

一軸引張力を受ける CFRP プレートのひずみと電気抵抗との関係性

早稲田大学 学生会員 張 心怡

早稲田大学 正会員 佐藤 靖彦

日鉄ケミカル&マテリアル株式会社 正会員 立石 晶洋

1. はじめに

CFRP に力が作用すると CFRP に含まれる炭素繊維の導電性から CFRP の電気抵抗が変化する特性がある。これは、一般的なひずみの大きさに着目したモニタリングに代わり、CFRP の電気抵抗変化をモニタリングすることで、材料や構造物の損傷度を評価できる可能性があることを意味する。

既往の研究¹⁾によれば、CFRP プレートの表面ひずみと電気抵抗との間には、線形的な関係は見られず非線形性を呈することがわかっている。しかし、非線形性を示す理由の解明、また、その関係の定量化が大きな課題として残された。本研究では、CFRP プレート単体と CFRP プレートをコンクリートに接着した複合体としての繰返し引張載荷試験を実施し、CFRP プレートの電気抵抗変化と表面ひずみとの関係について検討を行った。

2. 実験概要

本研究では、3 体の CFRP プレート単体試験体と 2 体の CFRP プレートとコンクリートの複合体試験体を用意した。図 1 に供試体の形状を示す。図には、ひずみゲージと電極の位置が示されている。

CFRP プレート単体試験体では、両端に接着したガラスタブを把持することでプレートに引張力を加える。CFRP プレートとコンクリートの複合体試験体では、コンクリート角柱に埋め込まれた鉄筋の両端を把持することでプレートに引張力を加える。単体の試験では、図 2 に示す 3 つの載荷パターン(A1,A2,A3)を用意した。一方、複合体の試験では、図 3 に示す 2 つの載荷パターン(B1,B2)を用意した。なお、電気抵抗の測定は 4 電極法とした。

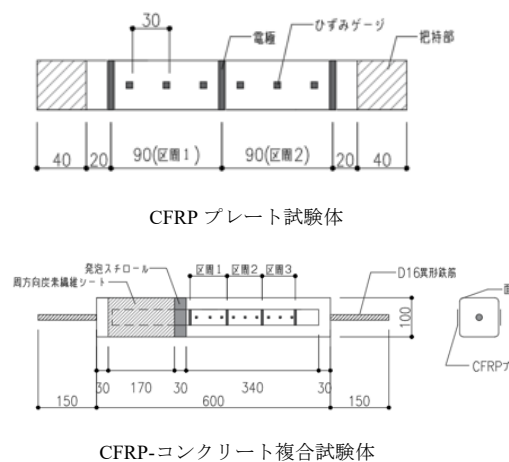


図 1 試験体

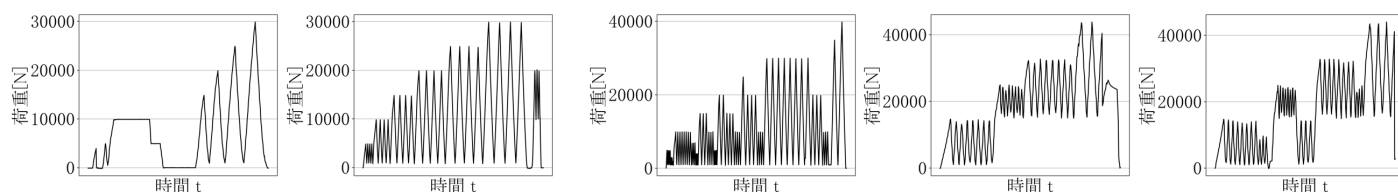


図 2 載荷パターン (左から順に載荷パターン A1,A2,A3,B1,B2)

3. 解析結果と考察

3.1 プレート単体試験

載荷パターン A1, A2, A3 で得られた引張力とひずみの関係を図 3 に示す。弾性挙動を示している。図 4 は、載荷パターン A1 の電気抵抗-ひずみ関係を示す。ひずみと電気抵抗の間には非線形な関係があり、荷重を取り除いた時、ひずみはゼロになるが電気抵抗には残留値が存在する。その値は、除荷開始時のひずみがいほど大きくなる。ここで、各繰返しのひずみの最大値をつないだ曲線を外包絡線として定義する。

キーワード CFRP プレート, CFRP プレート-コンクリート複合体, 電気抵抗, ひずみ

連絡先 〒169-0072 東京都新宿区大久保 3-4-1 TEL 03-5286-3852

図5に、荷重パターンA2の電気抵抗-ひずみ関係を示す。一定荷重下での繰返し回数の増加とともに電気抵抗が増加するが、その値は、荷重パターンA1の外包絡線に沿っていく傾向があった。

図6に、荷重パターンA3の電気抵抗-ひずみ関係を示す。ひずみが5000 μ までの範囲では、荷重パターンA1の外包絡線に沿っているように見えるが、それより大きい範囲では、荷重と除荷を繰り返すことで電気抵抗が大きく増加している。

3.2 コンクリート-CFRP プレート複合体試験

誌面の都合上、荷重パターンB1に対してプレート試験で得られた外部包絡線との比較を行う。荷重パターンB1の電気抵抗-ひずみ関係を図7に示す。電気抵抗とひずみは単体試験同様、非線形な関係にあるが、各繰返し時の最大ひずみは、単体試験の外包絡線とは少し乖離している。原因として考えられるのはコンクリートとプレート間の付着により位置によりひずみが異なり、ひずみ分布が均一ではないことによるものと考えられる。つまり、区間の平均ひずみに対応する区間電気抵抗をプロットするとずれが生じる。そこで、ひずみ分布に基づき、外包絡線を用いて電気抵抗を積分した結果を図8に示す。実験値と補正值がほぼ一致する。

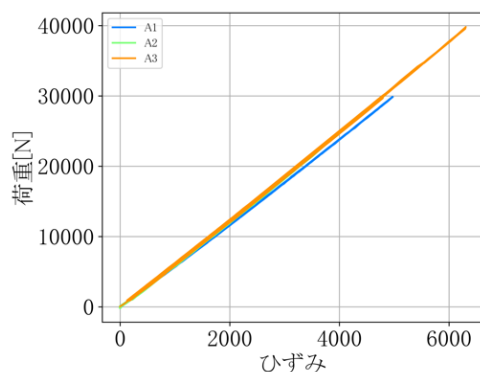


図3 荷重-ひずみ関係

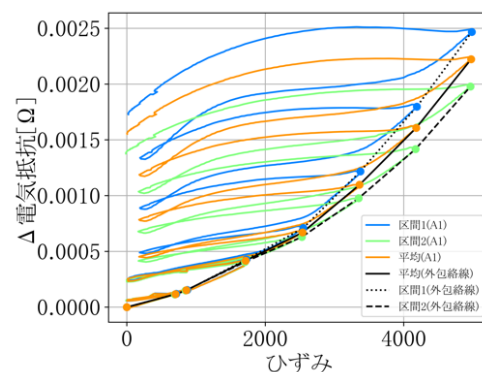


図4 荷重パターンA1

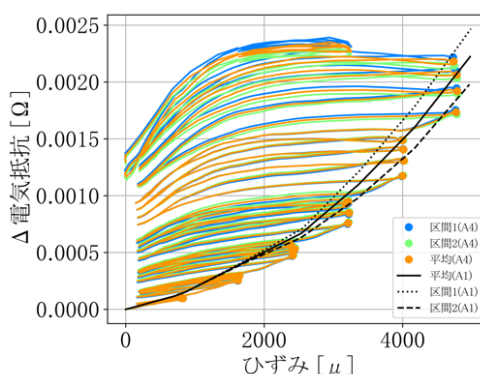


図5 荷重パターンA2

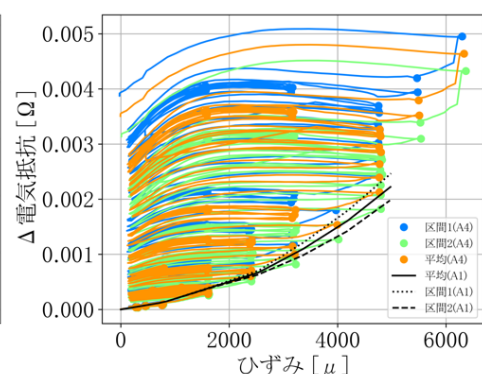


図6 荷重パターンA3

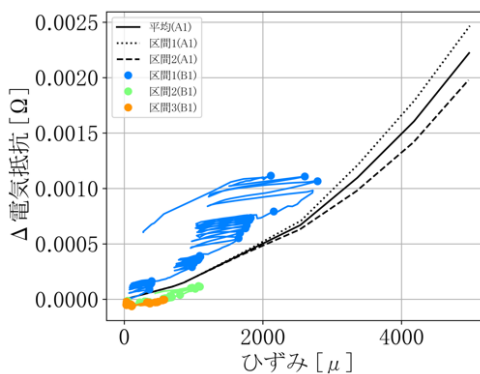


図7 荷重パターンB1

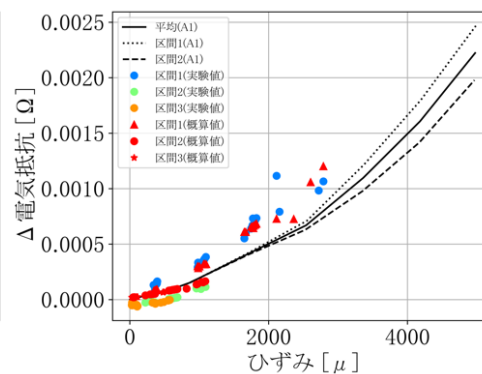


図8 荷重パターンB1の再評価結果

4. まとめ

プレート単体の場合もコンクリートとプレートの複合体の場合も電気抵抗とひずみは非線形な関係にある。すなわち、非線形性は、プレートとコンクリート間の付着特性の非線形性に起因するのではなく、プレート単体の損傷を表しているものと考えられる。それゆえ、プレートとコンクリート間の電気抵抗は、プレート単体の結果から得られた外包絡線を用いることで予測することができる。

参考文献

- 1) 立石晶洋, 佐藤靖彦, 高瀬祐一, センサ機能付き FRP プレートの付着特性と電気特性に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol. 41, pp. 1189-1194, 2019