

鋼部材の補修と状態把握を可能とする CFRP スtrand センサの基礎研究

構造研究室 松本 大樹

指導教官 宮下 剛

1. 背景

これまで、CFRP シートを用いて、鋼構造物の補修・補強を実施する研究を進めてきた。この中の課題として、炭素繊維シートを貼付すると、被接着物の状態が確認できなくなることが問題とされてきた。

2. 既往の研究

炭素繊維は損傷検知センサとして利用されており、原理は、金属抵抗値を利用するひずみゲージと同様に、引張応力による炭素繊維の電気抵抗変化を利用して損傷を評価する。これらのセンサは光ファイバセンサと同じように、線的な計測であるため、構造物の局所的な状態がわからず、平均的な状態しか把握できないといった課題が残されている。また、炭素繊維センサによる構造物への補修・補強効果は意図していない。

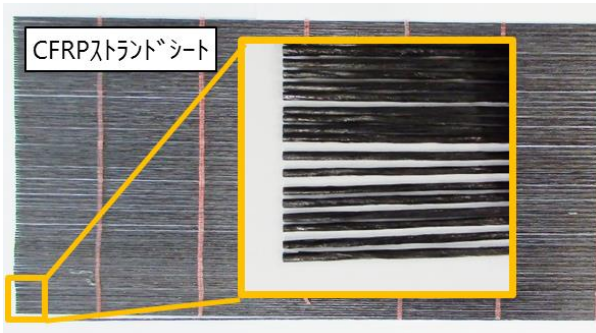


図 1 CFRP スtrand シート

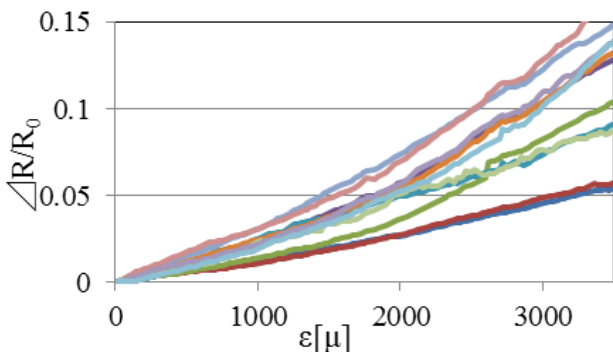


図 3 ひずみ-電気抵抗変化率関係

3. 目的

一本ずつの CFRP スtrand に樹脂を含浸させ、すだれ状にシート化した炭素繊維スtrand シートに着目する(図 1)。スtrand シートでは、その構成から各スtrand を独立した電気伝導体として扱うことが可能である。そこで、炭素繊維スtrand シートによる補修・補強効果を確認するとともに、各スtrand の電気抵抗値を測定することで、被接着物の局所的な状態の把握が可能であるか検討する。

4. 材料特性試験

CFRP スtrand シートに対して、引張試験を実施し、CFRP スtrand の電気抵抗特性を把握する。試験体概要を図 2-(a)に示す。対象とする CFRP スtrand シートは高強度型 HT600、中弾性型 MM600、高強度型 HM600 と HM900 である。本稿では、特性が最も良かった

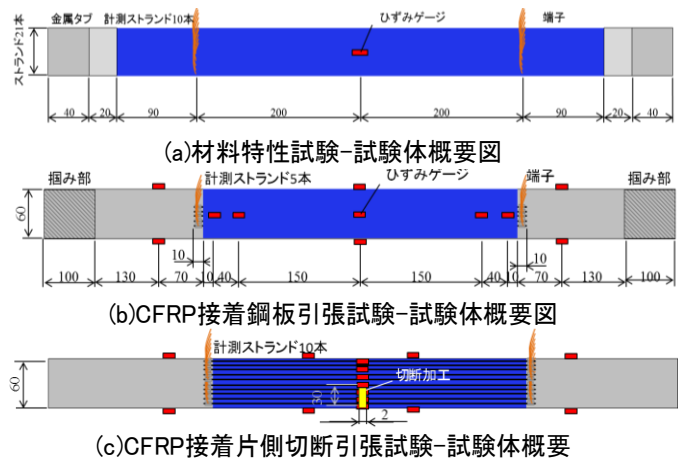


図 2 試験体概要

表 1 初期抵抗値

理論値	実験値										尺度
7.01	7.13	7.36	7.78	7.81	7.92	8.23	8.27	8.31	8.41	8.41	低
	8.50	8.82	8.78	8.83	8.83	9.60	9.69	9.82	10.4	11.0	
	13.7	16.4	17.2	17.9	20.5	21.5	24.4	34.2	40.1	48.1	
尺度	低										高

MM600 を結果として示す。

結果

電気抵抗をしたストランドの本数は 30 本である。表 1 にその初期抵抗値の値を示す。初期抵抗理論値 7.01Ω と比較して、初期抵抗値が極端に大きいもの (13Ω 以上) がある。この時のひずみ-電気抵抗変化率関係は非線形となった。これは端子の接触不良の影響と考え、端子の接触影響を調べるための検証を行ったところ、初期抵抗値が 13Ω 以上の場合、接触不良が発生していることが明らかになった。 13Ω 以下となるストランドに対してのひずみ-電気抵抗変化率関係を図 3 に示す。この時、ひずみに対して電気抵抗変化率は線形的に増加していることが確認できる。他のストランド HT600, HM600, HM900 でも同様の検証を行ったが、MM600 の

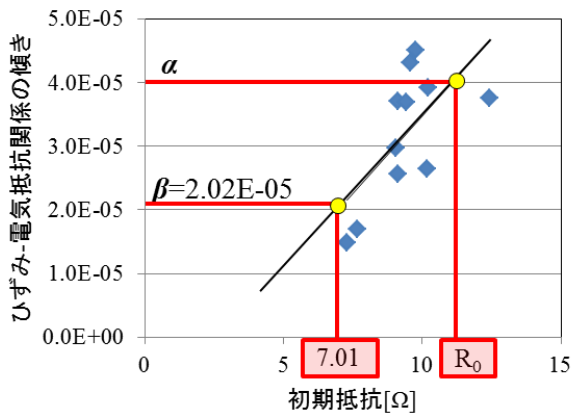
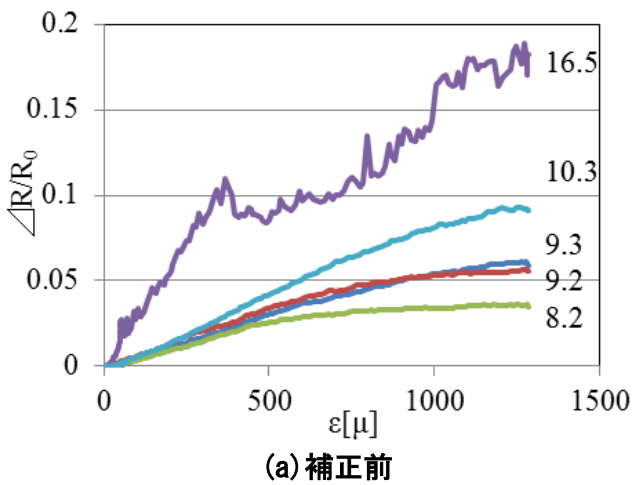


図 4 初期抵抗と電気抵抗増加率



(a) 補正前

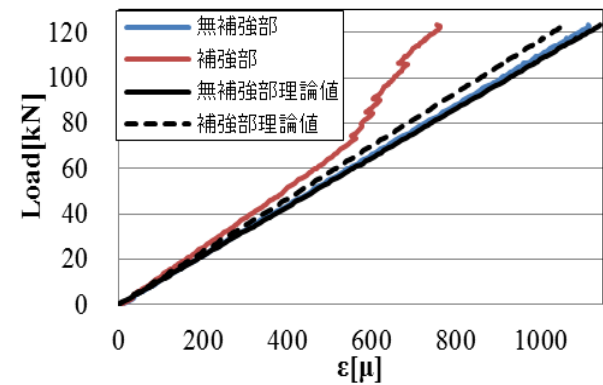
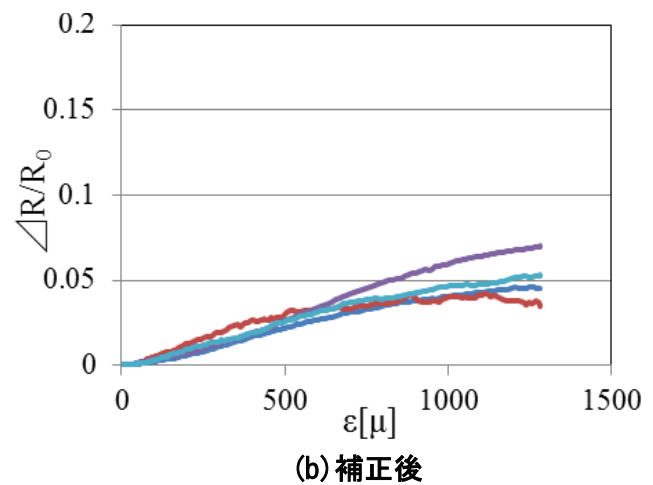


図 6 荷重-ひずみ関係

電気抵抗変化率の変化が最も線形的であった。したがって、中弾性型 MM600 がセンサとしての有用性が高いと考えられる。さらに、初期抵抗と電気抵抗増加率の関係を図 4 に示す。初期抵抗が大きくなるにつれ、増加率も増加する傾向にあることがわかる。したがって、各ストランドの初期抵抗が異なる場合、増加率を一定にするため、補正をする必要がある。

5. CFRP 接着鋼板引張試験

本試験では、CFRP ストランドシート MM600 を鋼板に接着し、引張試験を実施する。図 2-(b) に試験体概要を示す。ここでは、ひずみ-電気抵抗特性を把握するとともに、初期抵抗値の違いによる電気抵抗増加率のバラツキの補正を検討する。電気抵抗を測定したストランドの本数は片面 5 本である。



(b) 補正後

図 5 ひずみ-電気抵抗変化率関係(表面)

結果

図 5 に表面のストランドシートのひずみ-電気抵抗変化率関係の補正前と補正後を示す。各ストランドの初期抵抗を 7.01Ω に補正することで、電気抵抗増加率のバラツキが小さくなっていることが確認できる。ここで、鋼板の一部に欠損が発生すると、そこに接着されているストランドの電気抵抗値が他のストランドより大きくなるのが想定される。次の項では、亀裂の模擬を意図して切断加工を施した鋼板に CFRP 接着し、電気抵抗から切断加工部が検出できるか検討を行う。

補正は図 4 に示した初期抵抗-電気抵抗増加率の関係を用いる。はじめに、ストランドの初期抵抗値 R_0 から推定電気抵抗増加率 α を求める。次に、初期抵抗理論値 7.01Ω の時の推定電気抵抗増加率 β を求める。実験から得られたストランドのひずみ-電気抵抗変化率関係をプロットし、ひずみ x_i が発生した時の電気抵抗変化率の値を、比を用いて、算出し、補正する。

6. CFRP 接着片側切断鋼板引張試験

亀裂の模擬を意図して切断加工を施した鋼板に CFRP 接着し、電気抵抗から切断加工部が検出できるか検討を行う。試験片概要を図 2-(c) に示す。ストランドの電気抵抗により切

断部を検出するため、測定ストランドの本数を 10 本とした。この内、5 本のストランドが切断加工部をまたがるように接着した。

結果

図 6 に荷重-ひずみ関係を示す。補強部のひずみは無補強部より低減しており、補強効果が確認できる。

はじめに、前項で示した電気抵抗増加率の補正を行った。補正後の 40kN 載荷時のシート中央からの距離-電気抵抗変化率-ひずみ関係を図 7 に示す。電気抵抗変化率の分布は、ひずみ分布と同様に非切断側より切断側で大きくなっている。したがって、荷重が加わることによって、電気抵抗値の差異から切断部の検出ができる可能性が示された。

7. まとめ

中弾性型ストランドシート MM600 が最も電気抵抗特性が良いことが分かった。また、鋼板中央に切断加工を加えた際に、各電気抵抗値の差異から亀裂の存在および進展の検出できる可能性が示された。

8. 今後の課題

実施した試験体数が 1 体のため、追加の確認試験を実施する。また、シート長と検出可能な損傷サイズの関係性について検討を実施する。

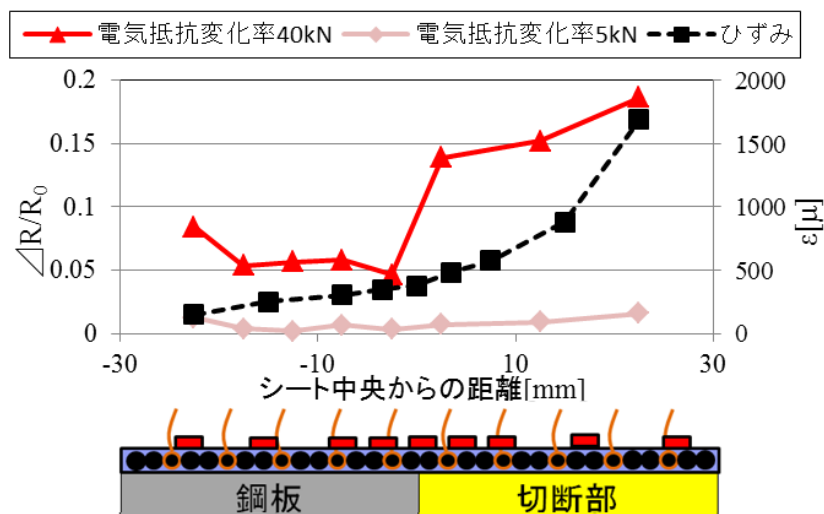


図 7 シート中央幅方向からの電気抵抗分布とひずみ分布