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のよる補修方法

新日鉄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
長野工業高等専門学校　正会員　奥山　雄介
京都大学　正会員　石川　敏之

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[1)]．しかし，このように補修された部材であっても，健全部まで回復しない場合が報告されている[2), 3)]．

そこで，本研究では，炭素繊維ストランドシートを接着することで，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た．

２．断面欠損部の補修方法

図-1 のような急激な断面変化のある断面欠損を有する場合，無補強部の鋼材から伝わってきた荷重は，定着部で徐々にシートに伝達され，十分な長さの定着長があれば，鋼材と補強材の引張剛性比で荷重分担は一定となる．その後，欠損部で鋼材と補強材の引張剛性比が変化し，荷重の再分配が起こるが，欠損の断面変化部に近い箇所では，再分配されず，剛性比から決まる分担以上の荷重を鋼材側が負担することとなる[3)]．

本研究では安全側で簡易的な設計式の提案のため，欠損部の剛性変化で荷重の再分配が起こらないものとし，**式-1** に示すように，定着部の補強材と鋼材の引張剛性比が欠損部の欠損鋼材と残存鋼材の引張剛性比と同等以上とする式を提案する．

$$E_{cf}A_{cf}/E_sA_s \geq E_sA_{sr}/E_sA_{sd} \qquad \text{(式-1)}$$

E_{cf}，E_s：補強材，鋼材のヤング係数
A_{cf}，A_s：補強材，健全部鋼材の断面積．
A_{sd}，A_{sr}：欠損部鋼材の欠損分および残存分断面積

ここで，断面欠損部の鋼材の残存率 λ を

$\lambda = A_{sr}/A_s$

とすると，**式-1** は，

$$E_{cf}A_{cf} \geq E_sA_{sd}/\lambda \qquad \text{(式-2)}$$

となる．すなわち，欠損部の全区間において，健全部以下の応力度とするためには，欠損分の引張剛性の残存率の逆数倍の引張剛性の補強材が必要となる．

また，文献 3）に断面欠損を有する鋼板の CFRP 板による補修方法として，理論解析により欠損長さに応じた CFRP 板の必要厚の計算式が提案されており，**式-2** は文献 3)で最も必要板厚が大きくなる式と一致している．

３．試験体

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（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，従来の欠損分の引張剛性で補修する方法では 2 層，今回提案方法では 4 層となる．

表-1 に試験体一覧を示す．定着長は 4 層でも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．

表-1　試験体一覧

No.	欠損深さ mm/片面	欠損長さ mm	積層数 層/片面	定着長 mm	端部ずらし mm
D2	3	300	2	150	25
D4	3	300	4	150	25

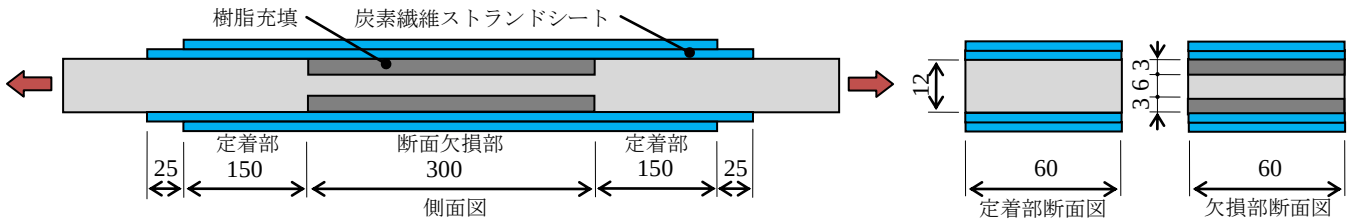

図-1　試験体

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）コンポジット社　TEL 03-5623-5558

４．試験結果および考察

図-2，3 に D2,D4 の荷重-ひずみ関係を示す．両者とも，定着部および欠損部の中央のひずみはシートと鋼材を合成断面とした計算値をほぼ一致している．しかし，断面変化の境界付近のひずみに差異がある．D2 では欠損中央では健全部と同等までひずみが回復しているが，境界付近では健全部の 1.2 倍程度とひずみが健全部より大きくなっている．一方，D4 では，境界付近の欠損部においてもひずみは健全部以下となっている．

図-4，5 に荷重 100kN での鋼材およびシート表面の無補強部応力で除した応力比分布の実験値および計算値を示す．ここで，CFRP 接着鋼板の応力分布の計算では，文献 4)の数値計算手法を用いた．これは，多層の CFRP が積層された軸力を受ける鋼板に対して，準解析的なアプローチにより応力を計算する手法である．ただし，文献 4)と異なるのは，鋼板断面急変部における鋼板の軸応力と接着材 1 層目のせん断応力の連続性条件を，それぞれ軸力ならびに鋼材と接着剤 1 層目の変位の連続性条件へと変更した点である．図-4，5 において，実験値と数値計算手法が概ね一致していることがわかる．また，D2 では断面変化境界付近で応力比が 1 を上回るのに対して，提案手法で設計された D4 では欠損部全区間において応力比が 1 未満であることがわかった．

５．まとめ

本研究のような欠損部に急激な断面変化を有する鋼材をシート接着にて補修する場合，欠損分の引張剛性で補修する方法では，健全まで回復しないことを確認した．

本研究では，欠損分の引張剛性の残存率の逆数倍の引張剛性を有するシートで補修する方法を提案し，その結果，欠損部全区間において，健全部以下の応力度になることを確認した．

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) 宮下，長井：一軸引張りを受ける多層の CFRP が積層された鋼板の応力解析，土木学会論文集 A，Vol.66，No.2，pp.378-392，2010.

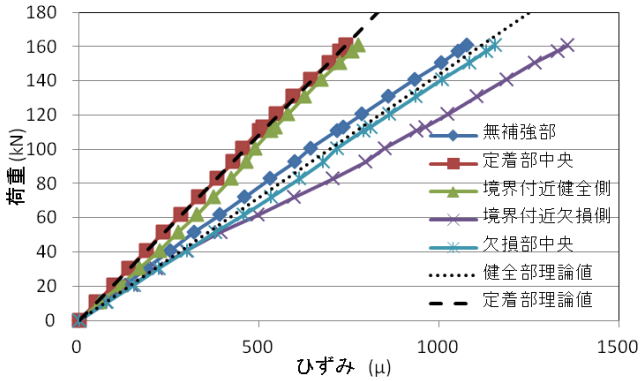

図-2　荷重-ひずみ関係（D2）

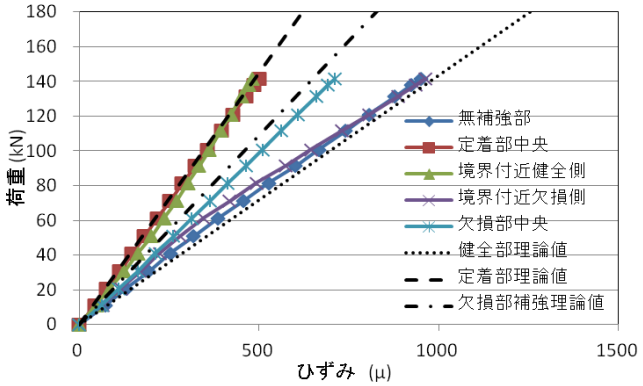

図-3　荷重-ひずみ関係（D4）

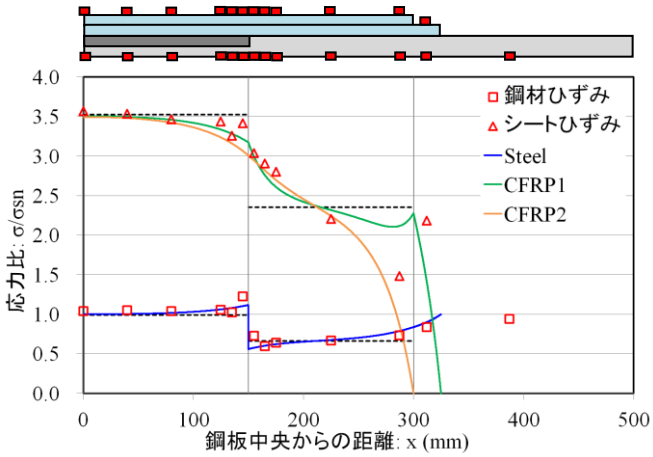

図-4　応力比分布（D2）

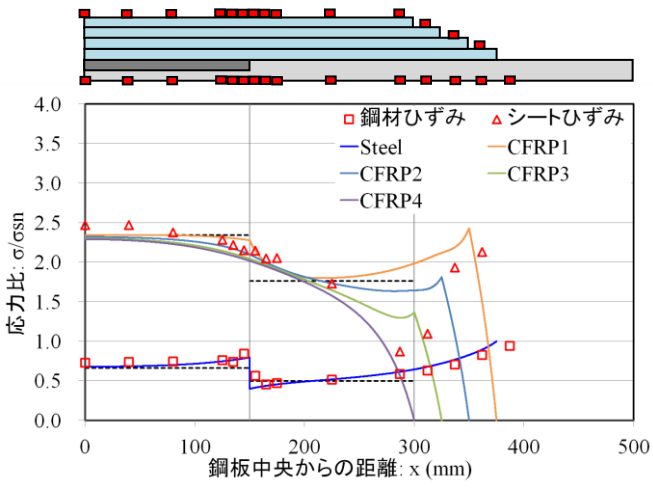

図-5　応力比分布（D4）