

CFRP 接着補修された断面欠損鋼板の座屈強度

関西大学大学院 学生会員 ○楊 悦, 学生会員 水谷 壮志
関西大学 正会員 石川 敏之, 正会員 堂垣 正博
日鉄ケミカル&マテリアル株式会社 正会員 秀熊 佑哉

1. はじめに

鋼構造物の腐食劣化が多く報告されており、鋼桁では桁端部に多くの腐食が確認されている。近年、CFRP 接着による補修・補強工法に注目が集まり、鋼構造物へ適用されている。このCFRP 接着による補修・補強では、接着端部からのはく離に十分な配慮が必要である。

文献 1)は、CFRP 接着に際して、鋼部材とCFRP の間に高伸度弾性パテ材を挿入すれば、CFRP のはく離が防止されることや、終局強度が改善されることなどを明らかにしている。しかし、パテ材を挿入すると、鋼部材からCFRP への力の伝達が遅れるため、CFRP の定着長が長くなり、場合によっては、鋼部材の応力が十分に低減されないことが考えられる。パテ材の挿入によって力の伝達が十分でない場合であっても、CFRP 接着された鋼板の座屈荷重が、パテ材が挿入されていない場合と同程度になることが文献 1)で示され、CFRP 接着鋼板の圧縮試験で得られた最大荷重が弾性座屈の推定値に近似される。さらに、パテ材による力の伝達の遅れを伸び剛性で考慮した弾性座屈荷重によって、パテ材の有無に関わらず、安全側の評価で座屈荷重が得られることを明らかにした²⁾。ただし、文献 1)、2)では、断面が欠損した鋼部材へのCFRP 接着に対する検討はなされていない。

そこで、本研究では、CFRP 接着補修された断面欠損鋼板の座屈強度向上効果を明らかにすることを目的に、鋼板とCFRP の間にパテ材を挿入したCFRP 接着鋼板の一軸圧縮試験を実施し、パテ材の有無による座屈強度を検討した。

2. 一軸圧縮試験の概要

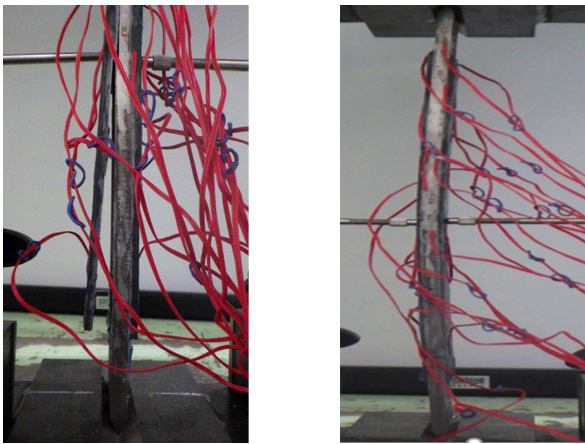
一軸圧縮試験に用いた鋼板と接着樹脂の材料特性と寸法を表-1、2に示す。鋼板は、幅 $b_s=50\text{ mm}$ 、厚さ $t_s=9\text{ mm}$ 、長さ $2l=400\text{ mm}$ の溶接構造用圧延鋼材 SM490Y を使用しており、材料特性は、1A 号試験体材料試験より得られた値である。表-2に示すプライマーとエポキシ樹脂の材料特性は文献 2)を参照しており、ポリウレアパテの材料特性は文献 1)を参照している。CFRP は炭素繊維ストランドシート(設計厚さ 0.429 mm 、弾性係数 640 GPa)を使用した。試験体は、

表-1 鋼板の寸法と材料特性

実測板厚 $t_s(\text{mm})$	弾性係数 $E_s(\text{GPa})$	降伏応力 $\sigma_s(\text{MPa})$	ポアソン比 ν_s
8.8	199	428	0.28

表-2 接着樹脂の材料特性

接着樹脂	弾性係数 $E_e(\text{MPa})$	ポアソン比 ν_e
プライマー	4095	0.40
エポキシ	4338	0.39
ポリウレアパテ	54.7	0.43



(a) パテ無し (b) パテ有り

図-1 CFRP の変形とはく離状況

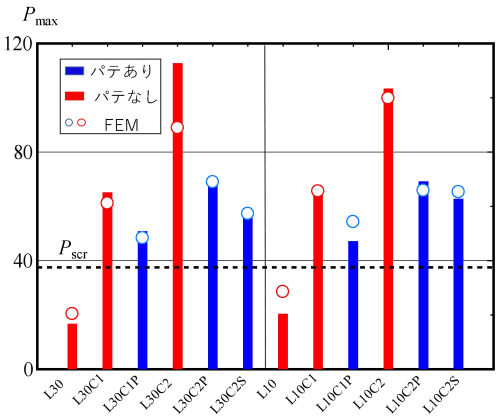


図-2 各試験体の最大荷重

キーワード CFRP, 断面欠損鋼板, 一軸圧縮試験, 座屈
連絡先 〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35 TEL.06-6368-0926

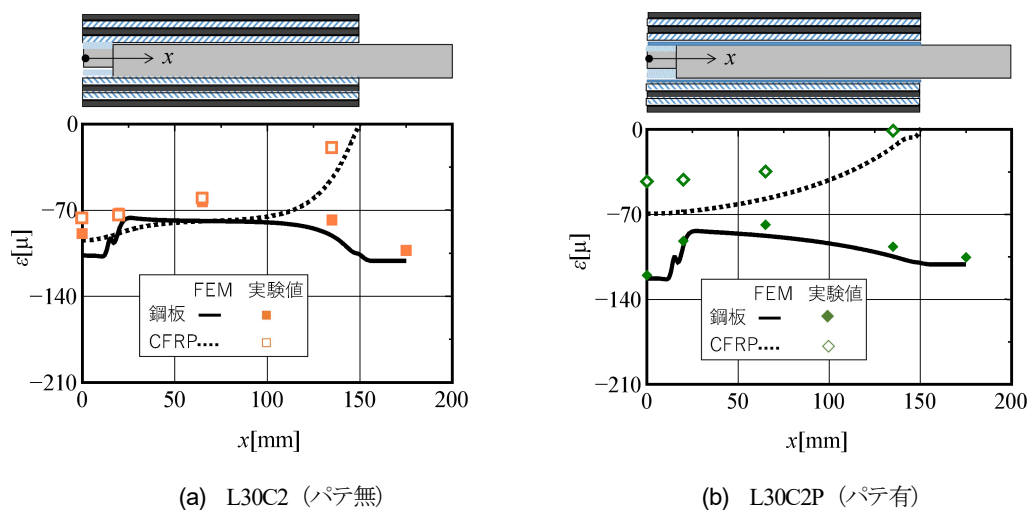


図-3 試験体のひずみ分布 ($P = 10 \text{ kN}$ の場合)

残存板厚 5mm, 欠損長さ 10mm と 30mm の鋼板に対して, 鋼板単体, CFRP1 層 (パテ有・無), CFRP2 層 (パテ有・無), CFRP2 層 (パテ有段差 25mm) をそれぞれ 1 体, 計 12 体製作した。載荷試験では, 試験体の両面とコバ面のひずみを計測した。

3. 載荷方法

圧縮試験の治具は, 鋼部材に円形の機械加工で溝を掘り, 万能試験機の載荷板の中心に固定した。鋼板の両端をナイフエッジ状に切削加工し, 凹部を有する治具に設置してピン支持の条件を再現した。試験体の中央で面外 (水平) 方向の変位を測定した。載荷は, CFRP に大きなはく離が生じた時点または水平変位が 10mm 以上に達した時点で終えた。

4. 試験結果

a) 変形とはく離の状況

図-1 に, パテ材を挿入していない試験体とパテ材を挿入した試験体のはく離と変形の状況をそれぞれ示す。図-1(a) に示すように, パテ材を挿入していない試験体では, 試験体の変形が小さい段階で, CFRP 端部からはく離が生じた。一方, 図-1(b) に示すように, パテ材を挿入した試験体では, CFRP のはく離が生じず鋼板の座屈変形に追随した。このように, パテ材を挿入すれば, CFRP が鋼板の大変形に追随し, はく離が防止できる。

b) 最大荷重

載荷試験から得られた, 各試験体の最大荷重 $P_{\max}$ を図-2 に示す。図-2 には, 文献2)と同様にして算出した FEM 解析による固有値解析の結果も示している。図には, 欠損のない鋼板単体のオイラーの座屈算定式を用いて算出した弾性座屈荷重の理論値 P_{scr} も示している。図-2 より, 一軸圧縮試験結果から得られた断面欠損した鋼板の最大荷重は, 欠損がな

い鋼板の弾性座屈荷重 P_{scr} と比べて低下しているが, CFRP 接着補修により, パテ材の有無に関わらず, 鋼板のみの性能以上に回復していることが分かる。ただし, 本試験体の実験では, パテ材を挿入した場合の方が挿入しない場合よりも最大荷重は低くなった。

c) 鋼板と CFRP のひずみ分布

試験体に生じる水平変位が微小な状態, たとえば $P = 10 \text{ kN}$ の場合に対し, 実験で得られたひずみの計測結果の一例を図-3 に示す。同図には, FEM 解析の結果も示す。図から明らかなように, パテ材を挿入した場合, FEM 解析の結果と同様, CFRP に生じるひずみは小さく, CFRP が分担する応力は低下する。

5. おわりに

本研究では, 断面の欠損した鋼板を CFRP の接着によって補修し, その座屈荷重の向上効果を一軸圧縮試験によって検討した。CFRP 接着による断面欠損した鋼板の一軸圧縮試験より, 鋼板と CFRP の間にパテ材を挿入することで, CFRP が大変形に追随し, はく離を抑制する効果がある。ただし, パテ材を挿入しない場合と比べ, パテ材を挿入した場合の方が, 最大荷重が小さい。また, パテ材を挿入すると, CFRP のひずみが小さくなっており, CFRP に伝達される応力が低下することが分かった。

参考文献

- 1) 奥山雄介, 宮下剛, 緒方辰男, 藤野和雄, 大垣賀津雄, 秀熊佑哉, 堀本歴, 長井正嗣: 鋼桁腹板の合理的な補修・補強方法の確立に向けた FRP 接着鋼板の一軸圧縮試験, 構造工学論文集, Vol.57A, pp.735-746, 2011.
- 2) 石川敏之, 五味亨介, 秀熊佑哉, 堂垣正博: CFRP 接着鋼板の弾性座屈荷重の推定, 鋼構造論文集, Vol.29, No.115, pp.53-64, 2022.