

連続繊維シートとコンクリートの付着強度に及ぼす温度変化の影響

日本大学工学部 学生会員 ○高橋政俊
日本大学大学院 学生会員 加藤 謙
日本大学 正会員 子田康弘

1. はじめに

我が国の既存 RC 構造物は、延命化や既存不適格への対応で補修・補強の頻度が増加している。しかし、補修・補強材料の耐久性や耐候性の評価を行った研究は少ない実状にある。連続繊維シート（以下、シート）は、コンクリート表面にエポキシ樹脂で接着する補修・補強材料であり、シートの付着強度が補修・補強後の RC 構造物の性能に大きく影響する。本研究では、構造物周囲の環境条件として、温度条件と湛水条件を想定し、常温から低温、あるいは高温の温度変化に加え、塩水による湛水の有無を条件とした温度環境サイクルと温度一定条件により温度変化がシートの付着強度に及ぼす影響を検討した。

2. 実験の概要

本実験では、シートの種類を炭素繊維、ポリエチレンの 2 種類、温度履歴を $0^{\circ}\text{C}\sim+40^{\circ}\text{C}$ (以下、高温) と $+20^{\circ}\text{C}\sim-20^{\circ}\text{C}$ (以下、低温) の 2 条件と定値温度を 20°C 、 40°C 、 60°C とした 3 条件、3% NaCl 水溶液の湛水の有無を条件とした。表-1 には、これらの実験条件を示した。供試体寸法は、 $100\text{mm}\times100\text{mm}\times400\text{mm}$ の角柱であり、試験対象面を型枠底面とした。なお、試験面以外は断熱材で断熱しており、温度管理のため 1 供試体に熱電対を試験面より、0mm、25mm、50mm、および 100mm の位置に予め設置した。表-2 には、シートおよび接着剤の物性値を示しており、使用したシートは一方方向連続繊維シートとした。コンクリートの試験開始材齢の圧縮強度は、 27.5N/mm^2 (材齢日 28 日) であり、ヤング率は 30.8kN/mm^2 であった。

シートの付着強度は、直接引張付着試験¹⁾によって求めたもので、供試体に $\phi 50\text{mm}$ の溝を深さ 5 mm 程度で設け、エポキシ樹脂により接着した円鋼片を介し鉛直に引張力を加えた時の最大荷重を計測した。また、温度履歴を与える実験は、1 日 2 サイクルで 90 サイクルとし、30 サイクル毎に試験を行った。定値温度は、設定温度を 24 時間保った後にその温度状態で試験を行った。なお、付着強度は、1 回につき $n=3$ で求めた。

3. 実験結果及び考察

図-1 と図-2 は、温度履歴の設定温度と実測値であり、高温と低温のシート表面および接着界面の温度変化を示している。図より、高温と低温の温度環境ともにシート表面から接着界面 0mm に温度が伝わっていることがわかる。湛水条件は、塩水を介している分、熱の伝達が緩速になる傾向であった。

表-1 実験条件

シート	湛水の有無 (NaCl 水溶液)	温度条件
炭素繊維	有	$-20\sim20^{\circ}\text{C}$
		$0\sim40^{\circ}\text{C}$
		$-20\sim20^{\circ}\text{C}$
	無	$0\sim40^{\circ}\text{C}$
		定値 20°C
		定値 40°C
ポリエチレン	有	定値 60°C
		$-20\sim20^{\circ}\text{C}$
		$0\sim40^{\circ}\text{C}$
	無	$-20\sim20^{\circ}\text{C}$
		$0\sim40^{\circ}\text{C}$
		定値 20°C

表-2 シート及び接着剤の物性値

材料	引張強度 (N/mm^2)	ヤング率 (kN/mm^2)
炭素繊維	3860	277
ポリエチレン	2700	88.2
エポキシ樹脂	30	1.5

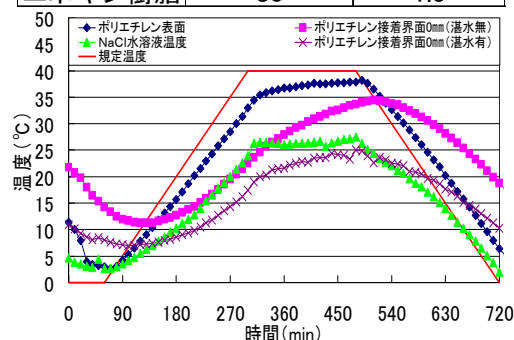


図-1 温度サイクル図 (高温)

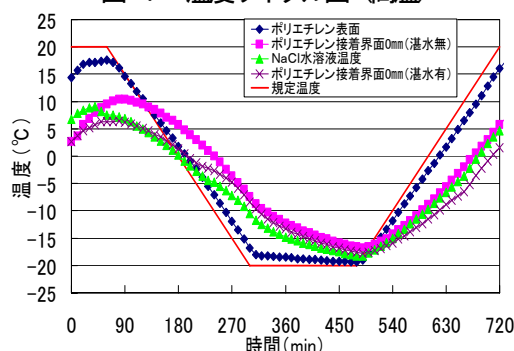


図-2 温度サイクル図 (低温)

キーワード：連続繊維シート、付着強度、温度変化

福島県郡山市田村町徳定字中河原 1 番地 024-956-8721

図-4 と図-5 は、温度履歴を与えた湛水有りのサイクル数による付着強度を示した図である。図中には、母材の付着強度と破壊モード(界面破壊とシートはく離)を区別して示した。図より、付着強度は、母材が 3.09 N/mm^2 であり、炭素繊維とポリエチレンの 0 サイクル時(初期値)の平均値がそれぞれ 3.68 N/mm^2 、 2.98 N/mm^2 であった。試験結果にはばらつきはあるが、高温と低温ともにサイクル数の増加による明らかな付着強度の低下は認められなかった。図-6 は、試験後の破壊面の一例を示している。本実験の破壊モードは、図に示すような界面破壊が主であり、破壊は界面付近の薄層のコンクリートを共なって引き抜かれるような状態であった。なお、湛水無しの条件でも付着強度、破壊モードの傾向は同様であった。

図-7 は、付着強度と定値温度の関係を示した図である。図より、 20°C から 40°C では、付着強度は炭素繊維に変化はなく、ポリエチレンが 5 N/mm^2 程度低下した。 40°C から 60°C になると炭素繊維、ポリエチレンともに付着強度が低下するという傾向であった。 60°C の付着強度は、炭素繊維が 1.87 N/mm^2 、ポリエチレンが 2.64 N/mm^2 であり、初期値に比べ炭素繊維は約 49%、ポリエチレンは約 11% 低下して付着強度の低下は、炭素繊維の方が大きいという結果であった。

以上より、高温環境下では、温度が高くなるほど付着強度が低下し、付着強度に与える温度の影響が温度変化よりも温度一定環境の方が大きいと考えられる。また、破壊モードに関しては、全界面破壊であり、高温環境下のエポキシ樹脂に生じるガラス転移に起因する接着剤のはく離²⁾は認められなかった。この付着強度の低下に及ぼす温度の影響と破壊モードの関係については、今後更なる詳細な検討が必要である。

4. まとめ

本実験の範囲内では、温度履歴がシートの付着強度の低下に影響を及ぼすような明らかな傾向が認められなかった。定値温度による付着強度の低下は、エポキシ樹脂の耐熱特性の影響の方が大きいと推察されるが、破壊モードにはそのような状態が明確に表れなかった。今後は、接着界面におけるシートとコンクリートの線膨張係数の違いに着目し、温度が付着強度に及ぼす影響を検討する予定である。

謝辞：本研究の実施に当たっては、弘前大学大学院理工学研究科 上原子晶久 助教の御指導と供試体材料の御提供を受けた。ここに記して謝意を表します。

- 参考文献 1) 上原子晶久, 菅原隆: 凍結融解環境下における連続繊維シートの付着性状の評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.1, pp.1715-1720, 2006
- 2) 呉智深, 岩下健太, 谷ヶ城俊, 石川隆司, 浜口泰正: FRP シートの接着境界面に及ぼす温度の影響, 材料, Vol.54, No.5, pp.474-480, 2005

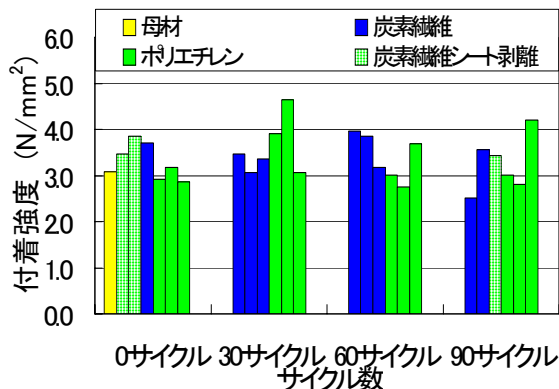


図-4 付着強度試験結果 (高温)

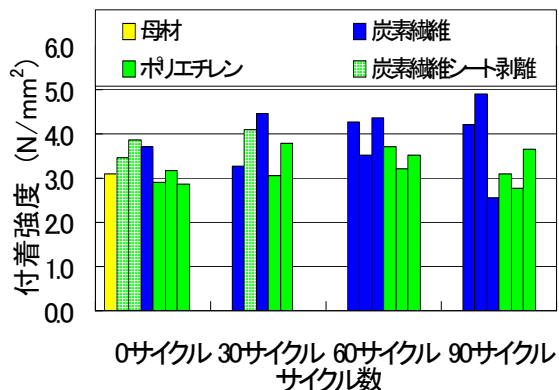


図-5 付着強度試験結果 (低温)

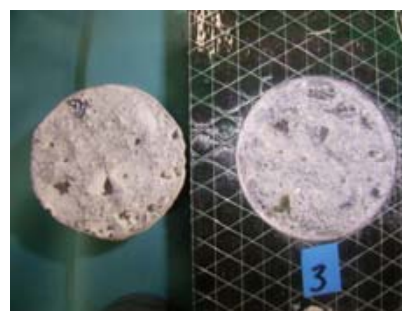


図-6 界面破壊の状況 (炭素繊維)

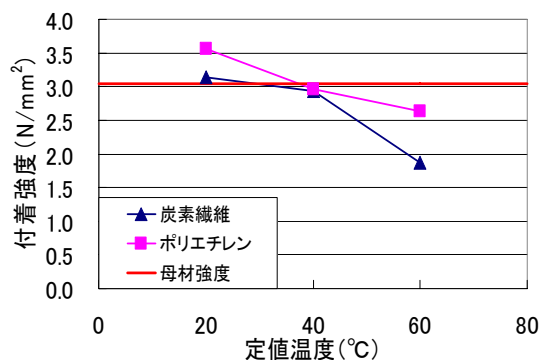


図-7 定値温度による付着強度