

火災による高温履歴がコンクリート中の PC 鋼材の付着特性に及ぼす影響

大阪工業大学大学院 学生員 ○稲増 克行
 大阪工業大学工学部 正会員 三方 康弘
 大阪工業大学工学部 正会員 井上 晋

1. 研究目的

プレテンション方式の PC 部材は、付着を介してプレストレスを与えていることから、火害を受けた直後の供用性の判定を迅速に行うためには、高温履歴を受けたコンクリート中の PC 鋼材の付着特性を把握したうえで、残存プレストレスを適切に評価することが必要である。そこで、本研究では火災による高温履歴を受けたコンクリート中の PC 鋼材の付着特性を把握することを目的として実験的検討を行った。

2. 供試体概要

供試体は図-1 に示すように、角柱に PC 鋼より線を埋め込んだものを用いた。実験要因は PC 鋼より線の径 ($\phi 12.7$, $\phi 15.2$)、かぶりの大きさ (30mm, 50mm, 70mm) とした。これらの要因の組合せにより 6 種類の断面 (図-1 中の $x=72.7, 75.2, 112.7, 115.2, 152.7, 155.2\text{mm}$) を決定した。それらに対し、高温履歴の有無により、各要因 9 体ずつ計 108 体の供試体を作製した。これらの詳細を表-1 に示す。なお、コンクリートの設計基準強度は $f'_{ck}=50\text{N/mm}^2$ とし、PC 鋼より線の付着長はいずれも 4ϕ とした。

3. 実験概要

耐火試験は、平成 18 年の守口高架橋の火災事故において、プレテンション PC 桁橋が約 30 分間で $300\sim 600^\circ\text{C}$ 受熱したことから、最高温度を 700°C に選定し、Euro Code¹⁾で規定されている外部火災曲線 (以下 EX 曲線) を用いて、かぶりが異なるシリーズごとに耐火実験炉を使用して行った。なお、供試体は下面のみから熱を受けるようにしている。計測項目は各かぶり位置のコンクリート内部温度、および炉内温度である。高温履歴を与える時間は 30 分とし、炉内温度が常温となるまで一定の間隔で温度を測定した。また、供試体は加熱後付着強度試験を行うため、PC 鋼より線を受熱から守る必要があったことから、鋼材部分をコンクリートで覆い、実験後不要なコンクリートのはつりを行った。

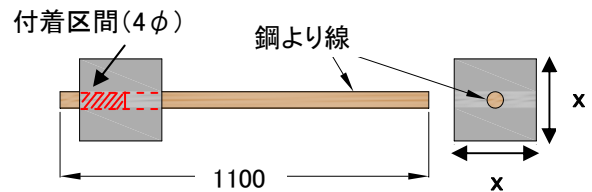


図-1 付着強度試験体 (単位: mm)

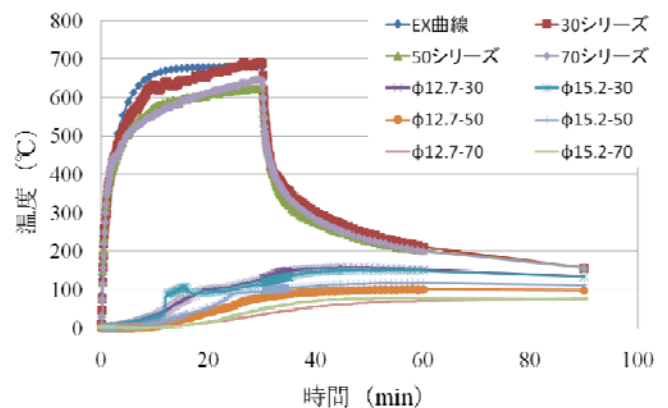


図-2 炉内および熱電対の温度履歴

付着強度試験は、土木学会規準「引抜き試験による鉄筋とコンクリートの付着強度試験方法」²⁾に準じて行った。計測項目は自由端変位、および初滑時の荷重と最大荷重である。なお、初滑時とは変位の急激な増加、および荷重の急激な低下が見られた時点としている。

4. 耐火試験結果

本実験から得られた耐火炉点火後 90 分までの温度履歴を図-2 に示す。図より、炉内温度はかぶり 50, 70 シリーズにおいて若干低くなっているが、想定した EX 曲線をほぼ再現できている。また点火直後から炉内温度は急激に上昇したが、各かぶり位置のコンクリート内部温度は徐々に上昇する傾向があり、消火後に最高温度を記録した。各かぶり位置における最高受熱温度は、かぶりが大きくなるにつれ低下する傾向が伺えた。 $\phi 15.2-30$ に関して、点火 15 分後に急激な温度上昇が見られたが、これは熱電対埋め込み箇所付近にひび割れが生じ、高温の水蒸気が流れ込んだためと考えられる。

キーワード 高温履歴, PC 鋼材, 付着特性

連絡先 〒535-8585 大阪府大阪市旭区大宮 5-16-1

TEL 06-6954-4109

表-1 付着強度試験の詳細、および試験結果

供試体名	高温履歴の有無	鋼より線の径(mm)	付着長(mm)	かぶり(mm)	最高受熱温度(℃)	平均付着応力度		必要定着長	破壊形式
						初滑時(N/mm ²)	最大(N/mm ²)		
N-φ 12.7-30	無	12.7	50.8	30	—	3.58	5.77	63φ	拔出し：9
N-φ 15.2-30	無	15.2	60.8	30	—	4.16	5.47	65φ	拔出し：9
N-φ 12.7-50	無	12.7	50.8	50	—	4.90	8.10	45φ	拔出し：9
N-φ 15.2-50	無	15.2	60.8	50	—	4.34	7.35	49φ	拔出し：9
N-φ 12.7-70	無	12.7	50.8	70	—	5.15	12.87	28φ	拔出し：9
N-φ 15.2-70	無	15.2	60.8	70	—	3.96	7.78	46φ	拔出し：9
F-φ 12.7-30	有	12.7	50.8	30	160	1.46	3.47	105φ	拔出し：9
F-φ 15.2-30	有	15.2	60.8	30	152	1.52	2.97	120φ	拔出し：8 ^{*1}
F-φ 12.7-50	有	12.7	50.8	50	102	2.17	5.81	63φ	拔出し：9
F-φ 15.2-50	有	15.2	60.8	50	119	2.42	6.07	59φ	拔出し：9
F-φ 12.7-70	有	12.7	50.8	70	78	2.20	8.68	42φ	拔出し：9
F-φ 15.2-70	有	15.2	60.8	70	79	1.92	8.03	44φ	拔出し：8 ^{*1}

*1 供試体破損のため、1 体、付着強度試験が不可能であった。

5. 付着強度試験結果

付着強度試験結果を表-1 に示す。表より、本実験での破壊形式は全て拔出し破壊となった。

かぶり 30 シリーズにおける供試体の平均付着応力度のグラフを図-3 に、代表的な $\tau-s$ 関係を図-4 に示す。高温履歴の有無による比較を行うと、PC 鋼より線の径やかぶりに関わらず、F シリーズの方が付着応力度が低下する傾向が見られた。これは、高温履歴を受けた際にコンクリート内部や表面に微細なひび割れが生じ、コンクリート強度、およびコンクリートと鋼材における粘着作用が低下したことに起因すると考えられる。このことについては、図-4 において初滑時の荷重が低下している点からも伺える。ここで各シリーズにおける最大付着応力度の減少率としては、かぶり 30 シリーズではφ 12.7 で約 40%，φ 15.2 で約 45%減少し、かぶり 50 シリーズではφ 12.7 で約 30%，φ 15.2 で約 20%減少する傾向が伺えた。かぶり 70 シリーズでは、φ 12.7 において 2 体突出して数値が大きい供試体があり、これを除くと約 25%減少し、φ 15.2 では減少傾向は見られなかった。

また、最大付着応力度から算出される必要定着長を、高温履歴の有無により比較すると、F シリーズの方が降伏に必要な定着長が長くなる傾向が見られた。このことから、高温履歴を受けたプレテンション方式の PC 部材は付着力が低下し、特にかぶりが 30mm 程度の場合はプレストレス低下の可能性が考えられる。今後プレテンション方式のはり部材に高温履歴を与え、その後の残存プレストレスを確認し、付着強度試験との相関関係を確認する予定としている。

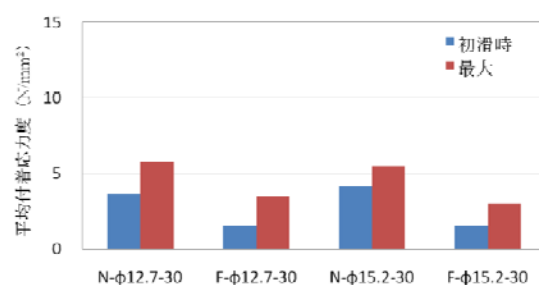


図-3 平均付着応力度（かぶり 30 シリーズ）

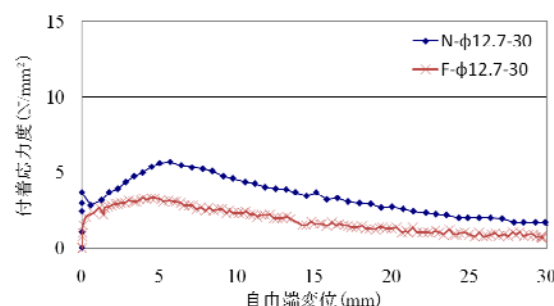


図-4 $\tau-s$ 関係

6. まとめ

本実験で EX 曲線に基づいた最高温度 700℃、30 分間の高温履歴を与えた場合、コンクリート内部の水分が熱せられることで水蒸気圧が上昇し、供試体内部や表面に微細なひび割れが生じ、付着応力度が低下することが確認された。また、かぶりが大きくなることで鋼材の受熱温度が減少し、それに伴い相対的に付着応力度の低下率も減少する傾向が伺えた。

7. 参考文献

- 1) Euro Code1 : Actions on structures-Part1-2 : General actions-Actions on structures exposed to fire
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書（標準編）2007.5