

## 有機繊維を混入したプレテンション方式PC版の耐火性能に関する検討

(株) ピーエス三菱 正会員 工修 ○青山敏幸  
 (株) ピーエス三菱 正会員 工修 鈴木雅博  
 (財) ベターリビング 工博 遊佐秀逸  
 (財) ベターリビング 須藤昌照

### 1. はじめに

トンネル内の PC 構造物の適用事例としては、長大トンネルにおける換気路を設けるための部材としての PC 天井版等がある。トンネル内の構造物については、通常の構造設計に加えて、トンネル内の火災に対しても安全性を確保しつつ合理的な耐火設計を行う必要があり、近年はその気運も高まっている<sup>1)</sup>。

従来の耐火設計は、構造物の表面に耐火被覆材を設ける方法が一般的であったが、コンクリート内に低融点の有機繊維を混入し、熱で消失した繊維の空隙を通して水蒸気圧を解放することで、コンクリート自身に耐火性能を持たせようとする試みも近年行われてきている。この方法は、これまでの耐火被覆材を構造物表面に取り付ける方法よりも安価となり、また被覆材設置のための工期等も短縮されるため、経済的になるものと考えられる。

加熱試験に関しては、建築構造物を主な対象に IS0834 の加熱曲線を用いて評価している事例が多く、その場合の有機繊維の混入は、爆裂防止に有効な方法であることが知られている。しかしトンネル火災を想定した欧州での実験結果に基づき、ISO 等の加熱曲線に比べて短時間でより高温の加熱曲線の特徴としたドイツの RABT 曲線、オランダの RWS 曲線等がトンネル火災による加熱曲線として規定されており、日本においても適用されるケースが増えつつあるが、その場合の有機繊維の混入による耐火特性に対する実施例はまだ少ない。

そこで本報告は、ポリビニールアルコール (PVA)、ポリプロピレン (PP) の有機繊維を混入した PC 版に対して、RABT 曲線を用いた加熱試験ならびに加熱試験終了後に静的曲げ荷重試験を実施して、その耐火特性について実験的に検討した結果を述べる。

### 2. 実験概要

#### (1) 供試体の概要

##### a) 供試体の形状・寸法

供試体の形状を図-1に、供試体の種類を表-1にそれぞれ示す。

供試体寸法は、300×750×3600mmの矩形断面とし、PC鋼材を下面に4本、上面に2本配置したプレテンション方式PC版である。スターラップは、等曲げ区間には配置せず、それ以外は75～150mmのピッチで配置した。鉄筋のかぶり厚は53mm、供試体表面からPC鋼より線の中心までの距離は70mmとした。

供試体のパラメータは、有機繊維混入の有無、有機繊維の種類、有機繊維の混入量である。No. 1 (N) は有機繊維を混入しない供試体である。No. 2 (V-0.075)、No. 3 (V-0.15) は、それぞれPVA繊維を単位容積あたり0.075%、0.150%混入した供試体である。No. 4 (P-0.05)、No. 5 (P-0.1) は、それぞれPP繊維を単位容積あたり0.05%、0.1%混入した供試体である。

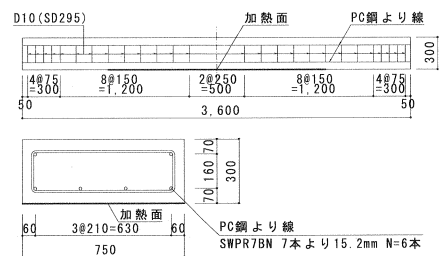


図-1 供試体形状

表-1 供試体種類

No.	供試体名称	繊維種類	繊維量 Vol%	加熱試験
No. 1	N	無	-	有
No. 2	V-0.075	PVA	0.075	
No. 3	V-0.15		0.15	
No. 4	P-0.05	PP	0.05	
No. 5	P-0.1		0.1	
No. 6	B	PVA	0.15	無

なおNo. 6は、No. 3と同一供試体であるが、加熱前後で耐荷性能を確認することを目的に加熱試験を行わなかった供試体である。

b) 使用材料・配合

コンクリートの使用材料を表-2に、コンクリートの配合を表-3にそれぞれ示す。今回は、PC天井版を対象としているため、設計基準強度50N/mm<sup>2</sup>、プレストレス導入時の強度35N/mm<sup>2</sup>を満足するよう、水セメント比を35%とした。

(2) 実験方法

a) 加熱試験

試験は、(財)ベターリビングの水平加熱炉にて、ドイツ基準(RABT 曲線)の60分加熱曲線を用いて、コンクリート打設後、約1年間乾燥した後に実施した。

加熱曲線ならびに供試体内部の温度測定箇所を図-2に示す。加熱温度は、供試体の表面から100mm離れた位置に8点設置した熱電対により管理した。またコンクリート内部の温度は、供試体表面から35mm、70mm、150mmの位置に埋め込んだ熱電対により測定した。なお加熱面は、図-1にも示すように供試体の断面中央部の2mとした。

b) 静的曲げ載荷試験

静的曲げ載荷試験は、加熱試験を実施して約2ヶ月後に実施した。試験は、スパン3000mm、等曲げ区間500mmの2点載荷とした。測定項目は、スパン中央、支点部の変位とした。

3. 実験結果と考察

(1) 加熱試験

加熱試験時のコンクリートの圧縮強度を表-4に、炉内の供試体表面から100mm位置に設置した加熱温度の測定結果、および各供試体のコンクリート内部の温度測定の結果を図-3に、加熱試験終了後の加熱面の状況を写真-1にそれぞれ示す。

No. 1は、加熱開始4分30秒に加熱側表面の全面で爆裂が発生し、その後約60分まで爆裂が続いた。爆裂深さの最大値は260mmであり、鉄筋およびPC鋼より線の露出が認められた。35mm、70mm位置のコンクリート内部の温度は、コンクリートの爆裂により露出された状態となったため、それぞれの温度は炉内温度と同程度までに達していた。

No. 2は、加熱開始4分30秒に加熱側表面の約1/2で爆裂が発生し、除々に爆裂の範囲が広くなり、13分30秒で加熱側表面の全面において爆裂が認められた。爆裂は約60分まで継続して認められた。爆裂の深さは最大で60mmであり、一部帯鉄筋の露出が認められたが、PC鋼より線の露出は認められなかった。しかしPC鋼より線位置における最高温度は415℃に達していた。

No. 3は、加熱開始4分30秒に加熱側表面の一部で爆裂が発生したが、加熱面の全面に至る爆裂は認められなかった。爆裂の深さは、最大で15mmであり、PC鋼より線位置における最高温度は243℃であった。

PP繊維を混入したNo. 4、No. 5は、加熱面の表面に亀裂は生じたものの、爆裂は認められず、有機繊維混入による爆裂防止効果が認められる結果となった。なおPC鋼より線位置における最高温度は、それぞれ257℃、264℃であり、PC鋼材の温度がJISの建築構造の耐火試験方法<sup>3)</sup>のうち、プレス

表-2 使用材料

種類	材料	備考
セメント	早強セメント	密度3.14g/cm <sup>3</sup>
細骨材	秋田県産	表乾密度2.57g/cm <sup>3</sup>
粗骨材	岩手県産	表乾密度2.93g/cm <sup>3</sup>
繊維	PVA	繊維径100μm、繊維長12mm 密度1.3g/cm <sup>3</sup>
	PP	繊維径18μm、繊維長10mm 密度0.9g/cm <sup>3</sup>

表-3 コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	AIR (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )			
			W	C	S	G
35	49	2	160	457	853	1004

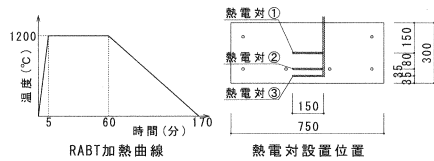


図-2 加熱曲線と温度測定位置

表-4 加熱試験時の圧縮強度

No.	供試体名称	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )
No. 1	N	77.5
No. 2	V-0.075	84.7
No. 3	V-0.15	88.0
No. 4	P-0.05	84.2
No. 5	P-0.1	80.6

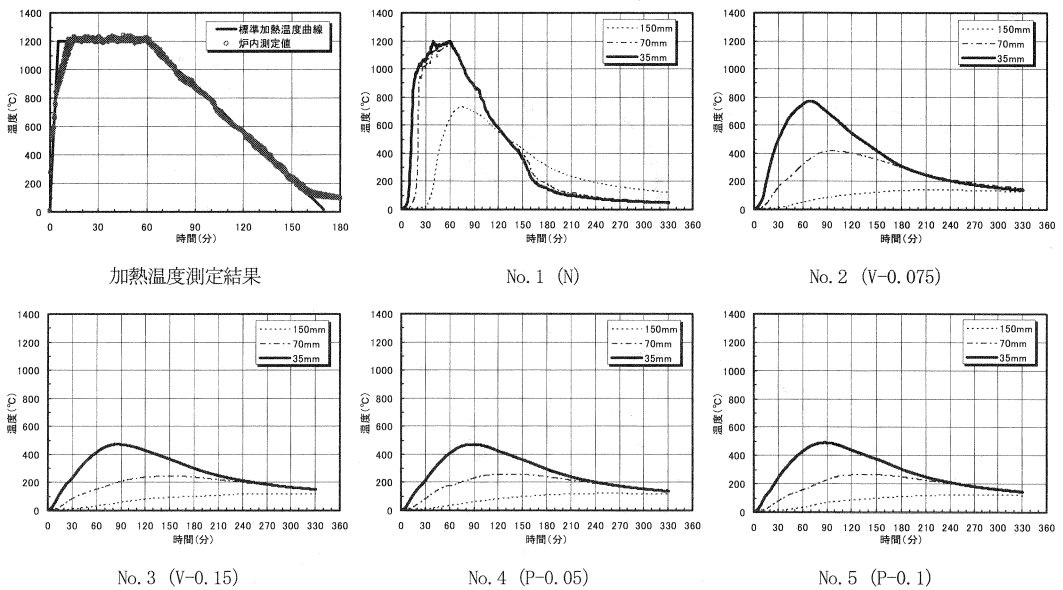


図-3 加熱温度、供試体内部の温度測定結果

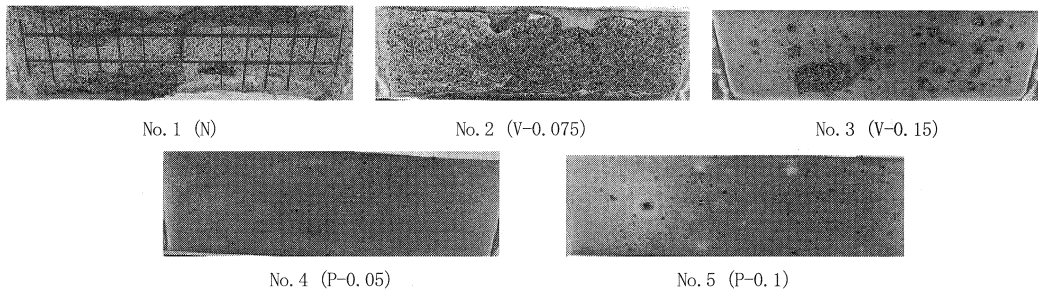


写真-1 加熱試験終了後の加熱面の状況

トレストコンクリート造で規定されている最高温度の 400°C に達していないことを確認した。

(2) 静的曲げ載荷試験

加熱試験後に行った各供試体の静的曲げ載荷試験の結果を表-5 に、荷重-変位の関係を図-4 にそれぞれ示す。計算値は、コンクリート標準示方書<sup>2)</sup>に準拠して算出した。なおコンクリートの圧縮強度は実測値を、PC 鋼材の引張強度については材料特性値を用いるものとした。

爆裂深さが軽微であった No. 3、および爆裂が認められなかった No. 4、No. 5 は、No. 6 (非加熱供試体) と比較すると、加熱試験時に生じたひび割れ、かぶりコンクリートの性能低下と思われる理由により、初期剛性が若干低下しているが、最大荷重はほぼ同等な値を示した。一方、コンクリートの爆裂により断面が大きく欠損した No. 1 は、剛性低下により他の供試体に比べて同一荷重に対しての変位は大きくなった。その後 260kN あたりから荷重は増加せず、最終的にはコンクリートの上縁部が圧壊して試験を終了した。なお PC 鋼より線 2 本が、コンクリートの爆裂により露出していたが、PC 鋼より線の破断は生じなかった。また爆裂が認められた No. 2 は、310kN まで載荷したところで、PC 鋼より線が破断し

表-5 各供試体の載荷試験の結果

No.	供試体名称	破壊荷重 (kN)		破壊状況
		実験値	計算値	
No. 1	N	262.3	316.5	コンクリート圧壊
No. 2	V-0.075	311.2		PC 鋼より線の破断
No. 3	V-0.15	392.3		コンクリート圧壊
No. 4	P-0.05	399.3		コンクリート圧壊
No. 5	P-0.1	400.3		コンクリート圧壊
No. 6	B	396.3		コンクリート圧壊

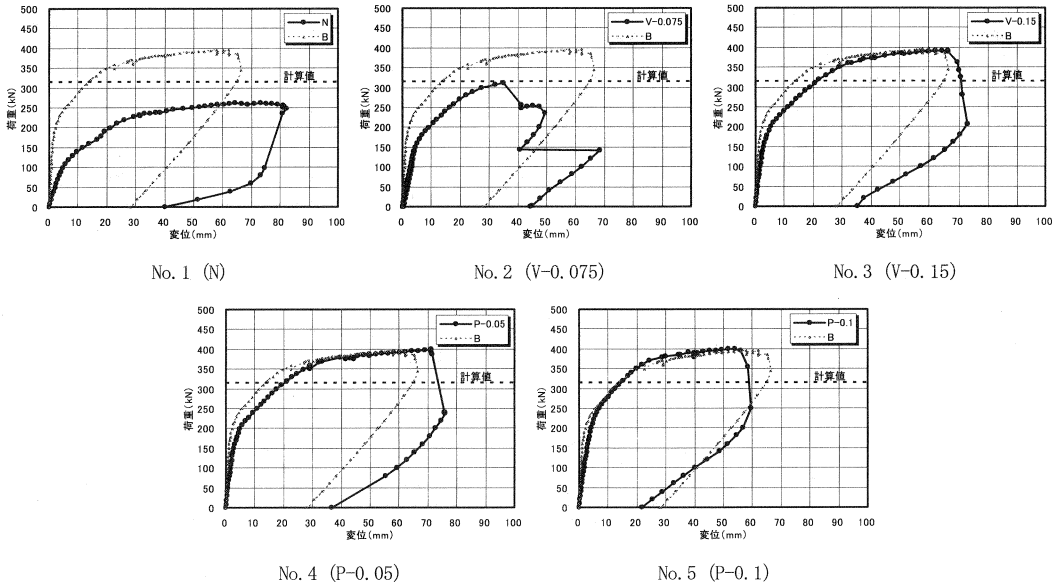


図-4 荷重—変位の関係

て荷重が 250kN 程度まで低下した。その後の荷重により、他の PC 鋼より線が破断し、荷重が 150kN 程度に低下したところで試験を終了した。

有機繊維を混入して、爆裂を抑えることのできた No. 3, No. 4, No. 5 は、非加熱供試体と同等の耐力を有していることを確認した。一方、爆裂を抑えることができなかった No. 1 は、コンクリート断面の大幅な欠損により、非加熱供試体に比べて終局荷重が約 35%, No. 2 は、加熱による PC 鋼より線の機械的性質の低下により非加熱供試体に比べて終局荷重が約 20%低下した。

#### 4. まとめ

火害に対してのコンクリートの爆裂を防止することを目的に、有機繊維の種類、ならびに混入量をパラメータとした PC 版の RABT 曲線による加熱試験、ならびに加熱試験終了後に静的曲げ荷重試験を実施して、その耐火特性について実験的に検討した。

- 1) 何も対策を行わなかった PC 版は、加熱試験直後からコンクリートの爆裂が生じたが、PP 繊維を混入した PC 版は、繊維の混入量が 0.05%, 0.1%どちらもコンクリートの爆裂が認められなかった。また、PVA 繊維を混入した PC 版は、繊維の混入量が 0.075%のものは最大で 60mm の爆裂が生じたが、0.15%のものは爆裂範囲が非常に軽微であった。
- 2) 加熱試験により、爆裂範囲が非常に軽微であった No. 3, および爆裂が認められなかった No. 4, No. 5 は、静的曲げ荷重試験の結果より、最大荷重は非加熱供試体と同等の値を有していることを確認した。一方、爆裂が確認された No. 1 はコンクリートの断面欠損により、No. 2 は PC 鋼より線の機械的性質の低下により、それぞれ非加熱供試体に比べて終局荷重がそれぞれ 20%, ならびに 35%低下した。

#### 参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート構造物の耐火技術研究小委員会報告ならびにシンポジウム論文集 pp. 3-28, コンクリートシリーズ 63, 平成 16 年 10 月
- 2) 土木学会：2002 年制定 コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] pp. 60-62
- 3) 日本規格協会：JIS ハンドブック 24-2 建築試験設備編 JIS A 1304 建築構造部分の耐火試験方法 pp. 480-484