

# 繊維混入モルタルの加熱による材料特性の変化

0417042 河野慎平  
指導教員 栗原哲彦

## 1. はじめに

トンネルなどの鉄筋コンクリート構造物が火災により高温に曝された場合、爆裂現象の発生、強度低下などの理由から修復を余儀なくされ、構造物の崩壊が起きてしまうと人命にもかかわってくる。したがって、経済面、環境面、社会面からも、コンクリートの耐火性を検討する必要がある。そこで、本研究では既存の爆裂防止策の中でも、安価でしかも施工が容易であり、コンクリート自体に耐火性能を期待できる有機繊維混入を用い、高温暴露後の部材の材料特性の検討を行なった。

## 2. 実験概要

### 2.1 試験体諸元

6種類のモルタル{繊維無混入の高強度モルタル(M-20)、普通モルタル(M-60)、PVA 繊維を混入の高強度モルタル(PV-20)、普通モルタル(PV-60)、PP 繊維を混入の高強度モルタル(PP-20)、普通モルタル(PP-60)}により、試験体を作製した。なお、繊維混入率は容積比で 0.2%とした。試験体の示方配合を表 1 に示す。また、試験体の本数は各シリーズ、圧縮試験用円柱試験体(50×100mm)3本、曲げ試験兼中性化試験用角柱試験体(40×40×160mm)3本ずつとした。

表 1 示方配合

シリーズ名	W/(C+SF)		単位量 (kg/m <sup>3</sup> )							
	%	W	C	SF	S	Ad1	Ad2	Ad3	PVA	PP
M-20	20	162	804	147	1156	33.3	-	-	-	-
PV-20	20	162	804	147	1156	33.3	-	-	2.60	-
PP-20	20	162	804	147	1156	33.3	-	-	-	1.82
M-60	60	282	471	-	1356	-	1.17	0.05	-	-
PV-60	60	282	471	-	1356	-	1.17	0.05	2.60	-
PP-60	60	282	471	-	1356	-	1.17	0.05	-	1.82

W:練混ぜ水、C:セメント、SF:シリカヒューム、S:細骨材、Ad1:高性能AE減水剤、Ad2:AE減水剤、Ad3:AE助剤、PVA:ピニロン繊維、PP:ポリプロピレン繊維

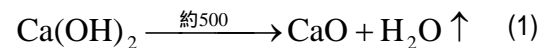
### 2.2 試験方法

各試験の養生期間と計測項目を表 2 に示した。加熱試験では、加熱パターンを加熱しないもの、最高温度 500 とするもの、最高温度 1000 とするものの 3 種類の加熱パターンを設定した。500

表 2 各試験の養生期間と計測項目

試験名	養生期間	計測項目
加熱試験	水中養生28日間	高温履歴、爆裂有無
載荷試験	圧縮破壊	加熱試験後
	曲げ破壊	気中養生28日間
中性化試験	載荷試験直後	呈色反応、中性化深さ

は、式(1)のように水酸化カルシウムの加熱分解温度(約 500 )<sup>1)</sup>であり、1000 は、コンクリートの融点直前の温度である。なお、昇温勾配は 1 /min とした。これは、高温履歴後の部材の材料特性を検討するために爆裂による破壊を避ける必要があり、試験体内部温度を均一に保ちながら昇温させる<sup>2)</sup>必要があるためである。圧縮試験では、得られた応力とひずみからヤング係数を算出した。

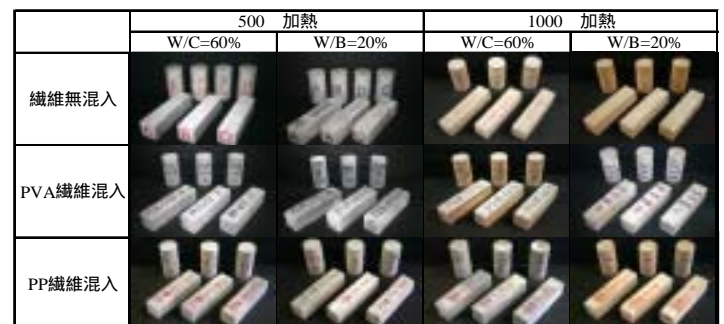


## 3. 実験結果

### 3.1 加熱後の試験体

加熱試験後の試験体を表 3 に示した。全ての試験体で爆裂現象は起きなかった。500 に加熱した試験体では、加熱後の形状、色ともに大きな変化が見られなかった。これに対して、1000 に加熱した試験体では、いずれも加熱後の色が赤褐色にな

表 3 加熱試験後の試験体



った。これは、モルタル内部の鉄分が加熱により酸化し、鉄の錆特有の赤褐色がモルタル全体に現れたことに起因する<sup>3)</sup>と考えられる。また、全ての 1000 加熱試験体の表面に、加熱による内部の水蒸気圧と熱応力の上昇を外部に逃すためと考えられる微細なひび割れを確認することが出来た。そのひび割れは M-60 で最大 0.15mm、M-20 で 0.25mm、PV-60 で 0.15mm、PV-20 で 0.25mm、M-60 で 0.15mm、M-20 で 0.20mm であった。

Key Words : 高温加熱, 繊維混入モルタル, 応力 - ひずみ関係, PVA 繊維, PP 繊維

### 3.2 圧縮強度及びヤング係数

圧縮強度及びヤング係数を表4に、また、圧縮強度 - ヤング係数関係を図1に示した。

W/B=20%の試験体では 90N/mm<sup>2</sup> 以上、W/C=60%の試験体では 30N/mm<sup>2</sup> 以上の圧縮強度が得られ、予定通りの高強度、普通強度モルタルを作製することが出来た。

500 加熱試験体の強度残存率は W/B=20%で 50~60%程度、W/C=60%で 30~55%程度、1000 加熱試験体の強度残存率は W/B=20%で 15%程度、W/C=60%で 5~10%程度となった。

ヤング係数を実験値と基準値と比較すると実験値の方が少ない結果になった。非加熱のものは、繊維を混入したことにより靱性が増し、ヤング係数が基準値より低い値になったと考えた。また、加熱試験体は加熱による劣化が影響したため、ヤング係数が基準値より低い値になったと考えた。

### 3.3 応力 - ひずみ関係の定式化に関する検討

Popovics が提案した式(2)<sup>4)</sup>、宮本等の式(3)<sup>5)</sup>を用いて、応力 - ひずみ関係の定式化について検討した。図2に PVA 繊維混入の高強度の応力とひずみの関係の実験値と計算値の関係を示した。提案式に基づいた計算値と実験値を比較してみると、全体的に計算値が実験値に近い値を示していた。特に、非加熱試験体で最も近い値になっていた。

### 3.4 中性化試験結果

フェノールフタレイン溶液を噴霧した試験体を表5に示した。全種類で何らかの中性化反応を確認することが出来た。同じ 500 加熱でも W/C=60%より W/B=20%の反応が薄い理由は、W/B=20%でセメントの置換材としてシリカヒュームを用いていて、W/C=60%と比較すると試験体内部の Ca(OH)<sub>2</sub> が少ないことが考えられる。

### 4. まとめ

- (1)本研究では、爆裂現象は起こらなかった。
- (2) 1000 加熱後の試験体は、全種類で表面に微細なひび割れを確認することができ、1000 加熱後の試験体の最大ひび割れは、有機繊維混入試験体より繊維無混入試験体の方が 0.05mm 程度大きくなった。
- (3)繊維無混入試験体と繊維混入試験体の強度結果を比較しても、今回のモルタルに対して繊維混入率 0.20%の場合では、あまり変化が無かった。
- (4)popovics の提案式は非加熱試験体で用いると、実験値とほぼ一致する値になることが分かった。
- (5)加熱後の試験体は、全種類で何らかの中性化反応を見ることが出来た。

#### 【参考文献】

- 1) 松戸正士ほか：高温加熱後の超高強度コンクリートの引張強度と付着強度，コンクリート工学次論文報告書，Vol.29，No.1，pp. 549～554，2007
- 2) 河村忠孝：日本坂トンネル内の車両火災事故とその復旧，セメントコンクリート，No.439，pp. 108～111，1983
- 3) B. Geogali ほか：Microstructure of fire-damaged concrete. A case study，Cement & Concrete Composites27，pp. 255～259，2005 <http://www.sciencedirect.com>
- 4) 日本建築学会：構造材料の耐火性ガイドブック，丸善株式会社，pp. 59～61，2004.
- 5) 宮本圭一ほか：高温度における高強度コンクリートの力学的特性に関する研究，日本建築学会構造系論文集 第574号，2003.

表4 圧縮強度及びヤング係数

	M-20			M-60			PV-20			PV-60			PP-20			PP-60		
	非加熱	500	1000	非加熱	500	1000	非加熱	500	1000	非加熱	500	1000	非加熱	500	1000	非加熱	500	1000
圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> ) 平均値	117	56.2	18.4	32.5	18.3	3.10	99.2	61.4	14.3	31.8	14.1	2.86	115	68.5	15.1	51.2	16.5	2.29
強度残存率(%)	-	48.0	15.7	-	56.3	9.55	-	61.9	14.4	-	44.3	8.98	-	59.5	13.2	-	32.3	4.48
ヤング係数E <sub>c</sub> (kN/mm <sup>2</sup> )	-	-	-	-	-	-	34.6	8.61	2.72	15.0	7.57	0.369	36.4	8.34	2.68	21.2	5.70	-

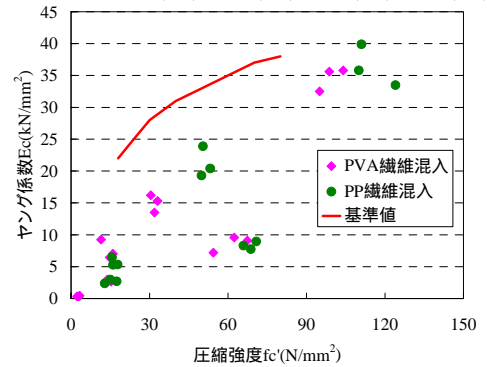


図1 圧縮強度 - ヤング係数関係

$$\sigma = \sigma_0 \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \frac{n}{n - 1 + (\varepsilon/\varepsilon_0)^n} \quad (2)$$

$$n = 10.7 e^{-0.0015 T} \quad (3)$$

σ：応力，ε：ひずみ，σ<sub>0</sub>：圧縮強度，

ε<sub>0</sub>：圧縮強度時ひずみ，T：温度

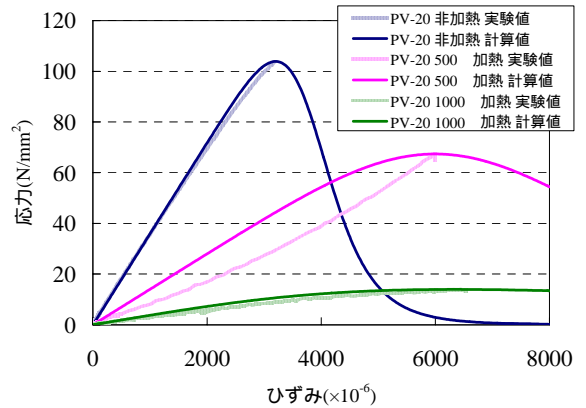


図2 応力 - ひずみ関係

表5 中性化試験後の各種試験体

	500 加熱		1000 加熱	
	W/C=60%	W/B=20%	W/C=60%	W/B=20%
繊維無混入				
PVA繊維混入				
PP繊維混入				