

# 炭素・アラミド繊維棒材を補強筋に用いたコンクリート部材の

## 耐火性能に関する研究

### Fire Resistance of Concrete Members Reinforced with CFRP/AFRP Bars

睦好 宏史<sup>1\*</sup>、佐藤 尚<sup>2</sup>、角田 敦<sup>3</sup>  
Hiroshi Mutsuyoshi<sup>1</sup>, Hisashi Sato<sup>2</sup>, Atsushi Sumida<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 埼玉大学教授 工学部建設工学科

Department of Civil and Environmental Engineering, Saitama University

<sup>2</sup> 埼玉大学大学院 理工学研究科

Department of Civil and Environmental Engineering, Saitama University

<sup>3</sup> 東レ・デュポン株式会社

DU PONT-TORAY CO.,LTD

#### Abstract

In order to clarify the bond behavior of FRP bars under high temperature, pull-out tests were conducted changing FRP bar type (Carbon and Aramid), temperature, and concrete strength. It is concluded that the bond behavior of FRP bars under high temperature was deteriorated by softening of resin.

**Key Words:** fire resistance, carbon, aramid, resin

#### 1. はじめに

近年、FRP ロッド（連続繊維補強材）は軽量かつ高強度で腐食しない等の特長を持ち、また非磁性であるため鉄筋に替わるコンクリートの補強材やプレストレスコンクリートの緊張材として注目されている。FRP ロッドを建築・構造物に用いるためにはFRPの耐火性を明らかにしておく必要がある。一般にFRP ロッドの耐火性を評価するには高温下においてFRP ロッドに含浸されている結合材の劣化が予想されるために、コンクリートとの付着性状が低下することが予想される。本研究は、FRP ロッドの種類、コンクリート強度、加熱温度が付着特性に及ぼす影

\*〒338-8570 さいたま市下大久保 255

電話：048-858-3553

E-mail：mutsuyosi@mtr.civil.saitama-u.ac.jp

響を比較・検討し、高温下における付着特性の劣化メカニズムを解明することを目的とした。

#### 2. 実験概要

##### 2.1 使用材料および配合

本実験に用いたコンクリート強度は3種類（A：低強度、B：中強度、C：高強度）で、コンクリートの配合及び強度を表-1に示す。なお、使用したセメントは早強ポルトランドセメントである。また、実験に用いた補強材は鉄筋、FRP ロッド（炭素繊維、アラミド繊維）である。表面形状は、炭素繊維がより線状のものと組紐状のもの、アラミド繊維は組紐状のものを用いた。それらの力学的特性等を表-2に示す。

表-1 コンクリート示方配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	記号	水セメント比 W/C(%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				圧縮強度 (MPa)
			水	セメント	細骨材	粗骨材	
20	A	50	201	402	704	887	40
	B	40	201	503	667	840	50
	C	33	201	604	630	794	60

表-2 補強材の材料特性

記号	表面形状	公称断面積 (mm <sup>2</sup> )	有効断面積 (mm <sup>2</sup> )	比重	引張強度 (kN/mm <sup>2</sup> )	弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	破断伸び (%)	熱膨張係数 (10 <sup>-6</sup> /°C)
CFCC(炭素)	より線状	102.8	76	1.5	2.25	143	1.6	0.6
AFRP(アラミド)	組紐状	127	127	1.3	1.12	68.8	1.3	-2.0
CFRP(炭素)	組紐状	170	170	1.5	1.86	411.6	1.9	0.6
鉄筋	異形	127	127	7.85	0.49	205.8	10	17.3

表-3 供試体要因

供試体名称	補強材	目標温度 (°C)	コンクリート 圧縮強度	供試体名称	補強材	目標温度 (°C)	コンクリート 圧縮強度
CC-N-A	CFRP-1 (より線)	常温	A	CR-N-A	CFRP-2 (組紐)	常温	A
CC-N-B			B	CR-N-B			B
CC-N-C			C	CR-N-C			C
CC-1-A		100	A	CR-1-A		100	A
CC-2R-A		200(冷間)	A	CR-15-A		150	A
CC-15-A		150	A	CR-2-A		200	A
CC-15-B			B	CR-2-B			B
CC-15-C			C	CR-2-C			C
A-N-A		AFRP (組紐)	常温	A		S-N-A	鉄筋
A-N-B	B			S-N-B	B		
A-N-C	C			S-N-C	C		
A-1-A	100		A	S-1-A	100	A	
A-2-A	200		A	S-2-A	200	A	
A-2-A	200		A	S-3-A	300	A	
A-2-B			B	S-3-B		B	
A-2-C			C	S-3-C		C	

2. 2 供試体

図-1 に示す供試体を用いて補強材とコンクリートとの付着試験を行った。コンクリートの供試体寸法は直径 150mm、高さ 300mm の円柱供試体である。補強材を供試体中央に配置し付着区間はコンクリート円柱中央部で 44mm とした。この付着長さは補強材が破断する前に付着破壊が生じる長さとして設定した。また、荷重端側と自由端側の非付着区間は銅パイプ又は塩ビパイプで付着が生じないようにした。早期の割裂破壊防止のために、螺旋筋 D6 を径

100mm ピッチ 40mm で配置した。

2. 3 連続繊維補強材の引抜き試験

付着試験は連続繊維補強材とコンクリートとの付着強度試験-JSCE-E539-1999-[1]に準じて行った。供試体はマントルヒーターを用いて所定の温度まで加熱し、目的温度に達した時点で保温しながらジャッキにより引抜き試験を行った。試験は、補強材がコンクリートから 30mm 以上引抜けるか、もしくはコンクリートが割裂破壊し荷重が大きく低下するまで計測を続けた。計測は、変位計による自由端変位の

測定、コンクリート内部温度を熱電対により3箇所  
で測定、補強材にはひずみゲージによるひずみ測定  
を行った。ここで供試体の加熱温度は、常温（約  
20℃）、100℃、150℃、200℃、300℃の4通りとした。  
実験要因は表-3に示す。

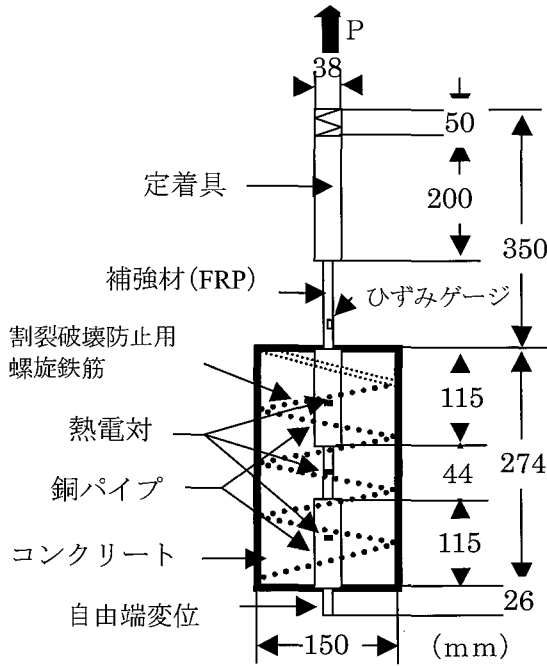


図-1 供試体寸法

### 3. 実験結果と考察

鉄筋、FRP (CFRP-1、AFRP、CFRP-2) について、  
強度 A (低強度) における荷重と自由端変位関係を  
図-2に示す。また、図-3に各温度での平均付着応  
力度を示す。

#### 3. 1 鉄筋

自由端変位がおよそ 2mm で付着強度は大きく低  
下している。自由端変位が 10mm では、ほとんどの  
供試体で 10 kN まで低下し、最終的には 1 kN まで  
低下しており、節がコンクリートを徐々に削ること  
による摩擦力の低下と推測され、引抜きの際にはコ  
ンクリート片の落下も確認された。この現象は鉄筋  
を用いた供試体で顕著に見られた。温度の影響は最  
大荷重にほとんど影響を及ぼさず、これに比べてコ  
ンクリート強度の影響が大きいことが分かった。高

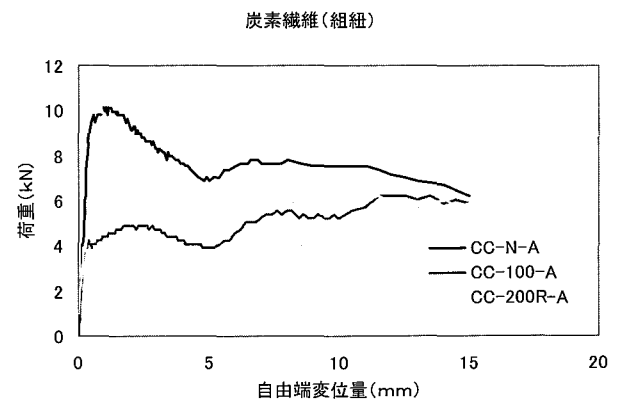
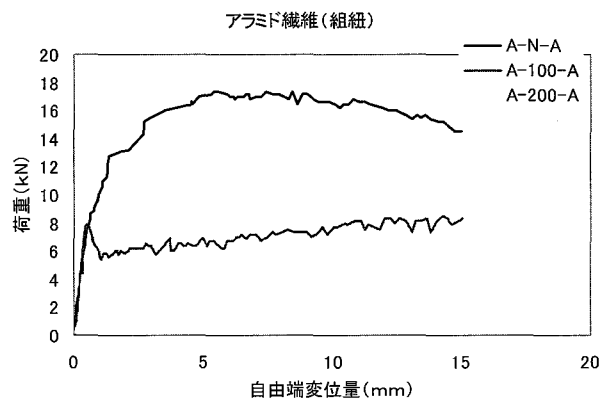
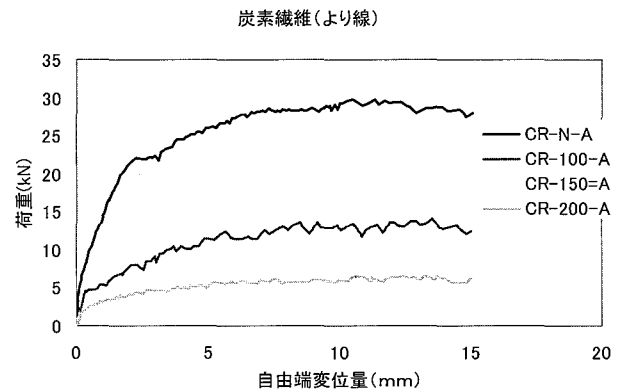
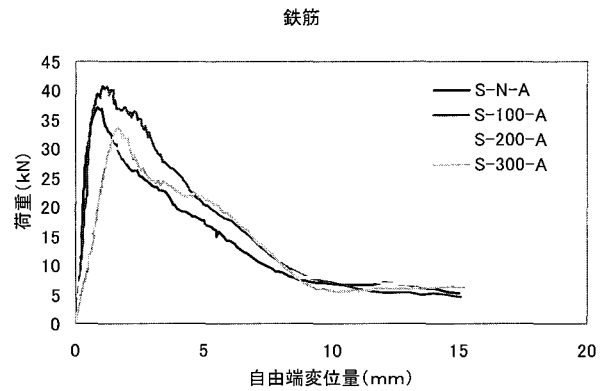


図-2 強度 A (低強度) での荷重-自由端変位量

温下においては、コンクリート強度が低下すると付着性状も低下している。

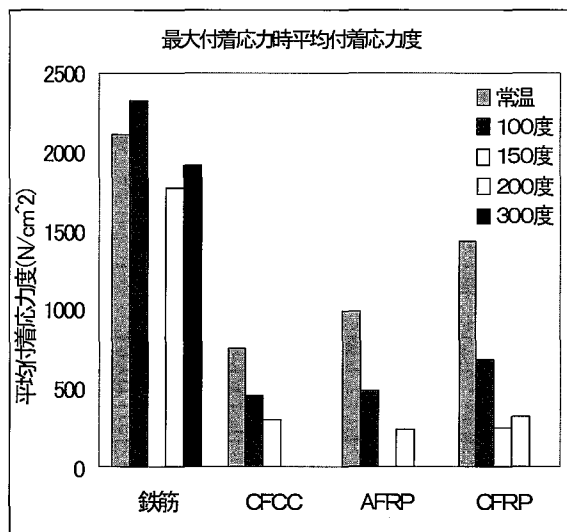


図-3 各温度での平均付着応力度

### 3. 2 連続繊維補強材

#### 3. 2. 1 CFRP-1 (より線)

自由端変位 2mm 前後で最大荷重をとった後、荷重値が変位で約 5mm ごとに上下する現象が見られる。これは、より線状の表面形状に起因していると考えられる。つまり、より線状のために引抜き時にロッド自体にねじれが生じ、このねじれにコンクリートが耐えられなくなるまでコンクリートが削れることはなく引抜かれることになる。しかし 150°Cではこの現象はみられず、これは結合材のエポキシ樹脂の軟化による結合力低下によると思われる。

また、コンクリート強度よりも温度の影響が大きく、これは温度上昇によるエポキシ樹脂の軟化による、表面ラッピングと繊維の結合力低下と思われる。

#### 3. 2. 2 AFRP (組紐)

常温では、荷重は最大荷重の後、緩やかに低下しているが、200°Cでは急激な低下が見られる。これは樹脂の軟化により結合力がほとんど期待できず付着部分全体がほぼ同時に摩擦力に移行したと考えられる。温度の影響は著しく、これは CFRP-1 に比べ、その変化も大きい。また、コンクリート強度が高いほど温度の影響を強く受けていることが分かった。

#### 3. 2. 3 CFRP-2 (より線)

CFRP は表面形状が AFRP と同様であるにもかかわらず AFRP とは異なった結果となった。これは弾性係数の違いに起因していると思われ、CFRP は弾性係数が大きいためにコンクリートを削りながら引抜かれていると考えられる。また、コンクリート強度の影響よりも温度による影響が大きく、AFRP と同程度の付着特性の低下を示している。

### 4. まとめ

- 1) 鉄筋の付着性状はコンクリート圧縮強度による影響が大きく、高温時においてもコンクリート強度が低下することにより付着強度が低下する。
- 2) CFRP-1 では、樹脂の軟化に伴い結合力が低下し、表面形状が維持できなくなり表面のラッピングの剥離により付着強度は大幅に低下。
- 3) AFRP は、樹脂が軟化することにより結合力は低下し熱膨張が大きいために AFRP 表面の剥離から付着性状は低下する。
- 4) CFRP-2 は、樹脂がガラス転移点温度を超えた後、樹脂の軟化に加え、弾性率が高いことからコンクリート強度の低下の影響により付着性状が低下。

以上から、高温下における FRP の付着性状の低下の主な原因は樹脂の熱による劣化である。FRP の軸直角方向の熱膨張率は鉄筋の 2~4 倍であるため付着性状は良好になると思われるが樹脂の劣化によりその影響はほとんど認められなかった。

### 5. 参考文献

- [1]コンクリート標準示方書 [規準編]、土木学会、pp.264-266、1999
- [2] 土木・建築分野の繊維強化複合材料：監修 連続繊維を利用したコンクリート系複合材料(CCC)研究会 会長 中辻照幸
- [3] 防耐火 WG 耐熱特性 SWG 活動成果(1)：東レ・リサーチセンター
- [4] 連続繊維補強材の高温時付着試験 報告書：清水建設株式会社