

BFRP シート接着によるコンクリートの耐熱性向上効果に関する実験的研究

名城大学 学生会員 田口 展靖
名城大学 正会員 岩下 健太郎

1. はじめに

焼却炉のような高温度の熱を繰り返し受ける施設の外壁に耐熱性鋼材や断熱材を介してコンクリートが使用されている。アルミナセメントを用いると、セメント水和物の構成材料の分解は抑えられるが、長期使用時の繰り返しの膨張、収縮ひずみによる損傷の蓄積を抑えることはできない。そこで、耐熱性に優れる BFRP シートを巻き立て接着し、膨張を抑えることによる、コンクリートの耐熱性向上に着想した。本研究では耐火接着剤を用いて BFRP シートを接着したコンクリートの事前加熱をしたうえで圧縮試験を行い、BFRP シート接着によるコンクリートの耐熱性向上効果を検証した。

2. 本研究の実験方法

本研究では、φ100×150mm の円柱供試体を計 20 本、普通ポルトランドセメントを用いて作製し、2000kN コンクリート全自動圧縮試験機（島津製作所製）を用いて圧縮試験を行った。供試体の示方配合を表 1 に、供試体の内訳を表 2 に示す。なお、事前加熱温度は 350℃、500℃、600℃、700℃、900℃の 5 種類とし、比較用に室温（20±5℃）の実験も行った。BFRP シート接着供試体は 4 体作成し、内 1 体は常温のまま、内 1 体は 350℃、内 2 体は 500℃で事前加熱した。350℃と 500℃で加熱した供試体の内 1 体ずつは加熱後に BFRP シートをはがし、損傷状態を観察したうえで、圧縮試験を行った。ほかの 500℃加熱供試体の 1 体は BFRP シートを接着したまま圧縮試験を行った。供試体 No.は、事前加熱時の BFRP シートの有無（bBF, bN）と、加熱温度で表す。

BFRP シートには 0° と 90° の方向に各々 150g/m² 目付のバサルト繊維を 2 方向に配向させたものを、接着剤にはシリカを主成分とした耐火接着剤をそれぞれ使用した。表 3 に BFRP シートと接着剤の物性を示す。BFRP シートの線膨張係数については、竹村らの研究¹⁾によれば玄武岩の線膨張係数である 5 μ/℃程度であると思われる。コンクリートの線膨張係数は 10 μ/℃程度とされるため、BFRP シート接着によって事前加熱による膨張が半分程度に抑制される。BFRP シートは供試体の周囲に 3 周巻き立て接着した。

供試体の事前加熱には、電気炉を用いた。電気炉の内寸は 105×103×152mm であり、供試体の膨張に対し、余裕がある。加熱は目標温度到達から 2 時間継続し、加熱終了後、炉内で自然冷却した。事前加熱の前後に、ノギスを用いて供試体の直径と長さを測定した。

事前加熱の終了後、室温で安定させたうえで、載荷速度 1mm/min の速度で圧縮試験を行った。荷重と変位は試験機の出力を採用し、供試体の長手方向のひずみを検長 60mm のひずみゲージを用いて測定した。また、BFRP シートの 0°、90° 方向のひずみを検長 5mm のひずみゲージを用いて測定をした。

3. 実験結果と考察

事前加熱後供試体の外観を写真 1 に示す。事前加熱での膨張収縮に

表 1 示方配合

設計強度 (N/mm ²)		30
水セメント比 (%)		48.0
スランブ (cm)		12
細骨材率 (%)		43.5
単位量 (kg/mm ³)	水	158
	セメント	330
	細骨材	838
	粗骨材	1005
	高性能 AE 減水剤	2.64

表 2 パラメータ内訳 (本)

事前加熱温度	bBF,aN	bN,aN
20℃	-	3
350℃	1	1
500℃	1	3
600℃	-	3
700℃	-	3
900℃	-	3

表 3 材料物性一覧

特性	BFRP	接着剤
ヤング係数(N/mm ²)	90000	-
引張強度(N/mm ²)	1900	-
3 周巻き立て時の換算厚さ(mm)	0.171	-
接着強さ(N/mm ²)	-	20
使用可能温度(℃)	-	0~1200
線膨張係数(μ/℃)	5	13

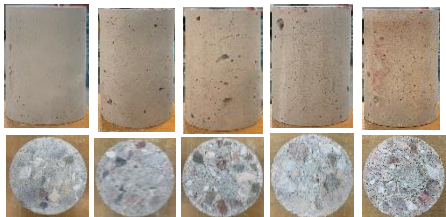


写真 1 事前加熱後供試体の外観

よるものと考えられるクラックの発生がみられ、温度が高いほどクラックの密度が大きくなっている。また、室温と事前加熱を行った供試体で色の変化がみられる。bN500℃と bBF500℃の供試体の外観を写真 2 に示す。bN500℃には事前加熱での膨張収縮によるクラックの発生がみられるが、bBF500℃にはみられない。このことから、事前加熱前に BFRP シートを接着することによって拘束効果が働き、供試体の損傷が抑えられたと思われる。

事前加熱試験終了後の BFRP シート未接着供試体の平均圧縮強度を温度毎に図 1 に、BFRP シート接着供試体と同様の温度で事前加熱をした供試体の平均圧縮強度の比較を図 2 にそれぞれ示す。事前加熱温度が高いほど圧縮強度の低下がみられる。

500℃供試体では常温より 58%低下しており、500℃の事前加熱により圧縮強度が 50%以下に低下するという既往の研究結果²⁾と概ね同様の結果である。

500℃の事前加熱を受ける供試体で BFRP シートの有無について圧縮強度を比較すると、BFRP シート接着供試体の圧縮強度は未接着供試体より 20%大きい。しかし、350℃の事前加熱を受ける供試体について同様に比較すると 2%しか差がなく、BFRP シート接着の効果がみられない。既往の研究²⁾において、500℃では $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が分解するが、350℃では分解しない。よって 350℃供試体では、成分の分解や膨張収縮によるクラックの発生が少ないため、BFRP シートによる拘束効果がみられないが、500℃供試体では、成分の分解はあったと思われるが、膨張が BFRP シートで拘束されたことにより圧縮強度が高まったと考えられる。

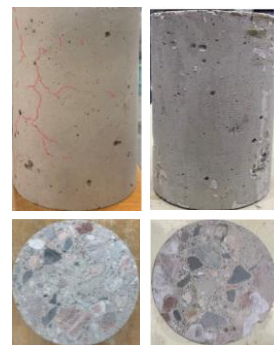
次に、圧縮じん性係数の一覧を図 3 に示す。圧縮じん性係数は、鋼繊維補強コンクリートの圧縮強度および圧縮タフネス試験方法³⁾ (JSCE-G551-1999) に記載されている計算式によって算出した。圧縮強度と同様に 350℃では、BFRP シートによる拘束効果はみられないが、500℃では BFRP シートによる拘束効果が起因していると思われる 34%の圧縮じん性係数の向上がみられる。メカニズムについても圧縮強度と同様に、事前加熱 500℃供試体において BFRP シートの拘束効果により圧縮じん性係数が高まったと考えられる。

4. まとめ

耐火接着剤を用いて BFRP シートを接着した円柱供試体の事前加熱をしたうえで圧縮試験を行い、BFRP シートにより事前加熱時の膨張ひずみが抑制され、圧縮強度やじん性が向上する効果が検証された。

参考文献

- 1) 竹村貴人, 高橋学, 長田昌彦, 北村圭史, 精密石材の岩石学的特徴と湿潤環境下での超微小変形の発生機構に関する考察, 材料, Vol.63, No.3, pp. 227-233, 2014
- 2) 村田二郎, 長瀧重義, 菊川浩治, 土木材料 コンクリート: 第3版, 共立出版, 2004
- 3) 鋼繊維補強コンクリートの圧縮強度および圧縮タフネス試験方法 (JSCE-G551-1999), 土木学会



bN500℃ bBF500℃
写真 2 500℃供試体

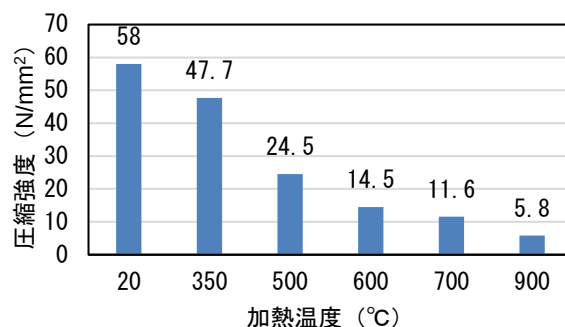


図 1 bN 圧縮強度

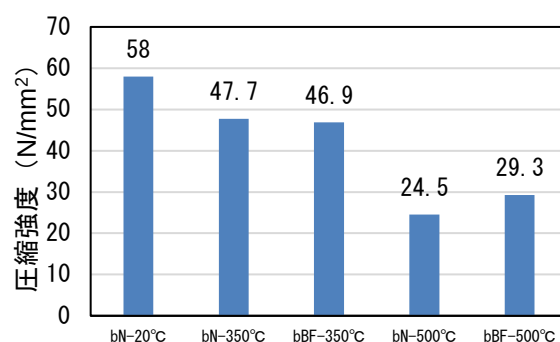


図 2 bBF 圧縮強度比較

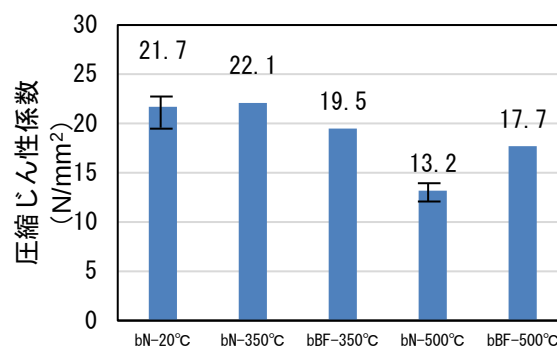


図 3 圧縮じん性係数一覧