

大阪工業大学大学院
大阪工業大学工学部

学生会員 ○横山 直之
正 会 員 三方 康弘

大阪工業大学工学部
大阪工業大学工学部

正 会 員 井上 晋
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いくつか報告されているが、プレテンション PC 橋が火災を受けた場合、付着強度の低下と残存プレストレスおよび残存耐荷力の関係が必ずしも明らかにされていないことから、迅速かつ適切な事後対策を実施できる状況にあるとは言い難い。そこで、本研究では、高温履歴を受けたプレテンション PC 梁部材の 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（160×250×3500mm）の諸元を図-1 に示す。かぶりの違いが PC 鋼材の受熱温度に及ぼす影響を検討するため、3 種類のかぶり（30, 50, 70mm）を設定した。PC 鋼材にはφ12.7 の 7 本より PC 鋼より線（SWPR7BL）を使用し、コンクリートの設計基準強度は 40N/mm²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 5.8N/mm²とした。かぶりの条件に加えて、加熱時間、加熱温度および加熱範囲を変更させ、計 14 ケース（表-1 参照）の実験結果の比較検討を行った。なお、加熱試験を実施しない供試

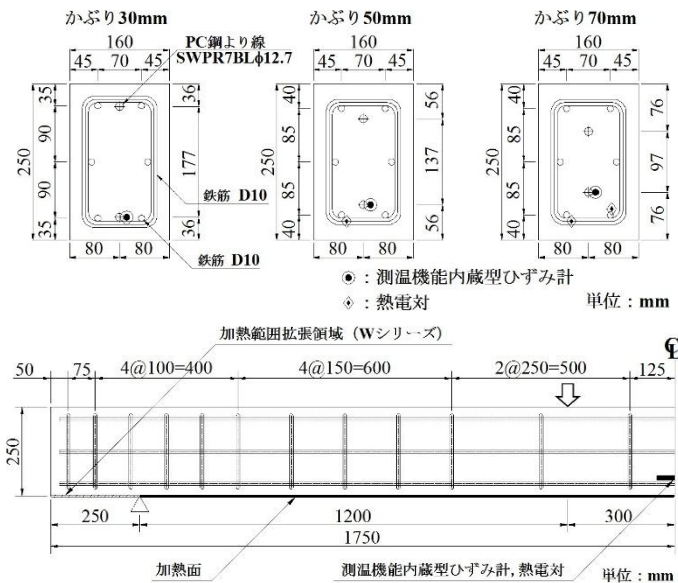


図-1 供試体諸元

表-1 供試体一覧

供試体名	かぶり (mm)	加熱 時間 (min)	加熱 温度 (℃)	加熱 範囲	試験時 の材齢	加熱から 載荷まで の期間(日)
N-30 ⁽¹⁾	30	—	—	—	約1年	—
N-50 ⁽¹⁾	50					
N-70 ⁽¹⁾	70					
30HC900-30	30	30	900	両端 250mmを 除く底面 (底面積 の約 86%)	約1年	8
30HC900-50	50					15
30HC900-70	70					14
30HC1100-30	30	30	1100		約1年	15
30HC1100-50	50					15
30HC1100-70	70					14
60HC1100-50	50	60	1100	約2年	14	
60HC1100-70	70				14	
30HC1100-30-W	30	30	1100	底面 全面	約2年	15
30HC1100-50-W	50					15
30HC1100-70-W	70					15

*1) 既往研究データ

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いる。

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⁾（式（1））を使用し、900℃の火災曲線は HC 曲線の近似曲線（係数 1080 を 880 に変更）を使用した。

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

ここに、 θ : 温度 (℃), t : 時間 (min)

桁下からの受熱を想定し、側面および端面は加熱を受けないように供試体の底面のみを加熱した。熱電対および測温機能内蔵型ひずみ計を供試体中央部に埋め込み、炉内が常温となるまで、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、また、高温履歴によるプレストレス力の低下を検討するため、供試体端部における下縁側 PC 鋼より線、同高さのコンクリートの軸方向変位を計測した。なお、試験時の供試体の含水率は約 2.5%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-2 に示す。表から、加熱により諸強度が大きく低下することがわかる。こ

表-2 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)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
Nシリーズ	46.6	7.51	2.73	33.4
30HC900シリーズ	14.3	0.69	— ^{*1)}	1.20
30HC1100シリーズ	8.42	0.27	— ^{*1)}	0.36
30HC1100-Wシリーズ	9.80	0.16	0.75	0.42
60HC1100シリーズ	1.36	— ^{*2)}	0.11	0.03

*1) 供試体を用意していなかったため、データなし。

*2) 損傷が著しく、載荷と同時に破壊に至ったため、計測不能。

注) 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。

これは加熱による温度上昇に伴い、コンクリート内部の水蒸気圧が上昇し、内部組織が破壊されると同時にひび割れが多数発生したためと推察される。加熱温度が高いほど、また、加熱時間が長いほど低下の割合は大きく、特に曲げ強度、ヤング係数が著しく低下した。

図-2 に時間の経過に伴う炉内および供試体内部の温度の推移の一例を示す。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り、かぶりを大きくすることで、PC 鋼材位置の受熱温度を抑えることができると考えられる。

高温履歴を受けたことでプレストレス力は減少し(表-3 参照)、特に端部定着部が受熱した場合はその減少率が非常に大きくなった。また、加熱時間が長いほど大きく減少する傾向も確認された。

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、静的載荷を行った。

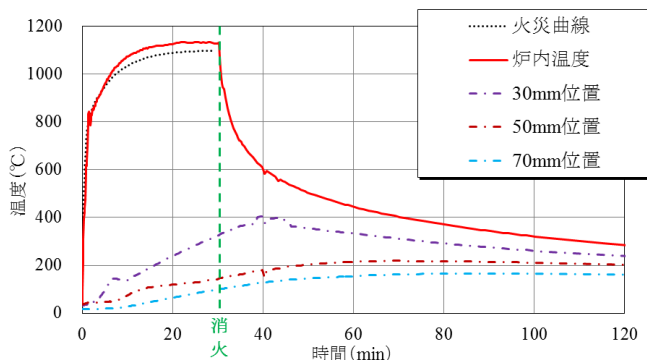


図-2 30HC1100-70 供試体 温度履歴

表-3 最高受熱温度およびプレストレス力減少率

供試体名	最高受熱温度(°C)			プレストレス力 減少率(%)
	30mm位置	50mm位置	70mm位置	
30HC900-30	239 (44)	—	—	5.6
30HC900-50	280 (38)	183 (56)	—	2.9
30HC900-70	335 (38)	182 (74)	138 (87)	2.9
30HC1100-30	300 (40)	—	—	3.5
30HC1100-50	326 (41)	196 (67)	—	— ^{*2)}
30HC1100-70	406 (39)	219 (68)	166 (91)	— ^{*2)}
60HC1100-50	566 (63)	— ^{*1)}	—	25.2
60HC1100-70	— ^{*1)}	— ^{*1)}	— ^{*1)}	18.5
30HC1100-30-W	268 (41)	—	—	60.8
30HC1100-50-W	303 (45)	200 (74)	—	58.6
30HC1100-70-W	384 (35)	199 (83)	185 (111)	29.5

*1) 熱電対破損のためデータなし。

*2) 計測不良のため除外 (30HC1100-30 供試体も計測不良の可能性あり)。

注) 括弧内は最高受熱温度に達した時間(分)を表す。

表-4 最大荷重実測値

供試体名	最大 荷重 (kN)	Nシリーズ に対する 耐力比	供試体名	最大 荷重 (kN)	Nシリーズ に対する 耐力比
N-30	90.3	—	30HC1100-30	76.6	0.85
N-50	87.6	—	30HC1100-50	78.0	0.89
N-70	81.2	—	30HC1100-70	78.7	0.97
30HC900-30	79.0	0.87	30HC1100-30-W	57.1	0.63
30HC900-50	79.0	0.90	30HC1100-50-W	61.2	0.70
30HC900-70	82.9	1.02	30HC1100-70-W	76.4	0.94
60HC1100-50	62.7	0.72			
60HC1100-70	73.8	0.91			

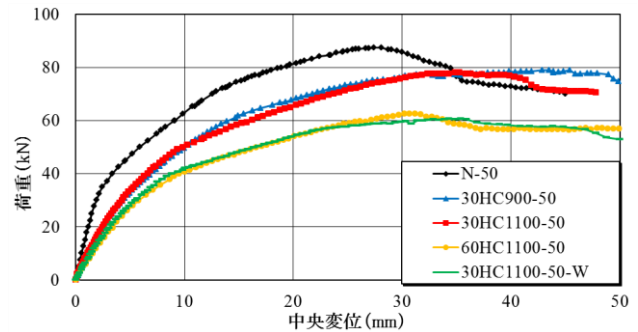


図-3 荷重-中央変位関係 (かぶり 50mm シリーズ)

試験により、全ての供試体が曲げ破壊に至った。最大荷重実測値を表-4 に、荷重-中央変位関係の一例を図-3 に示す。図より、高温履歴を受けた供試体は初期剛性、最大耐力ともに大きく低下することがわかる。特に加熱時間の長い供試体、端部定着部が受熱した供試体は耐力の低下が大きくなり、加熱時間、端部定着部の受熱の有無が残存耐力に与える影響の大きさが伺える。しかし、かぶり 70mm シリーズは初期剛性が低下するものの、加熱時間が長い場合、端部定着部が受熱した場合でも、最大耐力の低下は比較的小さかった。なお、加熱温度の違いによる差異はあまり見られなかった。

5. まとめ

プレテンション PC 梁部材が高温履歴を受けると、PC 鋼材付近のコンクリートが損傷し、付着力の低下およびそれに伴うプレストレス力の低下により、耐力が低下する。この傾向は、端部定着部が受熱した場合、特に顕著となる。しかし、かぶりを確保することで、初期剛性は低下するものの耐力の低下を抑制する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