

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。長期使用により膨張、収縮の繰り返しにより損傷が蓄積するため、取り換え期間を延長するための長寿命化が望まれている。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耐熱性向上に着目した。本研究では耐火接着剤で 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、圧縮試験を行うとともに FEM による解析を行い、その効果を検証した。

2. 本研究の実験方法

本研究では、 $\phi 100 \times 150 \text{mm}$ の円柱供試体を計 9 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。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°C、500°C、の 2 種類とし、比較用に室温（20±5°C）の実験も行った。BFRP シート接着供試体は 2 体作成し、内 1 体は 350°C、内 1 体は 500°C で事前加熱した。350°C と 500°C で加熱した供試体は加熱後に 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。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は 5 $\mu\text{m}/\text{m}/\text{C}$ とされているため、解析においてこの値を入力した。コンクリートの線膨張係数は 10 $\mu\text{m}/\text{m}/\text{C}$ 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て余裕がある。加熱は目標温度到達から 2 時間継続し、その後は炉内で自然冷却した。

事前加熱の終了後、室温で安定させたいうで、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

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 1 に示す。事前加熱温度が高いほど圧縮強度の低下がみられる。BFRP 未接着 500°C 供試体では常温より 58% 低下しており、500°C 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。350°C 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% しか差がないが、500°C の事前加熱を受ける

キーワード コンクリート, BFRP, 耐熱, FEM, 解析, クラック相当ひずみ

連絡先 〒468-8502 愛知県名古屋市天白区塩釜口 1-501 TEL 052-838-2352

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°C	-	3
350°C	1	1
500°C	1	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(°C)	-	0~1200
線膨張係数($\mu\text{m}/\text{m}/\text{C}$)	5	13

供試体では BFRP シート接着供試体の圧縮強度は未接着供試体より 20% 大きく、BFRP シートによる拘束効果が見られる。また、写真 1 に示す加熱後の外観において、BFRP 未接着供試体ではひび割れが多数みられるが、BFRP 接着供試体ではひび割れは見られなかった。

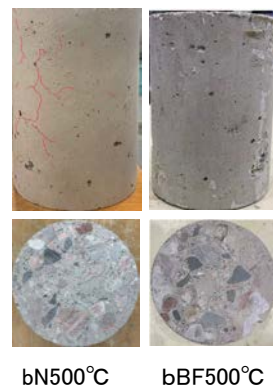
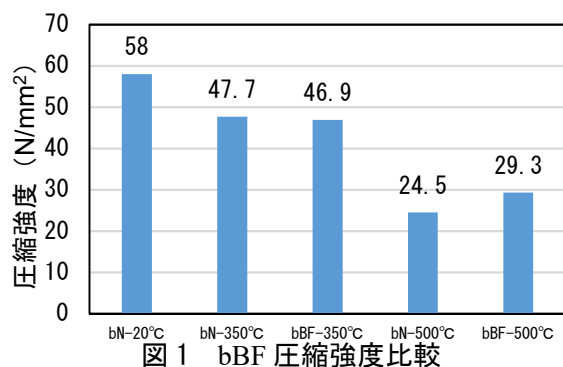


写真 1 500°C 供試体

4. FEM による解析的検証

ここまで説明してきた 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について、温度と耐荷力の連成解析が行える日本コンクリート工学会の解析プログラム JCMAC3-U を用いて 3 次元 FEM モデルを作成し、解析的検討を行った。

事前加熱に用いた供試体を模した解析モデルを作成した。モデルは X 軸方向と Y 軸方向にそれぞれ 2 等分した 1/4 モデルとした。全体形状を図 2 に示す。BFRP シートについては、面方向は 2.5mm メッシュ、厚さ方向は 1mm メッシュとした。なお、コンクリートの材料モデルは 2012 年制定コンクリート標準示方書 [設計編] (土木学会編) のものを用いた。BFRP シートは弾性体としてモデル化し、コンクリートについては非線形構成測を用いてモデル化した。各種材料の物性値については表 4 に示す。コンクリートの物性値について、セメントの種類と単位量は実験同様に普通ポルトランドセメントで 295kg/m³ とした。

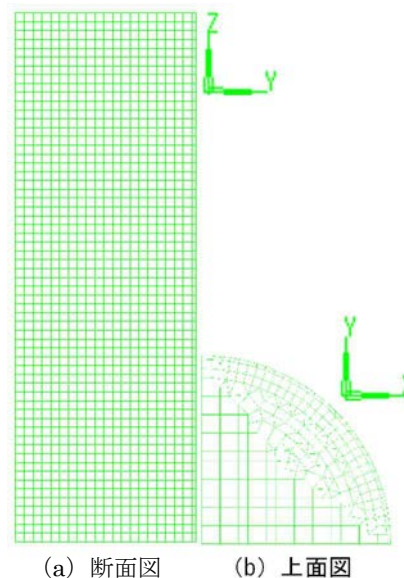


図 2 解析モデル概要

コンクリート打込みを解析開始として、加熱開始までは一定温度 (20°C) として 28 日養生後に 500°C の温度を 2 時間与える設定とした。

図 3 にクラック相当ひずみの濃淡図を示す。BFRP 未接着供試体では中心部と側面中央部において局所的に大きなクラック相当ひずみが発生しているが、BFRP 接着供試体では、側面のひずみは小さく、広範囲に発生しており、写真 1 に示した実験結果と類似している。また内部のクラック相当ひずみも BFRP による拘束で抑制されている。

表 4 解析に用いた物性値一覧

材料特性	解析で用いた値
熱伝導率 (W/m・°C)	2.6 (コンクリート) 0.5 (BFRP)
比熱 (kJ/kg・°C)	1.05 (コンクリート) 0.84 (BFRP)
熱膨張係数	10μ (コンクリート) 5μ (BFRP)

5. まとめ

実験と FEM 解析による検討を行った結果、コンクリートを 500°C に加熱すると発生する温度ひび割れは、BFRP シートで拘束することにより抑制される傾向にあった。

- 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

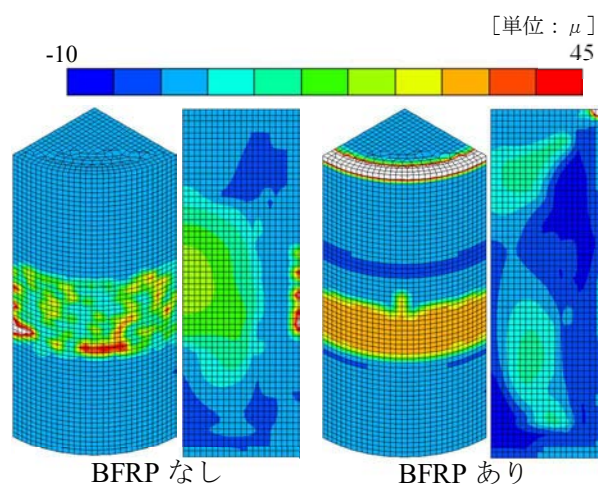


図 3 クラック相当ひずみの濃淡図