

(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

大阪工業大学大学院 学生員 横山 直之
大阪工業大学工学部 正会員 大山 理

1. はじめに

コンクリート橋が火災を受けた場合、特に、プレテンション PC はり部材が火災による熱の影響を受けた場合の被災後の供用性判定に際しては、残存耐力や残存プレストレスを適切に評価することが必要となる。

本研究では、高温履歴を受けたプレテンション PC はり部材の残存プレストレスおよび耐力の把握を目的として、加熱試験ならびに載荷試験を実施し、鋼材加熱温度の実測値と解析値との比較を行うとともに、残存耐力特性について検討を行った。

2. 供試体概要

供試体には図-1 に示すように、幅 160mm、高さ 250mm、全長 3500mm のプレテンション PC はり部材を用いた。PC 鋼材には 7 本より PC 鋼より線 (SWPR7BL、鋼材径：φ12.7) を用い、軸方向鉄筋およびせん断補強筋には鉄筋 D10 (SD295A) を使用した。実験要因はかぶりの大きさ (30, 50, 70mm) とし、加熱試験方法 (HC900, HC1100 シリーズ) ごとに計 6 体を作製した。また、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⁾を用いた。なお、コンクリートの設計基準強度は 40N/mm²とし、打設後、蒸気養生を 1 日行った。

3. 加熱試験

3.1 試験概要

加熱試験は、タンクローリーの炎上を想定し、最高温度を 900℃ および 1100℃ に設定して実施した。最高温度 1100℃ の火災曲線 (HC1100) は Eurocode で与えられている HC 曲線²⁾の式 (1) を使用し、900℃ の曲線 (HC900) は HC 曲線の係数 1080 を 880 に変更して使用した。また、加熱時間はいずれも 30 分間とした。

$$\theta = 20 + 1080(1 - 0.325e^{-0.167t} - 0.675e^{-2.5t}) \quad (1) \quad \text{ここに、}\theta: \text{温度 (}^\circ\text{C)}, t: \text{時間 (min)}$$

試験では桁下からの火災を想定し、供試体の両端 250mm を除く底面のみ加熱した。また、炉内温度が常温となるまで、熱電対により一定の間隔で各かぶり位置のコンクリート内部および炉内の温度を測定した。供試体内部には熱電対に加え、高温履歴によるプレストレス導入量の変化を検討するため応力計を設置し、ひずみの計測を行った。なお、試験実施時の材齢は約 1 年であり含水率は約 5.8%である。

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。同表より、900～1100℃ の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。

高温履歴により供試体に生じたひび割れ状況展開図の一例を図-2 に示す。同図より、高温履歴を受けた下面全

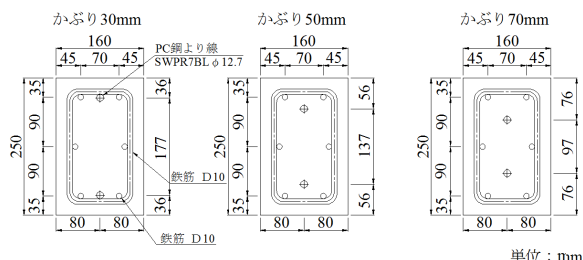


図-1 供試体断面図

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)		ヤング係数 (kN/mm ²)	
	平均		平均		平均	
N-30	53.9	45.6	7.32 ^{*1)}	7.51	35.3	34.1
N-50	42.5		7.10 ^{*1)}		31.8	
N-70	40.5		8.12 ^{*1)}		35.1	
HC900-30	14.4	14.3	0.89	0.69	1.01	1.20
HC900-50	13.1		0.90		1.13	
HC900-70	15.4		0.28		1.46	
HC1100-30	7.37	8.42	0.26	0.27	0.34	0.36
HC1100-50	8.22		0.17		0.30	
HC1100-70	9.67		0.39		0.44	

(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) 供試体を用意していなかったため、既往研究¹⁾のデータを用いる。

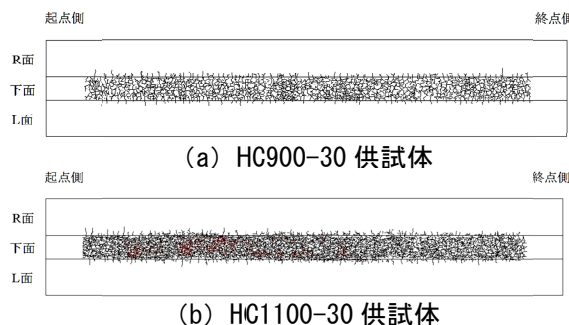


図-2 供試体のひび割れ状況の一例

体にひび割れが発生し、側面にまで及んでいることがわかる。
各かぶりとともに同様の劣化状況であったが、特に、HC1100 シリーズでは一部のコンクリートの剥離が見られた。

つぎに、供試体内部の最高受熱温度およびプレストレス導入量について導入直後の残存率を 100%とした場合の加熱試験による減少率を表-2 に示す。同表より、かぶりが小さいほど、また、加熱温度が高いほど鋼材位置の最高受熱温度は高くなる傾向が見られた。また、試験後、プレストレスの減少に加え、定着部の PC 鋼より線が内部に引き込まれたことから、高温履歴により供試体全長において PC 鋼より線とコンクリートの付着抵抗のうちの粘着成分が失われたと考えられる。

3.3 熱伝導解析

加熱試験における受熱温度の測定結果および解析結果の一例を図-3 に示す。解析は、Eurocode による火炎の熱伝達係数²⁾ および熱物性値^{3), 4)} を用い、潜熱の影響を考慮した 1 次元差分モデルを用いて実施した。解析値において潜熱の影響は見られなかったが、温度上昇の勾配は実測値と同様の挙動を示した。最高受熱温度およびそれに達する時間は実測値と近い結果となり、解析は比較的精度の良い結果を与えたと考えられる。

4. 載荷試験結果

載荷試験は、せん断スパン 1200mm とした対称 2 点集中荷重方式 ($a/d=5.6, 6.2, 6.9$ (かぶり 30, 50, 70 mm)) により、破壊に至るまで単調漸増型載荷とした。加熱試験を行った供試体の試験は材料試験も併せて加熱試験後 14 日以内に実施した。

破壊形式はいずれの供試体も曲げ引張破壊となった。表-3 にその最大荷重実測値を示す。同表より、耐荷力残存率は両 HC シリーズのかぶり 30mm で約 85%, 50mm で約 90%, 70mm では大きな耐力低下は見られないという結果が得られた。

さらに、試験から得られた荷重-中央変位関係の一例としてかぶり 30mm の供試体を図-4 に示す。同図より、HC シリーズの初期剛性は N シリーズと比較して小さくなり、その挙動はかぶりがより小さいほど顕著となった。

5. まとめ

かぶりを 70mm 確保することで、1100℃、30 分の高温受熱後においてもプレテンション PC 部材の耐荷力はほとんど低下しないことが確認できた。今後の課題としては、火害後の残存プレストレスの精度良い推定および PC 鋼材定着部の劣化影響を把握することである。

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プレテンション PC はり部材の残存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) Eurocode 1: Actions on structures-Part 1-2: General actions-Actions on structures exposed to Fire, pp. 24-25, 2002. 11.
- 3) Eurocode 2 – Design of concrete structures Part 1.2: General rules-Structural fire design, 2002. 10.
- 4) Eurocode 3 – Design of steel structures Part 1.2: General rules-Structural fire design, 2003. 4.

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 (%)
	かぶり 30mm	かぶり 50mm	かぶり 70mm	
HC900-30 ^{*1)}	253(38)	—	—	— ^{*2)}
HC900-30	239(44)	—	—	— ^{*2)}
HC900-50	280(37)	184(54)	—	2.5
HC900-70	335(38)	182(73)	138(83)	5.2
HC1100-30	300(40)	—	—	— ^{*2)}
HC1100-50	326(40)	196(66)	—	6.8
HC1100-70	406(39)	219(68)	166(88)	8.0

(注) 括弧内は最高受熱温度に達する時間 (分) を表す。
*1) 加熱試験のみ実施した供試体。
*2) 応力計破損のため、算出不能。

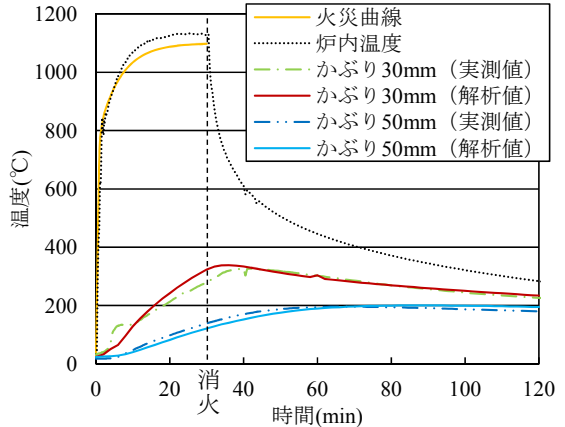


図-3 HC1100-50 供試体の温度履歴

表-3 最大荷重実測値比

供試体名	最大荷重実測値	曲げ耐力残存比 (対応する N シリーズ P_{max}/P_{mu})	最大荷重実測値比 P_{max}/P_{mu}
	P_{max} (kN)	$P_{max}/1.00$	
N-30	90.34 ^{*1)}	—	1.18
N-50	87.55 ^{*1)}	—	1.27
N-70	81.17 ^{*1)}	—	1.29
HC900-30	78.99	0.87	1.03
HC900-50	78.99	0.90	1.15
HC900-70	82.91	1.02	1.32
HC1100-30	76.55	0.85	1.00
HC1100-50	78.01	0.89	1.13
HC1100-70	78.67	0.97	1.25

*1) 既往研究¹⁾ のデータ。

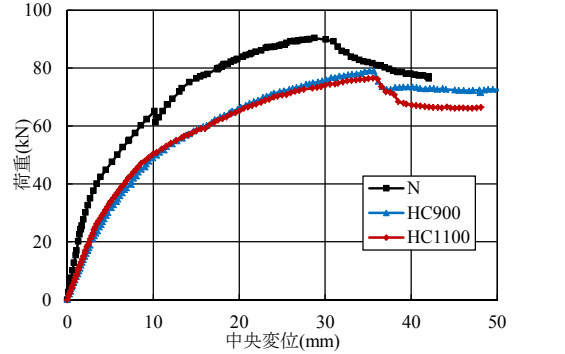


図-4 荷重-中央変位関係 (かぶり 30)