

高温履歴を受けたコンクリートとPC鋼より線の付着特性に関する実験的研究

大阪工業大学大学院 学生員 ○横山 直之
大阪工業大学工学部 正会員 井上 晋

大阪工業大学大学院 学生員 菊本 幸司
大阪工業大学工学部 正会員 三方 康弘

1. はじめに

プレテンション方式のプレストレストコンクリート構造物が火災を受けた場合、残存プレストレスを適切に評価する必要がある。本研究では、残存プレストレスを評価する上で重要となる、火災による鋼材の受熱温度および高温履歴を受けたコンクリートと鋼材の付着強度特性を耐火試験と付着試験により検討した。

2. 供試体概要

図-1に供試体の概要を示す。供試体断面は、7本よりPC鋼より線の径($\phi 12.7$, $\phi 15.2$)とかぶり(30mm, 50mm, 70mm)の組合せにより決定し、長さは全て100mmの一定とした。なお、PC鋼より線の付着長は $4\phi^{1)}$ とし、コンクリートの設計強度は 50N/mm^2 とした。また、供試体の数は各要因9体とした。

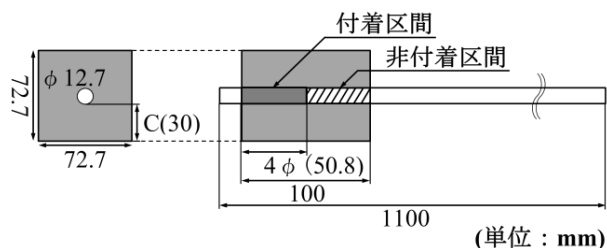


図-1 供試体概要($\phi 12.7\text{mm}$, かぶり 30mm の場合)

表-1 加熱後のコンクリート諸強度

供試体名	圧縮強度 (N/mm^2)	曲げ強度 (N/mm^2)	引張強度 (N/mm^2)	ヤング係数 (kN/mm^2)
Nシリーズ	34.5	3.89	3.06	29.3
HC900シリーズ	11.7	0.45	1.19	1.01
HC1100シリーズ	2.37	0.09	0.81	—*1)

(注) 材料試験用供試体は炉内に入れ加熱したため、全方向から加熱を受けている

*1) 供試体表面の損傷により、ひずみ計測機器取付不能

表-2 各かぶり位置での鋼材の最高受熱温度

供試体名	最高受熱温度 ($^{\circ}\text{C}$)		
	かぶり 30mm	かぶり 50mm	かぶり 70mm
HC900- $\phi 12.7$	353 (34)	162 (61)	113 (96)
HC900- $\phi 15.2$	245 (43)	—*1)	103 (126)
HC1100- $\phi 12.7$	350 (43)	197 (75)	152 (95)
HC1100- $\phi 15.2$	312 (51)	—*1)	131 (129)

(注) 括弧内は最高受熱温度に達する時間 (分) を表す

*1) 熱電対破損のため、データなし

3. 耐火試験

耐火試験でのコンクリートの加熱温度は、タンクローリーの炎上を想定し、最高温度に 900°C および 1100°C を選定し試験を行った。火災曲線として、最高温度 1100°C の曲線は以下に示すEuro Code²⁾規定の油火災を対象としたHC曲線を使用し、 900°C の曲線はHC曲線と近似させた曲線(係数1080を880に変更)を使用した。加熱時間はいずれも30分間とした。

$$\theta = 20 + 1080(1 - 0.325e^{-0.167t} - 0.675e^{-2.5t})$$

ここに、 θ : 温度($^{\circ}\text{C}$), t : 時間(min)

なお、実際の火災を想定し、付着強度試験供試体は底面からのみの加熱としている。また、比較のために耐火試験を実施しない供試体を作製している(Nシリーズ)。

加熱後のコンクリート諸強度の試験結果を表-1に示す。これにより、加熱すると諸強度が低下することに加え、受熱温度が高いと小さな温度差でも強度低下率に大きく差が出ることがわかる。これは高温履歴を受けることで、内部の温度上昇に伴い水蒸気圧が上昇し、コンクリート表面および内部に微細なひび割れが発生したことによるものと考えられる。また、圧縮および引張強度と比較して、曲げ強度やヤング係数が著しく低下した。次に、各供試体内の鋼材位置での最高受熱温度を表-2に、時間の経過に伴う炉内温度と鋼材の受熱温度の推移の一例を図-2に示す。要因によって最高受熱温度には大きく差が生じ、かぶりが小さいほど、また、加熱温度が高いほど、鋼材位

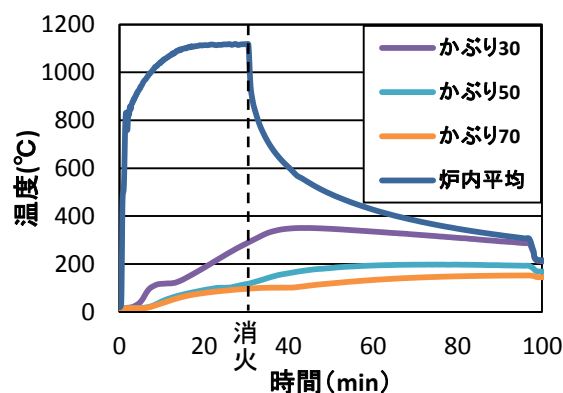


図-2 時間の経過に伴う炉内温度と鋼材の受熱温度の推移(HC1100, $\phi 12.7\text{mm}$)

キーワード: PC鋼材, 付着, 火災

連絡先: 〒535-8585 大阪市旭区大宮 5-16-1 大阪工業大学都市デザイン工学科 TEL06-6954-4109

置の最高受熱温度は高くなった。さらに、炉内温度の急激な上昇に対して鋼材の受熱温度が緩やかに上昇したことや、消火後に鋼材が最高受熱温度に達していることから、コンクリートを介して熱が伝わるには十分な時間を要することがわかる。

4. 付着強度試験

付着強度試験は、土木学会規準「引き抜き試験による鉄筋とコンクリートとの付着強度試験方法」¹⁾に準じて行った。

試験により得られた各供試体の最大付着応力度（平均値）を表-3に、また、最大付着応力度-かぶり関係の一例を図-3に示す。より高い温度履歴を受けた供試体ほど、最大付着応力度が低下する傾向が確認できた。これは上述したように、高温履歴によりコンクリート表面および内部に微細なひび割れが発生し、付着力が低下したものと考えられる。また、用いたPC鋼より線の径が大きい供試体の方が高い値を示す傾向が見られた。これは、周長が大きいことにより引き抜かれる際の摩擦が大きくなること、PC鋼より線の側線間のコンクリートの体積が大きくなるため、せん断抵抗が増加することによるものと考えられる。さらに、かぶりが大きいほど最大付着応力度は大きくなった。これはかぶりが大きくなるにつれて鋼材の受熱温度が低下し、鋼材近傍のコンクリートの損傷が少なくなり、せん断抵抗が大きくなったものと考えられる。

最大付着応力度から算出した各供試体の必要定着長の一例を図-4に示す。加熱温度が高いほどグラフの傾きが大きくなる傾向から、高温履歴を受ける場合、かぶりを大きくすることが必要な定着長を小さくすることに有効であることがわかる。また、PC鋼より線の定着長はコンクリート標準示方書に 65ϕ ³⁾と規定されているが、本実験の条件の範囲内では高温履歴を受けたほぼすべての供試体でこれを上回る定着長が必要となる結果が得られた。

付着応力度-自由端変位関係の一例を図-5に示す。高温履歴を受けた供試体は初期剛性が著しく低下した。これは高温履歴によるひび割れの発生に加え、コンクリートとPC鋼より線間の粘着力が失われたためと考えられる。また、温度差による初期剛性の違いは見られなかったことから、ある一定の温度に達すると粘着成分が失われると考えられる。

5. 結論

本研究結果より、高温での加熱によりコンクリートとPC鋼より線の付着強度は大きく低下し、両者間の粘着成分が失われること、かぶりを大きくすると加熱による鋼材の受熱温度は低くなり、最大付着応力度は大きくなることが確認された。また、より高い温度履歴を受けることに対して、かぶりを大きくすることが必要な定着長を小さくすることに有効であるという結果が得られた。

【参考文献】

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書「規準編」，2007
- 2) Eurocode1：Actions on structures - Part 1 - 2：General actions - Actions on structures exposed to fire
- 3) 土木学会：コンクリート標準示方書「設計編」，2007

表-3 最大付着応力度

供試体	平均最大付着応力度 (N/mm ²)
N- ϕ 12.7-30	6.15
N- ϕ 12.7-50	7.52
N- ϕ 12.7-70	10.14
N- ϕ 15.2-30	5.59
N- ϕ 15.2-50	13.49
N- ϕ 15.2-70	15.89
HC900- ϕ 12.7-30	2.70
HC900- ϕ 12.7-50	4.79
HC900- ϕ 12.7-70	4.06
HC900- ϕ 15.2-30	2.28
HC900- ϕ 15.2-50	5.26
HC900- ϕ 15.2-70	6.98
HC1100- ϕ 12.7-30	1.77
HC1100- ϕ 12.7-50	2.71
HC1100- ϕ 12.7-70	3.03
HC1100- ϕ 15.2-30	1.70
HC1100- ϕ 15.2-50	2.58
HC1100- ϕ 15.2-70	4.96

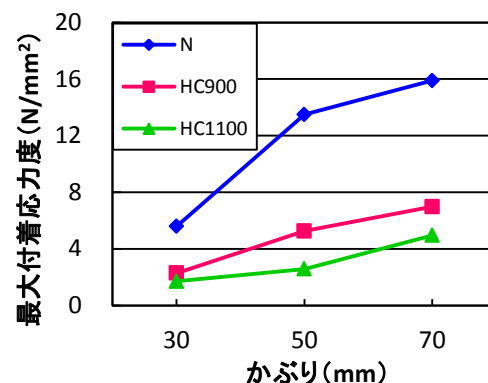


図-3 最大付着応力度-かぶり関係 (φ15.2mm)

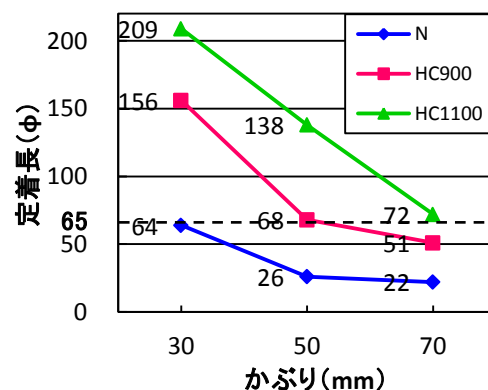


図-4 定着長算出結果 (φ15.2mm)

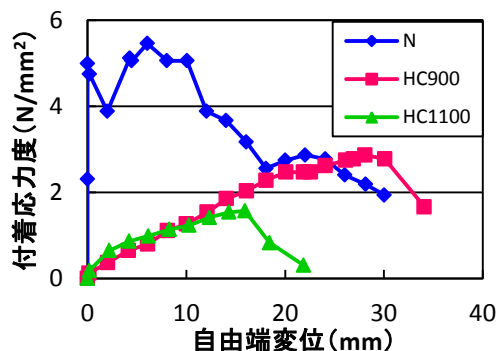


図-5 付着応力度-自由端変位関係 (φ15.2mm, かぶり 30mm)