

炭素繊維ストランドシートを用いた鋼桁の曲げ補強に関する実験的研究

新日鉄マテリアルズ株式会社 正会員 ○秀熊 佑哉, 小林 朗

長岡技術科学大学大学院 学生員 奥山 雄介

長岡技術科学大学 正会員 長井 正嗣, 宮下 剛

1. はじめに

鋼構造物は、腐食断面欠損による力学的性能の低下や、活荷重の増加による応力度増加等のため、補修・補強が必要となることがある。このような場合に従来は、部材の交換や当て板添接等が行われてきたが、ボルト穴や溶接熱等の母材への影響や、大掛かりな設備が必要であるなどの問題がある。そこで、より効率的かつ経済的な補修・補強方法として、炭素繊維シート接着工法に関する研究が行われている^{1)~3)}。

また近年、著者らは施工効率の向上を目的として、連続繊維ストランド 1 本ずつに樹脂を含浸・硬化させた FRP ストランドをすだれ状にシート化したストランドシートを開発し、鋼部材の腐食部の部分補修への適用を目指し、主に軸力を受ける部材の補修効果および剥離特性について検討行ってきた^{2)~3)}。

本研究では、曲げモーメントを受ける鋼部材へのストランドシート補強方法の確立を目指し、各層の接着長をパラメータとして、ストランドシート補強 H 形鋼を用いた梁曲げ載荷試験を行った。また、補強範囲が長い場合、ストランドシートに継手を設ける必要があるため、突合

せ継手(図-1)の影響についても検討を行った。

2. 実験概要

図-2 に示すように、鋼製梁の下フランジ下面に CFRP ストランドシートを接着し、3 点曲げ試験を実施した。鋼材には、シートの剥離性状を確認するため高降伏点鋼 SBHS700 (降伏点 836MPa) を使用した。各材料の材料物性を表-1 に、実験パラメータを表-2 に示す。補強材の積層数は 10 層で統一し、無補強鋼材降伏荷重 1020kN での 10 層補強鋼材中央の応力度である 460MPa を設計上の補強目標値とした。各層の最適接着長は、全断面で鋼材応力为目标値以下にするという観点から、鋼材とシートを合成断面として、式-1 を用いて各層の必要最低接着長を算出し、さらに荷重伝達長を加えることで算出した。

本実験では剥離の影響も検討するため、F10A, F10C は 1 層目端部から剥離、F10B, F10D は 1 層目を梁端部で定着し、鋼材降伏荷重まで剥離しないように設計した。F10B は最外層を必要最低接着長+荷重伝達長としているのに対し、F10D は最外層を長くしている。

ここで、荷重伝達長は 10 層補強した鋼板の引張試験結果より 200mm とした。また、端部剥離発生時のシート端部の鋼材応力度は、過去の実験から 280MPa とし³⁾、F10A では 780kN, F10C では 650kN で 1 層目端部から剥離するように設計した。F10B, F10D は、4 箇所もしくは 5 箇所の突合せ継手を有しており、継手位置が同一断面にならないように 200mm 以上間隔をあけており、最外層に 1 層増し貼りして 11 層で 10 層分の補強効果を得るよう設計している。また、F10D では突合せ継手の間に応力集中低減のため 20mm の GAP を設けている。

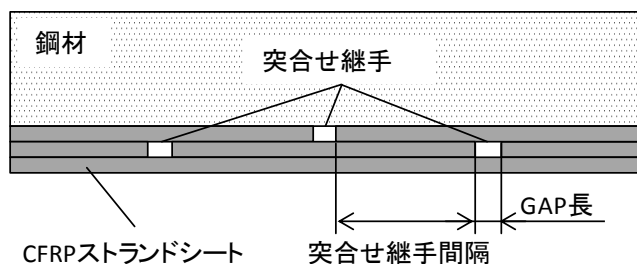


図-1 突合せ継手

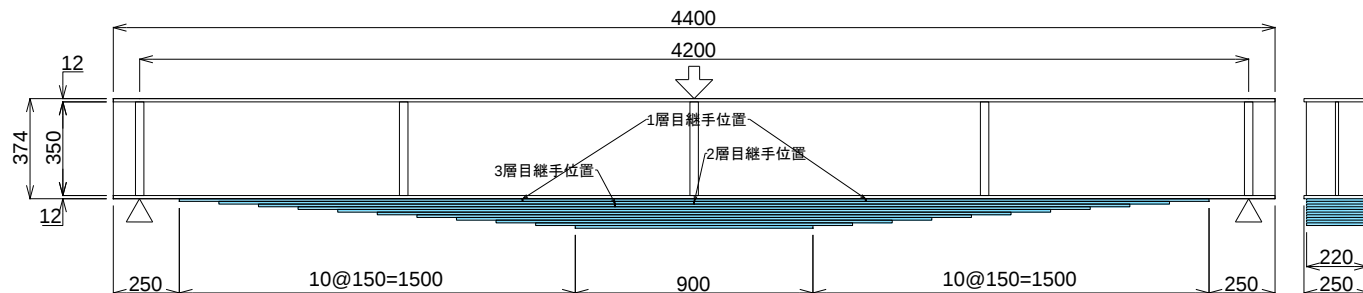


図-2 供試体 F10B

キーワード 鋼部材, 曲げ補強, 炭素繊維, 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 新日鉄マテリアルズ(株)日鉄コンポジット社 TEL 03-5623-5558

$$x_i = \frac{2\sigma_m Z_{i-1}}{P_y} \quad (\text{式-1})$$

x_i : i 層目のシート定着位置 (mm)
 σ_m : 目標鋼材応力度 (MPa)
 Z_{i-1} : $i-1$ 層補強時の下フランジ下面の断面係数 (mm³)
 P_y : 曲げ荷重 (N)

表-1 スtrandシートの物性

供試体	目付 g/m ²	設計厚 mm	保証値		測定値	
			ヤング係数 kN/mm ²	引張強度 N/mm ²	ヤング係数 kN/mm ²	引張強度 N/mm ²
F10A,B	900	0.429	640	1900	695	2670
F10C,D					721	2970

表-2 実験パラメータ

供試体	積層数	1層目の 長さ(mm)	最外層の 長さ(mm)	ずらし量 mm	突合せ 継手	突合せ継手 GAP(mm)
F10A	10	2360	920	80	—	—
F10B	10+1	3900	900	150	4箇所	0
F10C	10	2000	740	70	—	—
F10D	10+1	3900	1600	115	5箇所	20

3. 実験結果および考察

3. 1 補強効果

表-3 に曲げ剛性の理論値および実験値、破壊状況と破壊時の荷重を示す。曲げ剛性の実験値は、鋼材中央の下フランジ下面に貼付したひずみゲージの値より算出している。同表より、曲げ剛性は、継手の有無に関わらず、理論値とほぼ一致しており、突合せ継手を設けても1層増し貼りすることによって、設計通りの補強効果が得られることがわかった。

表-3 実験結果

供試体	曲げ剛性 kNmm ²			荷重 kN	破壊様相
	El _{exp}	El _{cal}	達成率 %		
F10A	67809	65672	103.3	742 881	3層目から剥離 中央から繊維破断
F10B	68752	65672	104.7	842 873 922	11層目剥離 10層目剥離 中央から繊維破断
F10C	66700	66171	100.8	815	1層目から剥離
F10D	68594	66171	103.7	—	破断・剥離は発生せず

3. 2 破壊状況

F10A は 780kN で 1 層目端部剥離の設計であったが、742kN で 3 層目から剥離した。これは、3 層目端部位置と補剛材の位置がほぼ一致しており、補剛材の剛性により、同供試体のひずみ分布が、補剛材付近で急激に変化していたことが原因と思われる。

F10B は目標荷重まで破断・剥離しない設計であったが、最外層から順次シート層間で剥離し、その後シート中央で繊維破断した。剥離に関しては設計時に鋼とシート間の剥離しか考慮していなかったが、曲げ補強の場合は、シート層間のせん断力が端部より大きくなるため、

シート層間の剥離も考慮すべきであることがわかった。また、シート破断時のシートひずみが計算上 2300 μ 程度と、保証値から計算されるシート破断ひずみ 3000 μ より低くなっている。破断位置と突合せ継手位置が一致することから、シートの早期破断は、GAP の無い場合突合せ継手での応力集中が原因であると考えられる。

F10C は設計通り 1 層目から剥離しており、剥離荷重は設計時の 650kN より高く 815kN であった。また、その時の 1 層目端部の鋼材応力は 350MPa であり、設計値 280MPa は安全側であった。

F10D は目標荷重 1020kN まで破断・剥離は発生しなかった。F10D の最外層の接着長は、F10B でシート間剥離が発生した時のシート端部の表面ひずみ 1700 μ を参考にし、1020kN でもその値を超えないように設計されている。また、突合せ継手に 20mm の GAP を設けることで、1020kN 時の 2500 μ でもシートは破断しなかった。突合せ継手をする際には 20mm 程度の GAP を設けることが望ましいことがわかった。

4. まとめ

本実験より得られた知見を以下に示す。

- ・ストランドシートによる鋼材の曲げ補強は合成断面として計算可能であった。
- ・突合せ継手を有する供試体では、継手間隔を 200mm 以上あけて、1 層増し貼りすることによって、設計通りの補強効果が得られた。
- ・突合せ継手を設ける際に、20mm 程度の GAP を設けることで継手強度が改善された。
- ・鋼材-シート間の剥離発生時のシート端部の鋼材応力は 350MPa であり、設計時に用いた過去の実験結果である 280MPa は安全側であった。
- ・曲げ補強ではシート層間剥離を考慮する必要があった。シートの層間剥離時のシート端部の表面ひずみは 1700 μ であり、目標荷重で各層のシート端部ひずみが 1700 μ を超えないようにすることで剥離しなかった。

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) 秀熊, 小林, 立石, 長井, 宮下: CFRP スtrandシートによる鋼板の補強効果に関する研究: 鋼構造年次論文報告集 第 17 巻, 2009. 11
- 3) 秀熊, 小林, 長井, 宮下, 佐藤: CFRP スtrandシートを接着した鋼桁の曲げ試験: 土木学会第 65 回年次学術講演論文集, 2010. 9