

超高強度繊維補強コンクリートと PC 鋼材の付着特性

太平洋セメント(株) 正会員 ○川口 哲生
 太平洋セメント(株) 正会員 兵頭 彦次
 太平洋セメント(株) 正会員 片桐 誠

1. はじめに

近年開発された超高強度繊維補強コンクリート⁽¹⁾（以下、RPC と表記）をプレテンション方式プレストレス構造に適用するにあたり、合理的な定着方法の選定は重要である。そのためには、RPC と PC 鋼材間の付着特性を把握することが必要である。付着特性を評価するにあたり、RPC が有する高強度、高耐久性および高流動を考慮すれば、定着部のかぶりを、従来より大幅に低減できると考えられ、また定着長を減少させることも可能であると予測される。さらに、部材の縮小化、薄肉化を図るには、PC 鋼材としてストランドのみではなく、細径異型 PC 鋼材も有効であると考えられる。そこで、本研究では、定着長、かぶり、および PC 鋼材の種類を実験要因として、片側引抜き試験により、付着特性の評価を行った。ここでは、付着特性として、PC 鋼材の応力-引抜け量関係を把握し、付着応力-すべり関係の算出を行った。

2. 実験概要

表-1 に実験ケースを示す。試験要因は、定着長、かぶり、および PC 鋼材の種類である。定着長は 10D, 30D, 50D の 3 水準、かぶりは 10mm, 25mm, 40mm の 3 水準とした。使用した PC 鋼材はストランド（呼び名：7 本より 12.7mm）および細径異型 PC 鋼棒（呼び名：12.6mm）である。表-2 に使用した PC 鋼材の諸特性を示す。表-3 に RPC の示方配合を示す。ここで、プレミクスは太平洋セメント製プレミクス DP200 とし、鋼繊維は $\phi 0.2 \times 15\text{mm}$ のものを用いた。RPC は、 $20^\circ\text{C}-48$ 時間の封緘養生後、脱型し、最高保持温度 $90^\circ\text{C}-48$ 時間の蒸気養生を行った。表-4 に、管理試験より得られた RPC の強度特性を示す。

図-1 に試験体および载荷概要を示す。油圧ジャッキにより、静的に単調に载荷した。試験体には、付着特性に载荷端が及ぼす影響を取り除くために、非付着区間を設けた。また、PC 鋼材は、付着に影響を及ぼさないように、表面を洗浄したものを用いた。载荷試験中、PC 鋼材の引抜け量、定着区間左端部から 50mm 間隔で PC 鋼材のひずみ、および RPC 表面のひずみを計測した。一般に、ストランドは回転しながら引抜けるが、本実験では、回転の影響は無視した。

表-1 実験ケース

試験体 No.	使用鋼材		定着長			かぶり(mm)		
	ストランド	細径異型PC鋼棒	10D	30D	50D	10	25	40
1	○		○				○	
2	○			○		○		
3	○			○			○	
4	○			○				○
5	○				○		○	
6	○				○			○
7		○		○			○	

表-2 使用した鋼材の諸特性

使用鋼材	鉄筋規格	公称断面積 (mm^2)	0.2%永久伸びに 対する荷重(kN)	降伏荷重 (kN)
ストランド	SWPR7A	92.9	192	-
細径異型PC鋼棒	SBPDL 1275/1420	125.0	-	170.5

表-3 RPC の示方配合

単位量 (kg/m^3)			
水	プレミクス	鋼繊維	高性能減水剤
180	2254	157	25

表-4 RPC の強度特性

圧縮強度 (MPa)	静弾性係数 (GPa)	割裂引張強度 (MPa)	曲げ強度 (MPa)
222.9	51.2	10.27	36.10

試験体寸法：

No. 4, 5, 6 $(H \times L \times B) = 150 \times 800 \times 92.7$ (mm)

No. 1, 3, 5, 7 $(H \times L \times B) = 150 \times 800 \times 52.7$ (mm)

No. 2 $(H \times L \times B) = 150 \times 800 \times 32.7$ (mm)

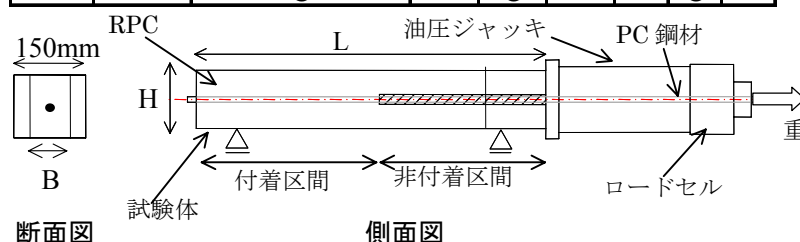


図-1 試験体および载荷概要

キーワード：付着特性, RPC, 片側引抜き試験, PC 鋼材, 付着応力-すべり関係

〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2 太平洋セメント(株)中央研究所 Tel 043-498-3852 Fax 043-498-3849

3. 実験結果

荷重試験の結果、全ての試験体において、荷重による PRC のひび割れは確認されなかった。図-2 に鋼材の応力-引抜き量関係を示す。ここで、鋼材応力はロードセルより得られた荷重を鋼材の公称面積で除したものである。図-2(1)によれば、いずれの定着長においても、PC 鋼材と RPC 間にすべりが生じ始めても、耐荷力を保持していることが分かる。また、最大の鋼材応力は定着長に、ほぼ比例していることがわかる。図-2(2)より、かぶり厚さが異なっているにもかかわらず、PC 鋼材と RPC 間にすべりが生じるまでには、同様な挙動を示すことがわかる。また、RPC の圧縮ひずみ分布を計測した結果、No.2 で、最大で 180μ 、No.3 で 70μ 、No.4 で 50μ と圧縮破壊ひずみ 5000μ より、低いひずみであった。図-2(3)より、ストランドと細径異形 PC 鋼棒には大きな差が見られ、付着特性の点では、異形 PC 鋼棒の方が優れていると考えられる。これは、RPC は圧縮強度が高く、また繊維補強により変形能力も高いことから、異形鋼棒の引抜き抵抗が高くなるためと考えられる。

図-3 に付着応力-すべり関係を示す。ここでは、No.4 と本実験の中で最も耐荷力の低い No.1 の結果を示す。すべりは鋼材径で無次元化している。付着応力は鉄筋ひずみ計測点での鉄筋の応力分布を、近傍の 3 点を含む 2 次曲線と仮定して、以下の式(1)を用いて算出した。また、ずれは式(2)より算出した⁽²⁾。

$$\tau = \frac{E_s \cdot D}{4} \frac{d\varepsilon}{dx} \quad \dots(1) \quad S = \int \varepsilon dx + S_0 \quad \dots(2)$$

$$\tau = 0.9 f_c^{2/3} (1 - \exp(-40 \frac{S}{D})^{0.6}) \quad \dots(3)$$

(S : 鋼材のすべり, D : 鉄筋径, E_s : 鋼材のヤング係数, S_0 : 定着区間左端部でのすべり)

図-3 中、比較として示した付着応力-すべり関係⁽³⁾は、異形鉄筋とコンクリート ($f_c' = 20 \sim 50 \text{ MPa}$) の付着を精度良く表現する式(3)より算出したもので、ここで高強度コンクリート (圧縮強度: 50 MPa) と異形鉄筋の付着応力-ひずみ関係を示したものである。これより、RPC と PC 鋼材間の付着強度はコンクリートの付着強度を大きく上回ることが分かる。また、今回の実験で行った範囲内では、定着長を 30D 以上とすれば、優れた付着特性を有することがわかる。

4. まとめ

1. 定着長の長さとの最大の鋼材応力は、ほぼ比例している。また、ストランドよりも異形 PC 鋼棒の方が、高い鋼材応力を示した。 2. RPC と PC 鋼材間にすべりが生じるまでは、鋼材応力-引抜き関係には、かぶりの影響は殆ど確認できなかった。 3. 実験より得られた RPC の付着強度は、 50 MPa の高強度コンクリートの推定値を大きく上回り、RPC と PC 鋼材間の付着特性は非常に良好であった。参考文献(1)下山善秀, 鶴沢正美: ダクタイル(Ductal®)の特性と応用分野, 太平洋セメント研究報告, 第 142 号, pp55-62, 2002 (2)山尾, 周, 二羽: 付着応力-すべり関係に関する実験的研究, 土木学会論文集, 第 343 号, pp.219~228, 1984.3 (3) 島, 周, 岡村: マッシュなコンクリートに埋め込まれた異形鉄筋の付着応力-すべり-ひずみ関係, 土木学会論文集, 第 378 号/V-6, pp.165~174, 1987.2

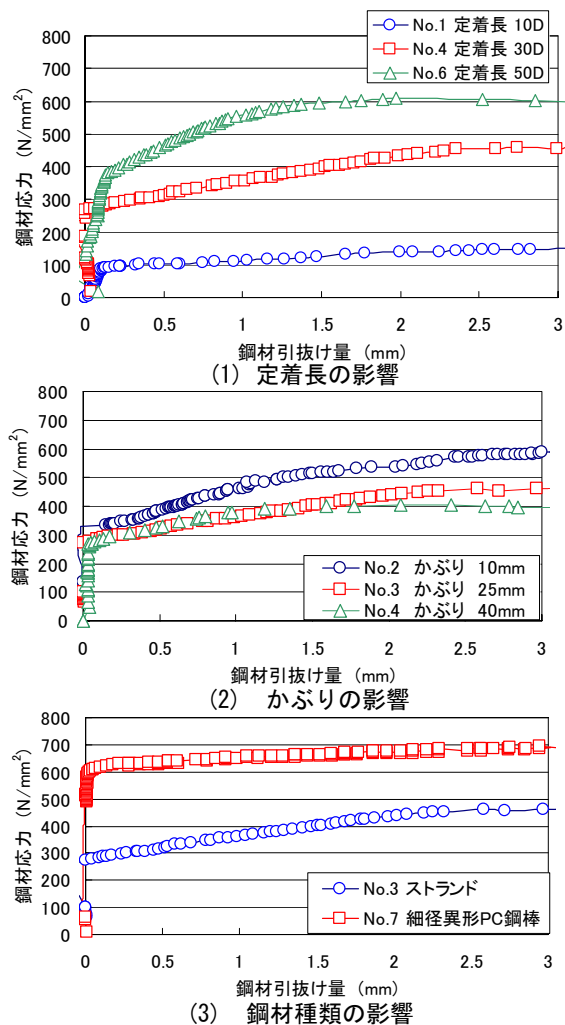


図-2 鋼材の応力-引抜き量関係

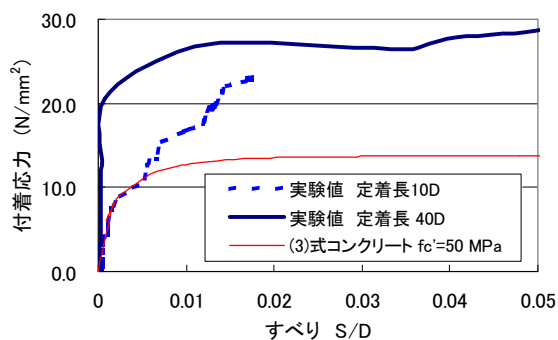


図-3 付着応力-すべり関係