

海洋環境下に長期暴露された FRP 補強コンクリート部材の引抜き付着挙動

(株)日本ピーエス 正会員 ○山田 浩司

京都大学 正会員 Bruno Ribeiro

(株)日本ピーエス 天谷 公彦

京都大学 正会員 服部 篤史

京都大学 正会員 塩谷 智基

1. 目的

塩害環境下のコンクリート構造物は、鉄筋などの腐食による劣化が懸念される。これに対し、鉄筋や PC 鋼材の代替として繊維強化ポリマー(以下、FRP)を適用することで、高い耐久性が期待できる。しかし、海洋環境に長期間暴露された FRP 補強コンクリート部材の力学特性の知見は、極めて少ないのが現状である。

本研究では、海洋環境および室内空間に 28 年暴露した 3 種類の FRP(炭素より線(CS),アラミド組紐(AB),アラミド異形(AD))補強コンクリート供試体で引抜き実験を行い、海洋環境が FRP 棒材とコンクリートの付着特性に与える影響を検討した。

2. 実験方法

本実験で使用した供試体を図-1 に、コンクリート配合およびフレッシュ性状を表-1、表-2 にそれぞれ示す。図-1 に示すように、全長 1180mm の供試体から 120mm×120mm の立方供試体を切り出して実験に使用した。付着区間は 75mm とし、荷重端側に設けた非付着区間(=45mm)にはビニルテープを巻付け、載荷板からの応力の均等化を図った。

引抜き実験は JSCE-E 539-2007「引抜き試験による連続繊維補強材とコンクリートとの付着強度試験方法」¹⁾を参考に実施した。FRP 棒材を直接引っ張ることが困難であるため、膨張材により鋼管スリーブ内部に FRP 棒材を定着し、鋼管スリーブを掴み部として引抜き実験を行った。実験終了後に供試体を割裂し、FRP 棒材とコンクリートの付着界面を目視観察した。

3. 実験結果

各パラメータの付着応力と自由端すべり量の関係を図-2 に示す。なお、付着応力については(1)式で求めた。

$$\tau = \frac{P}{ul} \tag{1}$$

ここに、 τ : 付着応力(N/mm²)、 P : 引張荷重(N)、 u : FRP 棒材の公称周長(mm)、 l : 付着長(mm)である。

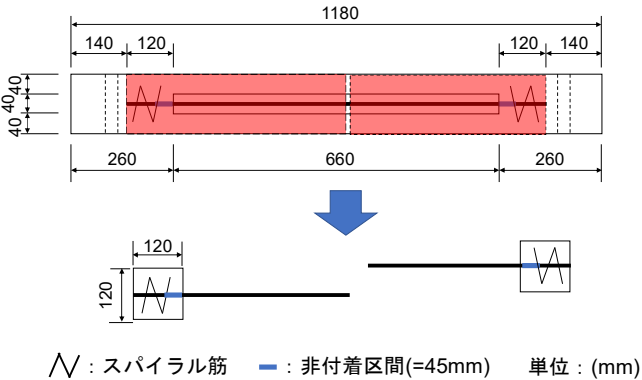


図-1 供試体概要

表-1 コンクリート配合およびフレッシュ性状

W/C (%)	単位量(kg/m ³)				空気量 (%)	スランプ (cm)	s/a (%)
	C	W	S	G			
60.0	313	188	813	916	4.0	12.0	48.0

表-2 実験パラメータ

記号	FRP 種類	暴露環境	マトリックス樹脂	公称直径 (mm)	供試体数
CS-S	炭素より線	海洋	エポキシ樹脂	10.0	6
CS-R		室内			2
AB-S	アラミド組紐	海洋		10.4	6
AB-R		室内			2
AD-S	アラミド異形	海洋	ビニルエステル樹脂	8.0	6
AD-R		室内			2

CS は載荷初期段階では大きな自由端すべりは発生せず、最大付着応力到達後は一定の付着応力を保ちながら徐々に自由端にすべりが発生した。実験後の CS とコンクリート界面の状況を写真-1 に示す。CS のより溝がはっきりと残っているのが確認できる。自由端すべり量が小さい載荷初期段階では、CS とコンクリートの

キーワード 塩害, FRP 棒材, 長期暴露, 海洋暴露, 付着, 引抜き実験
連絡先 〒914-0027 福井県敦賀市若泉町 3 番地 (株)日本ピーエス TEL : 0770-22-1406

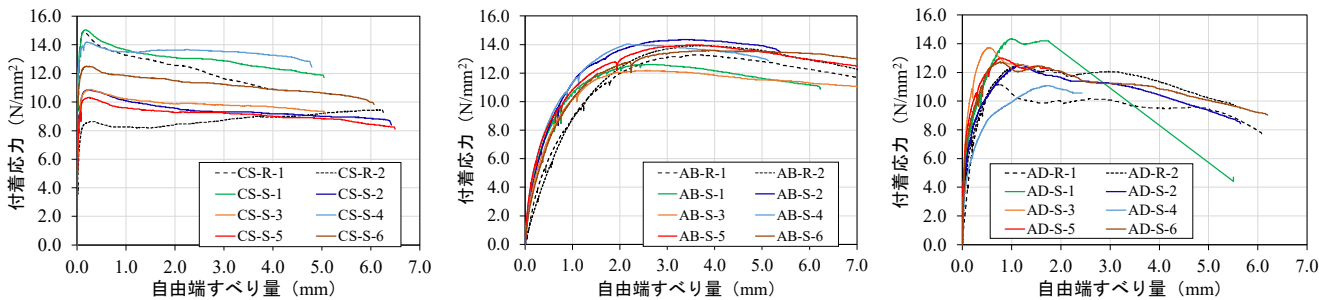


図-2 付着応力-自由端すべり量関係

界面の粘着力および機械的な付着（より線形状および素線の表面異形）によって一体化していると考えられるが、付着が切れた後は FRP 棒材とコンクリート界面の摩擦による付着が主となり、棒材が回転しながら溝に沿って抜け出し、すべりが発生したと考えられる。

AB は荷重初期段階から自由端すべりが発生したが、最大付着応力は CS, AD と同程度であった。AB では荷重する過程において、一時的に付着応力が低下する傾向がみられた。これは写真-2 に示すように、棒材の凸部分が破壊してすべりが発生した際に一時的に付着応力が低下し、次の凸部分がコンクリートと噛み合うことで再度付着応力が増加するためと考えられる。

AD は荷重初期段階で大きな自由端すべりは発生しておらず、凸部が異形鉄筋のふしと同様に機械的な付着力を発揮していると考えられる。最大付着応力に到達後は、ある程度一定の付着応力を保ちながら自由端すべりが増加し、荷重終了時には写真-3 に示すように外装繊維からの芯材の抜け出しが生じていた。また AD-S-1 では芯材の抜け出しを伴うコンクリート部材の割裂破壊が生じ、付着応力が急激に低下した。

以上の付着挙動については、各 FRP 棒材とも暴露環境の違いによる差はみられなかった。最大付着応力(平均値)を表-3 に示す。最大付着応力は、いずれのパラメータにおいても暴露前と同等以上であった。これは、材齢にともなうコンクリート強度の増加が一因と考えられる。これらから、28 年間の実塩害環境下においては FRP 棒材とコンクリートの付着特性に大きな変化は生じていないことがわかった。

5. まとめ

本研究では海洋環境および室内空間に 28 年暴露した供試体を用いて引抜き実験を行い、長期海洋環境が FRP 棒材とコンクリートの付着特性に与える影響について検討した。本研究のまとめを以下に示す。

- (1) 暴露環境の違いによる FRP 棒材とコンクリートの付着挙動の差はみられなかった。
- (2) 暴露前後の最大付着応力は、パラメータによらず同等以上であった。これは、材齢にともなうコンクリート強度の増加が一因と考えられる。
- (3) 以上より、28 年間の実塩害環境では FRP 棒材とコンクリートの付着特性の劣化はみられなかった。

謝辞：本実験の遂行にあたり多大なるご協力を頂いた、連続繊維補強材 WG および京都大学インフラ先端技術コンソーシアム C05 クラストの関係者各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

1) 土木学会：コンクリート標準示方書[規準編]，pp.181-183，2018.



写真-1 実験後の炭素より線-コンクリート界面



写真-2 実験後のアラミド組紐棒材表面



写真-3 実験後のアラミド异形棒材表面

表-3 パラメータごとの最大付着応力

条 件	τ_{max} (N/mm ²)		
	CS	AB	AD
暴露前	9.38	13.09	13.76
室内	12.21	13.59	11.88
海洋	12.30	13.45	12.90