

火災による高温履歴を受けたプレテンションPCはり部材の補強に関する研究

(株)オリエンタルコンサルタンツ 山下 尚也

1. 研究背景及び研究目的

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力の評価に関するデータは十分とは言えない。このような背景から、これまでの研究では、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並びにプレテンションPCはり部材の残存プレストレスや静的及び耐力特性について検討を進めていた。その結果、これらの特性には、PC鋼材のかぶりや加熱温度・時間及び加熱範囲が影響を及ぼすものの、かぶり30mmでは残存プレストレス、静的耐力及び耐力特性が比較的大きく低下することが確認された。特に、耐力特性を回復させるためには、高温履歴によるひび割れやコンクリート強度低下に伴う部材剛性の低下を回復する必要があると考えられた。

本研究では高温履歴による損傷を受けたはりを鋼板及び炭素繊維プレートにより補強し、静的及び疲労耐力の回復効果を検討することを目的とした。

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 5.8kN/mm^2 としている。

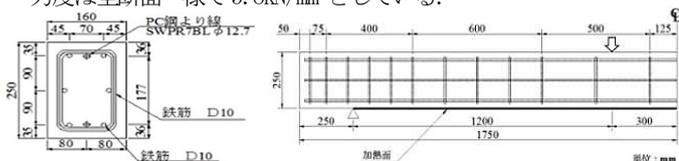


図-1 供試体断面図および側面図

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 鋼板 1
① ② ③ ④ ⑤

①高温履歴 (N: 無,

30EX700: 加熱時間 30分, 最高温度 700°C

30HC1100: 加熱時間 30分, 最高温度 1100°C)

②かぶり(30mm), ③加熱範囲(W: 底面全体)

④補強材料(鋼板, 炭素繊維プレート), ⑤供試体番号(1~8)

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)に示される火災曲線を用いた。式

(1), (2)は Eurocode²⁾に規定される外部火災曲線 (EX 曲線), 油

火災曲線 (HC 曲線) である。

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

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

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特に、曲げ強度、ヤング係数は著しく低下した。

表-1 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 (10 ³ N/mm ²)
Nシリーズ [*] (*)	53.7	7.51	40.7
30EX700シリーズ [*]	33.1	0.17	19.6
30HC1100シリーズ [*]	10.1	0.03	0.77

4. 補強

補強材には鋼板 (SS400, 幅 140mm, 厚さ 2.3mm) と炭素繊維プレート (三菱樹脂/フワテック高弾性HM1020, 弾性係数 450000N/mm², 幅 100mm, 厚さ 2.0mm) を使用した。補強するに当たって、昨年の加熱試験のデータを用いて減少分の耐力を出し、減少分から回復量を定め補強量を決定した。

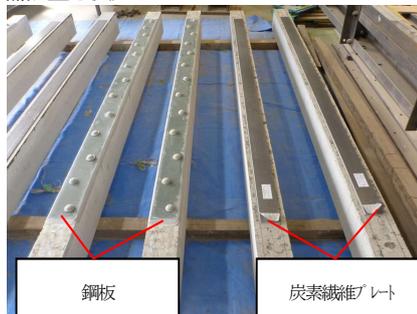


写真-1 1100° 補強状況

5. 静的載荷試験

5-1 載荷試験概要

載荷方法は、せん断バ^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。

5-2 荷重 - 中央変位関係

鋼板で補強した供試体は曲げ破壊し、炭素繊維で補強した供試体は剥離破壊した。図-2に荷重 - 中央変位関係の一例を示す。

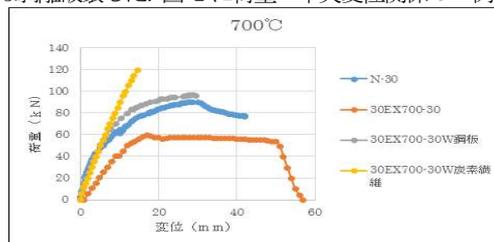


図-2 荷重-中央変位関係 700°C静的試験

鋼板で補強した供試体とN-30の最大耐力を比較するとN-30供試体に対して最大耐力が約7%上昇した。同様に補強していない30EX700-30Wの残存耐力と比較すると、約71%上昇した。炭素繊維プレートで補強した供試体も同様に比較するとN-30に対して最大耐力が約32%上昇した。補強していない30EX700-30Wの残存耐力と比較すると最大耐力が110%上昇した。

5-3 載荷試験結果

供試体(Nシリーズ)の曲げ破壊荷重計算値、各供試体の最大荷重の実測値、Nシリーズに対する最大荷重の割合、破壊形式を表-2に示す。

表-2 各供試体の載荷試験結果

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-30に 対する割合	破壊形式
N-30	71.2	90.3	1.27	-	曲げ破壊
30EX700-30W	71.2	59.3	0.83	0.66	曲げ破壊
30EX700-30W 鋼板1	71.2	96.5	1.36	1.07	曲げ破壊
30EX700-30W 炭素繊維3	71.2	119.6	1.68	1.34	剥離破壊
30HC1100-30W	71.2	57.0	0.80	0.63	曲げ破壊
30HC1100-30W 鋼板5	71.2	82.2	1.15	0.91	曲げ破壊
30HC1100-30W 炭素繊維7	71.2	80.1	1.13	0.89	剥離破壊

最大荷重のN-30に対する割合に着目すると、700°Cで加熱した供試体は鋼板および炭素繊維プレートとも1.0を超えており、所定の補強効果が得られていることが確認された。

一方、1100°Cで加熱した供試体ではいずれもN-30に対する割合が下回る結果となった。特に炭素繊維プレートの場合、700°Cの場合と比較して最大荷重が大きく減少している。これは、高温履歴による底面コンクリートの劣化がプレートとコンクリートの間の接着強度に影響し、早期剥離が生じ、所定の効果が発揮されなかったことによるものと考えられる。

6. 疲労試験

6-1 載荷試験概要

疲労試験は、上限荷重を加熱しないPCはりのプレテンションPCに相当する18kN、曲げひび割れ発生荷重に相当する30kNに設定し、各10万回の繰返しを与えた。

6-2 載荷試験結果

載荷試験結果、Nシリーズに対する最大荷重実測値の減少率、破壊形式を表-3に示す。

表-3 各供試体の疲労試験結果

シリーズ名	曲げ破壊荷重 Pu(kN)	疲労破壊時の 繰返し回数(回)	残存最大耐力実測値 Pmax(kN)	Pmax/Pu	破壊形式
N-30	71.2	疲労破壊せず	81	1.14	曲げ破壊
30EX700-30W	71.2	疲労破壊せず	59.6	0.84	曲げ破壊
30EX700-30W 鋼板2	71.2	疲労破壊せず	94.8	1.33	曲げ破壊
30EX700-30W 炭素繊維4	71.2	疲労破壊せず	130.2	1.83	剥離破壊
30HC1100-30W	71.2	30kN:9428回	-	-	疲労破壊
30HC1100-30W 鋼板6	71.2	疲労破壊せず	77.2	1.08	曲げ破壊
30HC1100-30W 炭素繊維8	71.2	疲労破壊せず	90.2	1.27	剥離破壊

表-2の最大荷重実測値と表-3の残存耐力実測値を比較すると鋼板で補強した供試体では残存耐力は低下する傾向にあったが、値の差が僅かであった。また、炭素繊維プレートで補強した供試体で

は補強材端部が剥離することにより破壊し、炭素繊維プレートの所定の強度が発揮されていないので有意な差はないと言える。これらより、疲労による残存耐力の低下は確認されなかった。

6-3 最大ひび割れ幅

図-3に最大ひび割れ幅の繰返しに伴う変化の一例を示した。

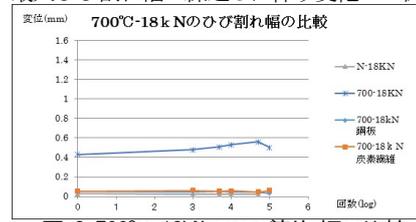


図-3 700°C・18kNのひび割れ幅の比較

補強したはりでは700°C・1100°Cいずれの場合も、載荷荷重によらずひび割れ幅はほぼ一定値で推移しており、また、20万回後の最大ひび割れ幅の値もN-30が0.2mmを越えているに対し補強したはりでは最大でも0.14mm程度である。このことから、今回採用した補強工法は使用状態におけるひび割れ進展の抑制効果を十分に有していると言える。

7. まとめ

7-1 静的耐力

・最大荷重…表-2より健全な供試体の曲げ破壊荷重計算値と最大荷重実測値の比を比較すると、補強した供試体の実測値が計算値を上回ることから、補強の効果があつたと言える。

・荷重-スパン中央変位関係…炭素繊維プレートは降伏点を有しない弾性材料であるため、荷重-スパン中央変位関係も弾性的な挙動を示し、プレートの剥離とともに急激に荷重が低下する脆的な挙動となる。なお、鋼板及び炭素繊維プレートのいずれも、高温履歴による初期剛性の低下を回復できており、耐力及び剛性の両面から所定の補強効果が得られた。

7-2 疲労耐力

・残存耐力…表-3より健全な供試体の曲げ破壊荷重計算値と残存最大耐力の比を比較すると、補強した全ての供試体の実測値が計算値を上回り、補強の効果があつたと言える。特に、1100°Cで加熱した供試体が疲労破壊していたことから補強の効果が十分に得られている。

・最大ひび割れ幅…N-30では30kNの際にひび割れ幅が漸増しているのに対し、補強したはりではほぼ一定を保っているため補強の効果があつたと言える。

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