

プレキャストプレストレスト合成床版に関する実験的研究(その2)

—耐火性実験—

熊谷 敏 男
小坂 輝 明
西田 稔

§ 1. はじめに

前報¹⁾においてはプレキャストプレストレスト合成床版(以下、PS合成床版という)の曲げ耐力性状、Push-off 性状、クリープ性状などの検討結果について報告した。その結果、上記検討項目の諸性能については、ほぼ充足する結果がえられた。

しかし、当PS合成床版が火災を受けたときの耐火性能に関しては、PCストランドのコンクリートの被り厚が適正かどうか、またコンクリートに爆裂が生じた場合に耐火性能が確保されるかどうか疑問がもたれている。

そこで、ASTM E 119 (建築構造部材および建築材料の耐火試験方法)の加熱試験により耐火性能の検討を行ったので、その結果について報告する。

§ 2. 実験目的

PS床版の耐火時間 t は既往の研究²⁾ などにより、ほぼ式(1)で推定することが可能である。

$$t = \frac{T_y}{C} \quad (\text{min}) \quad \dots\dots(1)$$

ここで、 T_y : PCストランドの限界温度 (°C)

C : ある被り厚をもつPCストランドの温度上昇係数 (°C/min)

T_y の値としては ASTM E 119 に規定されている 427°C および JIS A 1304 (建築構造部分の耐火試験方法) に規定されている 450°C、 C の値としては今回のPS合成床版のコンクリートの被り厚が 2.4cm であることから図-1 より 7.0°C/min がえられる。これらの値を式(1)に代入すると、耐火時間として 61~64分がえられる。

一方、コンクリートの被り厚に関しては表-1 に示すような推奨値がある。今回の被り厚 2.4cm は、1時間耐火性能の推奨値より大きな値になっている。

式(1)および被り厚から判断すると、今回のPS合成床

版はほぼ1時間耐火性能が満足されているといえる。

しかし、一般的にPS部材のコンクリートは爆裂が生じやすい傾向にあるが、上記の被り厚に関する検討の中では爆裂との関係は明らかになっていない。

コンクリートに爆裂が生じ、PCストランドの被り厚が少なくなったり、露出することになると、PCストランドの温度が急激に上昇し、床版の耐火性能が低下し、耐火性能の確保も難しくなる。

そこで、載荷加熱試験、および加熱前後の曲げ試験などを行ない、当PS合成床版の耐火性能の検討を行なった。

§ 3. 耐火性能の評価方法

床版もしくは梁の耐火性能は、その支持条件によって大きく異なる。図-2 に示すように、単純梁の場合は積載荷重と固定荷重による作用モーメント M_{D+L} が生じている状態の床版を加熱していくと、床版の保持モーメント(曲げ破壊モーメント) M_u は加熱とともに低下していき、 $M_{D+L} \geq M_u$ になると床版のたわみが急増し、降伏し始める。

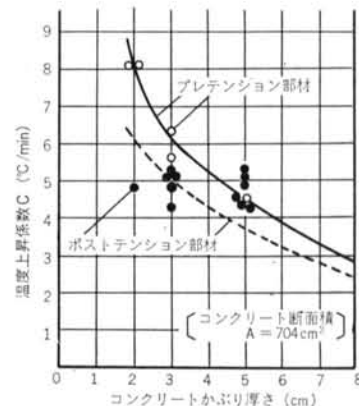


図-1 プレストレスの形式と温度上昇係数²⁾

規格および文献名	コンクリートの被り厚さの推奨値			
	30分耐火	1時間耐火	2時間耐火	3時間耐火
JASS 5 : 鉄筋コンクリート工事, プレストレストコンクリート ³⁾	—	—	通常の場合5cm以上. 火害を受けても新しい部材と交換可能なものに対しては, 火災時に爆裂や崩壊の起らない限度を目標に, 3.5cm以上.	—
プレストレストコンクリート設計施工規程 ⁴⁾	2.0cm以上	4.0cm以上	5.5cm以上	—
国鉄“PC桁の耐火性の研究” ⁵⁾	—	—	5.0cm以上	—
ACI Tentative Recommendation ⁶⁾	—	—	6.25cm以上	7.5cm以上
FRS (U. K.) ⁷⁾	—	—	6.35cm以上	—
FIP/CEB Recommendations ⁸⁾	One-way 1.0cm以上 Two-way $I_y/I_x \leq 1.5$ 1.0cm以上 " $I_y/I_x \geq 2.0$ 1.0cm以上	2.0cm以上 1.0 " 2.0 "	4.0cm以上 1.5 " 4.0 "	5.5cm以上 2.5 " 5.5 "
PCI Fire Resistance of Post-Tensioned Structure ⁹⁾ by A. H. Gustaferro	—	無拘束 1.9cm以上 拘束 1.9 "	3.5~3.8cm以上 1.9 "	4.8~5.4cm以上 2.5 "

注) コンクリートは普通コンクリート

表一 1 PC鋼棒のコンクリート被り厚に対する推奨値(床版)

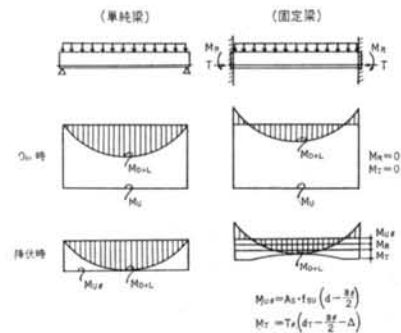
固定梁の場合は火災時の加熱によって, 部材温度が上昇し材長方向の伸びが生じる. この熱膨張は材端で拘束されるので, 周辺の部材は加熱されている部材を T という力で押すことになる. 一般にこの熱膨張拘束力の作用する位置は床版の底面近くであるので, M_T というモーメントが床版に働くことになる¹⁰⁾. また, 床版内の不均等温度分布によって, 床版はわん曲を生じるが, 材端は弾性固定になっているため, 加熱による変形が拘束され曲げ拘束モーメント M_R が生じる. これらの M_T と M_R は床版の耐力を向上させる側に作用し, $M_{D+L} \geq M_{u0} + M_T + M_R$ となったときに, 床版は降伏し始めることになる.

それゆえに, 同一形状寸法の床版ならば, 明らかに単純梁より固定梁の方が耐火性能が向上することになる. なお, 部材の条件によっては支持端上面が先に降伏する場合もあるが, ここでは検討から除外した.

§ 4. 実験の組合せ

実験に用いた P S 合成床版の種類と加熱試験および曲げ耐力試験との組合せは, 表一 2 に示すとおりである.

P S 合成床版のタイプ B とタイプ D の違いは図一 3 に示すとおりであり, 前者は P C 部の補強ワイヤーメッシュ



図一 2 PS床版の耐火性能の推定

供試体番号 (No.)	PS合成床版の種類	加熱試験		曲げ耐力試験
		支持状態	加熱等級	
1	タイプ B	—	—	有
2	" B	曲げ拘束 ^{*1)}	1時間	有
3	" B	"	降伏まで	有 ^{*2)}
4	" D	単純支持	1時間	有
5	" D	"	降伏まで	有

*1) 実験の都合により No. 2 は単純支持に変更した.

*2) 加熱試験による床版の破壊が過大なため曲げ耐力実験には供しえなかった.

表一 2 実験の組合せ

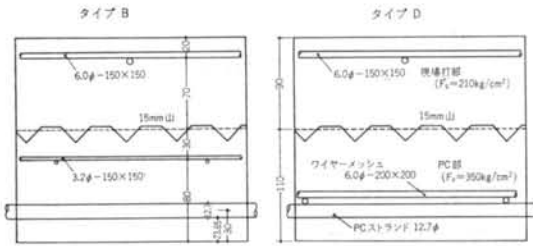


図-3 PS合成床版の構成

前者がPCストランドから浮かして配筋されているのに対し、後者はPCストランドに接して配筋されている点である。

加熱試験の床版の支持状態は、単純支持と端部拘束の2種類とした。しかし、端部拘束のうち、熱膨張力の拘束は実験設備の都合でできず、曲げ拘束のみとした。

加熱等級は1時間加熱と、床版が降伏に至るまでの2種類とした。

曲げ耐力試験は加熱を履歴したものと、しないものについて実施した。

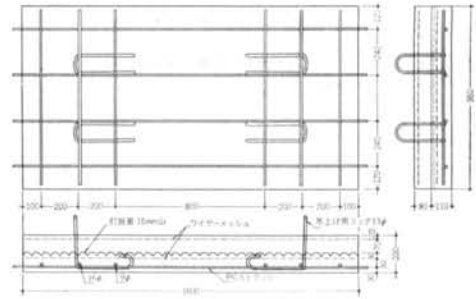


図-4 供試体の形状寸法

§ 5. 実験方法

5.1 供試体の形状寸法

供試体の形状寸法、配筋、打継部の処理などについては図-3および図-4に示すとおりである。供試体は幅96cm、長さ180cm、厚さ20cmの床版とした。そのうち、PC部は11cm、現場打ちコンクリート部は9cm厚とし、

種類	記号	呼び名	公称断面 面積 (mm ²)	単位重量 (kg/km)	引張試験					レラクセーション試験 レラクセーション値 (%以下)
					0.2%永久伸びに対する荷重 (kg以上)	降伏点 (kg/mm ²)	引張荷重 (kg以上)	引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%以上)	
PC鋼より線・7本より	SWPR 7B	7本より12.7mm	98.71	774	15900	160	18700	190	3.5	3.0

(a) JIS G 3536の値

	0.2%永久伸びに対する荷重 (kg)	引張荷重 (kg)	弾性係数 ($\times 10^6$ kg/cm ²)
1	—	19000	2.00
2	17500	19050	1.99
3	17500	19000	1.96
Av.	17500	19020	1.98

(17730kg/cm²) (19270kg/cm²)

(b) 実測値

表-3 PCストランドの諸性状

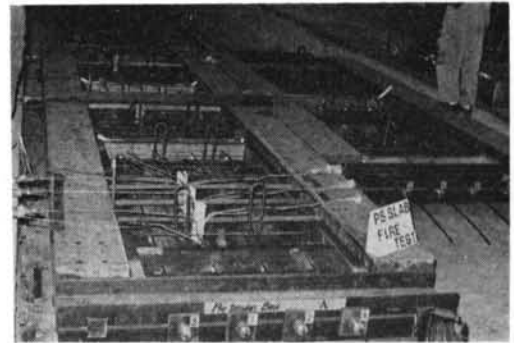


写真-1 PC部の型枠および配筋状態

打設部位	打設日	セメント (kg/m ³)	水 (kg/m ³)	細骨材 (kg/m ³)	粗骨材 (kg/m ³)	混和剤 (cc/m ³)	W/C (o/wt)	S/A (o/wt)	空気量 (o/vol)	セメントに対する混和剤の比 (o/wt)	スランプ (cm)
PC部	51.10.26	445	147	粗目 451 細目 187	1217	3560 (マイテイ)	33.8	34.4	1	0.8	6
現場打コンクリート部	51.11.19	338	170	758	1036	101.4 (ビンゾール)	53.0	42.6	4	0.03	21

表-4 コンクリートの調合

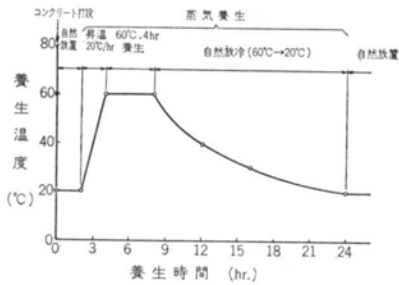


図-5 PC版の蒸気養生における温度・時間曲線

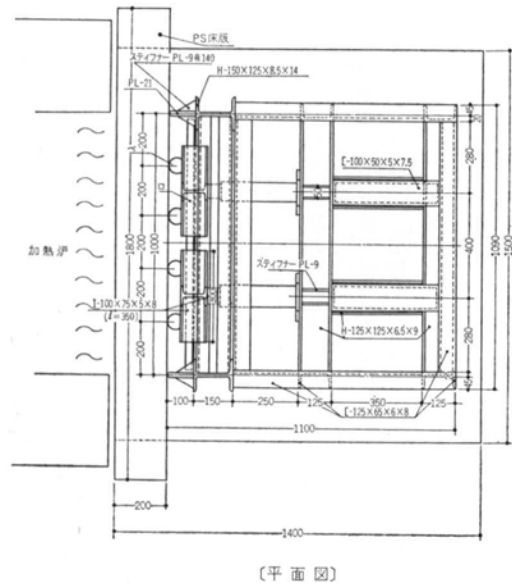
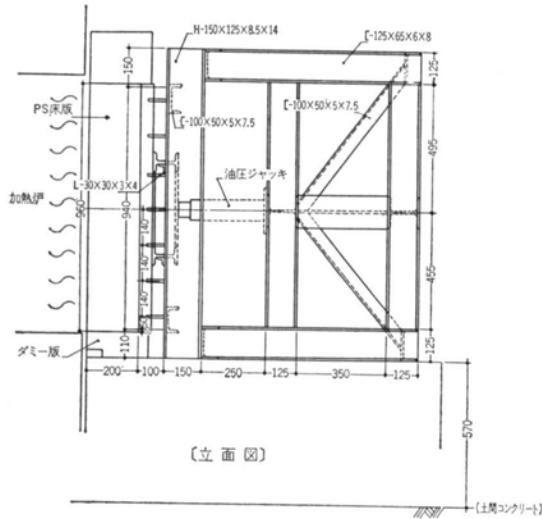


図-6 架台および加力装置

打継部は5cmピッチで1.5cmの凹凸をつけ、両者の一体性を計っている。

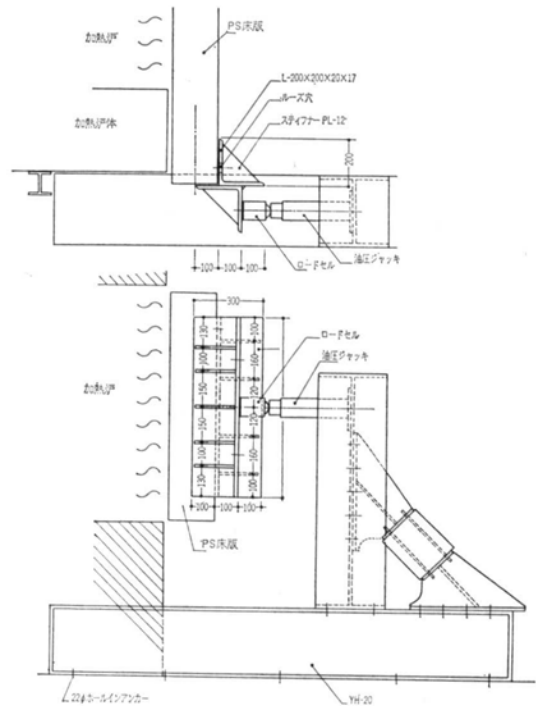


図-7 曲げ拘束加力装置

5.2 使用材料

PCストランドはJIS G 3536 (PC鋼線およびPC鋼より線) によるSWPR7B, 7本より12.7mmを用いた。その諸性は表-3に示すとおりである。

ワイヤーメッシュは6.0φ-150×150, 3.2φ-150×150, および6.0φ-200×200を用い、その各々の使用箇所は図-3に示すとおりである。

コンクリートの設計基準強度はPC部350kg/cm², 現場打ちコンクリート部210kg/cm²とし、その調査は表-4に示すとおりである。

5.3 供試体の製作

PS合成床版のPC部の型枠および配筋の状態は写真-1に、またPC版の蒸気養生の温度・時間曲線は図-5に示すとおりである。

PC版へのプレストレス力の導入はコンクリート打設後2日目に行ない、その導入力(全緊張力)は13.1t×4本とした。

現場打ちコンクリート部のコンクリート打設は、PC部のコンクリート打設後14日目に行なった。

5.4 加熱試験

加熱試験はPC部のコンクリートを打設してから2.8

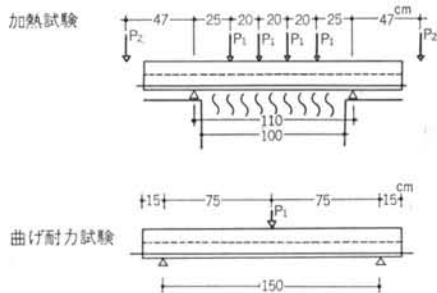


図-8 加熱試験および曲げ耐力試験における荷重方法



図-9 熱電対およびストレインゲージの埋込み位置

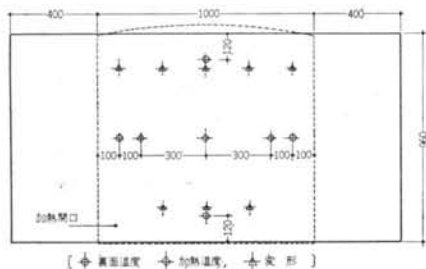


図-10 加熱温度、裏面温度および変形の測定位置

～3.8カ月の間に行なった。加熱炉は当社保有の壁用小型加熱炉（加熱面積は $1 \times 1 \text{ m} = 1 \text{ m}^2$ 、燃料は灯油）を用いた。

PS合成床版を支える架台および加力装置は、図-6および図-7に示すとおりである。この加熱試験は、荷重しながらPS床版を壁面状態で加熱させるため、支点部分は床版に埋込んだ吊上用フックおよびホールインアンカーにより架台支持部のH鋼に固定し、単純支持状態とした。

加熱試験における荷重方法は図-8に示すとおりである。荷重荷重は固定荷重 480 kg/m^2 、積載荷重 200 kg/m^2 によって実際の設計スパン（6.6m）の床版中央に生じる最大曲げモーメントが4点荷重（等分布荷重に近似させるため）の中央に生じるように P_1 の値を定めた。

単純支持の場合は、上記のように荷重した状態で加熱を行なった。

曲げ拘束の場合は、加熱前に固定梁状態の曲げモーメント分布にした状態で加熱を始め、加熱の経過とともに床版に反りが生じるが、跳出し部の変位を押えるように P_2 の加力を行なった。

加熱・温度曲線はASTM E 119の標準温度時間曲線によった。PS合成床版の各部分に埋込んだCA熱電対の位置は図-9に、また炉内加熱温度および裏面温度の測定位置は図-10に示すとおりである。

加熱面のコンクリートの爆裂の開始時間および終了時間は、爆裂音により判別した。また加熱中のPS合成床版の変形をとらえるため、図-10に示す位置で最小目盛 $1/100 \text{ mm}$ のダイヤルゲージを用いて測定した。

加熱試験時のコンクリートの含水率は、コンクリートシリンダー（ $10 \phi \times 20 \text{ cm}$ ）を 105°C で恒量になるまで乾燥させ、絶乾状態にもっていくことによって求めた。

5.5 曲げ耐力試験

曲げ耐力試験は図-8に示す荷重状態で行なった。この試験では曲げ破壊を生じやすくするため、支点距離を加熱試験時のスパン1.1mより広げ、1.5mとした。

5.6 PCストランドの引張強度試験

加熱試験および曲げ耐力試験後のPS合成床版より、PCストランドを研り出し供試体とした。そのほぼ中央部の50cmを引張支点距離として、アムスラー型万能試験機（最大容量30トン）で引張荷重と歪みの関係を求めた。

§ 6. 実験結果および考察

6.1 加熱による各部の温度

PS合成床版の加熱中央部での温度変化の一例は図-11に、また各供試体のPCストランドの温度および裏面温度は表-5に示すとおりである。

加熱表面から3cmの位置に埋込まれたPCストランドの温度は、ASTM E 119に規定されている限界温度の 427°C に、No.5の場合56分で、No.3の場合74分で到達した（No.2は加熱60分後も到達しなかった）。

コンクリートに爆裂が生じ始めると、加熱面に近い部分（3cm位まで）は時間的に10～15分程度の遅れで温度の急上昇が認められ、PCストランドの温度上昇にも影響を及ぼしている。

加熱60分までの各部の温度を、加熱時間ごとに示した

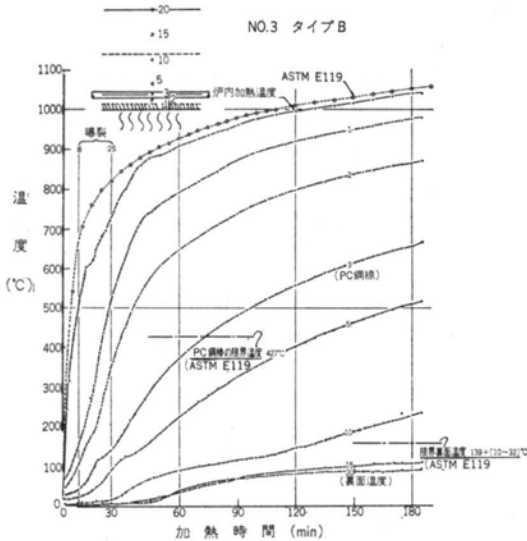


図-11 温度・時間曲線の一例

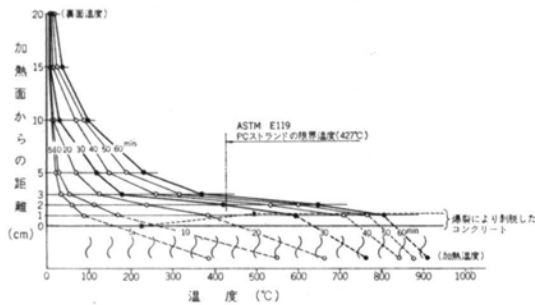


図-12 各部分の平均温度

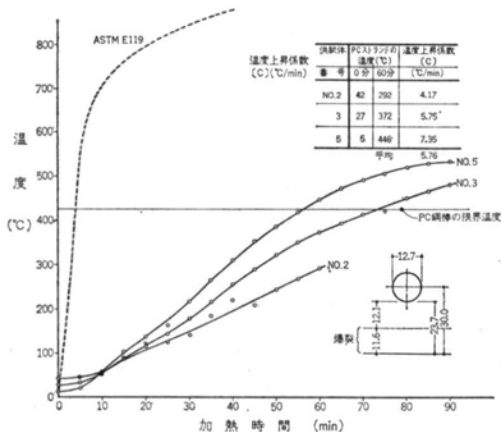


図-13 PCストランド部分(3cm深さ)の温度上昇係数
の図-12である。この図より、コンクリートに爆裂が生じる場合の各部の温度をほぼ知ることができる。

PCストランドが埋込まれた3cm深さの温度上昇係数Cは、図-13に示すようにバラツキ(測定位置の爆裂深

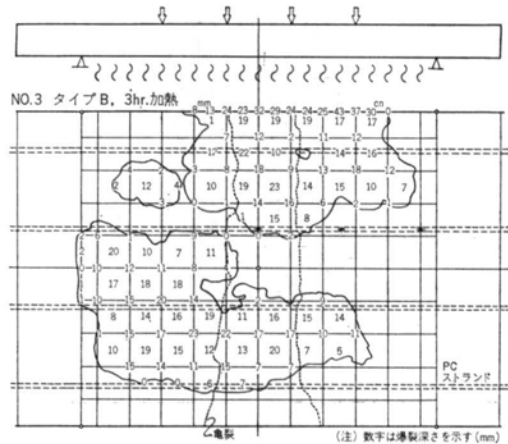


図-14 コンクリートの爆裂状態の一例

さに差があったため)もあるが $5.8^{\circ}\text{C}/\text{min}$ がえられた。この値は§2.で用いたCの値 $7.0^{\circ}\text{C}/\text{min}$ より小さくなっているが、これは主として供試体の断面積の違いによるものと考えられる。

裏面温度はPS合成床版の厚みが20cmであったため、今回の加熱試験の範囲内ではASTM E 119の限界温度(139+10~32°C)に達するものはなかった。

6.2 コンクリートの爆裂

加熱面側のコンクリートの爆裂は図-14および表-6に示すとおりであり、加熱後6~25分の間に発生し、爆裂の最盛期は16~19分であった。

爆裂が生じた面積はNo.4を除いて加熱面積の50~60%に達し、その深さは10~13.5mmであり、PCストランドの被り厚23.7mmの約半分に達した。

爆裂開始時の加熱温度は475~575°C、1cm深さでのコンクリートの温度は160~170°Cであった。爆裂最盛期のそれらは620~650°Cおよび300~390°C、爆裂終了時のそれらは700~800°Cおよび520~560°Cであった。

森¹⁾の研究によると爆裂が発生し始めるコンクリート温度は300~400°Cからであり、500°Cで止まるとしている。また、木村、山崎等¹²⁾は爆裂が生じる時のコンクリート温度は200~300°Cとしており、今回の結果はこれらの値とほぼ一致している。

PS部材は一般にRC部材に比べて爆裂が生じやすいといわれている。コンクリートの爆裂の原因については水分(水蒸気圧)説と内部熱応力説とが唱えられているが、今回のPS合成床版の場合、水分説からみるとコンクリートに含まれている自由水の量¹¹⁾とセメント量¹²⁾(コンクリートの緻密度)、また内部熱応力説からみるとプレストレスが導入されている¹³⁾という点から爆裂が

供試体番号	加熱時間	PC ストランドの温度		裏面温度	
		427℃に達した時間	最高温度とその時間	加熱終了時	最高温度とその時間
No. 2	1時間 (60分)	—	357℃ (76分)	22℃	88℃ (300分)
No. 3	3時間5分 (185分)	74分	666℃ (183分)	90℃	102℃ (284分)*1)
No. 5	1時間33分 (93分)	56分	546℃ (95分)	36℃	70℃ (330分)*1)
ASTME 119 の限界温度		800°F (427℃)		250+50~90°F (139+10~32℃)	

*1) この時間で温度計測を中止したため、最高温度はさらに大きな値になるものと思われる。

表-5 PCストランドと裏面の温度

*1) 含水率 (o/wt)	*2) 自由水量 (kg/m³)	供試体の 番号 No.	爆裂時間(分) (開始:最盛 期:終了)	温度(℃)			爆裂率 (%)	爆裂深さ (mm)
				時間	加熱温度	1cm深さ の温度		
5.72	129	2	9:16:23	9	536	172	61.6	13.1
				16	623	297		
				23	689	557		
		3	8:19:25	8	475	158	50.0	11.1
				19	652	387		
				25	719	518		
		4	8:-:25	8	581	—	28.3	9.8
				—	—	—		
				25	803	—		
		5	7:17:25	7	507	87	58.2	11.2
				17	632	222		
				25	712	398		

*1) 含水率 = $\frac{\text{加熱時の重量} - \text{絶乾時の重量}}{\text{絶乾時の重量}} \times 100$ *2) 自由水量 = $\frac{\text{加熱時の重量} - \text{絶乾時の重量}}{\text{加熱時の容積}}$

表-6 コンクリートの爆裂性状

多く生じたと考えられるが、今回の場合、これらのうちどれがもっとも効いたかは明確ではない。

6.3 PS合成床版の耐火性の推定

PS合成床版の耐火性の推定は、Gustaf Ferroの方法¹¹⁾に準じて行なった。それらを示す次のとおりである。

注1) 今回の場合の自由水量: 129kg/m³。白山等¹²⁾によると、コンクリート中の自由水量が120kg/m³程度以下であれば爆裂の可能性は少なく、140kg/m³程度になるとある程度の爆裂が生じ始め、150~160kg/m³以上になるとはげしい爆裂が生じるとしている。

注2) 今回の場合のセメント量: 445kg/m³。田村¹⁴⁾によるとセメント量が350kg/m³以下の場合は爆裂の危険は少ないが、400kg/m³を越えると爆裂するものが現われてくるとしている。

1) PCストランドの温度T°の推定

温度の実測もしくは温度上昇係数Cを用いて式(2)より算定する。

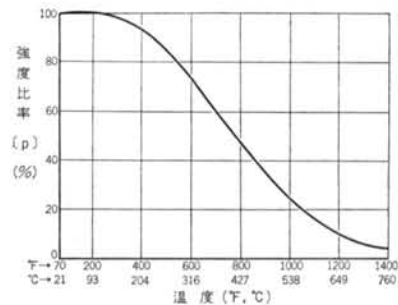
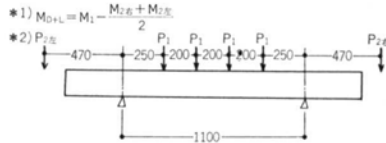


図-15 PCストランドの熱間強度比¹⁰⁾

注3) 今回の場合の導入応力: 49.6kg/cm²。床版の下面は加熱初期に急激な熱膨脹を生じる。この膨脹が拘束されると熱応力によって表面層のコンクリートが圧縮破壊を生じる。

加熱時間 (min)	PCストランドの熱間強度比		PCストランドの終局強度 (f_{pu}) (kg/cm ²)	PCストランドの終局強度 (f_{pu}) (kg/cm ²)	PCストランドの引張応力 (f_{ps}) (kg/cm ²)	等価矩形ストレスブロック厚 (a_0) (cm)	曲げ破壊耐力 ($M_{u\theta}$) (kg-cm)	載荷荷重 ^{*1)}			スパン中央の曲げモーメント			
	(°C)	(°F)						(P_1) (ton)	(P_{2L}) (ton)	(P_{2R}) (ton)	(M_{2L}) (t-m)	(M_{2R}) (t-m)	(M_1) (t-m)	(M_{D+L}) ^{*2)} (t-m)
0	27	81	1.00	17730	16209	3.14	987914	4.5	5.1	2.12	2.40		1.44	
10	52	126	1.00	17730	16209	3.14	987914	4.55	5.05	2.14	2.37		1.44	
20	122	252	0.99	17553	16062	3.12	979589	4.95	4.85	2.33	2.28		1.39	
30	178	352	0.955	16932	15544	3.02	951067	4.8	4.8	2.26	2.26		1.44	
40	253	487	0.86	15248	14123	2.74	871933	4.45	4.55	2.09	2.14		1.58	
50	322	612	0.72	12766	11977	2.32	749377	4.65	4.6	2.19	2.16		1.52	
60	372	702	0.605	10727	10170	1.97	643347	4.5	4.4	2.12	2.07		1.60	
70	414	777	0.51	9042	8646	1.68	551891	4.4	4.1	2.07	1.93		1.70	
80	450	842	0.42	7447	7179	1.39	462362	4.4	4.15	2.07	1.95	3.70	1.69	
90	480	896	0.36	6383	6186	1.20	400729	4.35	4.0	2.04	1.88		1.74	
100	508	946	0.30	5319	5182	1.01	337635	4.3	3.85	2.02	1.81		1.78	
110	534	993	0.26	4610	4507	0.874	294865	4.35	3.9	2.04	1.83		1.76	
120	557	1035	0.22	3901	3827	0.742	251375	4.35	4.0	2.04	1.88		1.74	
130	577	1071	0.19	3369	3314	0.643	218327	4.3	3.95	2.02	1.86		1.76	
140	597	1107	0.16	2837	2798	0.543	184885	4.45	3.95	2.09	1.86		1.72	
150	614	1137	0.14	2482	2452	0.476	162347	4.15	3.75	1.95	1.76		1.84	
160	630	1166	0.12	2128	2106	0.409	139717	1.75	1.3	0.82	0.61		2.98	
170	645	1193	0.11	1950	1932	0.375	128303	2.8	3.1	1.32	1.46		2.31	
180	657	1215	0.095	1684	1670	0.324	111072	2.1	3.05	0.99	1.43		2.49	



表一 7 曲げ破壊耐力 $M_{u\theta}$ の算定

供試体 (No.) 支持条件	M_{D+L} (t-m)	$\frac{M_{D+L}}{M_u}$	加熱時間 (hr:min)	PC ストランドの温度 (°C)	裏面温度 (°C)	$M_{u\theta}$ (t-m)	$\frac{M_{D+L}}{M_{u\theta}}$	コンクリートの爆裂		
								時間 (min)	面積率 (%)	平均深さ (mm)
2. B 単純支持	3.70	0.374	1:00	292	89	8.03	0.461	9~24	61.6	13.1
4. D //	3.70	0.374	1:00	—	81	—	—	8~18	28.3	9.8
5. D //	3.70	0.374	1:33	446* 540	87	4.72* 2.84	0.784* 1.303	9~27	58.2	11.2
3. B 曲げ拘束	1.44	0.146	3:05	372* 667	110	6.43* 1.11	0.224* 1.297	8~25	50.0	11.1

* 1 時間加熱時の値 $M_u = 9.88t\text{-m}$, $f_c' = 225\text{kg/cm}^2$, $f_s' = 17730\text{kg/cm}^2$

表一 8 加熱試験結果の一覧

$$T^\circ = C \cdot t \text{ (}^\circ\text{C)} \quad \dots\dots(2)$$

ここで, C : 温度上昇係数($^\circ\text{C}/\text{min}$)

t : 加熱時間(min)

ここで, A_{ps} : PCストランドの断面積 (cm^2)

b : 床版の幅(cm)

d : プレストレスの中心から
圧縮縁までの距離(cm)

f_c' : コンクリートの圧縮側の
圧縮強度(kg/cm^2)

2) PCストランドの熱間終局強度 $f_{pu\theta}$ の推定

図一15より, ある温度におけるPCストランドの常
温強度 f_{pu} に対する強度比 p を求め, 式(3)より熱間終
局強度 $f_{pu\theta}$ を算定する.

$$f_{pu\theta} = p \cdot f_{pu} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad \dots\dots(3)$$

ここで, f_{pu} : PCストランドの常温
時の終局強度(kg/cm^2)

p : 常温時の終局強度に対
するある温度における
終局強度の比

4) 等価矩形ストレスブロック厚 a_0 の推定

a_0 を式(5)で算定する.

$$a_0 = \frac{A_{ps} \cdot f_{ps\theta}}{0.85 \cdot f_c' b} \text{ (cm)} \quad \dots\dots(5)$$

5) 曲げ破壊耐力 $M_{u\theta}$ の推定

$M_{u\theta}$ を式(6)で算定する.

$$M_{u\theta} = A_{ps} \cdot f_{ps\theta} \left(d - \frac{a_0}{2} \right) \text{ (kg} \cdot \text{cm)} \quad \dots\dots(6)$$

3) PCストランドに生じる引張応力 $f_{ps\theta}$ の推定

$f_{ps\theta}$ を式(4)で算定する.

$$f_{ps\theta} = f_{pu\theta} \left(1 - \frac{0.5 A_{ps} \cdot f_{pu\theta}}{b d \cdot f_c'} \right) \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad \dots(4)$$

6) 床版の固定荷重 D と積載荷重 L による作用モーメ
ント M_{D+L} と曲げ破壊耐力 $M_{u\theta}$ との比較

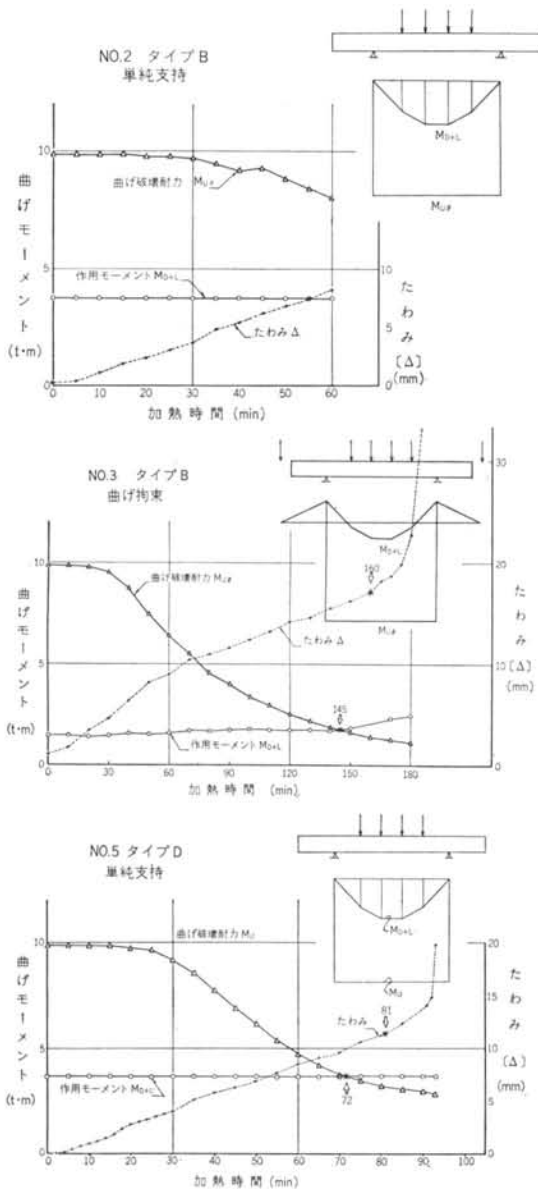


図-16 加熱による曲げ破壊耐力，作用モーメント，およびたわみとの関係

M_{D+L} と M_{u0} とが交差する加熱時間を求める。

7) M_{D+L} と M_{u0} との交点と床版のたわみ変形 Δ の変曲点との比較

M_{D+L} と M_{u0} との交点とたわみ変形の変曲点より床版の耐火時間を決める。

上記の方法に基づいて曲げ破壊耐力 M_{u0} を算定した一例を表-7に，また作用モーメント M_{D+L} ，曲げ破壊耐力 M_{u0} およびたわみ量 Δ との関係を図示したのが図

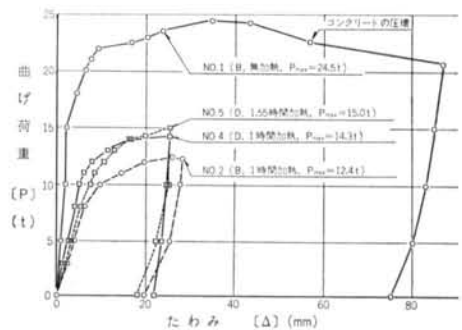


図-17 加熱後の曲げ耐力

—16であり，さらにこれらの結果を一覧表にしたのが表—8である。

今回のPS合成床版において，単純支持状態で加熱した場合の耐火時間は約70～80分といえる。また，曲げ拘束の状態では約145～160分であるといえる。実際の建物の端部固定度が明確でないため，耐火時間が何分というように決めることができないが，2時間耐火性能は満足しているといえる。

6.4 加熱後のPS合成床版の曲げ耐力

1～1.5時間加熱したPS合成床版の曲げ耐力性状は，図—17に示すとおりである。

加熱を受けた床版の最大曲げ荷重は無加熱のものに比べ50～60%に低下し，最大曲げ荷重時のたわみ量も60%程度に低下している。PCストランドの上に直接ワイヤーメッシュを乗せたタイプDは，タイプBより曲げ耐力が2割程度大であった。

6.5 加熱後のPCストランドの引張強度

加熱を受けたPCストランドの引張試験の結果は表—9に示すとおりであり，また引張応力と伸び率との関係は図—18に示すとおりである。

履歴温度が高くなるにつれて，最大荷重時の伸び率は小さくなっており，破断面は延性破壊の状態になっている。また，履歴温度と最大引張荷重および最大引張荷重

供試体の番号	加熱時間 (分)	最高履歴温度 (°C)	最大引張荷重 (ton)	最大引張応力 (kg/cm ²)	最大引張荷重時の伸び率 (%)
No.1 タイプB	0	20	18.69(100)	18936	2.580(100)
4 タイプD	60	—	14.45(77)	14641	2.214(86)
2 タイプB	60	357	11.23(60)	11373	1.540(60)
5 タイプD	93	546	9.27(50)	9387	0.441(17)
3 タイプB	185	667	6.71(36)	6798	0.337(13)

*1) 常温を100としたときの指数

表—9 加熱を履歴したPCストランドの引張強度性状

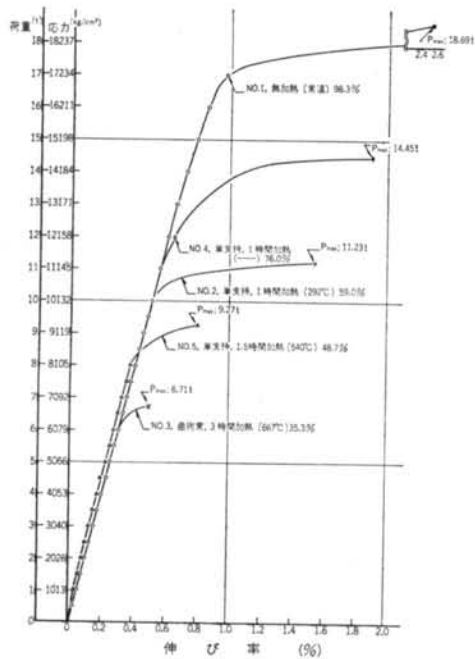


図-18 加熱を受けたPCストランドの引張～伸び性状時の伸び率との間には、図-19および図-20に示すようにほぼ直線的な関係がえられた。

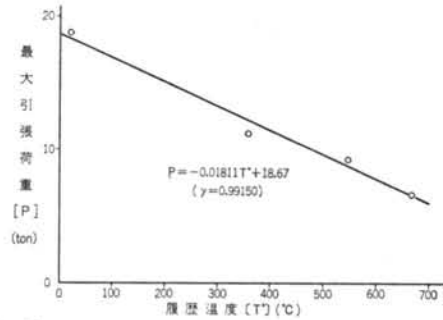


図-19 PCストランドの履歴温度と引張荷重との関係

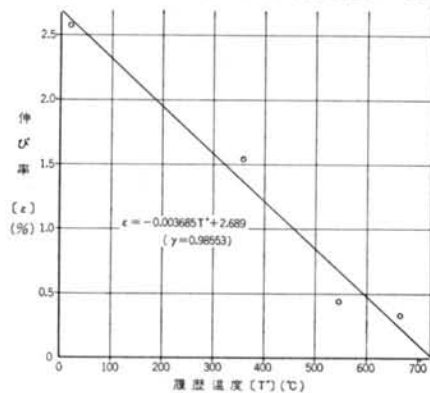


図-20 PCストランドの履歴温度と引張伸び率との関係

§ 7. まとめ

今回のPS合成床版の耐火性の検討により、以下のことが分った。

- (1) コンクリートの爆裂は、加熱後8～25分間に生じ爆裂の最盛期は16～19分間であった。
- (2) 爆裂は加熱面積の50～60%に生じ、その深さはPCストランドの被り厚の約半分の10～13.5mmに達した。
- (3) 爆裂はコンクリート温度が200℃に達する頃から生じ始め、500～550℃で終了した。
- (4) 爆裂が生じると、深さ3cmまでのコンクリート温度は、10～15分の遅れで急上昇が認められた。
- (5) 爆裂が生じた場合の加熱60分までのPCストランドの温度上昇係数Cは、5.8℃/minであった。
- (6) 加熱面側のコンクリートに爆裂が生じるようなPS合成床版でも、PCストランドの温度上昇係数が求められ、6.3(1)～7)の手順によって床版の耐火時間の推定

がほぼ可能である。

(7) 単純支持の場合の M_{D+L} と M_{u0} との交点から求めた耐火時間は70分、端部に曲げ拘束を受ける場合は145分であった。

(8) これらの値は床版のたわみ曲線の変曲点から求まる耐火時間より10～15分短かかった。

(9) 60～90分の加熱を受けたPS合成床版の曲げ耐力は無加熱のものの50～60%に低下した。

(10) 加熱を受けたPCストランドの冷間引張強度およびその伸び率は、履歴温度との間にはほぼ負の比例関係が認められた。

今回のPS合成床版は、ほぼ2時間耐火性能を保持していることが確かめられたが、火災後の再使用を考えると床版の下面にひる石プasterやロックウール吹付材などの耐火断熱層を設けることが望ましい。これにより、床版下面のコンクリートの温度上昇を抑え、かつコンクリートの爆裂を防ぐことができ、床版の火災時の安全性を向上することができる。

<参考文献>

- 1) 小林, 立部, 佐藤, 塩屋: “プレキャストプレストレスト合成床版に関する実験的研究(その1)—曲げ加力実験および有

- 効プレストレス量確認実験— 清水建設研究所報 第30号 (昭和54年4月) pp.51~62
- 2) 浜田, 川越等: "建築防火論" 彰国社 p.219
 - 3) 日本建築学会: "JASS・5 鉄筋コンクリート工事, 15.7プレストレストコンクリート" p.289
 - 4) 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, 付9 プレストレストコンクリートの耐火性" pp.502~513
 - 5) 仁杉, 河野, 菅原: "PC桁の耐火性の研究" 土木学会誌 第44巻9号 (昭33年9月) pp. 1~10
 - 6) "ACI Tentative Recommendation" ACI-ASCE Joint Committee
 - 7) FRS (U.K.)
 - 8) "FIP/CEB Recommendations for the Design of Reinforced and Prestressed Concrete Structural Member for Fire Resistance (1st. Edition)" p. 1~19
 - 9) A.H.Gustaferrero: "Fire Resistance of Post-Tensioned Structures" PCI, Feb. 1973
 - 10) A.H.Gustaferrero: "Design of Reinforced and Prestressed Concrete Structures for Fire Resistance" IABSE, Tokyo, Sep. 6~11, 1976. pp.141~155
 - 11) 森: "建築材料の火災時における高温性状に関する研究" 博士論文 (昭和50年12月) p.225
 - 12) 木村, 山崎: "人工軽量材コンクリートの爆裂実験研究について" 日本建築学会論文報告集 (昭和41年) pp.689~690
 - 13) 白山等: "人工軽量骨材コンクリートの耐火性に関する資料" 人工軽量骨材協会 (昭和51年2月) p.37
 - 14) 田村: "人工軽量骨材コンクリートの火災時の爆裂について" Bull. of Fire Prevention Society of Japan, Vol.16, No.2 (1967)

