

鋼橋の補修と亀裂検出を可能にする CFRP スtrand センサの基礎研究

長岡技術科学大学 学生会員 ○松本 大樹
長岡技術科学大学 正会員 宮下 剛
新日鉄住金マテリアルズ株式会社 秀熊 佑哉
新日鉄住金マテリアルズ株式会社 小林 朗

1. 研究背景と目的

CFRP は軽量、高強度、高弾性、高耐食性など優れた特性を持つ。さらに、CFRP を構成する炭素繊維は電気導電性を有しており、その電気抵抗の変化を測定することで、剥離検知など自己診断機能を有するインテリジェント材料として期待されている¹⁾。

一方で、腐食した鋼構造物に対する効率的な補修・補強方法として、現場で CFRP シートを接着する工法が適用され始めている²⁾。しかし、この工法では CFRP シート鋼材表面に接着するため、き裂の発生や進展を直接観察することができない。そこで、導電性を有する独立した炭素繊維ストランドから構成される CFRP スtrand シートを用いて、鋼部材を補修するとともに鋼部材の状態把握を可能とする方法について基礎的な検討を行う。具体的には、CFRP スtrand シートを接着した鋼板を用いて、一軸繰り返し引張試験を実施する。そして、CFRP スtrand シートによる補強効果を確認するとともにストランドシートの荷重-電気抵抗変化率の関係を調べる。

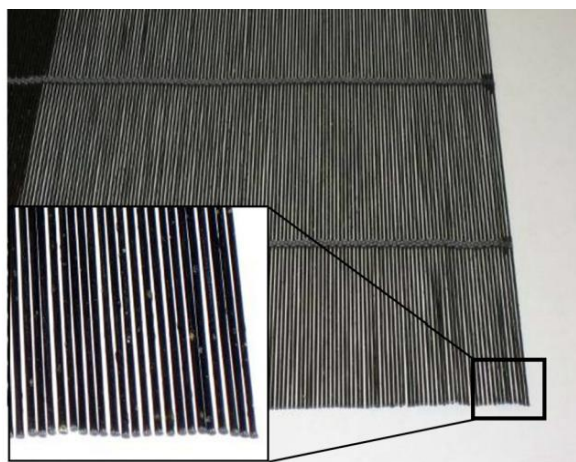


図 1 CFRP スtrand シート

2. CFRP スtrand シート

本研究に用いた CFRP スtrand シートは、図 1 に示すように、連続繊維ストランド 1 本ずつに樹脂を含浸させ FRP 素線をすだれ状にシート化したものである。このため、ストランドに電極を設けて抵抗を計測することで、各ストランドを独立した電気伝導体として扱うことができる。

3. 試験概要

3. 1 試験概要

図 2 に示すように、鋼板(SS400, 9×60×1000mm, 降伏強度: 300MPa, ミルシートより)及び、亀裂を模擬した片面のみ断面欠損(長さ 2mm, 深さ 4mm)を有する鋼板の表裏に CFRP スtrand シートを接着し、一軸引張試験を実施した。載荷方法は繰り返し載荷とし、最大荷重を 10kN ずつ漸次増大させていき、電気抵抗を測定した。試験状況を図 3 に示す。

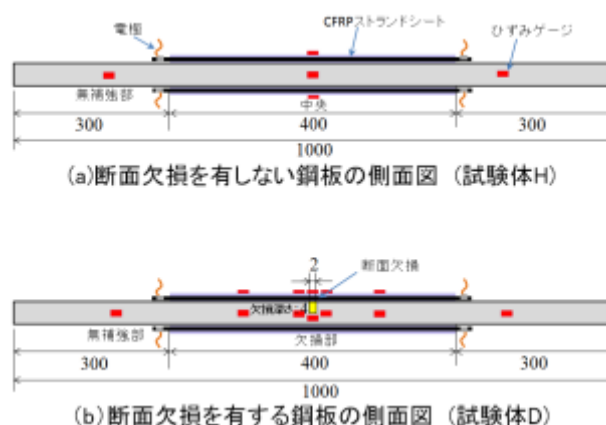


図 2 試験片

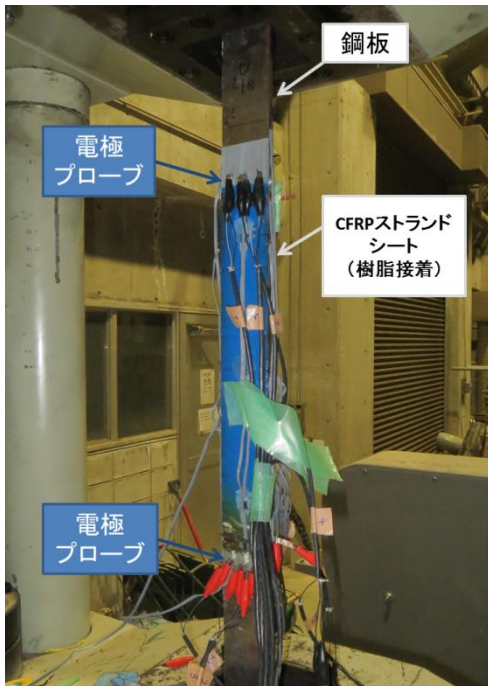


図3 試験風景

3. 1 電気抵抗の測定

CFRP ストランドシート 1 枚に対し，導電性接着剤(ドータイト:D-723S, 藤倉化成)を使用して 3 本のストランドに銅線電極を取り付けた(図 4)．電気抵抗測定には多点計測タイプの抵抗計 (RM3545, 日置電機) を使用し，一度に複数の抵抗値を測定した．測定方法は四端子法とした．試験体一覧を表 1 に示す．

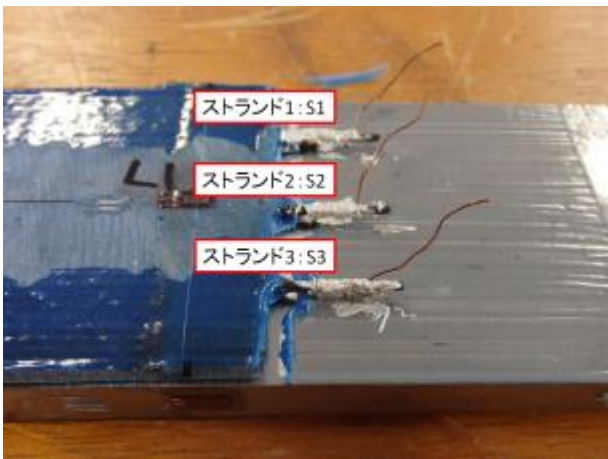


図4 電極の接着状況

表 1 試験体一覧

試験ケース	試験体名	シート枚数	ストランド1	ストランド2	ストランド3
断面欠損無し	H	1枚	H-S1	H-S2	H-S3
断面欠損有り	D	1枚	D-S1	D-S2	D-S3

4. 実験結果と考察

4. 1 荷重-ひずみ関係

試験体 H, D の荷重-ひずみ関係を図 4 に示す．両方とも，無補強部と定着部のひずみは，それぞれの理論値と一致している．また，定着部のひずみは試験体 H, D いずれも無補強部よりひずみが低減しており，CFRP ストランドシートの補強効果が確認できる．試験体 D の欠損部は 117kN で降伏ひずみ (1500 μ) を上回り，降伏する．試験体 H と試験体 D の CFRP ストランドシート表面中央部の荷重-ひずみ関係を図 5 に示す．試験体 D のシート表面中央部のひずみは試験体 H のものより 1.2 倍程度大きくなっている．これは断面欠損により，応力分担が変化したためである．

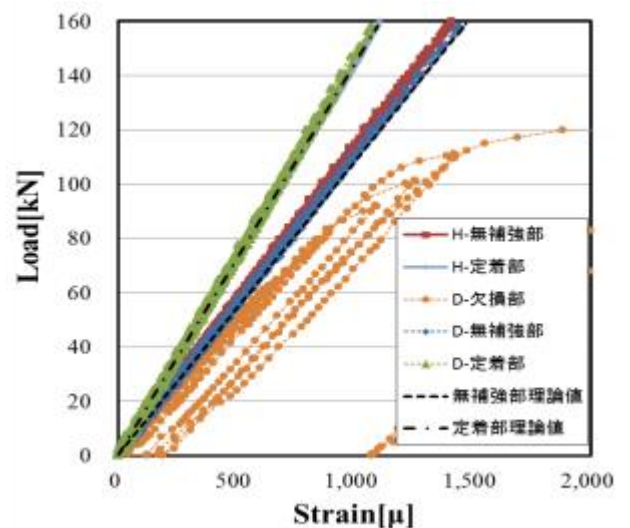


図4 荷重-ひずみ関係(鋼板コバ面)

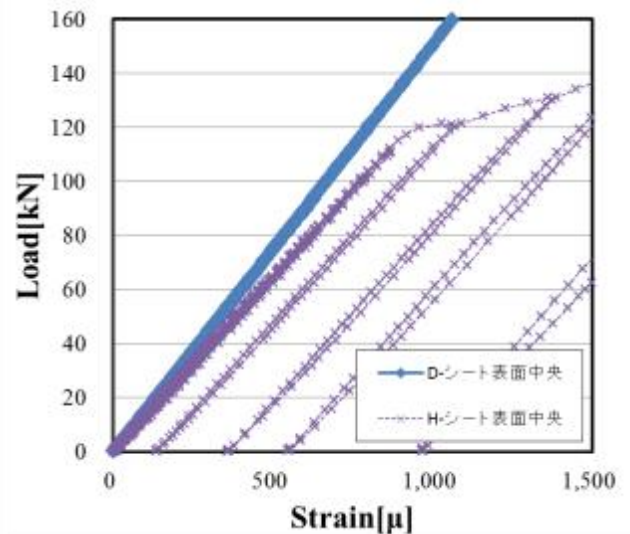


図5 荷重-ひずみ関係
(ストランドシート表面中央)

4. 2 荷重-電気抵抗変化率関係

試験体 H, D の荷重-電気抵抗変化率関係を図 6, 図 7 に示す. 電気抵抗変化率は, 式(1)から求めた.

$$\text{電気抵抗変化率} = \frac{R - R_0}{R_0} \quad (1)$$

R : 荷重が加わった時の電気抵抗値

R₀ : 初期電気抵抗値

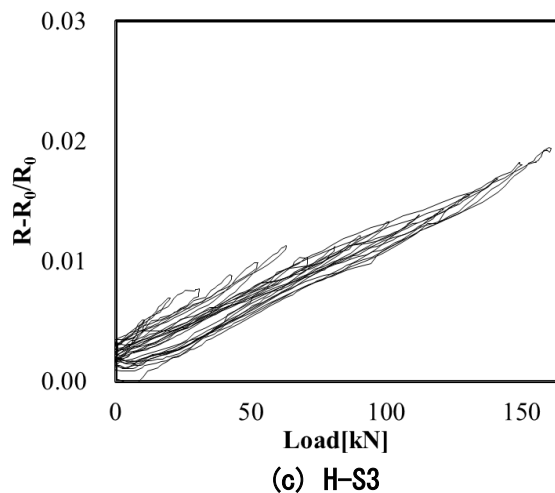
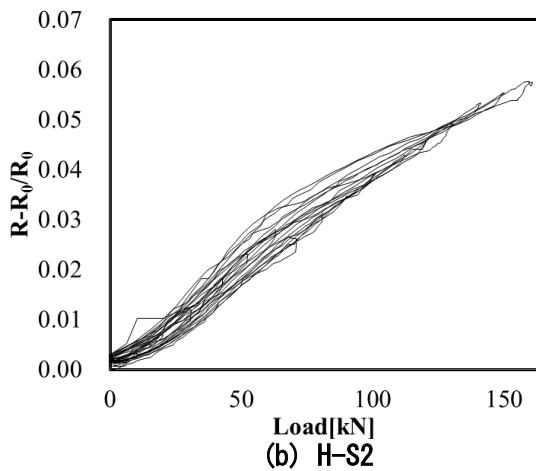
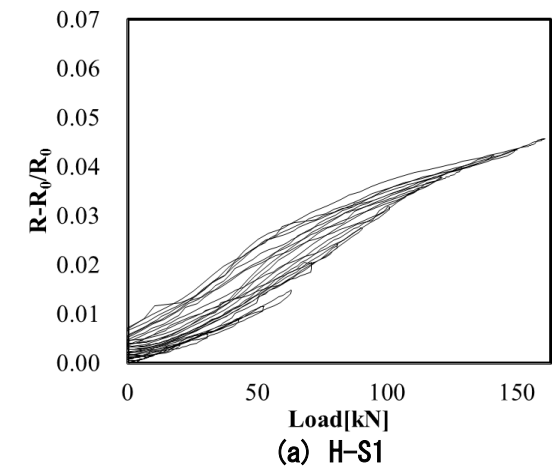


図 6 荷重-電気抵抗変化率関係 (試験体 H)

試験体 H では, 荷重に伴い, 電気抵抗変化率も増加し, 除荷時は減少した. また, 除荷時には初期抵抗に対してわずかな残留抵抗が生じた. これは, 既往の研究でも, 炭素繊維単体に対して同様に確認されている³⁾. 一方, 試験体 D のストランドは荷重増加に伴い, 放物線のような挙動をする. また, 残留抵抗値は試験体 H とは異なり, 再载荷の最大荷重の増加に伴い, 減少する. これらの現象は図 5 からわ

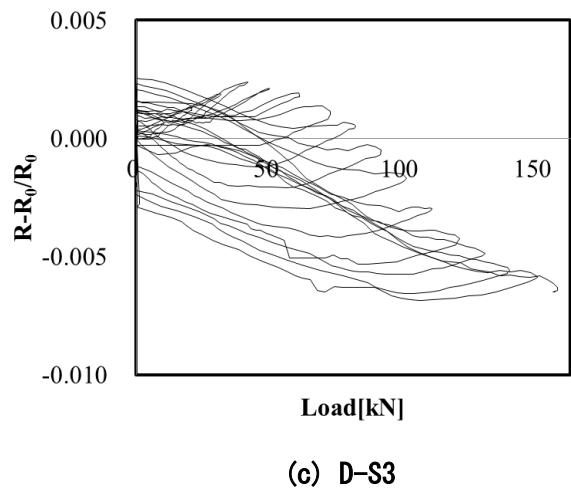
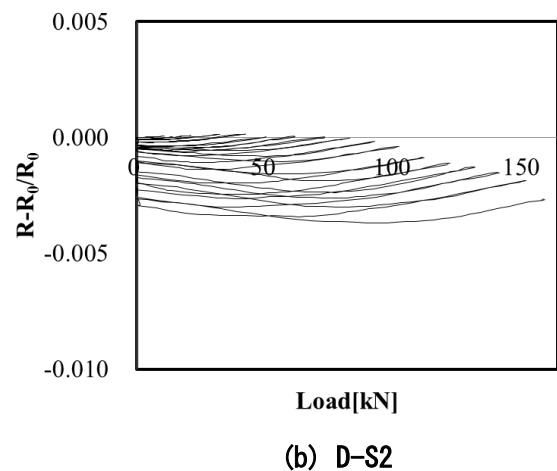
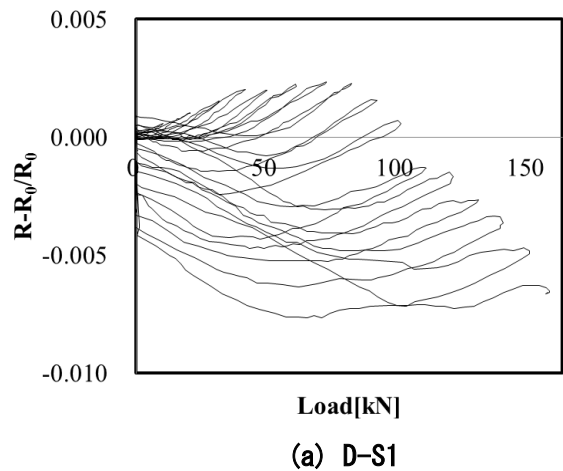


図 7 荷重-電気抵抗変化率関係 (試験体 D)

かるように、断面欠損により、鋼材から CFRP ストランドシートに伝わる垂直応力が変化することが原因であると考えられる。これらのことから、CFRP を接着した鋼板にき裂が発生した場合、シートへの応力伝達に変化することに伴い、電気抵抗変化率の挙動が変化する。これより、き裂検知の可能性が示唆される。

29, pp48-57, 2003.

5. まとめ

炭素繊維の電気伝導性に着目して、CFRP ストランドシートによって鋼部材を補修するとともに鋼部材の状態把握を行う方法について基礎的な検討を行った。具体的には、CFRP ストランドシートを接着した鋼板に対して、一軸繰り返し引張試験を実施し、ストランドの荷重-電気抵抗変化率の関係を得た。以下に本研究から得た知見を示す。

- ・鋼材に断面欠損がある場合、荷重の増加に伴い、電気抵抗変化率が放物線のような挙動に変化するため、CFRP ストランドシートの電気抵抗変化を計測することで、き裂を検知できる可能性がある。しかし、計測の再現性、理論的な根拠に関する検討は今後の課題としたい。

- ・CFRP ストランドの残留電気抵抗値は、最大引張荷重に応じて変化する。また、断面欠損の有無により、最大引張荷重に対しての残留抵抗値の挙動も変化する。

- ・電気抵抗を測定するストランドが同じシートにある場合、ストランドの荷重-電気抵抗変化率関係は類似した挙動を示す。

参考文献

- 1)轟章, 田中雄樹, 島村佳信, CFRP 平板の埋没剥離同定への電気抵抗変化法の適用, 材料 50(5), pp495-501, 2001
- 2)秀熊佑哉, 小林朗, 五百井 誠二: 軸力を受ける鋼部材の炭素繊維シートによる補修に関する実験および施工事例, 第 1 回北陸橋梁保全会議, B-3, 2003
- 3)Karl SCHULTE, 翻訳: 轟章: 炭素繊維を用いた高分子系複合材料のセンシング, 日本複合材料誌, Vol,