

エポキシ樹脂による PC・BFRP ロッドの接着継手の定着強さについて

名城大学大学院 学生会員 ○森 祐樹

名城大学 正会員 岩下健太郎

(株) 富士ピー・エス 正会員 八木洋介, 吉田光秀

1. 目的

バサルト繊維複合材(BFRP)をコンクリート構造物などの補強材として適用する研究が進められている。BFRP の棒材(ロッド)の端部定着や延長する場合の接続継手には従来、膨張セメントが用いられる。本研究では、より簡便で取り外しの可能性にも期待できるエポキシ樹脂による接着継手を用いた場合にどの程度の定着能力が得られるかについて、実験的に検討した。

2. 実験概要

エポキシ樹脂充填定着具の PC 鋼線と BFRP ロッドとの定着強さを調査するために、図 1 のように PC 鋼線同士を定着させた供試体と、BFRP ロッド同士を定着させた供試体を用意した。また、使用するエポキシ樹脂の量による強度の変化を観測するために定着具の内径を呼び径 $\phi 15\text{mm}$ と $\phi 20\text{mm}$ のもの 2 種類用意した。2000kN 万能試験機により引張試験を行った。なお測定項目は荷重と変位計による引き抜け長さである。試験対象の接続継手ではないもう一方の端部定着については、PC 鋼線の場合には楔形定着具を用い、BFRP ロッドには長さ 200mm, $\phi 24\text{mm}$ の鋼管と膨張セメントを用いて定着した。試験対象の接続継手については定着と逆側の端部を 150mm 挿入し、 $\phi 15\text{mm}$, $\phi 20\text{mm}$ で長さ 300mm の鋼管にエポキシ樹脂を充填することで作成した。エポキシ樹脂は 2 日間常温で養生した。供試体は $\phi 15\text{-P-P}$, $\phi 15\text{-B-B}$, $\phi 20\text{-P-P}$, $\phi 20\text{-B-B}$ の 4 種類で、 $\phi 15$, $\phi 20$ は継手に用いた鋼管の呼び径。P-P は PC 鋼線同士を接続したもの。B-B は BFRP ロッド同士を接続したものとなっている。使用材料の物性は表 1 に示す。 E_{rod} は複合則より式(1)を用いて求めた。バサルト繊維のヤング率 E_f は 90000 N/mm^2 , A_f , A_r は、BFRP ロッドに含まれるバサルト繊維の断面積とエポキシ樹脂の断面積であり、バサルト繊維の含有率 V_f は 65% である。また、BFRP ロッドの引張強度 σ_{rod} は式(2)より求めた。

$$E_{rod} = \frac{E_f A_f + E_r A_r}{A_{all}} \quad (1)$$

$$\sigma_{rod} = \frac{\sigma_{fr} A_f + \sigma_{rr} A_r}{A_{all}} \quad (2)$$

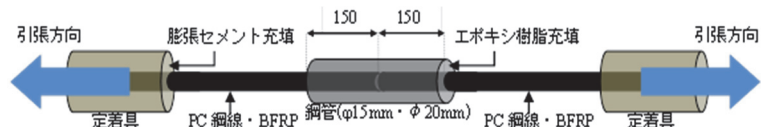


図 1 供試体図

表 1 物性値一覧表

材料名	PC 鋼線	BFRP ロッド	エポキシ樹脂
公称径 $\phi(\text{mm})$	10.8	10.0	—
公称断面積(mm^2)	70.0	78.5	—
公称周長(mm)	$u=34.0$	$u=31.4$	—
ヤング率(N/mm^2)	$E_p=200000$	$E_{rod}=60110$	$E_r=4600$
公称引張強度(N/mm^2)	$\sigma_p=1720$	$\sigma_{rod}=1250$	$\sigma_r=45$

ここで、(2)式で用いた BFRP ロッドに含まれるバサルト繊維の引張強度 σ_{fr} は 1900 N/mm^2 , エポキシ樹脂の引張強度 σ_{rr} は 45 N/mm^2 となっている。

実験で測定した引張荷重 P は式(3)で応力に変換してグラフに使用した。

$$\sigma_B = \frac{PE_{rod}}{E_f A_f + E_r A_r} \quad (3)$$

付着強度 τ はコンクリート標準示方書(規準編)

に掲載されている JSCE-E539-1999 に記載されている式(4)で求めた。 u は公称周長で、 l は PC 鋼線と BFRP ロッドのエポキシ樹脂との付着長さ 150mm である。

$$\tau = \frac{P}{ul} \quad (4)$$

キーワード BFRP ロッド, PC 鋼線, 接着継手, エポキシ樹脂, 付着強度

連絡先〒468-8502 愛知県名古屋市中白区塩釜口 1-501 名城大学理工学部社会基盤デザイン工学科 TEL 052-838-2352

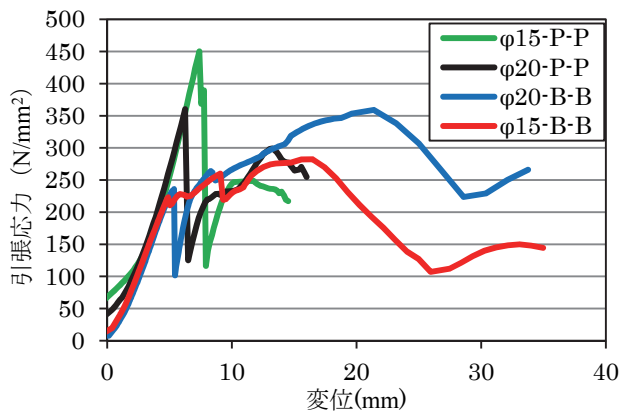


図 2 引張応力と変位の関係

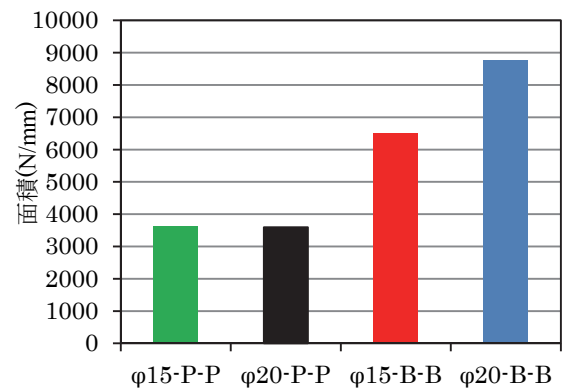


図 3 靱性に関する指標(面積)の比較

3. 実験結果

図 2 の通り大きく滑り始めるまでのグラフの傾きは概ね同じとなった。φ15-B-B が φ20-B-B よりも低い強度となったのは、継手の内径が細いためエポキシ樹脂の充填に不具合があったからだと考えられる。P-P のグラフは引張応力が最大の値を示した直後に大きく引き抜けるとともに荷重低下した。その後、最大応力の 83.0% (φ20), 55.3%(φ15)まで回復するものの直後に完全に引き抜けた。φ15-P-P に引き抜けが生じたのは、φ15-B-B に引き抜けが生じた場合より 166.8 kN/mm^2 大きくなった。いずれの供試体も最終的には接着継手内のエポキシ樹脂と PC 鋼線あるいは BFRP ロッドとの界面で滑りが生じた。一方、B-B のグラフは滑りが生じた直後、滑りが生じ大きく引き抜けたもののすぐに同等の応力レベルまで回復し、その後も引張応力が上昇し、滑りが生じ始めた応力の 155.3%程度で再び引き抜けが生じるがある程度の応力レベルを保ちつつ、大きな変形を許容した。φ15-P-P の最大応力 450.3 kN/mm^2 は公称引張強度の 26.1%。φ15-P-P の最大応力 360.2 kN/mm^2 は公称引張強度の 20.9%。φ15-B-B の最大応力 282.1 kN/mm^2 は、引張強度の 22.5%となった。φ20-B-B の最大応力 359.1 kN/mm^2 は、引張強度の 28.7%となった。図 3 に図 2 のそれぞれの面積を示した。φ15 の場合 B-B の面積は P-P の 1.7 倍、φ20 の場合 B-B の面積は P-P の面積の 2.4 倍となった。これにより、PC 鋼線同士を接続した場合よりも BFRP ロッド同士を接続した場合の方が、完全に引き抜けるまでの抵抗が大きいと言える。

図 4 は最大付着応力度を比較したものであり、最大応力の引張強度に対する割合と同じく、ほぼ同程度となっている。過去の研究²⁾におけるコンクリートと FRP の付着応力度と比較するとコンクリートのコーン破壊と樹脂界面の剥離という違いはあるがほぼ同程度となった。

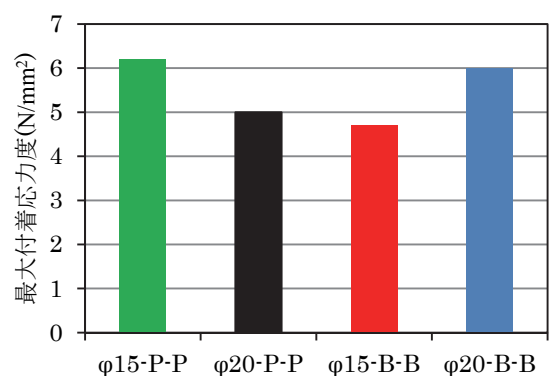


図 4 最大付着応力度の比較

4. まとめ

エポキシ樹脂を用いた接着継手は PC 鋼線も BFRP ロッドも同様の引抜強度となった。ただし、BFRP ロッドの方がより大きな変形まである程度の応力レベルを維持する傾向がみられた。

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) 土木学会, コンクリート標準示方書(規準編), 2013
- 2) 岩下健太郎, 呉智深, 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 E, Vol.63No.2, 214-222, 2007