

特 集

建築特集

【企画主旨】

本号は、毎年恒例の建築特集号で、主にプレストレスを使用した建築物に関する報告等で構成しております。建築におけるプレストレスの利用率は鉄筋コンクリート造や鉄骨造に比べると高いとはいえません。

毎年この4号で建築の特集を通じて、建築におけるプレストレスの使われ方を紹介することにより、より一層多くの方々にプレストレスの有用性をご理解いただき、建築分野でのプレストレス技術の進歩に役立つことを期待しております。

本特集号 担当編集委員

上原富士夫・妹尾 正和・高津比呂人
田沼 毅彦・上田 高博

プレストレストコンクリート建築構造部材の耐火性

— 耐火設計の考え方と PC 鋼材の高温時力学特性に基づく部材耐力と変形の評価 —

西山 峰広*

本論説では、プレストレストコンクリート建築構造部材の耐火性について、とくに耐火設計の考え方と、PC 鋼材の高温時力学特性に基づく部材耐力と変形の評価について解説する。日本建築学会「プレストレストコンクリート設計施工規準・同解説」における耐火設計の考え方を解説したのち、PC 鋼材の高温時降伏強度、常温に戻った後の強度、ヤング係数、クリープひずみについて記す。さらには、構成材料の高温時力学特性に基づき、PC 梁部材の火災時曲げ耐力とたわみの評価法について述べる。

なお、本論説は、2010年2月に開催されたPC技術講習会テキストに収録されている「プレストレストコンクリート建築構造部材の耐火性：材料の高温時力学特性と部材耐火設計の考え方－高温時材料力学特性、火災時部材強度・変形、耐火設計－」を一部修正・加筆したものである。講習会資料も併せてご覧いただくとさらに理解を深めていただけるものと思う。

キーワード：耐火設計、高温時応力-ひずみ関係、クリープひずみ

1. はじめに

現在、プレストレストコンクリート技術協会のホームページでは、協会誌「プレストレストコンクリート」の昭和34年創刊号から平成19年までのバックナンバーの記事をダウンロードすることができる。そのままに創刊号に、「プレストレストコンクリート構造で映画館を設計したいのだが、一説によるとプレストレストコンクリートは火災に弱いとされている。プレストレストコンクリート構造の耐火性について具体的に説明してほしい」という質疑があり、これに対して、中野清司先生が、以下のように回答している：

「プレストレストコンクリートの耐火性については、現在のところ各国とも研究の途上にあり、また、実際の火災にあった事例も乏しいので、ここで結論的なことを申しあげることではできません。(中略)ここでは一般的な結果を述べるのをさしひかえ、各国で行われた実験の内容と実験者自身の結論とを、御紹介することによって、お答えに代えたいと思います。」

半世紀経った今、あらためて、では、プレストレストコンクリートの耐火性はどうかと問われると、鉄筋コンクリート構造は耐火構造であり、また、日本建築学会「プレストレストコンクリート設計施工規準・同解説」の付録に

PC 鋼材に対するかぶり厚さの規定が示されている、と答えることで、所要の耐火性能が保証されると回答せざるを得ない。

また、六車 照先生は、著書「プレストレストコンクリート」(コロナ社)において次のように記述している：

「柱やはりのような主要骨組材では部材断面も大きく、また、ポストテンション法が用いられるから、PC 鋼材のかぶりも十分とれるので、耐火性は全く心配がないというてよい。」

一方、これに続いて、PC の耐火性については、次の特殊事情により慎重に考えなければならないとしている。

- (1) PC 鋼材は冷間引抜きまたは熱処理によって高度の強加工が施されているから、普通鋼材に比べて温度の影響を受けやすい。
- (2) せっかく導入されたプレストレスが火災によって失われる不安がある。

本論説では、プレストレストコンクリート建築構造部材の耐火性について、とくに耐火設計の考え方と、PC 鋼材の高温時力学特性に基づく部材耐力と変形の評価について記す。

なお、本論説は、2010年2月に開催されたPC技術講習会テキストに収録されている「プレストレストコンクリート建築構造部材の耐火性：材料の高温時力学特性と部材耐火設計の考え方－高温時材料力学特性、火災時部材強度・変形、耐火設計－」からコンクリート材料の高温時力学特性とPC梁の耐火試験を削除し、PC鋼材のクリープ変形およびこれによるPC梁のたわみ評価を加えたものである。講習会資料も併せてご覧いただくとさらに理解を深めていただけるものと思う。

2. 「プレストレストコンクリート設計施工規準・同解説」における耐火性の考え方

PC 部材の耐火性をその構成材料のレベルから考えてみ



* Minehiro NISHIYAMA

京都大学 大学院 教授

ると、まず鉄筋に対しては通常の鉄筋コンクリート（RC）部材と同様に考えればよいが、コンクリートは許容応力度以下ではあるがプレストレスにより常時圧縮応力を受けていることが通常のRC部材とは異なる。これをもってPC部材ではコンクリートの爆裂が生じやすいという意見もあった。しかしながら、長期許容応力度以下の応力であるため、RC柱部材と変わりはないと考えてよい。PC鋼材は高強度鋼材で熱には敏感であるとされてきた。PC鋼材にはその降伏強度の70%程度の初期応力が導入されており、常時荷重下では高温による約30%の強度低下が鋼材の降伏につながる可能性がある。

また、PC部材には従来高強度コンクリートが利用されてきたため、RC部材よりも爆裂に対する注意が必要である。しかしながら、超高層建築物のRC柱部材でコンクリート設計基準強度が、爆裂防止対策が必要であるとされる80MPaを超え、150MPaに達するようになり、従来PC部材が利用していたコンクリートの強度範囲を大きく超えている。したがって、コンクリートの爆裂をはじめとして耐火性に関する最近の研究においてもRC柱に対するものが多い。

PC部材は大スパン梁あるいは桁として利用されるので、破壊まで至らない場合でも火災時あるいは火災後のたわみが大きくなると再利用できないことにもなる。たわみに影響を与える要因としては、熱膨張変形、材料の剛性低下とクリープ、爆裂など部材断面欠損による剛性低下などがあげられる。

PC鋼材のような高強度鋼材は高熱に弱いとされてきたため、通常の鉄筋と比べてPC鋼材には大きなかぶり厚さが規定されている。PC部材の耐火設計に関しては、日本建築学会「プレストレストコンクリート設計施工規準・同解説」（PC規準）では、その付9において記されている。ここでは、耐火性に影響する事項、PC鋼材の高温強度、コンクリートの温度上昇、コンクリートの爆裂の危険性、火災継続時間などについて、その基本的な考え方を述べているだけで、明確な設計法は記されていない。PC規準では、PC鋼材の高温降伏強度が常温時の1/2以下に低下しないようにすることで耐火性能を確保することができる、という条件のもとで、表-1のような耐火時間に対するPC鋼材のかぶり厚さを与えている。

表 - 1 PC 鋼材かぶり厚さ

(単位: mm)

耐火性能		30分		1時間		2時間	
建築物の部分		柱・梁	床	柱・梁	床	柱・梁	床
部材最小寸法		150	70	150	70	200	100
PC 鋼材かぶり厚さ	鋼棒	30	20	35	30	60	45
	鋼線	30	20	45	40	75	55

PC部材は通常、PC鋼材の再緊張によってその性能を回復したり、部分的に修復したりすることは不可能である。したがって、PC鋼材の材料性能を保持したうえで再使用を視野に入れた耐火設計を行っておく必要がある。PC規

準には、再使用についても記述されており、火災時にコンクリートの表面温度が200℃以下であれば、火災前後でその性能はほとんど変わらないとみなして、そのような条件を満足するように高温非膨張性の耐火被覆で部材表面を保護するように規定している。その耐火被覆の厚さは表-2のように与えられている。

表 - 2 再使用のための耐火被覆厚さ

(単位: mm)

再使用火災	30分	45分	1時間	2時間
耐火被覆の厚さ	20	25	30	45

3. PC 鋼材の高温時力学性状

3.1 降伏強度

式(1)と図-1の実線は、BS8110のPC鋼材の常温時降伏強度に対する高温時降伏強度の比 $k_{y,T}$ を与えている。式(2)の通常の鉄筋と比較すると、式の上では、鉄筋が250℃から強度低下が始まるのに対して、PC鋼材では、150℃から強度低下することになる。その後は、どちらも直線的に強度低下するが、鉄筋では720℃で、PC鋼材では700℃でそれぞれ降伏強度が0となる。

式(1)によると、PC鋼材の高温降伏強度が常温時の1/2以下となるのは、425℃である。したがって、表-1は、PC鋼材位置での温度が、425℃に達する時間を表現していると考えることができる。

一方、PC規準にはかなり古いデータではあるが、PC鋼棒の代表的鋼種について的高温強度が図示されている。熱処理3種（B種相当）および4種（C種相当）ともほとんど同様の特性を示し、引張強度は300℃を超えると急激に低下し、500℃で常温の50%となる。降伏強度は350℃で75%、500℃では30%となる。

図-1には、伊藤ら¹⁾によるPC鋼材高温引張試験結果（SB1: φ13mmとSB2: φ9.2mm）と日本鋼構造協

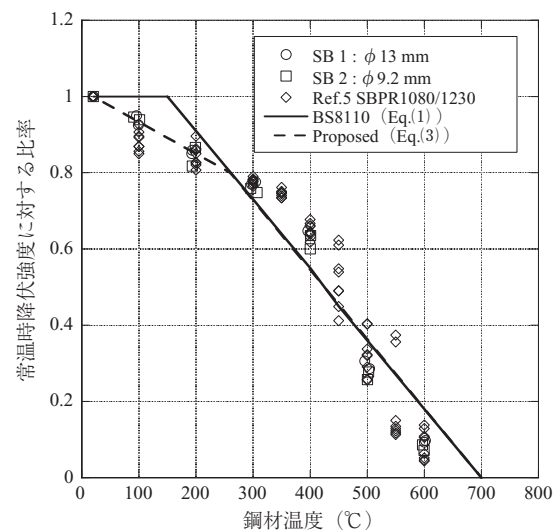


図 - 1 PC 鋼材の高温時降伏強度

会²⁾で行われたPC鋼棒(SBPR1080/1230)に対する高温引張試験結果がプロットされている。これを見ると、100℃ですでにPC鋼材の強度低下が始まっており、BS8110で示される150℃よりも低い温度となっている。そこで、西山ら³⁾は、より低い温度での強度低下を表現するため、式(3)を提案している。本提案式は、図-1に破線で示してある。

$$k_{y,T} = \frac{700 - T}{550} \leq 1 \quad (\text{PC 鋼材}) \quad (1)$$

$$k_{y,T} = \frac{720 - T}{470} \leq 1 \quad (\text{鉄筋コンクリート用棒鋼}) \quad (2)$$

$$k_{y,T} = \frac{1220 - T}{1200} \quad (20 < T \leq 260 \text{ } ^\circ\text{C}) \quad (3)$$

$$k_{y,T} = \frac{700 - T}{550} \quad (260 < T)$$

コンクリートの表面温度が200℃以下であれば、PC鋼材の温度は降伏強度の低下がない温度に抑えられることになる。しかしながら、図-1にプロットされた実験結果に見られるように、BS8110よりも低い温度で降伏強度が低下するという実験結果もある。この程度の温度までであれば徐冷後には常温時の降伏強度を回復するとされているが、鋼材に初期応力が導入されているPC部材の修復性を考慮した耐火設計では、この点にも留意する必要がある。

3.2 加熱後の強度

火災後の残存構造性能評価に必要なデータとして、PC規準には熱履歴を受けた後の強度も示されている。熱処理および引抜き鋼棒はともに450℃以上の高温履歴で引張強度が急激に低下する。異形PC鋼棒では少し低い温度300～350℃以上の高温履歴でこれらが急激に低下する。PC鋼線ではさらに低く、300℃以上で急激に低下する。

3.3 ヤング係数

他の機械的性質が少量の合金元素の添加あるいは熱処理によって著しく変化するのに比べると、ヤング係数はその変化が緩やかであり、また測定値のばらつきが大きい。ヤング係数に関してその数値を記載している資料は少ない。高強度鉄筋の試験⁴⁾と、参考として鋼構造用鋼材の高温引張試験⁵⁾における、各温度のヤング係数の変化を示す。

鉄筋やPC鋼材の高温時ヤング係数に対してモデル化を試みた例は見当たらない。そのため、鋼構造用鋼材に関す

表-3 高温時のヤング係数試験結果

文献	鋼材	常温	100℃	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
4)	USD 685	20.7	-	19.3	17.1	14.2	11.1	7.9	-	2.6	-	1.0
	SBPD 1275	20.8	-	17.8	15.6	12.8	5.3	2.0		1.4		1.1
5)	SA 440B	19.4	20.3	18.0	18.6	14.2	12.9	7.7	4.8	3.5		5.2
	SHY 685NS	20.3	20.1	18.6	18.1	16.6	15.5	11.5	8.8	3.8		8.9

※単位は [×10⁴ MPa]

るモデル化を参照する。宮本らによる「高温度における高強度鋼材の力学的性質(その2 数式化)」⁶⁾において、高温時のヤング係数を求めるために以下の式を採用している。

$$E_T = E_{RT} \times (aT^3 + bT^2 + cT + d) \quad (4)$$

E_{RT} : 常温時におけるヤング係数

T : 鋼材温度

a, b, c, d : 実験により定められる係数

係数 a, b, c, d は各温度におけるヤング係数の平均値を近似するように求められる。文献6)で求められた係数の一覧を表-4に、その係数を用いた計算値と試験結果との比較を図-2に示す。

表-4 ヤング係数を与える式(4)の係数

文献	鋼材	a	b	c	d
6)	SA440B	3.95×10^{-9}	-5.72×10^{-6}	1.09×10^{-3}	9.80×10^{-1}
	SHY685NS	3.05×10^{-9}	-4.37×10^{-6}	7.84×10^{-4}	9.86×10^{-1}

また、AS4100, NZS3404は鋼構造用鋼材に関して、高温時のヤング係数に対する常温時のヤング係数の比 $k_{E,T}$ を以下の式で与えている。その式に基づいた計算値を図-3に示す。

$$k_{E,T} = 1.0 + \frac{T}{2000 \ln\left(\frac{T}{1100}\right)} \quad 0^\circ\text{C} < T < 600^\circ\text{C} \quad (5)$$

$$k_{E,T} = 690 \times \frac{1 - \frac{T}{1000}}{T - 53.5} \quad 600^\circ\text{C} < T < 1000^\circ\text{C}$$

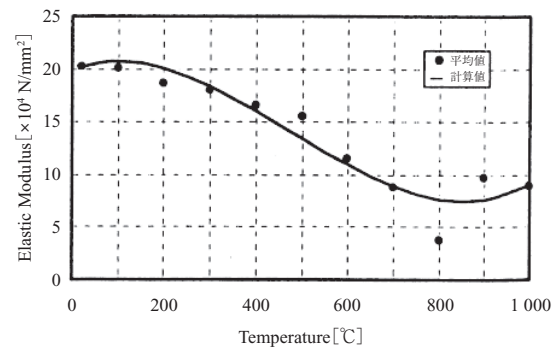
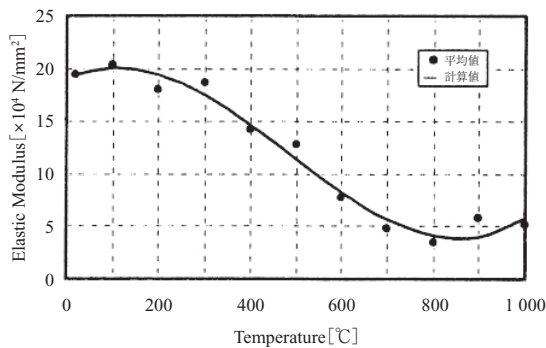


図-2 ヤング係数モデルと実験結果との比較 [6]

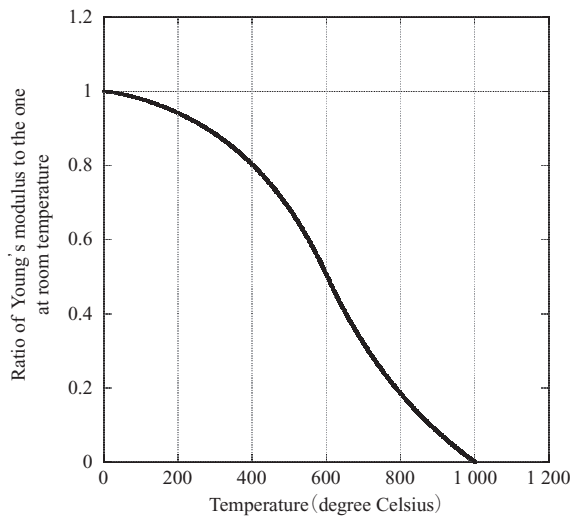


図 - 3 ヤング係数低下率

3.4 クリープとリラクセーション

PC 鋼材に対しては、プレテンション部材の高温養生におけるプレストレス力減退を評価するため高温時のリラクセーション値が必要である。一方、長期荷重下での梁や床版などの部材は、固定荷重と積載荷重による常時モーメントを受けるため、火災時においても PC 鋼材にはこのモーメントに抵抗するためにほぼ一定の応力が作用し続けることになる。したがって、境界条件としては、リラクセーションよりもクリープ試験における条件に近くなる。

高温リラクセーションについての試験は、PC 鋼材委員会リラクセーション分科会においてまとめられている⁷⁾。JIS の低リラクセーション鋼材の場合、常温における 1000 時間でのリラクセーション値は、2.5 % 以下と規定されているのに対して、鋼材規格降伏荷重の 80 % の初期応力を与え、200℃での 10 時間後のリラクセーション値は、最大で 20 % 近くになる。PC 鋼線、PC 鋼より線のブルーイング材や熱処理 PC 鋼棒では温度上昇に伴うリラクセーション値の増加が比較的大きいものに対して、ホットストレッチング材は、他の鋼材の 1/4 ~ 1/3 となっている。これらは、高温蒸気養生を対象にしたリラクセーション値のデータであり、火災時を対象としていない。したがって、最高でも 200℃までのデータしか掲載されていない。

林らは、さらに高温における PC 鋼棒とストランドのクリープ試験を行い、クリープひずみ、温度、時間の関係をモデル化した⁸⁾。これによると規格降伏強度の 70 % の応力を受け続ける PC 鋼棒 (C 種 1 号 SBPR1080/1230) の 300℃における 4 時間でのクリープひずみは約 800 μ に達している。これを鋼材のヤング係数が温度により変化しないとして、図 - 6 のような関係からリラクセーション値に置き換えると、約 21 % に相当する。

このようなクリープひずみによって、部材のたわみが増大することになる。これについては、次節で解説する。

4. PC 部材の耐火性

PC 部材の耐火性を考える際には、先に記したように構

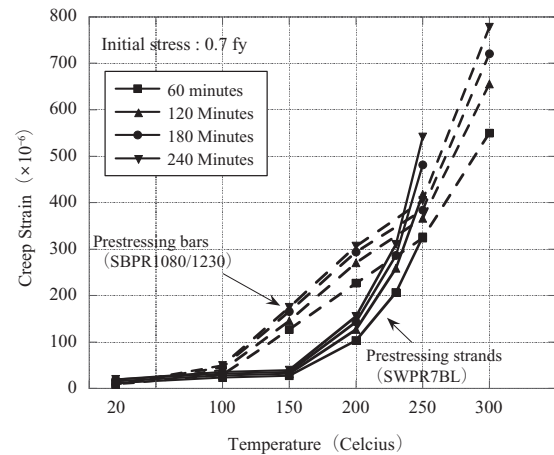


図 - 4 PC 鋼棒と PC ストランドのクリープひずみ - 温度関係

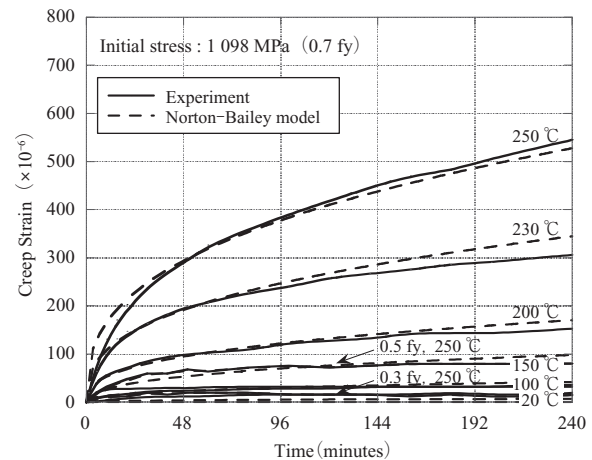


図 - 5 PC ストランドのクリープひずみ - 時間関係モデル

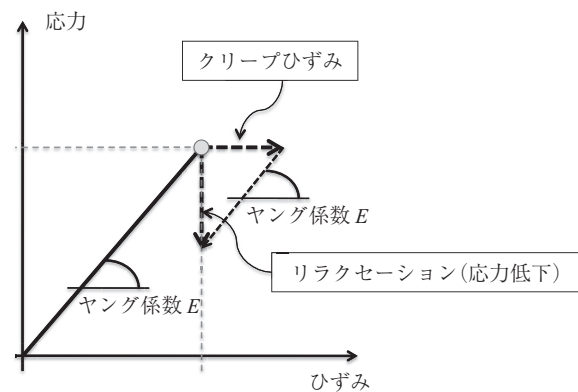


図 - 6 クリープひずみとリラクセーションによる応力低下の関係 (ヤング係数が変化しないとした場合)

成材料の高温時挙動から考える必要がある。ここでは、構成材料の高温時特性に基づき、耐力および変形の評価について記述する。

4.1 PC 部材の火災時曲げ耐力

シンポジウム資料「コンクリート系構造物の火災耐力」⁹⁾ には、RC 梁、RC スラブの火災時終局強度を算定する略

算法が示されている。正曲げ（下端引張）を受ける場合は、鉄筋の強度低下によって断面耐力が決定される。一方、負曲げ（上端引張）を受ける場合には、コンクリートの強度低下により、中立軸位置が上昇し、したがって、応力中心間距離が小さくなることによって、断面曲げ強度が低下することになる。上記資料では、負曲げを受ける場合、差分法に基づく熱伝導解析結果から、終局曲げモーメントが加熱時間に対して直線的に低下するとしているが、加熱時間 120 分でも常温時に対する耐力比は 0.89 とあまり低下しない（図 - 7）。

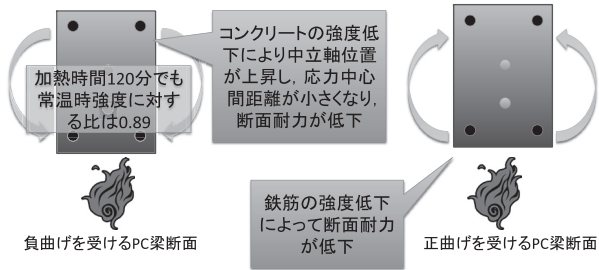


図 - 7 正曲げ，負曲げを受ける PC 梁断面の耐火性

梁断面形状，鉄筋配置位置などによって結果は異なり，詳細には熱伝導解析を行わなければならないが，以降では簡略化して，負曲げの場合，耐力低下は生じないとする。また，鋼材とコンクリートのヤング係数も高温下では大きく低下する。しかしながら，ここでは，曲げ耐力のみを対象にしており，その耐力が発揮される変形までは問わないものとする。

PC 部材は，曲げについて $1.7(G + P)$ および $1.2G + 2P$ の常時荷重に対する終局強度設計を行っている。ここで， G ：固定荷重による応力， P ：積載荷重による応力である。強度のみに着目すれば，火災時における耐力が， $G + P$ あれば常時荷重を支持でき，破壊しないということになる。したがって，最低でも 1.7 倍の $G + P$ に対する耐力を保持していることになるので，耐力が $1/1.7 = 0.588$ に低下すると常時荷重を支持できず，断面についてはあるが，破壊する可能性が高くなることを示している。部材としての破壊については後述する。なお，PC 梁では通常 PC 鋼材は，梁端部で断面上部に，梁中央部で断面下側に配置される。

通常配置される鋼材量，および，導入されるプレストレス力の範囲であれば，終局時には PC 鋼材が降伏する。そのため，プレストレス導入力の大きさは，終局曲げ強度には直接影響しない。図 - 8 のような PC 梁断面の終局曲げ強度は，ACI318 のコンクリート応力ブロックを用いると次式で表される。

$$M_u = a_p f_{py} d_p \left(1 - \frac{0.5}{0.85} \omega_p \right) = a_p f_{py} d_p (1 - 0.59 \omega_p) \quad (6)$$

ここで， a_p ：PC 鋼材断面積， ω_p ：PC 鋼材係数（ $= a_p f_{py} / b d_p f'_c$ ）， f_{py} ：降伏強度， d_p ：有効せい， f'_c はコンクリート標準シリンダー圧縮強度である。

したがって， M_u が αM_u に低下するときの鋼材応力 f_p は，

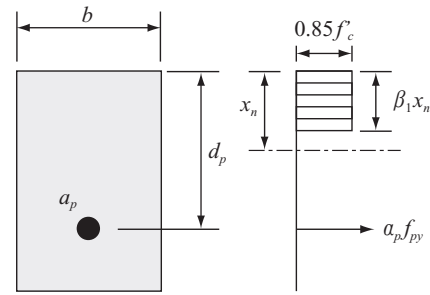


図 - 8 PC 梁断面

f_{py} に対する比 $\gamma = f_p / f_{py}$ として次の (7) 式で与えられる。

$$\gamma = \frac{1 - \sqrt{1 - 2.36 \alpha \omega_p (1 - 0.59 \omega_p)}}{1.18 \omega_p} \quad (7)$$

高温によるコンクリートの応力-ひずみ関係の変化に伴い，コンクリートの応力ブロック係数も変化する。しかしながら，ここでは，正曲げのみを扱っており，梁上部のコンクリート圧縮部は通常スラブもあり，温度の影響を大きく受けないものとしている。

$\alpha = 0.588$ ， $0.05 \leq \omega_p \leq 0.3$ とすると $\gamma = 0.58$ ($\omega_p = 0.05$) ~ 0.53 ($\omega_p = 0.3$) となる。したがって，鋼材降伏強度が常温時の 58 \sim 53 % に低下すると常時荷重を支持できなくなる。(3) 式を用いると 381 \sim 409 $^{\circ}\text{C}$ がこの温度にあたる。

なお，最初に示した PC 規準のかぶり厚が，PC 鋼材耐力が 1/2 に低下する点，すなわち 425 $^{\circ}\text{C}$ に達する点から決まっているということを考えると，2 時間耐火では，式 (8) から 48.3 mm のかぶり厚が必要という結果となる。式 (8) は，コンクリートかぶり厚 x (mm) の位置での温度が T_0 ($^{\circ}\text{C}$) から T ($^{\circ}\text{C}$) に上がるまでの時間 t (分) をコンクリートの熱特性係数 c を用いて表したものである。ここでは， $c = 0.21$ とした。30 分，1 時間，2 時間それぞれで，柱・梁について PC 規準の規定値と式 (8) からの結果を比較すると下表のようになる。

$$x = -\frac{\sqrt{t}}{c} \log_e \left(\frac{T(x, t) - T_0}{460 t^{1/6}} \right) \quad (8)$$

表 - 5 PC 規準と式 (8) の比較

耐火性能	30 分		1 時間		2 時間	
	PC 規準	(8) 式	PC 規準	(8) 式	PC 規準	(8) 式
柱・梁	30	18.1	35	29.9	60	48.3
床	20	18.1	30	29.9	45	48.3

床に対する PC 規準の規定は，柱や梁よりも小さくなっている。これは，部材最小寸法を考慮したものであろうが，床に対しても断面耐力については，同様のかぶり厚が必要である。30 分，1 時間および 2 時間に対してそれぞれ 20，30 および 45 mm という PC 規準の規定は，PC 鋼材耐力が 1/2 に低下するという設定では，(8) 式から得られる

必要かぶり厚さよりもわずかに大きい程度である。耐火性能 2 時間に対しては、かぶり厚さがわずかに不足する。

以上は断面曲げ強度についてであり、通常の両端固定梁を想定すると中央断面での終局曲げ強度の低下は、両端での負曲げモーメントの増加によって補われる。

骨組中の PC 梁のように等分布荷重を受ける両端固定の状態を考えると、長期荷重に対して梁端部には少なくとも 1.7 倍の曲げ耐力があるため、梁中央部の曲げ耐力が低下しても、ある程度まで常時荷重を支持することができる。等分布荷重による梁端部と梁中央部のモーメントを図 - 9 のように、それぞれ M_{ue} と M_{um} とする。梁端部では、終局強度設計により最小でも $1.7 M_{ue}$ の曲げ耐力が確保される。一方、等分布荷重に対して必要となるトータルのモーメントは、 $M_{ue} + M_{um} = 1.5 M_{ue}$ である。したがって、仮に梁中央部の曲げ耐力が高温により失われたとしても、梁両端の曲げ耐力の低下が大きくなければ長期荷重を支持できることになる。

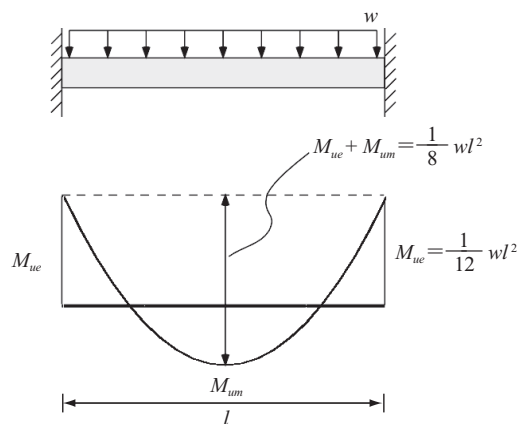


図 - 9 両端固定梁の曲げモーメント

4.2 PC 梁の火災時たわみ

先に記したように PC 梁の火災時たわみを予測するには、その構成材料の高温時性状を把握する必要がある。修復性を考える場合にはとくに、火災後のたわみを評価する必要がある。たわみの要因となるのは、以下のような項目である：

- (1) 材料の剛性低下
- (2) 爆裂など部材断面欠損による剛性低下
- (3) 材料の高温クリープ
- (4) 部材内部における温度勾配によるたわみ

(4) については、梁部材の場合、底部が高温になって膨張するのに対して、上部はスラブがあることもあり、あまり温度が上がらない。これによって部材内部において温度勾配が生じる。梁底部のみが膨張し、上部がほとんど変形しない場合、下方向へのたわみは大きくなる。このようなたわみは、部材内部で大きな温度勾配が生じやすい火災の初期にとくに発生しやすい。

上記(1)と(2)については、高温による材料の剛性低下と断面欠損を考慮することにより評価可能である。すなわち、(8)式のような関係を用いて、コンクリートと鋼材の

温度を推定し、これに基づいて、部材各位置での材料の強度とヤング係数を低下させる。

(3)については、FEMなどを用いて算定することも可能であろうが、部材曲率分布を求めることにより PC 鋼材の高温クリープによるたわみを算定する方法を林ら¹⁰⁾が提案している。その手順は以下のとおりである：

- 1) ISO 834 標準加熱曲線下において部材中の PC 鋼材が受ける温度を熱伝導略算式(8)式より求める。
- 2) この温度におけるクリープひずみをクリープひずみ予測モデル(図 - 5 の Norton-Bailey モデル)から求め、PC 鋼材のひずみがこのクリープひずみだけ増加したとする。
- 3) 外力(常時荷重)は変化しないと仮定して部材断面における曲率分布を、平面保持仮定を用い、軸力とモーメントの釣り合いより算定する。
- 4) 同様にして部材のいくつかの代表断面での曲率分布を求め、部材全長にわたってこれを積分することにより部材たわみを算定する。

材料は弾性範囲にあるとしているため、材料が塑性域に入るような大変形時には適用できない。この方法を PC 梁の耐火試験¹¹⁾に適用したところ、このようにして得られたたわみは、加熱開始後 80 分における実験のたわみに対して約半分となった。

5. おわりに

PC 梁の高温時挙動解析では、RC 梁に対する手法をほぼそのまま利用することが可能である。異なるのは、熱に敏感な PC 鋼材が配置されている点である。コンクリート、鉄筋、PC 鋼材という構成材料の高温時構成則が明確になれば、部材内における温度分布は、有限要素法などを用いて解析的に求めることが可能であるので、火災時の部材挙動を解析的に得ることが可能である。ただし、コンクリートと鉄筋については、かなりのデータが蓄積されているのに対して、PC 鋼材については、高温時挙動に関するデータが少ない。また、鉄筋とコンクリート間の付着-すべり関係についてもその高温時の特性がよくわかっていない。これはプレテンション部材の構造性能に関わる問題である。

現状の耐火設計では、終局限界状態のみが対象となっており、火災後の修復を想定した修復限界状態に対する耐火設計はない。火災時および火災後の構造性能に関する要求構造性能が明確になり、構造性能評価が可能になれば、火災に対する限界状態設計も可能となる。

参考文献

- 1) 伊藤清陽, 深野徹, 西山峰広, 原田和典: PC 鋼棒の高温下における引張試験, 日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿), pp.49-50, 2005
- 2) 日本鋼構造協会: 鉄筋コンクリート用棒鋼および PC 鋼棒・鋼線の高温ならびに加熱後の機械的性質, JSCC, vol.5, No.45, 1969
- 3) 西山峰広, 原田和典, 谷昌典: プレストレストコンクリート梁部材の高温時曲げ耐力評価, 日本建築学会構造系論文集 第 606 号, 2006 年 8 月, pp.171-178

○ 特集 / 論説 ○

- 4) 松戸正士, 野中英, 他7名: 高強度鉄筋の高温引張試験, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)2003, pp.175-176
- 5) 有田史絵, 宮本圭一: 高温度における高強度鋼材の力学的性質(その1 試験結果), 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)2004, pp.39-40
- 6) 宮本圭一, 有田史絵: 高温度における高強度鋼材の力学的性質(その2 数式化), 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)2004, pp.41-42
- 7) PC鋼材委員会レラクセーション分科会: PC鋼材のレラクセーションがプレストレス損失量におよぼす影響に関する検討, プレストレストコンクリート Vol.20, No.6, Dec., 1978, pp.7-51
- 8) 林成俊, 西山峰広: 高温におけるPC鋼棒のクリープモデルに関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.2, 2009, pp.529-534
- 9) 日本建築学会防火委員会火災耐力設計小委員会: コンクリート系構造物の火災耐力シンポジウム資料, 2000
- 10) 林成俊, 西山峰広: PC鋼材の高温時クリープひずみが部材たわみに及ぼす影響に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.2, 2010, pp.499-504
- 11) 林成俊, 古沢陽子, 谷昌典, 原田和典, 西山峰広: プレストレストコンクリート梁の高温時力学性状に関する実験的研究(その1 実験概要と実験結果概要)(その2 実験結果と考察), 日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)2008, pp.913-916

【2011年5月11日受付】



刊行物案内

第39回 PC技術講習会テキスト

PC構造物の長寿命化技術と課題

平成23年2月

定価 6,000円/送料 500円

会員特価 5,000円/送料 500円

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会