

第V部門

火災による損傷を受けたプレテンション PC はり部材の
耐荷特性とその補強効果に関する研究

大阪工業大学工学部 学生員 ○田渕 陽佑

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 三方 康弘

1. 研究背景および目的

プレテンション方式の PC 構造物の耐火特性に関する研究は少なく、特に残存プレストレスや残存耐荷力の評価に関するデータは十分とは言えない。著者らは、火災による高温履歴を受けた場合の PC 鋼材とコンクリートの付着特性およびプレテンション PC はり部材の残存耐荷特性について検討を行ってきている¹⁾。その結果、供試体端部を含め 1100℃で加熱された際の残存耐荷力やプレストレスが著しく低下すること、また、かぶりがない場合については耐力回復のために何らかの補強対策を講じる必要があることを指摘した。そこで、本研究では、かぶり 30mm の供試体を加熱した後、静的耐力が健全な供試体と同程度に回復するように補強を行い、静的載荷試験や疲労試験によって、その効果を検討した。

2. 供試体概要

実験に用いた PC はり供試体の概要を図-1 に示す。PC 鋼材にはφ12.7の PC 鋼より線(SWPR7BN)を使用し、コンクリートの設計基準強度は $f_{ck}=40\text{N/mm}^2$ とした。なお、プレストレス導入時のコンクリートの応力度は全断面一様で 6.29N/mm^2 としている。供試体の名称と実験要因は以下に示す通りである。

例) 30EX700-30W-ST1

①高温履歴 (N: 無,

① ② ③④⑤

30EX700: 加熱時間 30 分, 最高温度 700℃

30HC1100: 加熱時間 30 分, 最高温度 1100℃)

②かぶり (30mm)

③加熱範囲 (W: 底面全体)

④補強材料 (ST: 鋼板, CF: 炭素繊維プレート)

⑤実施試験の種類 (1: 静的載荷試験, 2: 疲労載荷試験)

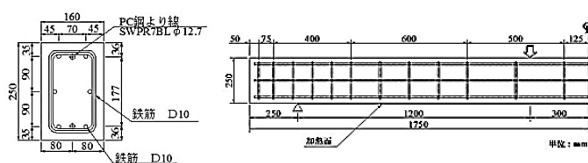


図-1 供試体概要

3. 加熱試験結果

3-1 加熱試験概要

加熱試験は以下の式(1),(2)に示す. Eurocode²⁾の外部火災曲線 (EX 曲線), 油火災曲線(HC 曲線)を用いて行った. なお, 加熱時間は30 分間とし, 底面全体からのみの加熱を行った.

$$\theta_{700}=20+660 \left(1-0.687e^{-0.32t}-0.313e^{-3.8t}\right) \quad \text{式(1)}$$

$$\theta_{1100}=20+1080 \left(1-0.325e^{-0.167t}-0.675e^{-2.5t}\right) \quad \text{式(2)}$$

ここに, θ : 温度 (℃), t : 時間 (min)

3-2 コンクリート諸強度

表-1 に材料試験により得られた加熱後のコンクリートの諸強度を示す. 加熱により各強度は大きく低下した, 特に, 曲げ強度, ヤング係数の低下が顕著であった.

表-1 コンクリート諸強度

	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	54.5	7.5	34.3
30EX700-Wシリーズ	32.9	0.64	10.7
30HC1100-Wシリーズ	6.60	0.03	1.26

3-3 PC はり部材の温度履歴と最高受熱温度

加熱試験においては, 炉内温度が点火後に急激に上昇したことに対し, 供試体内部の温度は徐々に上昇し, 消火後に最高受熱温度を記録した. かぶり 30mm 位置でのコンクリート内部温度は 700℃加熱で 209℃, 1100℃加熱で 366℃となり, およそ 1.8 倍の差が生じる結果となった.

3-4 プレストレス減少率

加熱温度を高くすることによってプレストレスの減少率は大きくなった. 加熱温度 700℃で 52%, 1100℃で 78%の減少が見られた.

4. PC はり部材の静的試験と疲労試験

4-1 静的試験および疲労試験概要

静的載荷試験はせん断スパン 1200mm とした対称 2 点集中荷重方式とし, 破壊に至るまで単調漸増型載荷を実施した. 疲労試験も静的載荷と同様に, せん断スパン 1200mm とした対称 2 点集中荷重方式とし, 上限荷重を健全な PC はりのディコンプレッションモーメントに相当する 18kN と,

曲げひび割れ発生荷重に相当する 30kN の 2 種類を設定し、各 10 万回の繰返し荷重を与えた。また、下限荷重はいずれも 5kN とした。

4-2 補強材料の選定と補強量の算出

健全な供試体からの耐荷力の減少量を算出し、その減少量を鋼板(SS400)で補うとして、その必要断面積(厚さ 2.3mm, 幅 140mm)を求めた。また炭素繊維プレート($E=450\text{kN/mm}^2$)の補強量は鋼板で補強した場合と軸方向剛性 EA が等しくなるようにその断面積(厚さ 2mm, 幅 100mm)を求めた。

4-3 静的試験の試験結果

表 - 2 に静的載荷試験結果の表を示す。図 - 2 に、荷重 - 中央変位関係の一例を示す。補強した供試体において、加熱温度の変化によって僅かに初期剛性の回復量に差が生じた。加熱温度 700℃ の時の方が 1100℃ の時よりも初期剛性の回復量が僅かに上回った。これは、加熱温度の変化によって、補強材の接着面の損傷具合が 1100℃ の方が影響しているものだと考えられる。また、補強を行わない供試体は、初期剛性が低下する傾向を示した。これは、静的試験以前の加熱によるひび割れが発生しているために、静的載荷に伴うひび割れが進展しやすくなったものと考えられる。しかし、補強を行うことで初期剛性は N-30-1 とほぼ同等まで回復する結果となった。

表-2 静的載荷試験結果

供試体名	曲げ破壊荷重 Pu(kN)	最大荷重 実測値 Pmax(kN)	Pmax/Pu	Nシリーズに対する最大荷重実測値の割合
N-30-1	71.2	90.3	1.27	-
N-50-1	64.9	87.6	1.35	
N-70-1	60	81.2	1.35	
30EX700-30W-1	71.2	59.3	0.83	0.66
30EX700-50W-1	64.9	60.7	0.94	0.69
30EX700-70W-1	60	63.8	1.06	0.79
30HC1100-30W-1	71.2	57.1	0.80	0.63
30HC1100-50W-1	64.9	61.2	0.94	0.70
30HC1100-70W-1	60	76.4	1.27	0.94
30EX700-30W-ST1	71.2	96.5	1.36	1.07
30EX700-30W-CF1		119.6	1.68	1.32
30HC1100-30W-ST1		82.2	1.15	0.91
30HC1100-30W-CF1		80.1	1.13	0.89

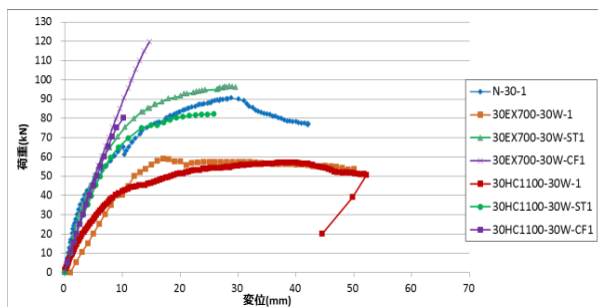


図-2 荷重-中央変位関係

4-4 疲労試験の試験結果

表 - 3 に疲労試験結果を示す。図 - 3 に、荷重 - 中央変位関係の一例を示す。加熱された後に補強を行わない供試体

は、初期剛性が低下し、また同一荷重で繰返しにより変形が進行していることが分かる。しかし、補強を行うことで初期剛性は N-30-2 以上となり、また、同一荷重での繰返しにおける変形の進行を抑制していることがわかる。

表-3 疲労試験結果

シリーズ名	曲げ破壊荷重 Pu(kN)	最大荷重 実測値 Pmax(kN)	Pmax/Pu	Nシリーズに対する 残存最大荷重 実測値の割合
N-30-2	71.2	81.0	1.14	-
N-50-2	64.9	69.9	1.08	
N-70-2	60.0	84.5	1.41	
30EX700-30W-2	71.2	59.6	0.84	0.74
30EX700-50W-2	64.9	80.1 ^{*)}	1.23	1.15
30EX700-70W-2	60.0	-	-	-
30HC1100-30W-2	71.2	-	-	-
30HC1100-50W-2	64.9	-	-	-
30HC1100-70W-2	60.0	-	-	-
30EX700-30W-ST2	71.2	94.0	1.08	1.16
30EX700-30W-CF2		130.0	1.83	1.60
30HC1100-30W-ST2		76.8	1.08	0.95
30CF1100-30W-CF2		90.2	1.27	1.11

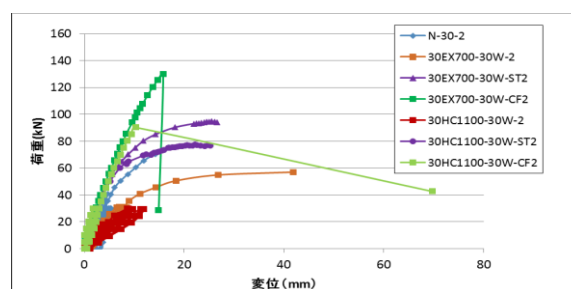


図-3 荷重-中央変位関係

5. まとめ

本研究では、かぶりが 30mm の供試体を加熱した後、健全な供試体の静的耐力と同等になるように補強を行い、健全な供試体や補強無しの供試体と静的試験時の耐荷力および疲労試験による疲労性状を比較することにより、その補強効果を検討した。その結果、加熱温度 700℃ の場合に関しては健全な供試体まで初期剛性および曲げ破壊荷重まで回復することが可能であると確認できた。しかし、加熱温度が 1100℃ の場合については底面部の加熱による損傷が激しく、その効果が若干低下することが確認された。しかし、補強によって繰返し載荷時のたわみやひび割れ幅の増加は十分抑制できていることから、本研究で採用した方法はいずれも PC はりが火災による損傷を受けた場合の補強方法として有効であるといえる。

参考文献

- 1) 田淵・井上・三方:火害を受けたプレテンション PC はり部材の残存耐荷特性に及ぼす受熱範囲の影響, 平成 27 年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集, レ-13, 2015 年 5 月
- 2) Eurocode1 : Actions on structures - Part 1 - 2 : General actions - Actions on structures exposed to fire