

平成 27 年 5 月 20 日現在

機関番号：52301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560572

研究課題名(和文) 繊維シート補強したコンクリートの繰り返し温度履歴による界面のせん断挙動

研究課題名(英文) The Interfacial shear of concrete reinforced with fiber sheet under cyclic temperature change

研究代表者

田中 英紀(Tanaka, Hidenori)

群馬工業高等専門学校・環境都市工学科・教授

研究者番号：30551725

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,300,000円

研究成果の概要(和文)：負の線膨張係数を有する繊維シート状にして補強したコンクリートブロックに北海道日高市の冬期平均外気温に相当する温度履歴を(-10から+3)負荷し、繊維シートとコンクリートとの界面でのずれせん断によるはく離をひずみ履歴から調査した。炭素繊維とアラミドの各繊維シートを6000サイクルまで負荷した結果、炭素繊維はサイクル数に応じて塑性ひずみが増加し、温度-主ひずみ履歴曲線の勾配(線膨張係数に相当)が小さくなる傾向があり、アラミド繊維はほとんど塑性ひずみも曲線の勾配も変化がないことがわかった。また、炭素繊維の挙動は、接着剤のエポキシ樹脂間との抜け出しによる損傷が主要因であると推定することができた。

研究成果の概要(英文)：I have researched the interfacial shear delamination between concrete and fiber sheets which have negative thermal expansion coefficient under cyclic temperature change (-10~+3) similar to the average winter temperature change of Hidaka City in Hokkaido. I measured the relationship temperature and principal strain of Carbon and Aramid fiber respectively by 6000 cycles. As the results, The plastic strain of Carbon fiber increased due to cyclic numbers. And The equivalent thermal expansion coefficient which approximately equal to tangential value of hysteresis curve has been deteriorated. On the other hand, The case of Aramid rarely has been changed. The damage of Carbon has been caused by the slip out of the epoxy resin glued to fibers.

研究分野：工学

キーワード：コンクリート 複合材料 新素材 維持・管理

様式 C - 19、F - 19、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

炭素繊維シートやアラミド繊維シートはコンクリート構造物の補強工法に利用されている。主な理由は、軽量で高強度・高弾性、非導電で耐腐食性が挙げられる。

しかし、炭素繊維およびアラミド繊維はそれぞれ -1.1×10^{-6} 、 -2.0×10^{-6} ($1/^\circ\text{C}$)の負の線膨張係数を有するため、正の線膨張係数を有する母材コンクリートや接着剤のエポキシ樹脂間で繰り返し温度履歴に応じて疲労せん断を生じ、構造耐力に影響を与えることが推定された。そこで、繰り返し温度負荷を与えて、温度疲労損傷が母材と下地処理間で生じているのか、エポキシ樹脂と繊維間で生じているのか、繊維の種類によって損傷が生じるのか等をひずみ計測で調査した。

2. 研究の目的

100×100×400(mm)の角柱供試体に下地処理を施した試験体、その上にエポキシ樹脂と炭素繊維(1層)を貼付した試験体、エポキシ樹脂とアラミド繊維(1層)を貼付した試験体、母材コンクリートの4種類の試験体に繰り返し温度履歴を負荷し、各試験体に貼付したひずみ計にて温度-主ひずみ分布を計測し、2種類の繊維シート表面、あるいは母材コンクリートを基準とした積層方向の相対主ひずみを整理し、繰り返し負荷回数による塑性ひずみの変化、同曲線の勾配(見かけの線膨張係数に相当)の変化から、累積損傷が生じる場所や繊維の種類による影響を調査することを目的とする。図-1および図-2に炭素繊維シート試験体と下地処理試験体にひずみ計を貼付した例を示す。

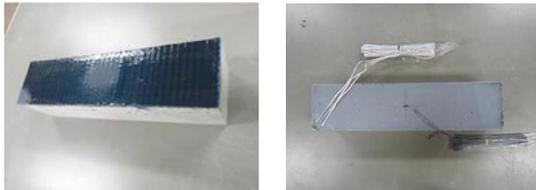


図-1 試験体例 図-2 ひずみ計貼付

3. 研究の方法

(1) 各試験体の温度-主ひずみ曲線

母材コンクリート、下地処理、炭素繊維シートおよびアラミド繊維シートの各試験体にひずみ計を貼付して、炭素繊維シート補強の実績のある北海道日高市の冬期平均温度の最低および最高温度から $-10 \sim 3$ の温度履歴を凍結融解試験機を用いて各試験体へ負荷して温度-主ひずみ曲線を調査した。



図-3 凍結融解試験機

各試験体へ負荷した温度履歴を下図に示す。

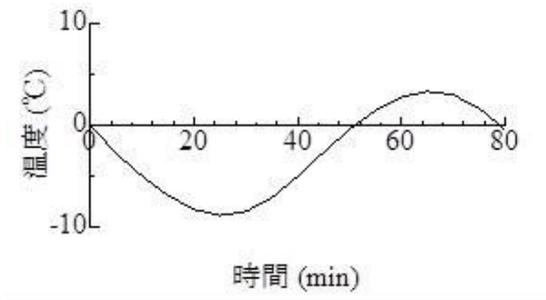


図-4 負荷温度履歴

なお、各試験体は周辺環境として気中での温度負荷条件とした。水中での負荷の場合、拡散係数が0付近で強い非線形性を示すため、結果にその影響が反映される。本研究では、線膨張係数の影響に特化して調査するため気中養生とした。

(2) 積層方向の主ひずみ分布

母材コンクリートのひずみを基準として、その表面に塗布した下地処理材、さらには下地処理材の上にエポキシ樹脂を接着剤として塗布した炭素繊維シート、アラミド繊維シートの相対主ひずみを調査した。

この調査から、積層方向の主ひずみ分布が得られ、どの層間で損傷が発生しているのかを判別することができる。

(3) 繰り返し温度負荷による損傷有限解析

母材コンクリートを対象にして、温度履歴を負荷した場合、どのような応力状態を示すのかを損傷力学を基本とした三次元有限要素解析を行い、温度疲労による母材の損傷程度および最大応力の発生位置等を調査し、損傷を生じやすい場所を特定した。

4. 研究成果

(1) 各試験体の主ひずみ分布

炭素繊維シートの温度-主ひずみ曲線を図-5に示す(6000サイクルまで)。

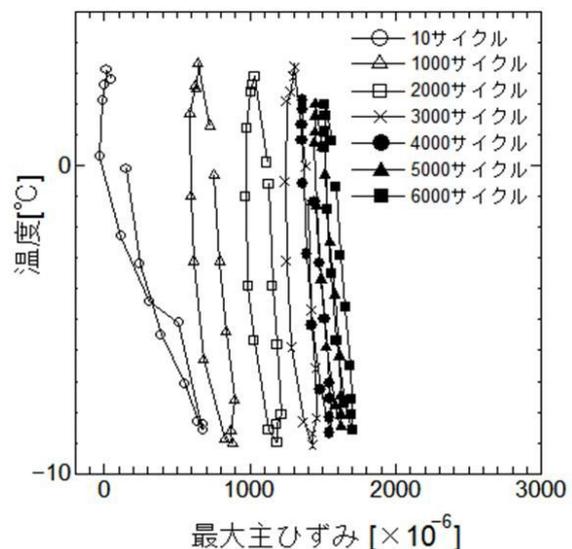


図-5 炭素繊維シート主ひずみ

アラミド繊維シートの温度 - 主ひずみ曲線を図-6に示す(6000サイクルまで)。

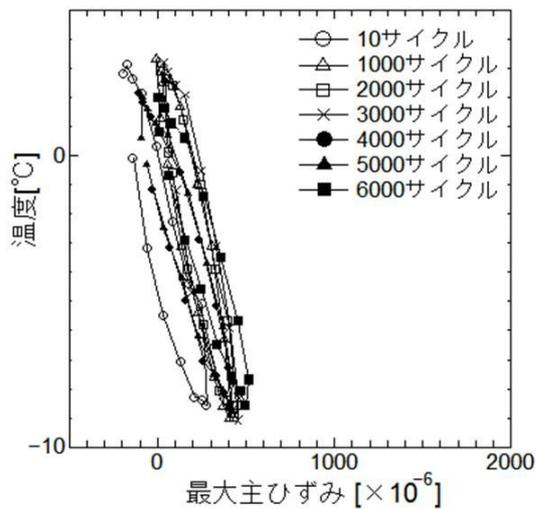


図-6 アラミド繊維シート主ひずみ

炭素繊維シートの主ひずみは、温度履歴の繰返し数に応じて塑性ひずみが増大し、同曲線の接線勾配の逆数(線膨張係数に相当)も小さくなっていることがわかる。このことより、同繊維シートは繰返し温度履歴によって損傷が累積していることが推定された。

(2) 積層方向相対主ひずみ

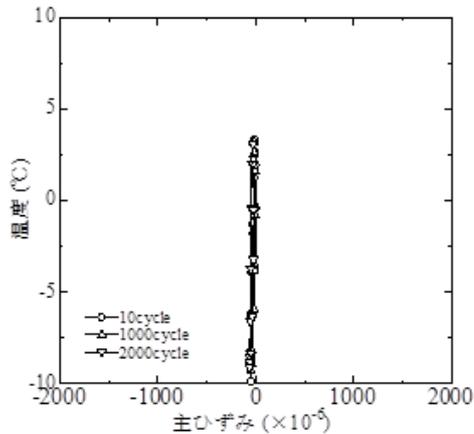


図-7 下地処理の相対主ひずみ

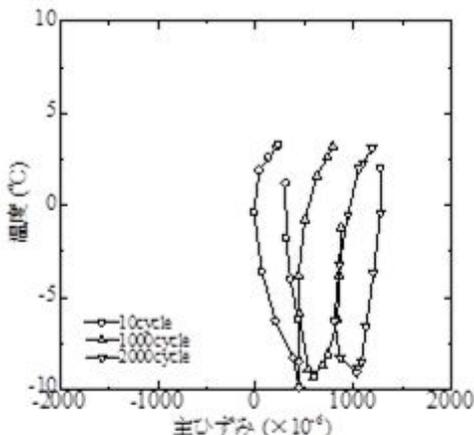


図-8 炭素繊維シートの相対主ひずみ

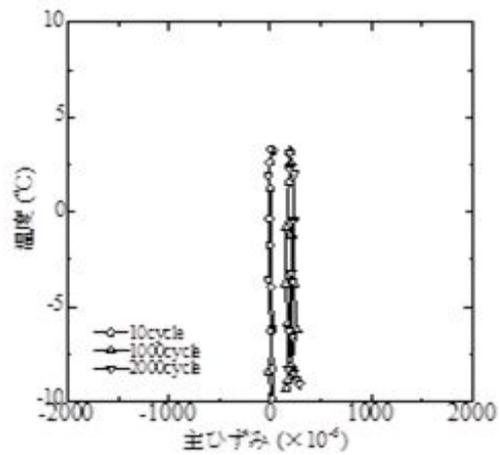


図-9 アラミド繊維シートの主ひずみ

母材コンクリート基準として、下地処理、炭素繊維シート、アラミド繊維シートの相対主ひずみを図-7~図-9に示す。

下地処理の相対主ひずみは、0付近に分布していることから、母材コンクリートと十分付着していることが分かる。しかし、炭素繊維シートは、繰返し温度履歴に応じて塑性ひずみも同曲線の勾配も変化していることが分かる。さらに、アラミド繊維は、若干塑性ひずみは増加したが、層間の付着は十分確保できていると考えられる。なお、本相対ひずみの調査は2000サイクルまでとしている。

(3) ひずみエネルギーと線膨張係数

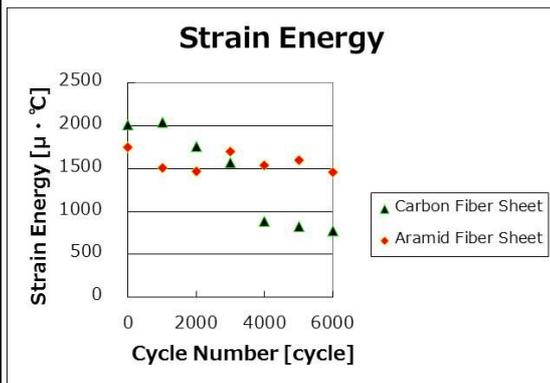


図-10 ひずみエネルギーの変化

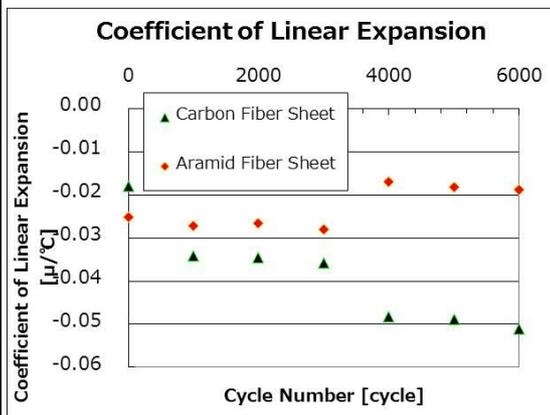


図-11 線膨張係数の変化

各代表的なサイクル数と履歴曲線を楕円近似して求めたひずみエネルギー - (曲線の面積)との関係を図-10に、サイクル数と見かけの線膨張係数(履歴曲線の近似直線の勾配)との関係を図-11にそれぞれ示す。

炭素繊維シートはいずれの関係においてもサイクル数に応じて値が小さくなる傾向を示す。一方、アラミド繊維シートはほとんどサイクル数に応じて変化していないことがわかった。このことから、ひずみエネルギー - および線膨張係数サイクルと数との関係は累積損傷を評価する指標として利用できると考えられる。

(4) 損傷力学に基づく数値解析

母材コンクリートを対象にして損傷力学に基づく有限要素解析を実施した。

-10 と 3 時のコンクリートの相当応力分布を図-12、図-13に示す。解析結果より、今回の温度負荷では母材コンクリートには損傷が累積するような応力は発生しないことがわかった。しかし、最大応力が生じる箇所は供試体の隅角部であることが判明した。なお、解析は対称性を考慮して1/8モデルとしている。

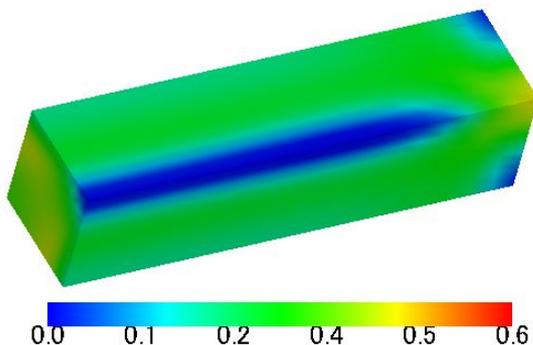


図-12 相当応力(3 単位: N/mm²)

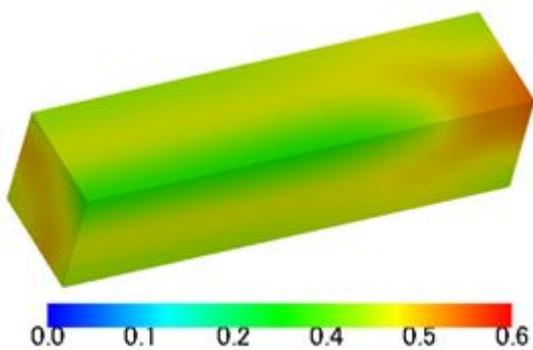


図-13 相当応力(-10 単位: N/mm²)

繊維シート補強することで温度履歴によって累積損傷が生じる可能性があるため、今後は繊維シートをモデル化した解析を実施して累積損傷を評価する予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計 5件)

H.Tanaka, F.Makinoshima, The adhesive characteristic of concrete block with fiber sheets under cyclic temperature, International Conference on the Regeneration and Conservation of Concrete Structures, 査読有, 2015

田中英紀, 田島涼, スーパ - ホゼン、繊維シートを用いた供試体の繰返し温度変化に対する変形性能, 査読無, 第42回土木学会関東支部技術研究発表会講演会概要 V-42, 2015

田中英紀, 牧野嶋文泰, 繰返し温度変化が連続繊維シート工法の付着性能に与える影響に関する研究, 査読無, 第41回土木学会関東支部技術研究発表会講演会概要 V-13, 2014

田中英紀, 近藤高誉, 繰返し温度変化を与えたホゼン式工法の付着疲労性状に関する研究, 査読無, 第41回土木学会関東支部技術研究発表会講演会概要 V-12, 2014

田中英紀, 金澤推, 繊維シートの繰返し温度ひずみによる付着強度に関する研究, 査読無, 第39回土木学会関東支部技術研究発表会講演会概要 V-61, 2012

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中英紀 (TANAKA HIDENORI)

群馬工業高等専門学校・環境都市工学科
教授

研究者番号: 30551725