

スーパーホゼン、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

群馬工業高等専門学校 学生会員 ○田島 涼
群馬工業高等専門学校 正会員 田中 英紀

1. はじめに

現在我が国が抱える土木構造物の問題の一つとして、施工から長い年月を経たコンクリート構造物のひび割れの発生や構造物内部の組織の劣化現象など、耐久性や耐荷性の低下といった老朽化が挙げられる。この老朽化の対策として補修補強技術が全国的に展開しているが、いまだにそれらの技術の耐久性に関する研究は決して多くはない。

その補修補強技術の中でも、連続繊維シート工法やスーパーホゼン式工法といった技術が存在するが、これらもまた耐久性に関する研究が十分でない。そこで本研究では、繰返し温度履歴によるこれらの補修補強工法の耐久性に与える影響を検討する。

2. 補強工法の概要

2.1 スーパーホゼン

この補強工法の特徴は、既設 RC 床版下面にテーパー付き T 型アンカーを用いて網鉄筋を緊張圧着し、ポリマーモルタルセメントを用いて増厚および既存部との一体化を図ることで、ひずみの低減や耐力の増加を可能とする補強工法である。

2.2 炭素繊維シートおよびアラミド繊維シート

炭素繊維あるいは工業用高機能素材として開発された繊維（アラミド繊維）を任意の方向に積層し、シート状にした材料を既存部にエポキシ樹脂等を用いて付着させる補強工法であり、耐力の増加やひび割れ幅の抑制を可能とする補強工法である。

3. 実験概要

本実験では、スーパーホゼンおよび炭素繊維シート、アラミド繊維シートを用いて補強した供試体寸法 100mm×100mm×400mm の角柱供試体を用いた。

3.1 曲げ強度試験

曲げ強度試験では、スーパーホゼンを用いて補強

した供試体および母材コンクリートを用いて、三等分点載荷によって試験を行った（写真-1）。



写真-1 曲げ強度試験

3.2 繰返し温度負荷

供試体に繰返し温度変化を負荷する方法として、凍結融解試験機を用いた（写真-2）。なお、凍結融解試験のうち気中凍結水中融解試験方法を採用した。また、供試体周辺の温度は、既設 RC 床版に炭素繊維補強の実績のある北海道日高市の冬季の平均気温を参考にし、+3℃から-10℃に設定した。1 サイクルあたりの温度変化を図-1 に示す。また、この繰返し温度変化をスーパーホゼンおよび炭素繊維シート、アラミド繊維シートを用いて補強した供試体に 6000 サイクルまで負荷し、供試体隅角部に貼り付けたひずみゲージによって最大主ひずみを計測した。



写真-2 凍結融解試験機

キーワード スーパーホゼン式工法、炭素繊維、アラミド繊維、繰返し温度変化、凍結融解

連絡先 〒371-8530 群馬県前橋市鳥羽町 580 群馬工業高等専門学校

TEL 027-254-9000 E-mail : htanaka@cvt.gunma-ct.ac.jp

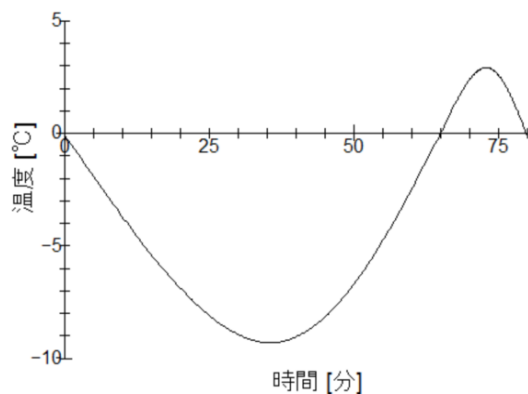


図-1 供試体に負荷した温度変化

4. 実験結果

4.1 曲げ強度試験

曲げ強度試験における破壊状態について、スーパーホゼンを用いて補強した供試体は、補強面と母材コンクリートの界面に鉄筋が配置されているため、せん断破壊となり、鉄筋が配置されていない母材コンクリートは、曲げ破壊となった（写真-3, 4）。

次に、荷重－変位曲線を図-2 に、ひび割れ発生時の荷重を表-1 に示す。



写真-3 母材コンクリート 写真-4 スーパーホゼン

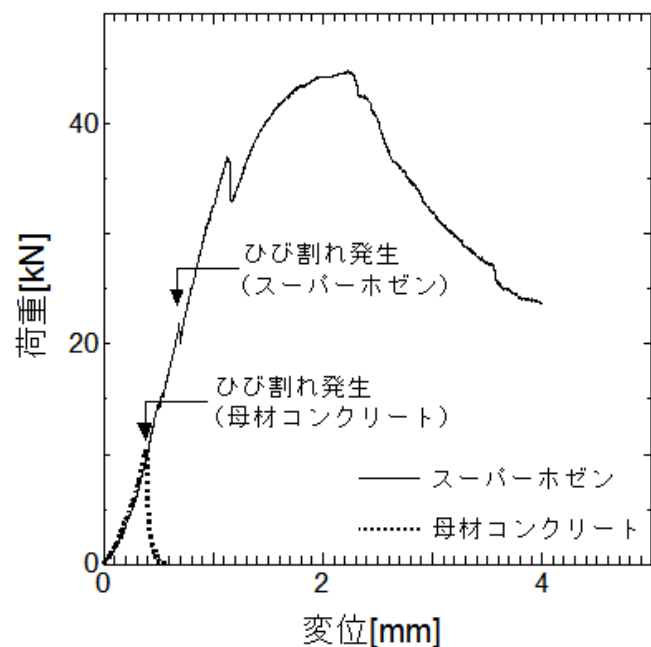


図-2 荷重－変位曲線

表-1 ひび割れ発生時の荷重

供試体	ひび割れ発生時の荷重 [kN]
母材コンクリート	10.313
スーパーホゼン	36.938

4.2 繰返し温度負荷

供試体隅角部に貼り付けたひずみゲージ（写真-5）によって、以下の式(1)を用いて主ひずみを算出した。

$$\varepsilon_{\max} = \frac{1}{2} \left(\varepsilon_v + \varepsilon_h + \sqrt{2 \left\{ (\varepsilon_v - \varepsilon_d)^2 + (\varepsilon_h - \varepsilon_d)^2 \right\}} \right) \quad (1)$$

$\varepsilon_{\max}$: 主ひずみ

ε_v : 縦方向ひずみ

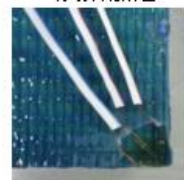
ε_h : 横方向ひずみ

ε_d : 斜方向ひずみ

スーパーホゼン式



炭素繊維



アラミド繊維



写真-5 ひずみの計測（例）

次に、温度－最大主ひずみの履歴曲線を最小二乗法によって近似し、線膨張係数およびひずみエネルギーを算出する（図-3）。この近似曲線の傾きを線膨張係数、近似曲線内部の面積をひずみエネルギーとして評価した。

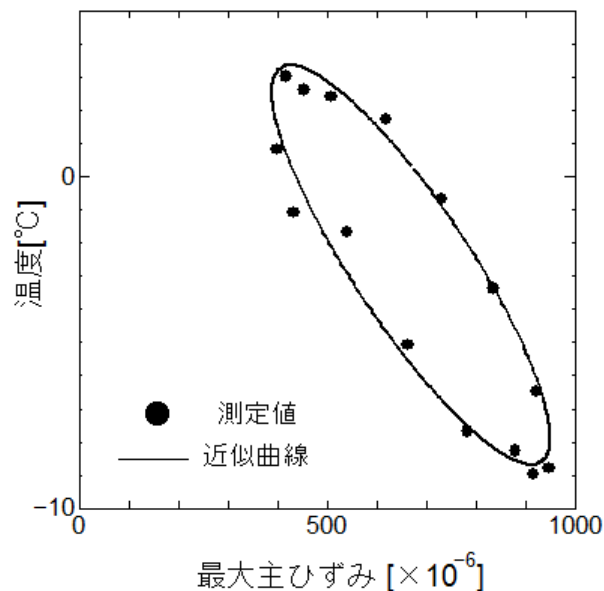


図-3 近似曲線（例）

4.2.1 スーパーホゼン

スーパーホゼンの温度-最大主ひずみの履歴曲線を図-4に示す。なお、図中で温度負荷初期の履歴曲線を10サイクルとしている理由は、有限要素法による母材供試体の解析結果から、初期の5サイクルはひずみ値に常温から冷却される影響が現れることが分かったためである。スーパーホゼンは、温度変化のサイクル数に比例し、最大主ひずみが増加する傾向にあり、6000サイクルの温度変化を負荷したときの最大主ひずみの最大値は1422マイクロであった。また、1000サイクルまでの最大主ひずみの変化量が大きくなり、その後は5000サイクルまで変化量が小さくなることから、初期のサイクルにおける変形が大きいことが分かった。

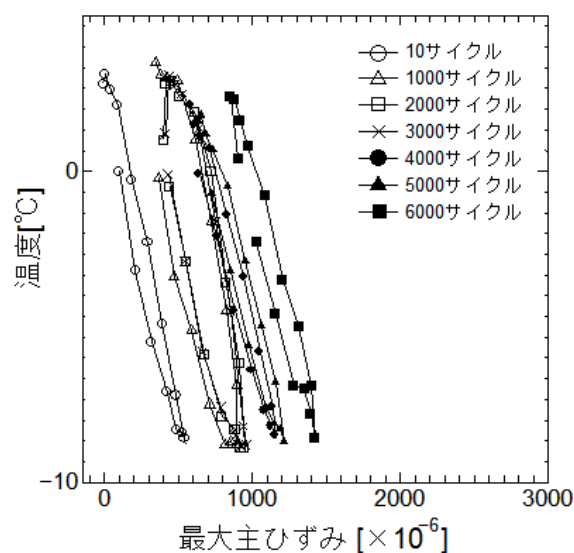


図-4 スーパーホゼン

4.2.2 炭素繊維シート

炭素繊維シートの温度-最大主ひずみの履歴曲線を図-5に示す。炭素繊維シートは、温度変化のサイクル数に比例し、最大主ひずみが増加する傾向にあった。また、6000サイクルの温度変化を負荷したときの最大主ひずみの最大値は1702マイクロであった。

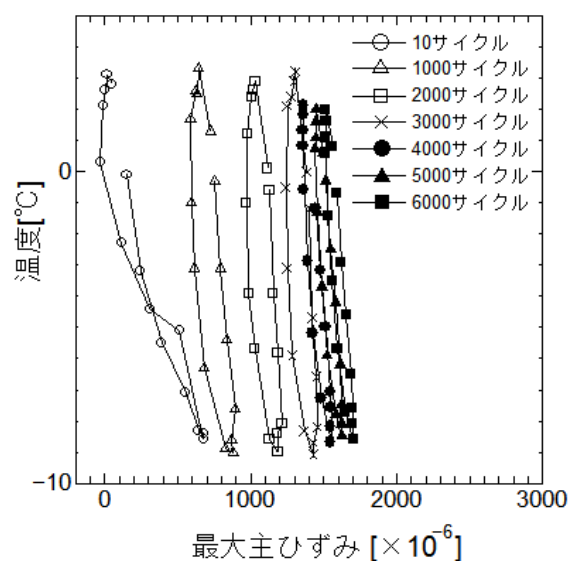


図-5 炭素繊維シート

4.2.3 アラミド繊維シート

アラミド繊維シートの温度-最大主ひずみの履歴曲線を図-6に示す。アラミド繊維シートは、繰返し温度変化を負荷し続けても最大主ひずみに大きな変化はなかったことが分かった。また、0サイクルから6000サイクルにかけて、最大主ひずみの値は0マイクロから400マイクロの範囲に収束した。

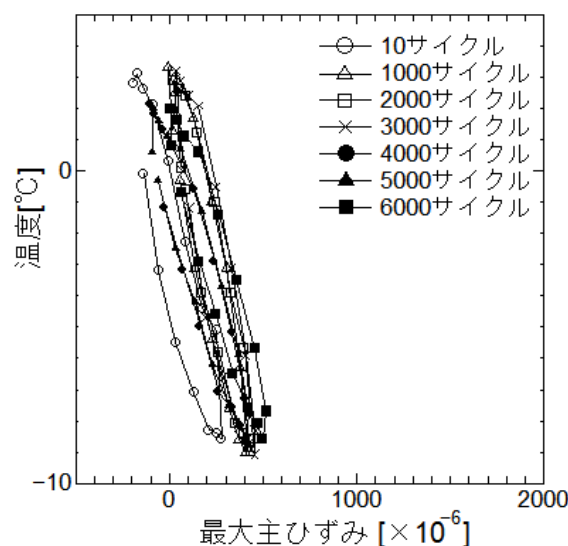


図-6 アラミド繊維シート

スーパーホゼンおよび炭素繊維シート、アラミド繊維シートを用いて補強した供試体は、0°C以下の積算温度を北海道日高市と本実験で比較すると、6000サイクルは本研究で想定した北海道日高市の約4年分に相当するが、目視による補強部のひび割れあるいは界面の剥離などは確認できなかった。一方で、スーパーホゼンおよび炭素繊維シートは、繰返し温度変化を負荷し続けると、ひずみが増加する傾向にあるため、今後終局状態となることが推測される。

4.3 線膨張係数およびひずみエネルギーの比較

6000 サイクルまでの線膨張係数を図-7 に示す。ここで、10 サイクルと 6000 サイクルの線膨張係数の変化を比較すると、スーパーホゼンおよびアラミド繊維シートは、大きな変化がなかったことに対して、炭素繊維シートは、減少傾向にあった。次に、6000 サイクルまでのひずみエネルギーを図-8 に示す。10 サイクルと 6000 サイクルのひずみエネルギーを比較すると、全ての供試体でその値が小さくなった。このことから、吸収できるエネルギーが小さくなるため、耐久性の低下指標として今後期待できると考えている。

5. おわりに

スーパーホゼンおよび炭素繊維シート、アラミド繊維シートに長期的に繰返し温度変化を負荷し、ひずみを計測したことから、以下の知見を得た。

- ①曲げ強度試験の結果より、スーパーホゼンは、ひび割れ発生に対する耐力が大きく、ひび割れ発生後のじん性に優れることが分かった。また、最終的に本供試体の破壊状態は、せん断破壊となった。
- ②6000 サイクルの繰返し温度負荷は、北海道日高市の約 4 年分に相当し、各供試体にはひずみが残存する傾向にあったが、補強面には劣化や欠損が見られなかった。そのため、温度-最大主ひずみの履歴曲線より、現時点では補強面の耐久性に問題がないと考えている。
- ③6000 サイクル負荷した時点で、スーパーホゼンは、炭素繊維シートあるいはアラミド繊維シートと同等以上の耐久性を有していることが分かった。
- ④今後は複合層になった場合の損傷を可視化できる試験方法を検討したいと考えている。

謝辞

本研究を進めるにあたり、資料提供や供試体作製等のご協力をしていただいた日本建設保全協会様に感謝の意を表す。また、本研究は科学研究費助成事業（245605720001）による助成金の成果である。

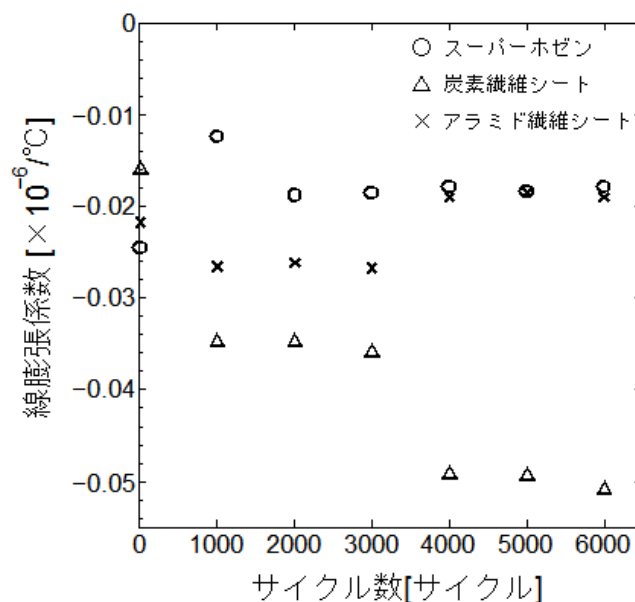


図-7 線膨張係数

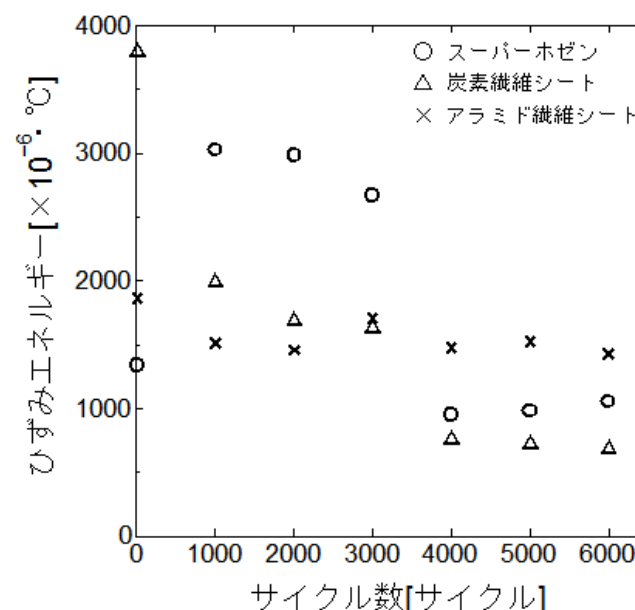


図-8 ひずみエネルギー

参考文献

- 1) 気象庁 過去の気象データ検索
<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
- 2) スーパーホゼン式工法 [日本建設保全協会]
http://www.hkd.mlit.go.jp/topics/netis_skip/h21pdf/04.pdf
- 3) 牧野嶋文泰, 田中英紀 第 41 回土木学会関東支部技術研究発表会：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 V-13, 2014, 3