

CFRP による鋼橋腹板の腐食部補修法に関する実験的検討

長岡技術科学大学	学生会員	○PHAN NGOC VINH
長岡技術科学大学	正会員	宮下 剛, 長井 正嗣
長野工業高等専門学校	正会員	奥山 雄介
高速道路総合技術研究所	正会員	若林 大
川崎重工業	正会員	小出 宣央
新日鉄住金マテリアルズ	正会員	小林 朗, 秀熊 佑哉
倉敷紡績	正会員	堀本 歴

1. はじめに

周知の通り，鋼構造物の劣化の大半は腐食が原因である．一般に，腐食損傷を生じた鋼構造物の機能を回復させるために，高力ボルトや溶接により鋼板を添接する当て板工法が一般に行われている．しかし，工事の規模に対して，大掛かりな機材や足場を必要とするなど，供用中の施工に様々な制約が生じるといった問題がある．そのため，腐食損傷を応急的に処置する方法として，より合理的かつ効果的な補修・補強工法が強く求められている．このような中で，鋼構造物の腐食損傷に対する補修・補強材料として，高強度，高弾性，高耐久性と言った特徴を有する炭素繊維強化樹脂材料（以下，CFRP）の適用を検討した事例が数多く報告されている．

著者らは、これまでに、桁端部腹板パネルの腐食損傷を対象とした CFRP による補修・補強工法 (以下、炭素繊維シート接着工法) の開発を進めてきた^{1),2)}。本報では、次の研究ステップとして、腹板パネルに生じた腐食に対して、腐食形状に応じた最適な補修方法 (炭素繊維シートの使用量、貼り付け方法) について検討することを目的として実施したせん断座屈試験の結果について報告する。

2. 試験概要

2.1 供試体

本試験で製作した試験体の寸法を図-1 に示す。鋼桁の諸元は、アスペクト比 1.0、桁長 2,700 mm、腹板高さ 800 mm、腹板厚 6 mm である。ここで、桁端部の腹板が腐食した場合を想定して、腐食を模擬した断面欠損を腹板下端に導入する。試験ケースは、表-1 に示す 13 ケースである。試験目的に応じて、試験ケースを以下に示す(a)～(d)の 4 つに分類する。

- (a) 部分貼り補修¹⁾における最適補修量の検討
- (b) 腐食幅とせん断強度低下率の関係
- (c) 腐食高さとせん断強度低下率の関係
- (d) せん断強度評価式²⁾の適用範囲の検討

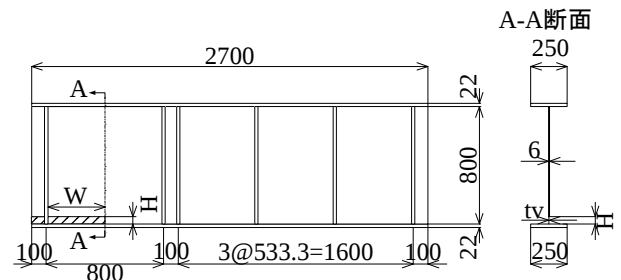


図-1 供試体形状

表-1 試験ケース

試験 ケース	腐食幅 W	腐食高 H	板厚 tv	補修 方法	CFRP 積層数	
					引張	圧縮
Ga-1	800mm (100%)	50mm (6.25%)	3mm	-	-	-
Ga-2				部分	2	2
Ga-3			0mm	-	-	-
Ga-4				部分	4	4
Gb-1	400mm (50%)	50mm (6.25%)	3mm	-	-	-
Gb-2				部分	4	4
Gb-3			0mm	-	-	-
Gb-4				部分	7	7
Gc-1	800mm (50%)	200mm (25.0%)	3mm	-	-	-
Gc-2				部分	4	4
Gc-3				全面	2	2
Gd-1	-	-	-	-	-	-
Gd-2				全面	2	2

2.2 補修方法

炭素繊維シートによる補修方法の概略図を図-2 に示す。本研究では、「部分貼り工法」と「全面貼り工法」の2ケースについて検討している。以下にそれぞれの使い分けを述べる。

1) 部分貼り工法

概要：腹板のせん断強度を回復させる補修対策として使用する。

設計法：板厚減少量を Δt としたとき、炭素繊維シートの厚さ t_f を鋼換算して、板厚減少量を補うように炭素繊維シートの積層枚数を決定する。

キーワード CERP, 鋼橋, 腹板, 腐食, せん断強度, 補修

連絡先 〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1903-1 長岡技術科学大学 建設構造研究室 0258-47-9641

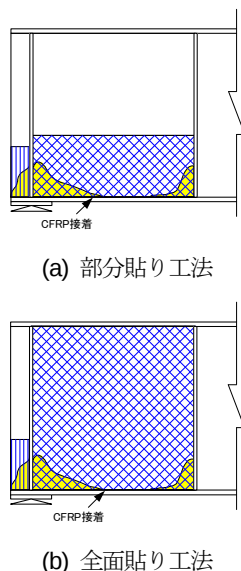


図-2 炭素繊維シートによる補修方法

2) 全面貼り工法

概要：腹板のせん断強度の回復のみならず，B 活荷重対応および耐震補強といった補強対策としても使用する．
設計法：有限要素解析により，断面欠損による強度低下率を算出する．次いで，せん断強度評価式²⁾を用いて，強度増加率を計算する．強度増加率 $\geq$ 強度低下率となるように炭素繊維シートの積層枚数を決定する．

3. 試験結果と考察

3.1 部分貼り補修における最適補修量

同様の試験を行った文献²⁾では，炭素繊維シートの貼付け枚数は，炭素繊維シートの厚さを鋼換算して断面欠損量を補うように補修量を決定し，決定した補修枚数を腹板パネルの引張方向，圧縮方向のそれぞれに貼り付けることとした．これに対し，本研究では，引張方向と圧縮方向にそれぞれ半分の枚数を貼り付けることとした．

炭素繊維シートの貼付け枚数を決定する際には，弾性係数には設計値 (640GPa) を用いている．本年度の試験で使った炭素繊維シートの弾性係数の実測値は 701GPa であったため，補修量を半分としたケースでも強度の回復が見られたものと言える．

以上を踏まえて，安全性の観点から，部分貼り補修における最適補修量は，必要補修量を腹板パネルの引張，圧縮の各方向にそれぞれ貼り付ける方法とするのが望ましいと考える．

3.2 腐食幅とせん断強度低下率

腐食幅をパネルの 1/2 幅とした Gb シリーズについて検討する．いずれのケースも同様の挙動を示し，最大荷重にも大きな差は見られなかった．これは，損傷範囲が斜張力場の形成領域に達していないため，せん断強度がほとんど低下しないためである．このことから，腹板パネルの 1/2 領域

表-2 最大荷重と補修効果

試験ケース	腐食幅 W	腐食高 H	板厚 tv	補修方法	最大荷重 (kN)	補修効果 (%)	備考
Ga-1	800mm (100%)	50mm (6.25%)	3mm	-	883	-	
Ga-2				部分	931	5.44	Ga-1 に対し
Ga-3			0mm	-	766	-	
Ga-4				部分	949	23.89	Ga-1 に対し
Gb-1	400mm (50%)	50mm (6.25%)	3mm	-	1,021	-	
Gb-2				部分	994	-2.64	Gb-1 に対し
Gb-3			0mm	-	1,025	-	
Gb-4				部分	1,021	-0.39	Gb-1 に対し
Gc-1	800mm (50%)	200mm (25.0%)	3mm	-	910	-	
Gc-2				部分	1,050	15.38	Gc-1 に対し
Gc-3				全面	1,242	36.48	Gc-1 に対し
Gd-1	-	-	-	-	931	-	
Gd-2				全面	1,259	35.23	Gd-1 に対し

(支点側) の腐食については，せん断補修の対象とする必要はなく，支点反力に対する補修の対象区間と考えればよい．

3.3 腐食高さとせん断強度低下率

腐食高さ 200mm とした Gc-1 では強度低下率が -7.9 % であるのに対し，腐食高さ 50mm とした Ga-1 では強度低下率 -5.7% となっている．したがって，腐食高さが高いケースでより強度低下率が大きくなっていることが確認できる．よって，腹板パネルの全幅にわたって腐食が進行している場合には，腐食損傷の高さがせん断強度の低下に影響すると言える．

3.4 せん断強度評価式の適用範囲

実験では，無補修の Gd-1 で 931kN，補強した Gd-2 で 1,259kN となった．この結果から，評価式による計算値は，実験値に対して簡易法では 4%，厳密法では -2% の誤差となり，2 層の炭素繊維シートを貼り付けた場合でも，十分な評価精度を有していることが確認された．

4. まとめ

- 1) 部分貼り補修では，必要補修量を腹板パネルの引張方向および圧縮方向にそれぞれ，必要枚数貼り付ける方法が望ましい．
- 2) パネルの支点側 1/2 領域が腐食しているような状態については，せん断補修の対象とする必要がないと言える．ただし，支点部柱としての耐力低下に結び付く位置であるため，柱としての補修対策は必要である．
- 3) 炭素繊維シートを 2 層積層した場合でも，精度良くせん断強度を評価できることを確認した．

参考文献

- 1) 奥山雄介，宮下剛，若林大，小出宣央，秀熊佑哉，堀本歴，長井正嗣：鋼橋桁端部腹板の腐食に対する CFRP を用いた補修工法の実験的研究，土木学会構造工学論文集，Vol.58A，pp.710-720，2012．
- 2) 奥山雄介，宮下剛，若林大，小出宣央，小林朗，秀熊佑哉，堀本歴，長井正嗣：腹板を CFRP 補強した鋼桁のせん断座屈試験と耐力評価法，土木学会論文集 A1，Vol. Vol.68 (No.3)，pp.635-654，2012．