

報告

[1203] 三次元織物補強コンクリート部材の耐火性能

正会員○末永龍夫（鹿島建設技術研究所）

大内富夫（鹿島建設技術研究所）

正会員 中川裕章（鹿島建設技術研究所）

1. はじめに

最近、鉄筋コンクリートの劣化問題が国内外で話題になり、特に塩害等による鉄筋の腐食問題がクローズアップされてきた。この腐食問題を解決する一つとして鉄筋代替のFRP筋の研究が行われている。三次元織物も従来の鉄筋の代わりに繊維を織物にし補強筋としたものである。

本報告は、エポキシ樹脂を含浸させたアラミド繊維、PAN系炭素繊維の三次元織物を補強筋とし、ビニロン短繊維を混入したモルタルをマトリックスとした三次元織物補強コンクリート(3D-FRC)パネルに対してJIS A 1304（建築構造部分の耐火試験方法）の標準加熱曲線に従い1時間の加熱を行った場合の部材の温度、たわみ、加熱後のパネルの曲げ強度性状について述べたものである。

2. 供試体

(1)三次元織物

表-1に三次元織物の仕様を示す。三次元織物は、縦および横方向にアラミド繊維を、厚さ方向にPAN系炭素繊維を使用し、繊維にビスフェノールA系エポキシ樹脂を含浸して自己保持性をもたせた3次元格子の連続体である。

表-1 三次元織物の仕様

三次元織物寸法 (mm)			使用繊維		繊維ピッチ (mm)	
幅 (X)	高さ (Y)	厚さ (Z)	X, Y 方向	Z 方向	X, Y 方向	Z 方向
600	2900	20	アラミド (36000D)	PAN系炭素 (12KF)	30	20

表-2 モルタルマトリックスの調合

W/C (%)	Vf (vol %)	重量調合 (Kg/m <sup>3</sup> )						
		低収縮性セメント	水	シラスパルン	増粘剤	消泡剤	減水剤	ビニロン
45.0	1.25	1000	450	132	3.0	3.2	20.0%	16.3

備考) ビニロン繊維長は3mmである。

(2)モルタルマトリックス  
表-2にモルタルマトリックスの調合を示す。マトリックスは、高アルミナ低石灰型の低収縮性セメントとシラスパルンを使用したモルタルに、ビニロン繊維を混入したビニロン繊維補強コンクリートである。

(3)3D-FRCパネル

表-3、図-1に耐火試験に供した3D-FRCパネルの形状を示す。

表-3 3D-FRCパネルの形状

試験体記号	一般部の厚さ (mm)				リブの有無	形状および寸法
	総厚	三次元織物	モルタルの織物被覆厚さ			
			加熱面側	裏面側		
A	40	20	10	10	有	図-1参照
B	50		15	15	無	
C	60		20	20	有	

パネルの種類は、A、B、Cの3種類である。AおよびCに

は、加熱時の変形を拘束するために、鉄筋で補強した幅200mm、厚さ130mmのリブを付け一方、Bはリブの拘束がない場合の変形をみるためにフラットとした。

三次元織物は、加熱面側および裏面側のモルタル厚さを同じにして、パネル中央部に配置した。なお、3D-FRCパネルの養生は打設後40℃で12時間の蒸気養生を行い、その後、3ヶ月間自然乾燥とした。

### 3. 試験方法

#### (1)加熱試験方法

耐火試験は、間口3m×3mの耐火試験炉を用いて、JIS A 1304（建築構造部分の耐火試験方法）の標準加熱曲線に従

い、3種類のパネルを同時に1時間加熱した。試験体は、上下ファスナーで鉄骨フレームに取り付け、周囲は拘束していない。

#### (2)温度の測定

図-1～2に、パネルA、BおよびCの温度測定位置を示す。温度の測定には、K熱電対を用い、パネル裏面の温度のほか、三次元織物の表面温度を調べ、またパネルCでは、三次元織物の熱による変化を確認するために、三次元織物の温度測定位置付近のモルタル温度を測定した。

#### (3)たわみの測定

たわみは、パネルの一般部およびリブ部の裏面に、鉛直および水平方向に並べて取り付けられた変位計で測定し、それぞれの方向における変形を調べた。

#### (4)曲げ強度試験

加熱試験を終了したパネルA、Cの一般部から長さ1700mm、幅200mmで、また、Bの三次元織物で補強された部分から幅300mmで供試体を切り出し、スパン1200mmで三等分点載荷した。

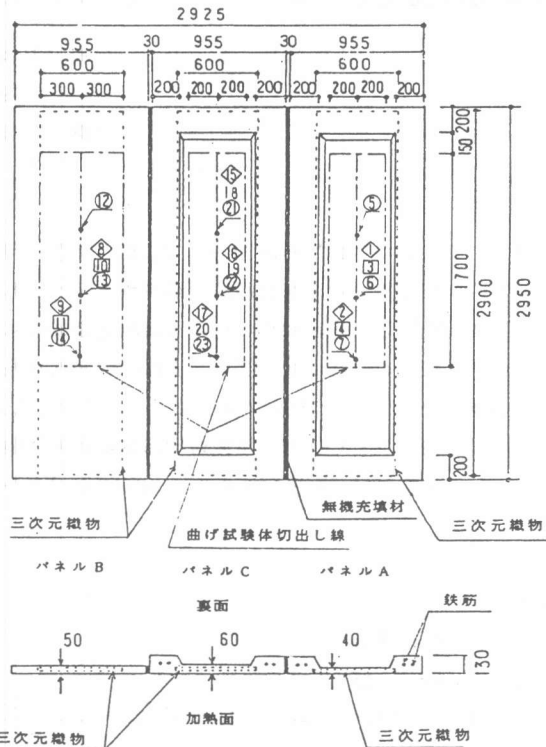


図-1 試験体

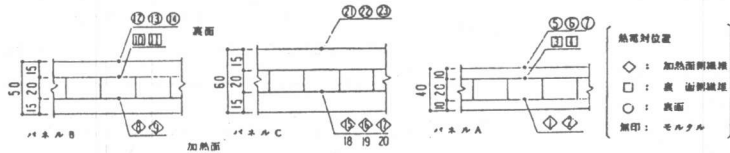


図-2 温度測定位置

#### 4. 試験結果

##### (1) 温度測定結果

表-4 にパネルの裏面および内部の最高温度を示す。

図-3 にパネルAの繊維温度、裏面温度を、図-4 にパネルBの繊維温度、裏面温度を、図-5 にパネルCの繊維温度、加熱面側モルタル温度、裏面温度を示す。裏面最高温度は、パネルA（一般部厚さ40mm）で102℃、パネルB（一般部厚さ50mm）で96℃、パネルC（一般部厚さ60mm）で94℃で、裏面規定温度260℃に対して十分低かった。

また、三次元織物の繊維温度は、加熱面側繊維がパネルAで380℃以上となって繊維の強さが消失し、パネルBおよびパネルCでは240℃以上で繊維が脆化しているのを確認した。これは、エポキシ樹脂が約200℃、アラミド繊維が約310℃で熱変形がおこるためと考えられる。これに対し、裏面側の繊維の温度はパネルAで126℃、パネルBで112℃、パネルCで106℃で、外見上、変化はみられなかった。

なお、モルタルマトリックスの温度は、加熱面から20mmの深さで温度230℃以上で、モルタルは脆化し、加熱面側の三次元織物の繊維層で破れ易くなっているのを確認した。

表-4 パネルの裏面および内部の最高温度

測定位置	パネル A			パネル B			パネル C		
	高さ	温度 (°C)	時刻 (分)	高さ	温度 (°C)	時刻 (分)	高さ	温度 (°C)	時刻 (分)
加熱面側織物	下	441	62	下	277	65	上	259	66
裏面側織物	下	126	86	中	112	93	上	106	84
加熱面側モルタル							中	267	66
裏面側モルタル							上	107	82
裏面	上	102	86	上	96	106	中	94	98

備考) パネルA: リブ付き, 一般部厚さ40mm  
 パネルB: フラット, 一般部厚さ50mm  
 パネルC: リブ付き, 一般部厚さ60mm

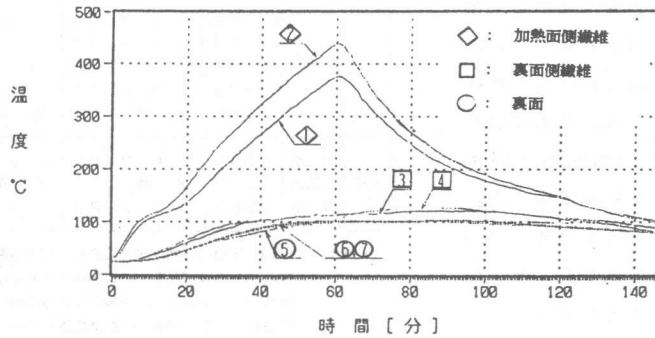


図-3 パネルA (リブ付き, 一般部40mm厚)の時間-温度曲線

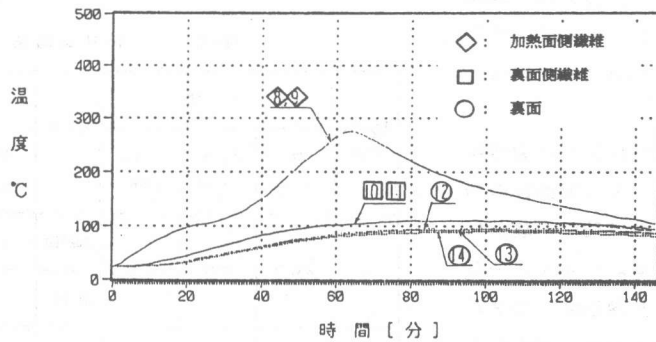


図-4 パネルB (50mm厚フラット)の時間-温度曲線

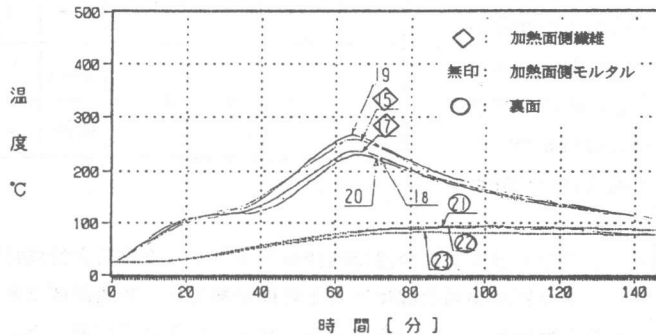


図-5 パネルC (リブ付き, 一般部60mm厚)の時間-温度曲線

(2)たわみ測定結果

表-5に、パネルA、B、Cの最大たわみ測定結果を示す。表中のたわみ量は、鉛直方向のたわみは下部ファスナー高さを基準とし、中央部の水平方向のたわみは中央を基準とした相対変位で示してある。パネル中央部の水平方向におけるたわみは、パネルAおよびCでは加熱面側に最大1.5、1.8mmに反った。パネルBでは最大3.8mmの反りであった。鉛直方向のたわみは、パネルAおよびCがリップ部で8、8.6mm一般部で9.3、9.5mm、パネルBが12.2mm炉側に反った。

(3)曲げ強度試験結果  
表-6に加熱後の3D-FRC曲げ強度試験結果を示す。パネルA~Cは、加熱面のモルタルが深さ20mmまで劣化しているため、裏面載荷した場合の方が強度が大きい。なお、パネルAは、繊維の損傷があったため裏面載荷した場合の強度は若干低かった。

5. まとめ

3D-FRCの様な樹脂含浸繊維補強コンクリートの耐火性能に関する研究例は少ない。本実験で、JISの標準加熱曲線による1時間加熱では、裏面温度は耐火1時間規定温度以下であり、繊維の損傷も加熱面から20mmまでが脆くなっているだけであった。今後、3D-FRCの耐火試験前後の強度性状など調べ検討を加えていきたい。

表-5 最大たわみ

方向	測定位置		パネル A		パネル B		パネル C	
	部材	高さ (mm)	たわみ (mm)	時刻 (分)	たわみ (mm)	時刻 (分)	たわみ (mm)	時刻 (分)
鉛直	リップ部	2850	- 2.4	50			- 1.1	47
		2100	6.2	44			6.9	65
		1500	8.0	66			8.6	65
		900	5.9	66			6.6	65
		250	基準				基準	
	一般部	2850	- 1.4	67	- 2.3	43	- 0.3	72
		2100	7.7	73	9.5	14	7.9	50
		1500	9.3	69	12.2	21	9.5	50
		900	7.2	73	9.6	23	7.4	50
		150	基準		基準		基準	
水平	リップ部	1500	- 0.9	85	- 3.0	39	- 1.8	14
	一般部	1500	基準		基準		基準	
	リップ部	1500	- 1.5	85	- 3.8	20	- 1.4	19

備考) たわみの正值は加熱面側への変位、負値は裏面側への変位である。  
 パネルA: リップ付き、一般部厚さ40mm  
 パネルB: フラット、一般部厚さ50mm  
 パネルC: リップ付き、一般部厚さ60mm

表-6 曲げ試験結果

試験体記号	寸法			載荷面	最大荷重時		
	幅 (mm)	高さ (mm)	スパン (mm)		荷重 (Kgf)	曲げ応力度 (Kgf/cm <sup>2</sup> )	たわみ (mm)
A	200	40	1200	加熱面	106	40	220
				裏面	96	36	40
B	300	50	1200	加熱面	205	33	250
				裏面	475	76	160
C	200	60	1200	加熱面	274	46	160
				裏面	531	89	200