炭素繊維シートによる鋼部材腐食損傷部の補修効果に関する実験的研究

川崎重工業　正会員　杉浦　江　大垣賀津雄　長岡技術科学大学　正会員　長井正嗣
高速道路総合技術研究所　正会員　稲葉尚文　冨田　芳男　日鉄コンポジット　正会員　小林　朗

1. はじめに

鋼構造物の補修材料として，炭素繊維シート（以下，CFRP と記す）が注目を浴びている．筆者らは，鋼部材の腐食損傷の部分的な補修において，CFRP を用いた工法を提案している．本工法は，腐食損傷した部位に対して，炭素繊維シートに接着樹脂を含浸させながら積層し，現場で CFRP を形成して一体化させることで，設計時の初期性能を回復，もしくは現状維持を目的とするものである．本研究では，CFRP による補修効果を検証するため，鋼製梁のフランジ部に腐食損傷を模擬した断面欠損を有する試験体を製作し，載荷実験を行った．

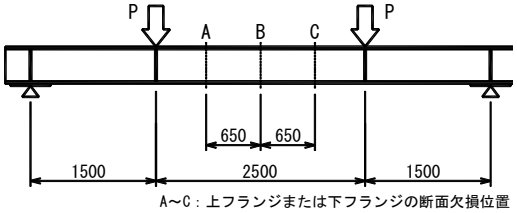


図１　実験方法

2. 実験方法

試験体は，H-300×300×10×15 の形鋼を使用し，**図１**に示すように 4 点曲げ載荷試験を行った．試験体は 2 体準備し，等曲げを受ける区間の上フランジまたは下フランジそれぞれに，3 種類の断面欠損を設けた（**図２**）．断面欠損量は，CFRP による補修量と同等の断面積になるよう設定し，パターン A は，腐食による孔食を想定し，パターン B は，腐食による一様な減肉を想定した．また，パターン C は，部材角部などに生じた CFRP の接着が困難な腐食損傷を想定し，パターン B と同サイズの断面欠損をフランジ端に設けた．

断面欠損部の補修方法は，欠損箇所を不陸修正した後，それぞれに CFRPを接着した．既往の研究[1)]をもとに，炭素繊維シートの積層数は 5 層とし，有効付着長Lbを 100mm以上とした（**図３**）．炭素繊維シートは高弾性タイプ（ヤング率 640kN/mm^2）を使用し，1 方向材を部材軸方向に貼付した．各試験体の条件を**表１**に示す．

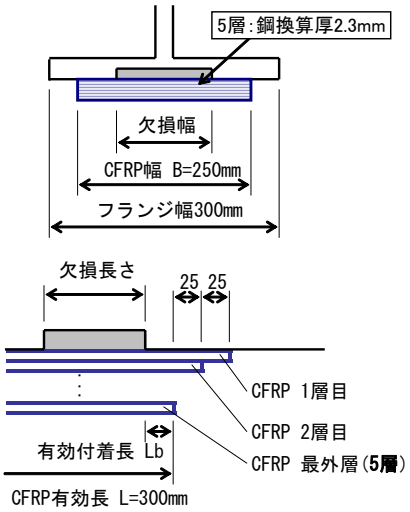
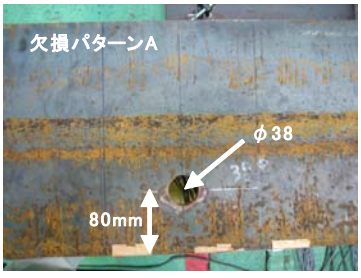
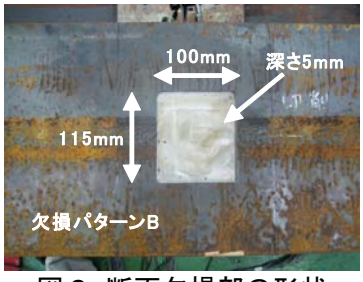


図３　補修要領





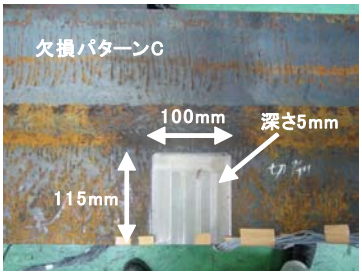


図２　断面欠損部の形状

表１　試験体の条件

補修対象	断面欠損		鋼製梁	CFRP			
	形　状	欠損断面積 A_{sl}(mm^2)	断面 2 次モーメント I_{sl}(mm^4)	幅 B(mm)	有効長 L(mm)	付着長 L_b(mm)	補修量※ $A_{cf,s}$(mm^2)
下フランジ又は上フランジ	φ38 貫通孔	570	1.90×10^8	250	300	131	575
	□115×100（5mm 切削）	575	1.89×10^8			100	
	□115×100（5mm 切削）						

※炭素繊維シートのヤング係数（640kN/mm^2）で計算した鋼換算断面積

キーワード：腐食補修，炭素繊維，CFRP，鋼構造，応力頻度計測
連絡先　：〒673-8666　兵庫県明石市川崎町 1-1　川崎重工業㈱　TEL 078-921-1626　FAX 078-921-1609

3. 実験結果

実験で得られた載荷荷重50kN時における下フランジを補修した場合のひずみ分布を**図４**に示す. ひずみの計側位置は, 各欠損部の中心断面であり, ＋側が引張ひずみを示している. また, **表２**には, 鋼材ひずみの平均値を示す. これらの結果より, 以下のことがわかる.

① 補修前の鋼材に発生するひずみ分布より, 断面欠損の周辺では, 発生するひずみレベルが大きくなる.

② CFRP を接着して補修することで, 鋼材に発生するひずみは低減される. その低減効果は, 欠損部に近いほど大きくなる傾向にあり, CFRP に発生するひずみが欠損部周辺で高い値を示すことから, CFRP が応力分担していることがわかる. なお, 貫通孔近傍では, 鋼材ひずみが計側できていないが, CFRP のひずみ分布より, 同様に, 発生ひずみが低減されていると推測できる.

③ **表２**の結果より, CFRPを接着することによってフランジ部材全体に応力低減が見られる. その低減率は, 引張を受ける下フランジで 9～11%, 圧縮を受ける上フランジで 7～8%であり, 断面欠損部の形状の影響は少ない. 圧縮側の応力低減効果が小さい理由は, 高弾性型の炭素繊維の特性として, 圧縮側では比較的小さなひずみ量で非線形性を示す[2)]ことから, その影響と考えられる.

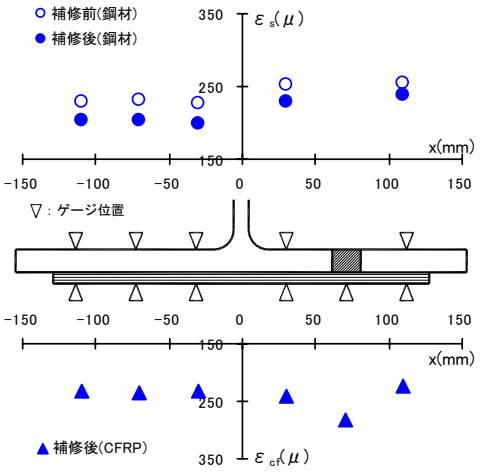
④ 無損傷試験体の断面 2 次モーメントは$I=2.02\times10^{8}mm^{4}$であり, 断面欠損による低減率は$(1-I_{sl}/I)\times100=6.4\%$である. **表２**の結果から, CFRP接着によって 6.6%以上の応力改善効果が確認され, 無損傷の断面性能まで回復していることがわかる.

表２ 鋼材ひずみの平均値（載荷荷重 P=50kN 時）

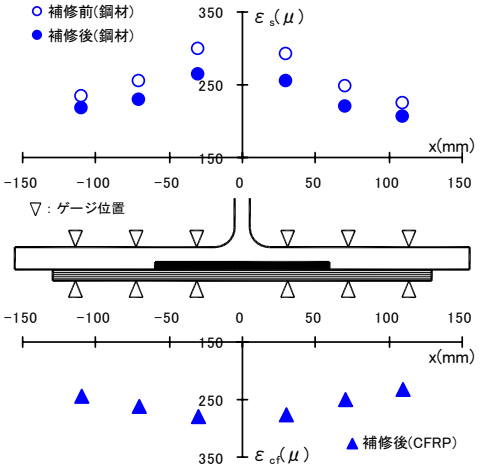
試験体	欠損形状	補修後の鋼材ひずみ (補修前の鋼材ひずみ)	低減率 (%)
下フランジ補修	A	212 μ （239 μ ）	11.3
	B	232 μ （259 μ ）	10.4
	C	223 μ （245 μ ）	9.0
上フランジ補修	A	228 μ （244 μ ）	6.6
	B	246 μ （267 μ ）	7.9
	C	235 μ （253 μ ）	7.1

4. まとめ

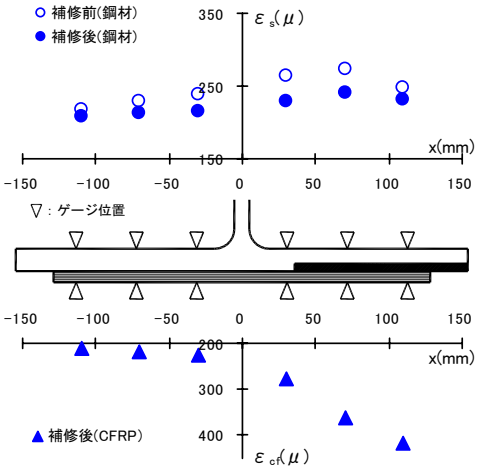
鋼材の欠損断面積に応じて, 同等の鋼換算断面積となる CFRP を接着することで, 引張応力, 圧縮応力共に無損傷の断面性能まで回復することができる. 欠損部近傍の応力集中の低減は対象としていないが, 設計時の初期性能を回復, もしくは現状維持を目的とすれば, 十分効果的であるといえる.



(a) 欠損パターンA



(b) 欠損パターンB



(c) 欠損パターンC

図４ 鋼材およびCFRPのひずみ分布
（下フランジ補修，載荷荷重 P=50kN 時）

【参考文献】

1）杉浦，大垣，冨田，稲葉，長井，小林：炭素繊維シート（CFRP）による鋼構造物の補修に関する基礎実験，第 61 回年次学術講演会講演概要集，CD-ROM， Ⅰ-658，2006.9

2）木村，久保村：ピッチ系炭素繊維複合材料の特性と応用，新日鉄技報第 349 号，pp.61-66，1993