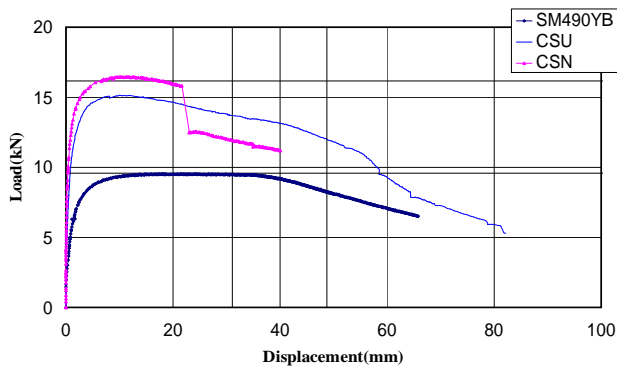


図-3 荷重-中央変位(U:パテ有り, N:パテ無し)

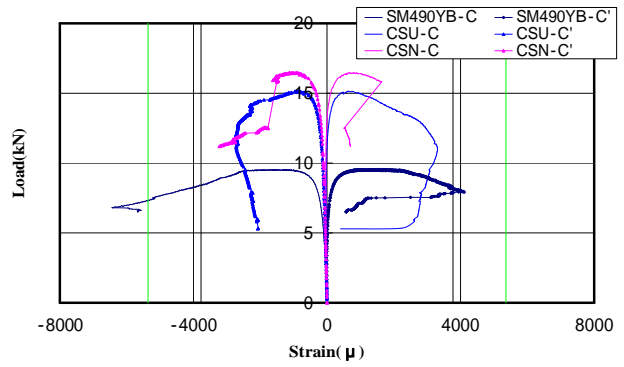


図-4 荷重-中央ひずみ(U:パテ有り, N:パテ無し)

CS(高弾性型炭素繊維ストランドシート)は、最も補強効果が期待できる FRP シートであった。

図-3 の荷重-中央変位から、大幅な補強効果が期待できる反面、追従性は乏しく、ウレタン樹脂パテ無しでは特に、FRP 剥離後の荷重低下が急激である。破壊状況は、ウレタン樹脂パテ仕様では、FRP シート端部で鋼材が座屈し、その近傍で FRP の剥離が生じた。ウレタン樹脂パテ無しでも同様に端部で剥離が生じたが、剥離面積はウレタン樹脂パテ仕様と比較すると大きく、中央部まで一気に剥離した。

図-4 の荷重-中央ひずみを比較すると、両ケースともシートの破断ひずみに達する前に剥離していることがわかった。このことから、FRP の繊維に損傷はないと判断できるため、FRP シート貼付け長さを延長する等の対策により、剥離を防止すれば FEA から、さらなる補強効果が期待できる。

6. 最適な繊維シートの選定

FRP シート接着鋼板の一軸圧縮座屈試験結果から、耐荷力の向上が期待できる繊維は、鋼単体での弾性座屈荷重から 60%程度の補強効果が得られた CS(高弾性型炭素繊維ストランドシート)、次いで 30%程度の補強効果が得られた CE(高弾性型炭素繊維)が挙げられる。

変形性能が高く追従性が期待できる繊維は、最大荷重時の中央変位から FRP シートが破断(剥離)するまで 165mm 程度の変形性能を有している P(高強度ポリエチレン)、次いで 105mm 程度の変形性能を有している G(ガラス繊維)が挙げられる。秀でた性能を有している繊維を組み合わせることで、補強効果・変形性能の両者を満たせるのではないかと考える。

異種繊維シートの組合せを提案する。補強効果と変形性能の両者を満たすためには、繊維の特性を考慮した組合せが有効と考える。FRP の積層順は、一層目に変形性能の高い低弾性繊維を接着し、二層目に補強効果が期待できる高弾性繊維の FRP を積層で、補強効果と変形性能の向上が期待される。また、一層目を接着する際はウレタン樹脂パテ仕様とすることで FRP シート破断後の剥離を防止する。二層目を接着する際は、端部にずらしを設けて応力集中を抑制して FRP シートの剥離を防止する。

参考文献

- 1) 杉浦江, 大垣賀津雄, 長井正嗣, 小林朗: 炭素繊維シート(CFRP)を用いた鋼部材部分補修に関する実験研究, 土木学会第 6 回複合構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, pp.48-1-8-6, 2005.
- 2) 土木学会 鋼構造委員会: 鋼構造の残存耐荷性能評価と耐久性向上方策研究小委員会報告書, 2007.4