

火災による高温履歴を受けたプレテンション PC はり部材の耐荷特性に関する研究

大阪工業大学大学院 学生員 ○横山 直之 (株)ピーエス三菱 正会員 菊本 幸司
大阪工業大学工学部 正会員 井上 晋 大阪工業大学工学部 正会員 大山 理

1. はじめに

近年、コンクリート橋が火災を受ける事例が多数報告されている。プレテンション PC 橋が火災を受けた場合、残存プレストレスおよび残存耐荷力等の確立された評価手法がないことから、被災後の供用性の判定は難しいのが現状である。そこで、本研究では、高温履歴を受けたプレテンション PC はり部材の PC 鋼材位置の受熱温度、残存プレストレスおよび残存耐荷特性の把握を目的とし、加熱試験ならびに載荷試験を実施した。

2. 供試体概要

供試体（全長 3500mm）の断面図を図-1 に示す。PC 鋼材にはφ12.7 の 7 本より PC 鋼より線を使用し、コンクリートの設計基準強度は 40N/mm²（W/C=49.7%）とした。また、プレストレス導入直後のコンクリート応力は全断面一様で 5.82N/mm²とした。かぶりの違いが耐火性に及ぼす影響を検討するため、3 種類のかぶり（30, 50, 70mm）を設定し、各 2 体ずつ、計 6 体の供試体（試験時の材齢は約 1 年）を作製した。なお、比較検討用の加熱試験を実施しない供試体（N シリーズ）については既往の実験結果¹⁾を用い、いずれの供試体も曲げ破壊先行型として

3. 加熱試験

3.1 試験概要

加熱試験でのコンクリートの加熱温度は、タンクローリー車の炎上を想定し、最高温度を 1100℃および 900℃に設定した。最高温度 1100℃の火災曲線（HC1100）は、以下に示す Eurocode 規定の油火災を対象とした HC 曲線²⁾である式（1）を使用し、900℃の曲線（HC900）は HC 曲線の近似曲線（係数 1080 を 880 に変更）を使用した。加熱時間は双方とも 30 分間とした。

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

ここに、θ：温度（℃）、t：時間（min）

桁下からの受熱を想定し、供試体両端 250mm を除く底面のみに加熱した。熱電対を設置し、炉内温度が常温となるまで、炉内温度および PC 鋼材位置（加熱面から 30, 50, 70mm）の受熱温度を計測した。また、高温履歴によるプレストレスの変化を検討するため、PC 鋼材位置に応力計を埋め込み、ひずみの計測を行った。なお、含水率は平均で約 5.8%であった。

3.2 試験結果

加熱後のコンクリート諸強度を表-1 に示す。表から、加熱により諸強度が著しく低下することがわかる。これは加熱による内部温度上昇に伴い、水蒸気圧が上昇し、コンクリートにひび割れが発生したことが原因と考えられる。この結果から、高温履歴を受けると、加熱面付近のコンクリートの曲げに対する抵抗性の大部分が失われ、その損失の程度は、より高い温度履歴を受ける程、大きくなると推察される。

また、図-2 に示すように、高温履歴を受けた供試体は、加熱面全体にひび割れが発生し、直接加熱を受けてい

キーワード：プレテンション PC はり部材、高温履歴、付着、プレストレス

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

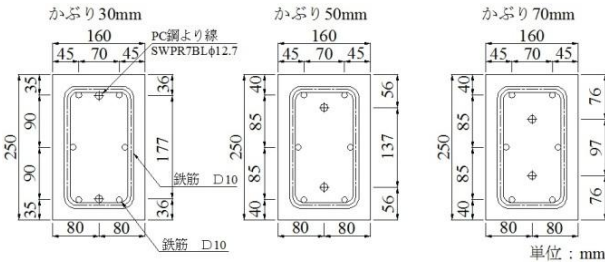
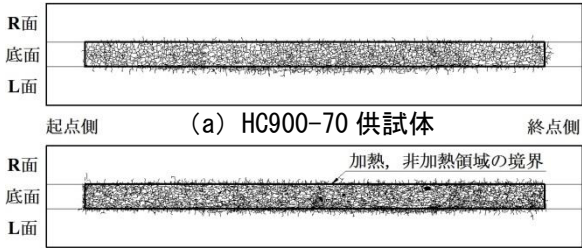


図-1 供試体断面図

表-1 加熱後のコンクリート諸強度

シリーズ名	圧縮強度 (N/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
Nシリーズ	45.6	7.51	34.1
HC900シリーズ	14.3 (31.4)	0.69 (9.2)	1.20 (3.5)
HC1100シリーズ	8.42 (18.5)	0.27 (3.6)	0.36 (1.1)

注1) 材料試験用供試体は炉内に入れたため、全方向から加熱を受けている。
注2) 括弧内はNシリーズに対する残存率（%）を表す。



(b) HC1100-70 供試体

図-2 加熱後の供試体のひび割れ状況の一例

ない側面にまで及んでいることがわかる。どのかぶりの供試体も同様の劣化状況であったが、より高い温度履歴を受けるほど、加熱面に細かくひび割れが発生し、上面側へより伸展することが確認された。特に、HC1100-70 供試体に関して、側面に底面側から約 15～30mm 伸展したひび割れが数多く確認され、長いものでは 50mm を超えるものも存在したことから、加熱面から約 30mm の範囲では、コンクリートは著しく損傷しているものと推察される。

次に、時間の経過に伴う炉内およびコンクリート内部の温度の推移の一例を図-3 に示す。炉内温度の急激な上昇に対し、供試体内部の受熱温度は緩やかに上昇していることから、コンクリートを介して熱が伝わるには時間を要することがわかる。また、30mm と 50mm 位置では受熱温度に大きな差が確認されることから、高温履歴を受けることによる鋼材の物性値の低下を考慮すると、両かぶりの間には耐火性に大きな差があると言える。

表-2 に、供試体内部の最高受熱温度および加熱試験による下縁側 PC 鋼材のプレストレス減少率を示す。より高い温度履歴を受ける程、プレストレスが大きく減少した。これは、高温履歴により付着力が減少したためと考えられ、特に、試験後、PC 鋼より線が供試体内部に引き込まれていたことから、粘着成分に関してはほぼ失われたものと推察される。

4. 載荷試験

載荷試験は、曲げスパン 600mm、せん断スパン 1200mm とした対称 2 点集中荷重方式とし、破壊に至るまで単調漸増型載荷を行った。いずれの供試体も材料試験と併せて加熱試験後 14 日以内に試験を行った。

全ての供試体が曲げ引張破壊に至った。表-3 に示すように、耐力力残存率は両 HC シリーズとも、かぶり 30mm で 86%、50mm で 90%程度となり、70mm に関しては、耐力の低下はほとんど見られなかった。

試験から得られた荷重-中央変位関係の一例を図-4 に示す。図より、高温履歴を受けることで初期剛性が大きく低下することがわかる。この傾向はかぶりが小さいほど顕著であった。かぶり 70mm に関しても、最大耐力値の低下は見られないものの、初期剛性の低下は確認された。HC900 と 1100 では、その挙動にあまり差異は見られなかった。

5. まとめ

プレテンション PC はり部材が高温履歴を受けた場合、PC 鋼材付近のコンクリートが損傷し、若干のプレストレス低下が懸念される。しかし、加熱冷却後の PC 鋼より線の物性値が低下しない範囲の受熱である場合、かぶりを確保することで、初期剛性は低下するものの耐荷力の低下を防ぐことができると考えられる。

参考文献

1) 稲増克行, 井上晋, 三方康弘: 火災による高温履歴が PC 鋼より線の付着特性およびプレテンション PC はり部材の耐荷特性に及ぼす影響, 平成 23 年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集, V-18, 2011. 6

2) Eurocode1: Actions on structures-Part1-2: Generalactions-Actionson structures exposed to Fire, pp. 24-25, 2002. 11

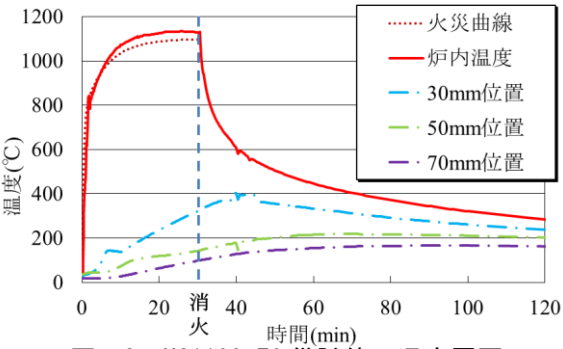


図-3 HC1100-70 供試体 温度履歴

表-2 最高受熱温度およびプレストレス減少率

供試体名	最高受熱温度 (°C)			プレストレス減少率 (%)
	30mm位置	50mm位置	70mm位置	
HC900-30	239 (44)	—	—	— ^{*)}
HC900-50	280 (38)	183 (56)	—	2.7
HC900-70	335 (39)	182 (74)	138 (87)	5.7
HC1100-30	300 (41)	—	—	— ^{*)}
HC1100-50	326 (41)	196 (68)	—	7.5
HC1100-70	406 (40)	219 (69)	166 (92)	8.8

(注) 括弧内は最高受熱温度に達した時間 (分) を表す。
*) 応力計破損のため、算出不能。

表-3 曲げ耐力計算値および最大荷重実測値

供試体名	曲げ耐力計算値 P_{mu} (kN)	最大荷重実測値 P_{max} (kN)	Nシリーズに対する耐力比	最大荷重実測値比 P_{max}/P_{mu}
N-30	76.8	90.3	—	1.18
N-50	68.9	87.6	—	1.27
N-70	62.9	81.2	—	1.29
HC900-30	76.8 ^{*)}	79.0	0.87	1.03
HC900-50	68.9 ^{*)}	79.0	0.90	1.15
HC900-70	62.9 ^{*)}	82.9	1.02	1.32
HC1100-30	76.8 ^{*)}	76.6	0.85	1.00
HC1100-50	68.9 ^{*)}	78.0	0.89	1.13
HC1100-70	62.9 ^{*)}	78.7	0.97	1.25

*) 曲げ圧縮域のコンクリートは高温劣化していないため、計算にはNシリーズのコンクリート強度を用いている。

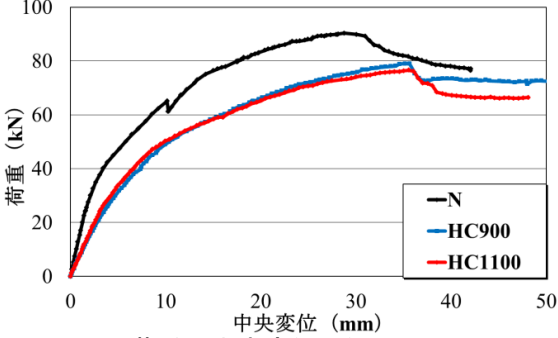


図-4 荷重-中央変位関係 (かぶり 30)