

## CFRP 接着鋼板の欠損端のテーパ形状が欠損部の応力低減効果および剥離に及ぼす影響

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 学生員 Pham Ngoc Vinh, 濱 達矢

### 1. はじめに

断面欠損を有する鋼板の補修方法として、軸力を受ける部材の場合、断面欠損分の引張剛性と同等以上の引張剛性の炭素繊維シートを接着し、欠損部の剛性を健全部と同等以上まで回復させる補修方法が一般的に行われている<sup>1)</sup>。しかし、このように補修された部位であっても、健全部まで回復しない場合が報告されている<sup>2), 3)</sup>。

また、著者らは、欠損部の残存率の逆数のCFRPを接着することで、断面欠損部の引張剛性を健全部と同等以上まで回復させる簡易的な設計方法を提案し、実験および数値計算手法によりその妥当性を検討してきた<sup>4)</sup>。しかし、欠損量が多くなると、CFRPの必要積層枚数が多くなってしまふことや、欠損部からの剥離が発生するなどの課題がある。そこで、本研究では、欠損端にテーパを設けることで応力低減効果の改善および剥離発生応力を向上させることを目的とし、テーパ形状が欠損部の応力低減およびCFRPの剥離に及ぼす影響について実験およびFEAにより検討を行った。

### 2. 実験およびFEAの概要

図-1に示すように、中央の両面に機械加工により長さ300mm深さ3mmの断面欠損が導入された鋼板(SM570, 降伏点: 540MPa, 1000L×60B×12t)に、欠損を覆うように炭素繊維ストランドシートを接着し、引張試験を実施した。欠損部は接着樹脂にて充填されている。使用した炭素繊維ストランドシートのヤング係数は710GPa(鋼材の3.55倍)、設計厚0.429mmであり、3mm(残存率50%)の断面欠損に対する必要積層数は、欠損分の引張剛性を補うように、片面あたり2層と決定している。

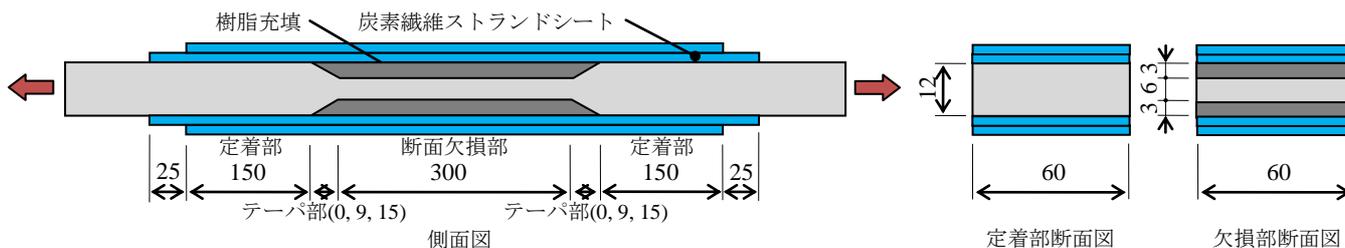


図-1 試験体

表-1に試験体一覧を示す。すべての試験体において、定着長は十分に荷重伝達が完了する150mmとし、シート端は各層25mmずらして積層した。欠損端の形状は、テーパ無し、1:3, 1:5の3種類とした。

FEAモデルは、試験体の対称性を考慮して1/4モデルとする。要素は、2次アイソパラメトリック三角形平面応力要素を使用した。CFRP部は接着樹脂(弾性係数: 2533MPa, 厚さ: 0.517mm, ポアソン比: 0.4)とストランドシートを交互にモデル化しており、欠損部は充填された接着樹脂をモデル化している。FEAでは、**実験を行う**3ケースに加えて、欠損端の形状をテーパ1:10およびR3mmに仕上げた場合についても検討を行った。

表-1 試験体一覧

No.	欠損端の形状	検討方法
S2TN	-	実験及びFEA
S2T3	テーパ 1:3	実験及びFEA
S2T5	テーパ 1:5	実験及びFEA
S2T10	テーパ 1:10	FEA
S2TC	R仕上げ R3mm	FEA

### 3. 結果と考察

#### 3. 1 応力低減効果

図-2に引張試験より得られた荷重-ひずみ線図の一例としてS2T2の結果を示す。同図より、欠損部の中央では、健全部と同様までひずみが低減しているが、欠損端部では健全部よりひずみが大きくなっていることがわかる。これは、他の2ケースにすいても同様である。また、図-3にFEAによる各ケースの鋼材中央の応力比(健全部鋼材応力 $\sigma_{sn}$ で無次元化)分布を示す。同図より、すべてのケースにおいて、欠損端での応力比が1.0を越

キーワード 鋼部材, 断面欠損, 補修, 接着接合, CFRP, ストランドシート

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) TEL 03-5623-5558

えていることがわかる。これらの結果より、欠損端部の形状は応力低減効果には大きな影響を与えないことがわかる。よって、欠損部全域で応力度比を 1.0 以下にするためには、文献 4) の手法が有効である。

3. 2 剥離荷重

表-2 に各実験ケースの剥離荷重を示す。同表より、テーパを設けることによって、剥離荷重は向上していることがわかる。また、図-4、図-5 に FEA による 1 層目の接着樹脂に作用するせん断応力と主応力分布を示す。図-4 より欠損部のせん断応力はテーパにより若干低減するもののいずれも CFRP 端部より小さいことがわかる。図-5 より、主応力はテーパを設けない場合は、CFRP 端部のせん断応力と同等程度であるが、テーパを設けることにより大幅に低減していることがわかる。これらの結果より、欠損端部にテーパを設けることにより、接着樹脂に発生する垂直応力が低減し、剥離耐力が向上したものと考えられる。

表-2 各試験体の CFRP 剥離荷重

No.	剥離荷重 (kN)	剥離時の健全部鋼材応力 (MPa)
S2TN	148.1	205.7
S2T3	187.8	260.8
S2T5	194.4	270.0

4. まとめ

欠損部に急激な断面欠損を有する鋼板を CFRP 接着にて補修する場合、欠損端をテーパや R 形状に整形しても、欠損部の応力低減効果にはほとんど影響を与えないが、1 : 3 程度のテーパ状に整形することで、CFRP の剥離荷重は 25%程度向上した。

参考文献

- 1) 杉浦, 小林, 稲葉, 本間, 大垣, 長井: 鋼部材腐食損傷部の炭素繊維シートによる補修技術に関する設計・施工法の提案, 土木学会論文集 F, vol. 65, No. 1, pp106-118, 2009. 3
- 2) 立石, 横田, 岩波, 加藤, 小林, 戴: 水中施工の可能な FRP を用いた港湾鋼構造物の補強実験, 構造工学論文集, Vol. 56A, pp. 644-655, 2010.
- 3) 石川, 北根: 断面欠損を有する鋼板の接着補修に必要な CFRP 板の長さおよび板厚の決定方法, 応用力学論文集, Vol. 13, pp. 912-920, 2010.
- 4) 秀熊, 小林, 宮下, 奥山, 石川: 断面欠損を有する鋼板の炭素繊維ストランドシート接着による補修方法, 土木学会第 68 回年次学術講演会, I-340, 2013.

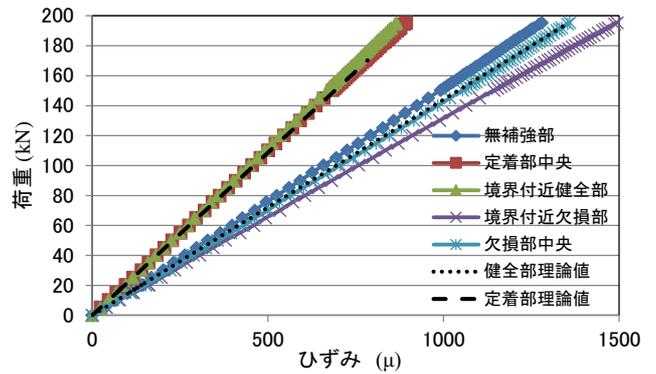


図-2 荷重-ひずみ線図 (S2T5)

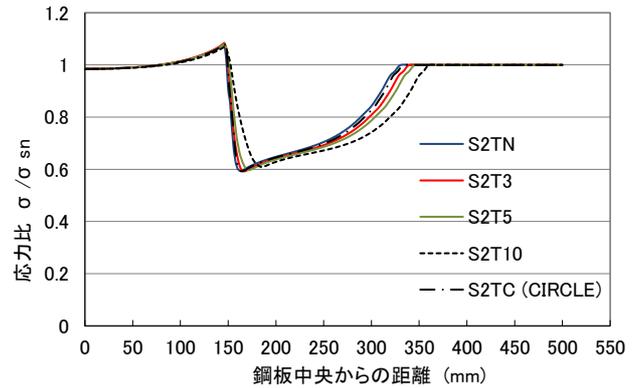


図-3 FEA による各ケースの鋼材中央の応力分布

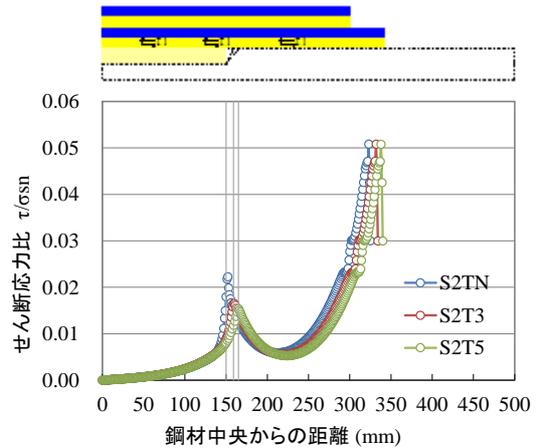


図-4 FEA による実験ケースのせん断応力分布

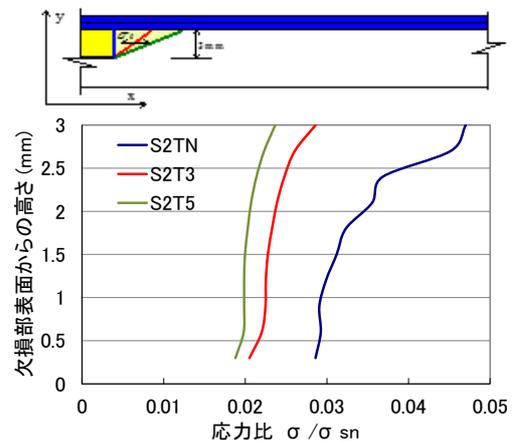


図-5 FEA による実験ケースの厚さ方向の主応力分布