

## エポキシ樹脂充填鋼管を用いたFRPロッドの接着継手の強度に関する研究

名城大学 大学院  
 名城大学  
 (株) 富士ピー・エス  
 (株) 富士ピー・エス

○佐藤 大地  
 正会員 工博 岩下 健太郎  
 正会員 八木 洋介  
 吉田 光秀

Abstract : This paper described the results of experiments on the newly developed bond anchorage system of PC strands and basalt FRP (BFRP) rods using epoxy resin, especially in the case that these materials were used as a strengthening for concrete structures. The end of strands and rods is embedded into a steel tube and bonded with epoxy resin. An experimental study on the bond behavior of PC strands or BFRP rods bonded to steel tube subjected to static loading was carried out. The test results show that a better bond strength and ductility. Moreover, the better workability of the anchorage is confirmed.

Key words : BFRP rod, PC tendon , anchorage, bond, epoxy resin

## 1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物の曲げ，せん断，耐震補強材として，盛んに連続繊維材（FRP）が使用されている。とくに，FRPのシートをコンクリートの表面に接着する方法や，コンクリートの表面に溝を掘り，FRPの棒材を埋め込む方法による補強技術が盛んに用いられている<sup>1), 2), 3)</sup>。著者らは，両者の特徴を併せもつ補強技術として，構造物の表面に，棒形状のFRPロッドを接着する補強技術の開発を行っている<sup>4), 5)</sup>。また，補強材にプレストレスを導入することで，補強効果の向上を図る技術としている。このとき，緊張装置の開発に際して，通常のPC鋼より線などの定着具については，かなり多くの研究の蓄積があるが，FRPロッドの定着具については，膨張セメントを鋼管に詰めることにより定着する方法がよく用いられている。本研究では，膨張セメントに代わり，エポキシ樹脂のような接着材を用いた定着方法について研究する。エポキシ樹脂については，かなり広範囲な粘性のタイプが販売されており，充てん時に適した粘性のエポキシ樹脂を選択することにより，鋼管への充てんが容易に可能であり，施工性を大幅に向上させることができる。また，ガラス転移温度を超える高温環境下では軟化するため，定着箇所を外したい場合には，ヒーターなどで定着箇所を外部から加熱することにより，着脱可能な定着を実現することにも期待できる。さらに，PC鋼より線とFRPロッドを接続できれば，従来の定着具の使用も可能となる。図-1に継手使用時のイメージを示す。補強材の接着・補強時に継手部をジャッキを用いて持ち上げ，補強材と躯体を可能な限り近づけた上で，緊張用治具により補強材を偏向させる。本研究では，補強材としてPC鋼より線と比較的低価格で2.5%を超える伸

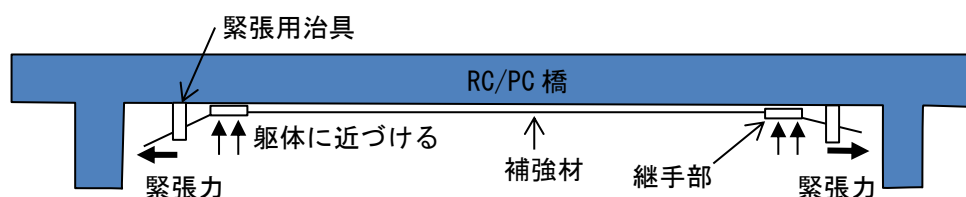


図-1 継手使用時のイメージ

度と、 $1\text{kN/mm}^2$  の引張強度を有する玄武岩 (Basalt) 繊維を用いたFRPロッド (以降BFRP ロッドと呼称) を対象とし、端部を鋼管に入れ、エポキシ樹脂充てんにより定着した供試体を作製し、静的引張試験を実施して、エポキシ樹脂充てん鋼管による定着の定着効果を実験的に検証した。

## 2. 実験方法

補強材の継手部に鋼管を配置し、内部にエポキシ樹脂を注入・硬化させることで引張試験供試体を作製した。補強材の継手部とは逆の端部には、引張試験を実施するた

めに、従来の定着具 (PC鋼より線に対しては楔形の定着具、BFRPロッドに対しては膨張セメント充てん鋼管) を設置した。PC鋼より線については、楔形の定着具を直接引っ張ることにより引張試験を実施した。また、BFRPロッドについても、定着具を引っ張ることにより引張試験を実施した。供試体寸法は図-2のとおりである。作成した引張供試体を油圧サーボ式試験機に取り付け、 $1\text{mm/min}$ 程度の試験速度で引張試験を実施した。鋼管とエポキシ樹脂のヤング率の差から、鋼管の内径が大きくなるにつれて充てんされるエポキシ樹脂の量が増加することでエポキシ樹脂が凝集破壊を起こすと考えられることから、鋼管の内径 (公証径:  $16.1\text{mm}$ ,  $21.6\text{mm}$ ) および、補強材の種類 (BFRPロッド:  $\phi 10.0$ , PC鋼より線  $\phi 10.8$ ) を実験パラメータとして設定した。供試体一覧を表-1に示す。鋼管の両端部に、接着材に対する止水効果と補強材の中心位置を固定することを目的として、止水材を設置した。エポキシ樹脂の充てん後、2日程度経過後、引張試験を行った。引張試験における測定項目は、油圧サーボ式試験機の出力荷重、出力変位とした。

表-2に各種材料の物性値を示す。BFRPロッドの繊維含有率は50%であり、各物性値はカタログ値と繊維含有率から算出したものである。また、PC鋼より線については、コンクリート標準示方書[設計編]<sup>6)</sup>の鋼材のモデル化された応力-ひずみ曲線を参考に、破断強度のメーカー値の0.93倍を掲載した。

## 3. 実験結果

PC鋼より線- PC鋼より線接続 (以下、PC-PCと呼称) 供試体では、PC鋼より線が継手部から引き抜けたのち、荷重が急激に低下したため試験を終了した。また、BFRPロッド- PC鋼より線接続 (以下、BFRP-PCと呼称) 供試体では、いずれもBFRPロッドが継手部から引き抜けたのち、荷重が急激に減少したため試験を終了した。いずれの供試体も破壊性状は補強材とエポキシ樹脂の間で完全剥離するものだった。PC-PC供試体では、初期剛性はある程度高いレベルであったが、最大応力に到達した直後にPC鋼より線のすべりが発生し、荷重が56.7%~74.1%減少する挙動が確認された。一方、BFRP-BFRP供試体でも同様の挙動が確認されたが、ピーク荷重後、最大荷重を維持したまま5mm程度変位が増加する区間がみられる。これは、BFRPロッドの表面がマトリックス材のポリエステル樹脂であり、エポキシ樹脂と物性が類似しているため、最大荷重後の付着にやや粘りが生じたと考えられる。次に、数値的な比較を考える。最大荷重を補強材の断面積で除したものを最大応力、この最大応力を補強材の引張強度で除した値の百分率を引張強度到達率、最大荷重を補強材の表面積で除した値を引抜強度と呼称し、実験結果より算出される値を図-6、図-7、図-8に示す。同じ補強材で鋼管の径の異なる供試体を比較したところ、鋼管の径にかかわらず、最大応力、引抜強度はいずれのケースでもある程度同等であることを示唆するデータが得られた。また、引張強度に対しては、26.3~42.1%の引張応力に到達していることが分かった。

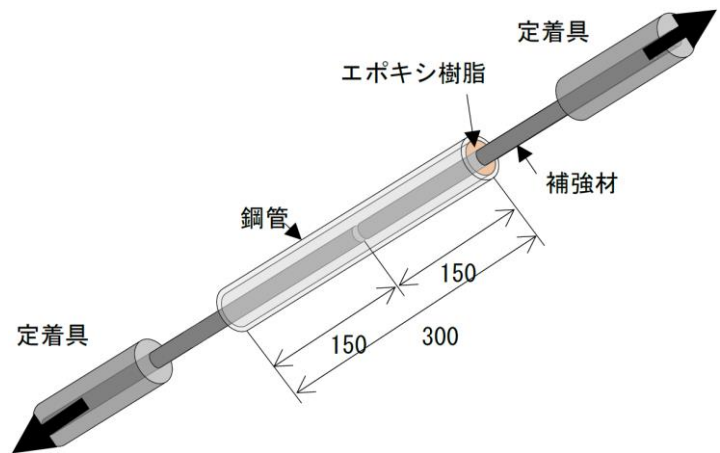


図-2 供試体寸法の詳細

表-1 供試体一覧

供試体名	補強材の組み合わせ	鋼管の内径 (mm)
PC-PC-15mm	PC-PC	16.1
PC-PC-20mm	PC-PC	21.6
B-B-15mm	BFRP-BFRP	16.1
B-B-20mm	BFRP-BFRP	21.6
B-PC-20mm	BFRP-PC	21.6

表-2 材料の物性値一覧

BFRPロッド	ヤング率 (kN/mm <sup>2</sup> )	45.5
	引張強度 $\sigma_f$ (N/mm <sup>2</sup> )	1000
PC鋼より線	ヤング率 (kN/mm <sup>2</sup> )	195
	引張強度 $\sigma_{pc}$ (N/mm <sup>2</sup> )	1310
鋼管	ヤング率 (kN/mm <sup>2</sup> )	205
	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	290
エポキシ樹脂	ヤング率 (kN/mm <sup>2</sup> )	1.5

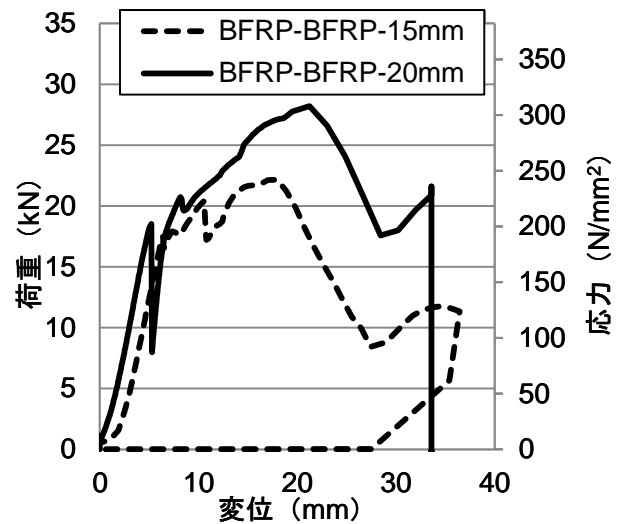


図-4 荷重 (応力) - 変位関係  
(BFRPロッド - BFRPロッド接続)

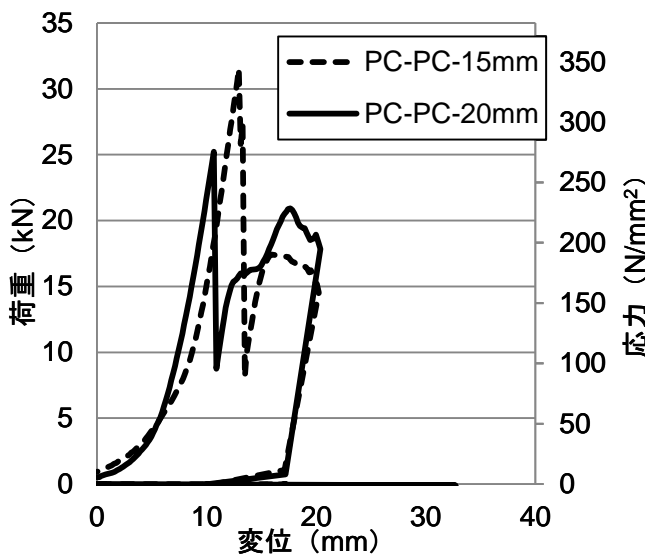


図-3 荷重 (応力) - 変位関係  
(PC鋼より線 - PC鋼より線接続)

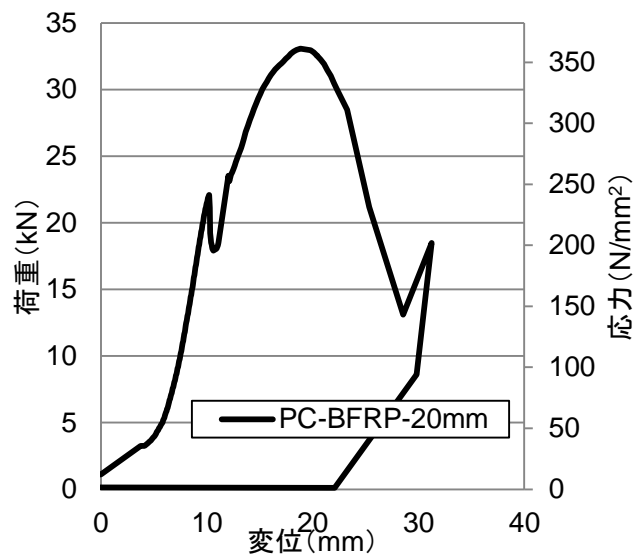


図-5 荷重 (応力) - 変位関係  
(PC鋼より線 - BFRPロッド接続)

#### 4. まとめ

本研究では、エポキシ樹脂充てん鋼管を用いた、PC鋼より線およびBFRPロッドの定着強さを実験的に検証した。その結果、鋼管の径にかかわらず、最大応力、引抜強度はいずれのケースでも同様であることを示唆するデータが得られた。また、引張強度に対して26.3~42.1%の定着を達成していることが分かった。

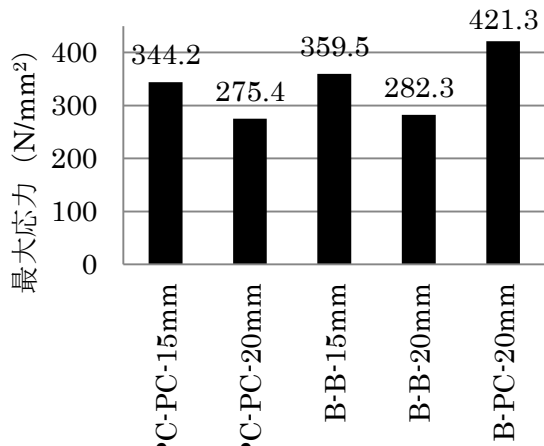


図 - 6 最大応力の一覧

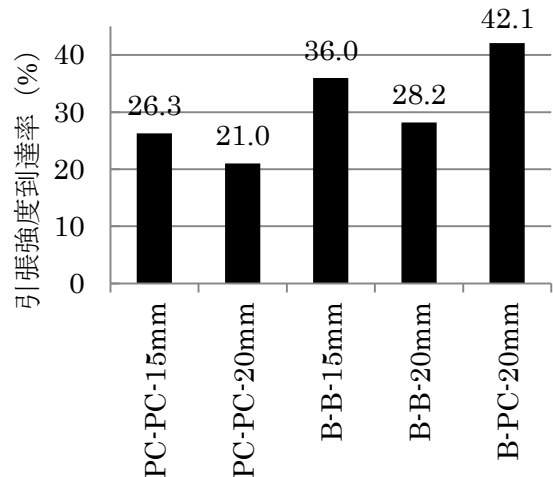


図 - 7 引張強度到達率の一覧

謝辞

本研究の一部は、名城大学自然災害リスク軽減研究センター（代表者：小高猛司）と JSPS 科研費 24760352 の助成を受けて実施したものである。

参考文献

- 1) 吳智深, 岩下健太郎, 孫曉荷, 小林 朗 : FRP ケーブルの埋め込み緊張補強技術の確立, 構造工学論文集, 土木学会, Vol.56A, pp.630-643, 2010.3
- 2) 岩下健太郎, 吳智深, 坂本宏司 : 水中エポキシパテによる連続繊維グリッド複合材の定着性能と向上法に関する実験的研究, 土木学会論文集, Vol.63, No.2, pp. 214-222, 2007.4
- 3) Stijn Matthys : FRP systems for structural rehabilitation: growth or maturity?, 11 th International symposium on fiber reinforced polymers for reinforced concrete structures (FRPRCS-11), CD-ROM, 2013.6
- 4) 岩下健太郎, 金光男, 佐藤大地, 八木洋介 : BFRP ロッド緊張接着による RC 梁の曲げ補強効果, プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム, 2011
- 5) 佐藤大地, 田中竜蔵, 岩下健太郎, 八木洋介 : 玄武岩繊維ロッド緊張接着による RC 梁の復元力特性に対する補強効果, プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム, 2012
- 6) コンクリート標準示方書[設計編], 土木学会, 2007

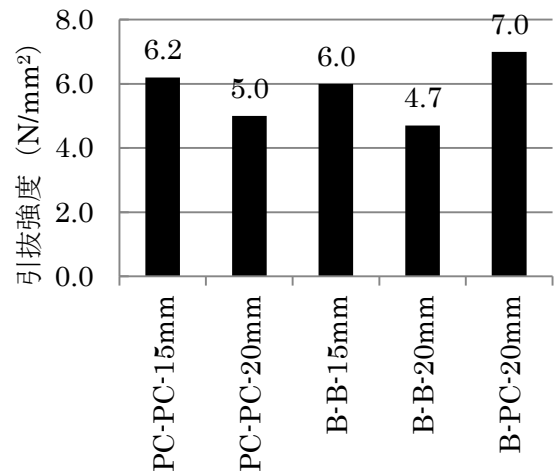


図 - 8 引抜強度の一覧