

序

本研究室では、2003年度以降、長・短繊維補強コンクリートの接触爆発試験を継続して行っている。その結果として、長・短繊維補強コンクリートの優れた耐爆性能を実験的に明らかにしたが、耐爆・耐衝撃設計のためには材料のひずみ速度依存性を含む構成則を考慮した衝撃解析が要求され、実験および解析結果の比較照合による解析方法の精度検証が今後の重要な課題になるものと思われる。

爆発実験を行える研究施設は国内では限られており、これまでの接触爆発試験結果は衝撃解析に資する貴重な実験データと考えられるので、2003年度から2009年度までの一連の実験データを提示することにより、今後の衝撃解析の発展に少しでも寄与できることを祈念している。

接触爆発試験方法

図1は、本実験で一貫して利用した接触爆発試験方法を示す。なお、この方法は、既往の実験結果との比較が可能になるように、「田中秀明ほか：爆発荷重を受ける鉄筋コンクリート版の損傷に及ぼす配筋の影響、コンクリート工学論文集、Vol.14、No.1、pp.1-11、2003」に準拠している。

試験体は、内法スパン長が510mmの角材支承部上に設置し、試験体上面中央位置で電気雷管を用いて爆薬（密度1.30g/cm³、ペンスリット65%、パラフィン系35%、爆轟速度6900m/s）を起爆させた。なお、爆薬の形状は、直径と高さが同一の円柱形とした。ここで、使用した爆薬のトリニトロトルエン（TNT）等価換算質量は、次式で与えられる。

$$W_m = W \left(\frac{K}{K_{TNT}} \right)$$

ここに、 W_m ：TNT等価換算質量（g）

W ：使用爆薬質量（g）

K_{TNT} ：TNTのChapman-Jouguet爆轟エネルギー（=4.29MJ/kg）

K ：使用爆薬の同爆轟エネルギー（=3.71MJ/kg）

図2に爆発試験後の損傷寸法の測定方法を示す。寸法測定は、爆発面のクレータ直径および最深深さ、裏面のスポール直径および最深深さとし、直径は4方向の測定値の平均値として求めた。

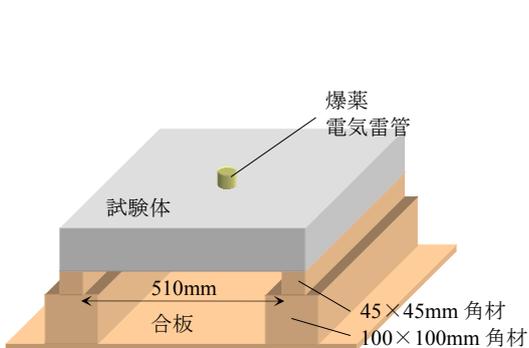
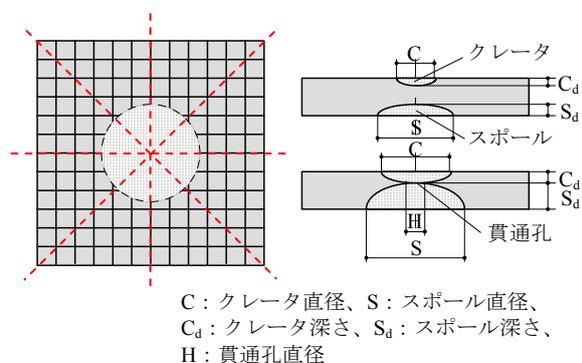


図1 接触爆発試験方法



C：クレータ直径、S：スポール直径、
Cd：クレータ深さ、Sa：スポール深さ、
H：貫通孔直径

図2 損傷寸法の測定方法

1. 2003 年度試験データ

表 1.1 使用材料

セメント	早強ポルトランドセメント 密度=3.13g/cm ³	
骨材	川砂 表乾密度=2.56g/cm ³ 吸水率=3.77% 最大寸法=2.5mm 粗粒率=2.75	砕石 6 号 表乾比重=2.95g/cm ³ 吸水率=1.27% 最大寸法=15mm 実積率=56.3%
混和材	高炉スラグ微粉末 密度=2.89g/cm ³ 、比表面積=6140cm ² /g	
混和剤	高性能 AE 減水剤	
短繊維	ポリプロピレン繊維 (PPF) 密度=0.91g/cm ³ 繊維長さ=55mm (ネット状) 引張強度=600N/mm ² 引張弾性率=3.5kN/mm ²	
	ポリビニルアルコール繊維 (PVAF) 密度=1.30g/cm ³ 寸法=0.15mm×30mm (ロッド状) 引張強度=1850N/mm ² 引張弾性率=44kN/mm ²	
	ポリエチレン繊維 (PEF) 密度=0.97g/cm ³ 寸法=590μm×30mm (集束タイプ*1) 引張強度=1870N/mm ² 引張弾性率=43kN/mm ²	
普通コンクリート	レディーミクストコンクリート 普通-30-18-20-N	
鉄筋	SD295A,D10	

*1 ポリエチレン繊維単糸 (繊維径 12μm) を 2640dtex で束ね (芯糸)、芯部がポリプロピレン、鞘部が低融点ポリエチレンから成る熱接着性繊維の巻糸を熱融着し芯糸をカバーリング集束 (カバーリングターン数 5.0) したもの

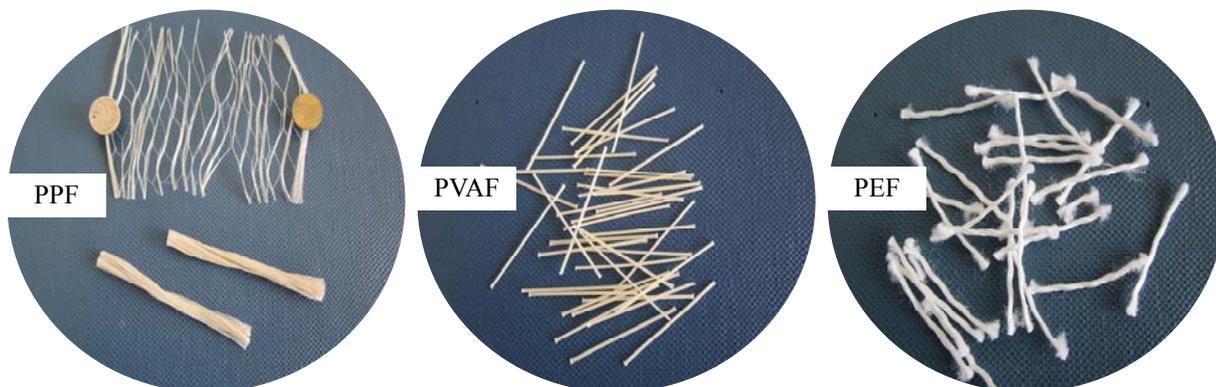


写真 1.1 使用繊維

表 1.2 使用割合

種類	V _f (%)	W/B (%)	s/a (%)	S _g /B (%)	S _p /B (%)	単位量 (kg/m ³)						スランプ (cm)
						C	S _g	W	S	G	F	
PPFRC	1.5	50	65	50	0.25	325	325	325	750	454	13.7	12.2
PVAFRC	5.0	33	65	50	0.35	488	488	325	550	339	65.0	11.7
PEFRC	4.0	33	65	50	0.40	488	488	325	550	339	38.8	6.5

* V_f: 繊維体積率、W/B: 水結合材比、s/a: 細骨材率、C: セメント、S_g: 高炉スラグ微粉末、B=C+S_g: 結合材、W: 水、S: 細骨材、G: 粗骨材、F: 繊維、S_p: 高性能 AE 減水剤

表 1.3 強度試験結果

種類	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)	曲げタフネス (kNmm)	曲げ靱性係数 (N/mm ²)
普通コン	38.7	29.1	3.04	4.80	0.214	0.048
PPFRC	40.5	17.8	4.63	6.27	24.1	5.42
PVAFRC	62.7	22.4	7.82	9.64	40.2	9.05
PEFRC	57.8	21.5	8.85	11.2	45.9	10.3

* FRCは現場湿布養生材齢14日（普通コンクリートは現場湿布養生材齢28日）後気中養生

* 圧縮および引張強度試験：φ100×200mm 円柱供試体各3個作製

* 曲げ強度試験：100×100×400mm 角柱供試体各3個作製、中央3点曲げ載荷（スパン長300mm）

* 曲げタフネス：載荷点変位が2mmまでの荷重-変位曲線下の面積

* 曲げ靱性係数：載荷点変位が2mmまでの平均荷重を曲げ強度に換算した値

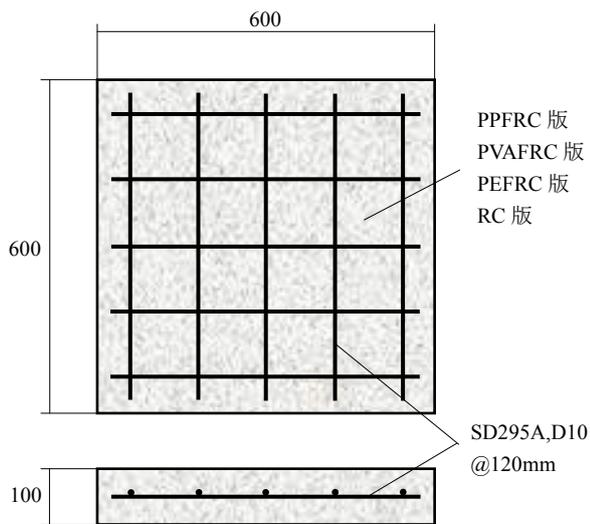


図 1.1 試験体仕様

表 1.4 損傷寸法

種類	構成	爆薬量 (g)	C (cm)	C _d (cm)	S (cm)	S _d (cm)	H (cm)
RC 版	単版 100mm	100	15.4	3.7	27.7	5.2	0
PPFRC 版	単版 100mm	100	15.8	3.3	25.1	4.3	0
PVAFRC 版	単版 100mm	100	13.4	2.5	24.5	3.2	0
PEFRC 版	単版 100mm	100	12.6	3.2	0	0	0

* C: クレータ直径、C_d: クレータ深さ、S: スポール直径、S_d: スポール深さ、H: 貫通孔直径

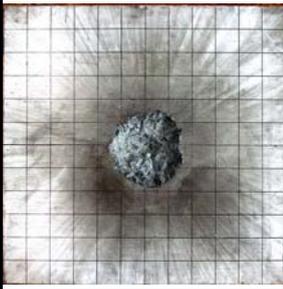
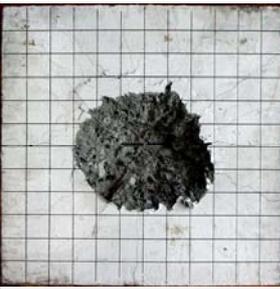
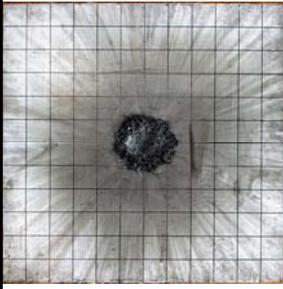
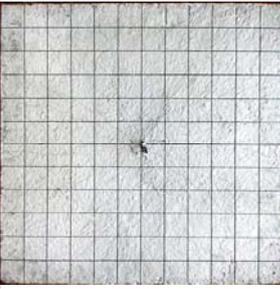
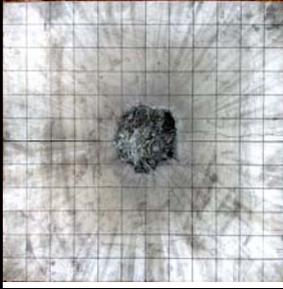
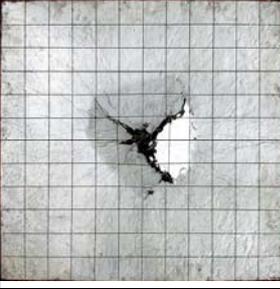
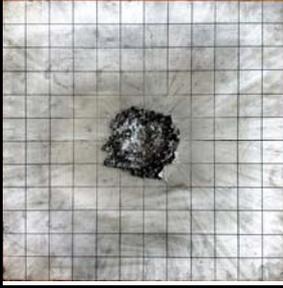
試験体	爆薬量 100g	
	クレータ	スポール
RC 版		
PEFRC 版		
PVAFRC 版		
PPFRC 版		

図 1.2 外部損傷状況

試験体	爆薬量 100g
RC 版	
PEFRC 版	
PVAFRC 版	
PPFRC 版	

図 1.3 内部損傷状況

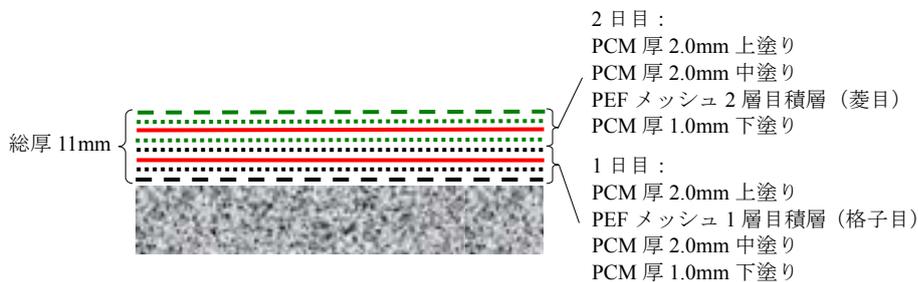
2. 2004 年度試験データ

表 2.1 使用材料

セメント	早強ポルトランドセメント 密度=3.13g/cm ³	
骨材	川砂 表乾密度=2.63g/cm ³ 吸水率=2.69% 最大寸法=2.5mm 粗粒率=2.58	碎石 6 号 表乾比重=2.95g/cm ³ 吸水率=1.27% 最大寸法=15mm 実積率=56.3%
混和材	高炉スラグ微粉末 密度=2.89g/cm ³ 、比表面積=6140cm ² /g	
混和剤	高性能 AE 減水剤	
短繊維	ポリエチレン繊維 (PEF) 密度=0.97g/cm ³ 寸法=590μm×30mm (集束タイプ) 引張強度=1870N/mm ² 引張弾性率=43kN/mm ²	
普通コンクリート	レディーミクストコンクリート 普通-30-18-20-N	
鉄筋	SD295A,D10	
連続繊維	ポリエチレン繊維 (PEF) メッシュシート 目付量=44g/m ² (繊維 27g/m ²) 厚さ=0.27mm、ピッチ=10mm (経・緯) 強力 (経) =1.37kN/5cm、(緯) =1.36kN/5cm	
PCM	エマルジョン：ポリアクリル酸系共重合体 コンパウンド：白色セメント 40%、6 号珪砂 60% エマルジョン：コンパウンド=1：4 (質量比)	

表 2.2 PEFRC の使用割合

種類	V _f (%)	W/B (%)	s/a (%)	S _g /B (%)	S _p /B (%)	単位量 (kg/m ³)						スランプ (cm)
						C	S _g	W	S	G	F	
PEFRC	2.0	33	65	50	0.25	488	488	325	550	339	19.4	13.9
PEFRC	4.0	33	65	50	0.50	488	488	325	550	339	38.8	15.6



コンクリート表面下地処理



PCM 下塗り



メッシュ 1 層目積層 (格子目)



メッシュ 2 層目積層 (菱目)

図 2.1 PEF メッシュ積層補強仕様

表 2.3 強度試験結果

種類	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)	曲げタフネス (kNmm)	曲げ靱性係数 (N/mm ²)
普通コン	41.6	31.9	3.48	—	—	—
PEFRC2%	59.9	26.2	6.36	6.34	26.6	5.99
PEFRC4%	54.6	22.6	7.65	8.79	36.1	8.12

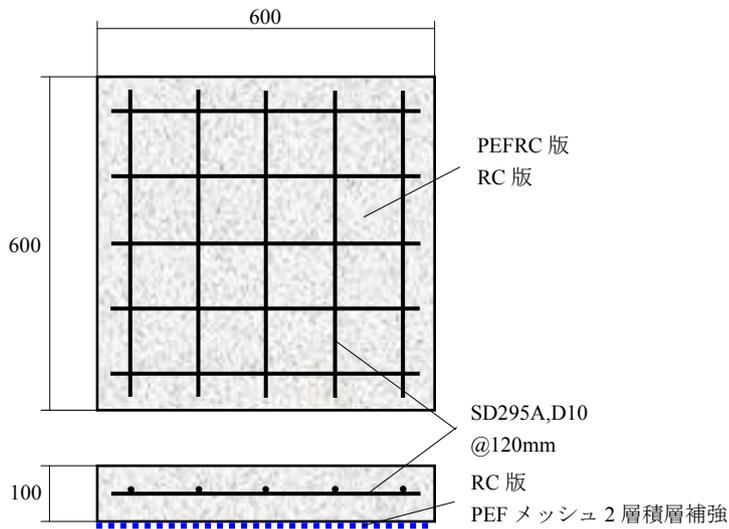


図 2.2 試験体仕様

表 2.4 損傷寸法

種類	構成	爆薬量 (g)	C (cm)	C _d (cm)	S (cm)	S _d (cm)	H (cm)
RC 版	単版 100mm	100	16.1	3.4	27.7	4.8	0
		200	19.4	4.1	30.4	6.5	0
メッシュ 補強 RC 版	単版 100mm * 裏面 PEF メッシュ積層補強	100	15.4	3.0	0	0	0
		200	21.4	4.4	27.8	6.7	0
2%PEFRC 版	単版 100mm	100	13.3	2.9	6.1	1.1	0
		200	14.1	3.5	22.1	4.9	0
4%PEFRC 版	単版 100mm	100	11.6	4.3	2.8	0.7	0
		200	15.0	3.6	13.5	4.3	0

* C : クレータ直径、C_d : クレータ深さ、S : スポール直径、S_d : スポール深さ、H : 貫通孔直径

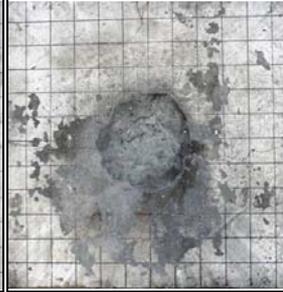
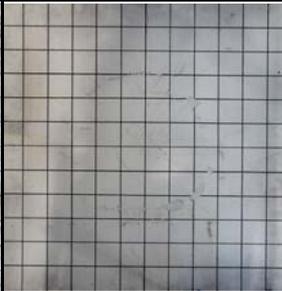
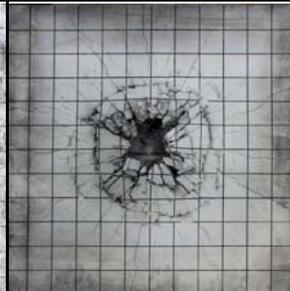
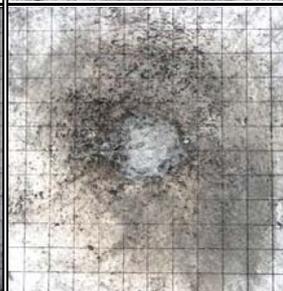
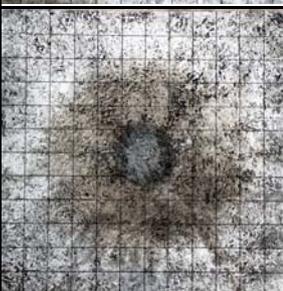
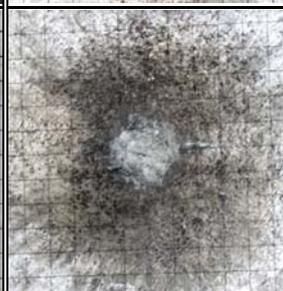
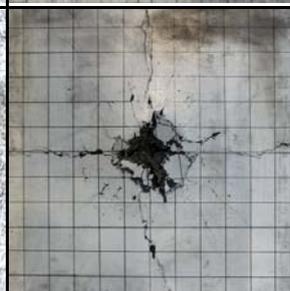
試験体	爆薬量 100g		爆薬量 200g	
	クレータ	スポール	クレータ	スポール
RC版				
メッシュ補強 RC版				
PEFRC2%版				
PEFRC4%版				

図 2.3 外部損傷状況

試験体	爆薬量 100g	爆薬量 200g
RC 版		
メッシュ補強 RC 版		
PEFRC2% 版		
PEFRC4% 版		

図 2.4 内部損傷状況

3. 2005 年度試験データ

表 3.1 使用材料

セメント	早強ポルトランドセメント 密度=3.13g/cm ³	
骨材	川砂 表乾密度=2.63g/cm ³ 吸水率=2.69% 最大寸法=2.5mm 粗粒率=2.58	砕石 6 号 表乾比重=2.95g/cm ³ 吸水率=1.27% 最大寸法=15mm 実積率=56.3%
混和材	高炉スラグ微粉末 密度=2.89g/cm ³ 、比表面積=6140cm ² /g	
混和剤	高性能 AE 減水剤	
短繊維	ポリエチレン繊維 (PEF) 密度=0.97g/cm ³ 寸法=590μm×30mm (集束タイプ) 引張強度=1870N/mm ² 引張弾性率=43kN/mm ²	
普通コンクリート	レディーミクストコンクリート 普通-30-18-20-N	
鉄筋	φ5 みがき棒鋼	
連続繊維	ポリエチレン繊維 (PEF) メッシュシート 目付量=44g/m ² (繊維 27g/m ²) 厚さ=0.27mm、ピッチ=10mm (経・緯) 強力 (経) =1.37kN/5cm、(緯) =1.36kN/5cm	
PCM	エマルジョン：ポリアクリル酸系共重合体 コンパウンド：白色セメント 40%、6 号珪砂 60% エマルジョン：コンパウンド=1：4 (質量比)	

表 3.2 使用割合

種類	V _f (%)	W/B (%)	s/a (%)	S _g /B (%)	S _p /B (%)	単位量 (kg/m ³)						スランプ (cm)
						C	S _g	W	S	G	F	
PEFRC	4.0	33	65	50	0.40	488	488	325	550	339	38.8	11.6

表 3.3 試験体仕様一覧

記号	種類	構成	爆薬量 (g)
No.1	PEFRC	単版 50mm * 裏面 PEF メッシュ 2 層積層補強 (PCM 接着)	200
No.2	PEFRC	2 層構造版 (50mm×2) * PCM 接着	200
No.3	PEFRC	2 層構造版 (50mm×2) * 中間 PEF メッシュ 2 層積層補強 (PCM 接着)	200
No.4	普通コンクリート	2 層構造版 (50mm×2) * 中間 PEF メッシュ 2 層積層補強 (PCM 接着)	200
No.5	PEFRC	2 層構造版 (50mm×2) * 中空層厚 15mm	200
No.6	普通コンクリート	2 層構造版 (50mm×2) * 中空層厚 15mm	200

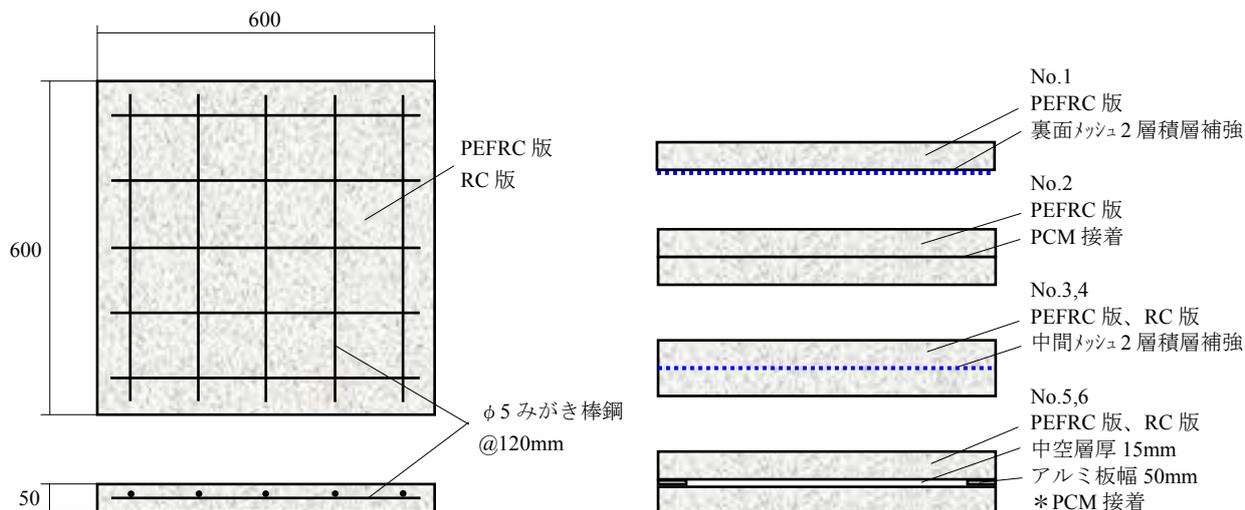


図 3.1 試験体仕様

表 3.4 強度試験結果

種類	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)	曲げタフネス (kNmm)	曲げ靱性係数 (N/mm ²)
普通コン	41.5	32.1	3.33	—	—	—
PEFRC	70.6	23.2	7.28	10.2	42.3	9.52

表 3.5 損傷寸法

記号	構成	版	C (cm)	C _d (cm)	S (cm)	S _d (cm)	H (cm)
No.1	PEFRC 単版 50mm * 裏面 PEF メッシュ積層補強		13.4	—	21.5	5	9.2
No.2	PEFRC2 層構造版 (50mm×2) * PCM 接着	上	13.4	3.34	—	—	0
		下	—	—	6.1	2.47	0
No.3	PEFRC2 層構造版 (50mm×2) * 中間 PEF メッシュ積層補強	上	12.7	3.54	—	—	0
		下	—	—	5.4	1.86	0
No.4	普通コン 2 層構造版 (50mm×2) * 中間 PEF メッシュ積層補強	上	16.4	5	—	—	
		下	—	—	37.8	5	
No.5	PEFRC2 層構造版 (50mm×2) * 中空層厚 15mm	上	13.1	4.98	18.1	0	0
		下	0	0	0	0	0
No.6	普通コン 2 層構造版 (50mm×2) * 中空層厚 15mm	上	18.0	5	26.8	—	13.1
		下	13.9	—	30.6	5	

* C : クレータ直径、C_d : クレータ深さ、S : スポール直径、S_d : スポール深さ、H : 貫通孔直径

* 爆薬量=200g 一定

試験体	爆薬量 200g			
	上版		下版	
	表面 (クレータ)	裏面 (スポール)	表面	裏面 (スポール)
No.1				
No.2				
No.3				
No.4				
No.5				
No.6				

図 3.2 外部損傷状況

試験体	爆薬量 200g
No.1	
No.2	
No.3	
No.4	
No.5	
No.6	

図 3.3 内部損傷状況

4. 2006 年度試験データ

表 4.1 使用材料

セメント	早強ポルトランドセメント 密度=3.13g/cm ³	
骨材	川砂 表乾密度=2.63g/cm ³ 吸水率=2.69% 最大寸法=2.5mm 粗粒率=2.58	砕石 6 号 表乾比重=2.95g/cm ³ 吸水率=1.27% 最大寸法=15mm 実積率=56.3%
混和材	高炉スラグ微粉末 密度=2.89g/cm ³ 、比表面積=6140cm ² /g	
混和剤	高性能 AE 減水剤	
短繊維	ポリエチレン繊維 (PEF) 密度=0.97g/cm ³ 寸法=590μm×30mm (集束タイプ) 引張強度=1870N/mm ² 引張弾性率=43kN/mm ²	
普通コンクリート	レディーミクストコンクリート 普通-30-18-20-N	
鉄筋	φ5 みがき棒鋼	
緩衝材	①クロロプレングム (厚 5mm) ②多孔質クロロプレングム (厚 5mm) ③ポリスチレンフォーム (厚 15mm)	
接着剤	エポキシ樹脂	

表 4.2 PEFRC の使用割合

種類	V _f (%)	W/B (%)	s/a (%)	S _g /B (%)	S _p /B (%)	単位量 (kg/m ³)						スランブ (cm)
						C	S _g	W	S	G	F	
PEFRC	4.0	33	65	50	0.40	488	488	325	550	339	38.8	18.3

表 4.3 試験体仕様一覧

記号	種類	構成	爆薬量 (g)
No.1	PEFRC	2 層構造版 (50mm×2) * 中空層厚 5mm	200
No.2	PEFRC	2 層構造版 (50mm×2) * 中空層厚 30mm	200
No.3	PEFRC	2 層構造版 (50mm×2) * 緩衝材①厚 15mm 挿入	200
No.4	普通コンクリート	2 層構造版 (50mm×2) * 緩衝材①厚 15mm 挿入	200
No.5	PEFRC	2 層構造版 (50mm×2) * 緩衝材②厚 15mm 挿入	200
No.6	普通コンクリート	2 層構造版 (50mm×2) * 緩衝材②厚 15mm 挿入	200
No.7	PEFRC	2 層構造版 (50mm×2) * 緩衝材③厚 15mm 挿入	200
No.8	普通コンクリート	2 層構造版 (50mm×2) * 緩衝材③厚 15mm 挿入	200
No.9	PEFRC	2 層構造版 (50mm×2) * 緩衝材①厚 5mm 挿入	200

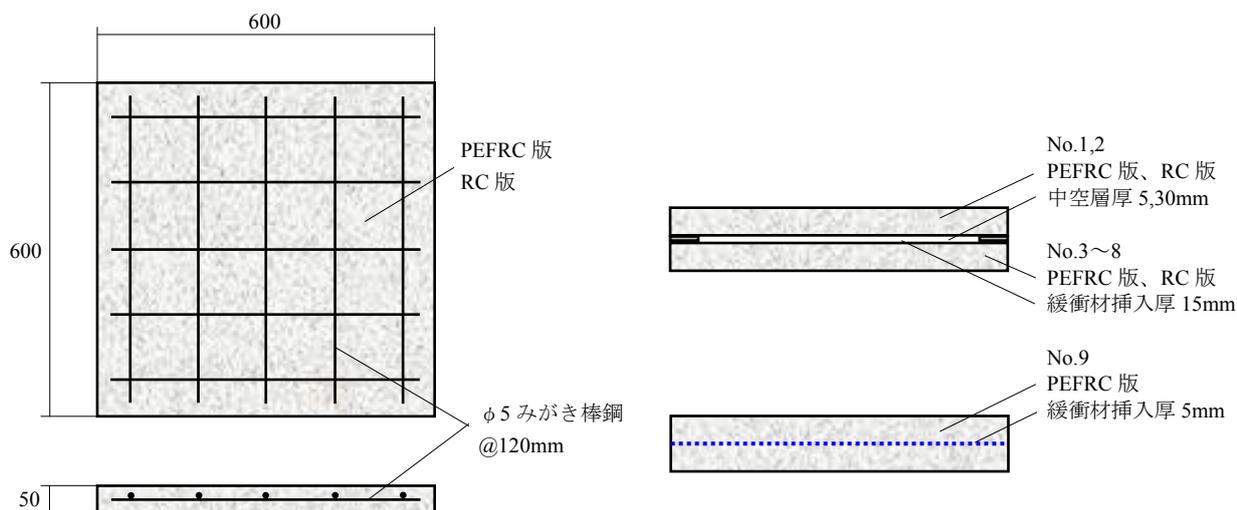


図 4.1 試験体仕様

表 4.4 強度試験結果

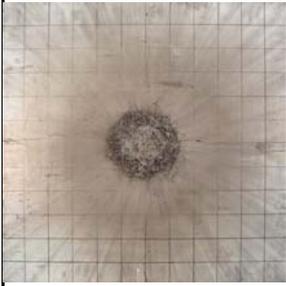
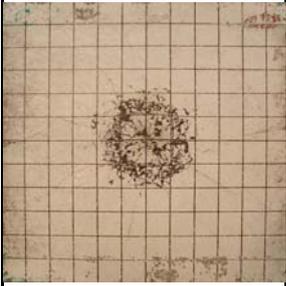
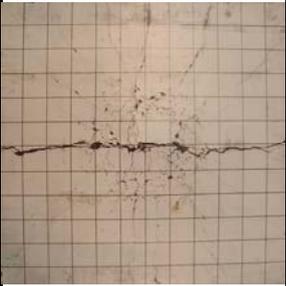
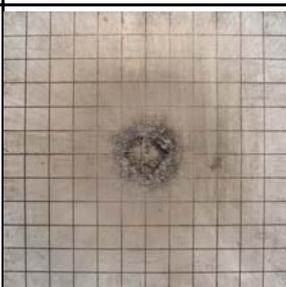
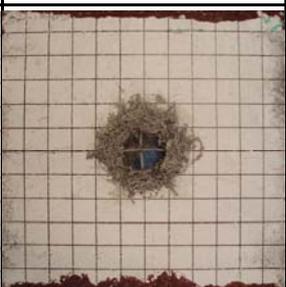
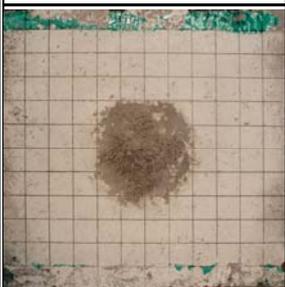
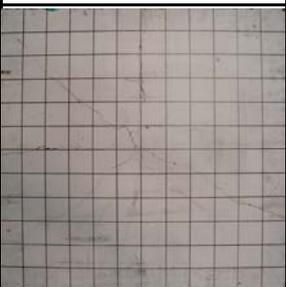
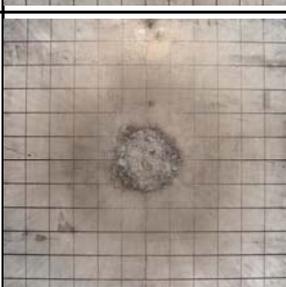
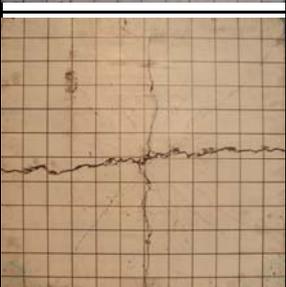
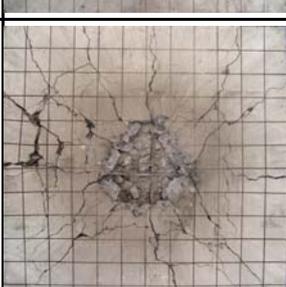
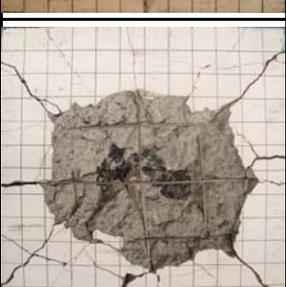
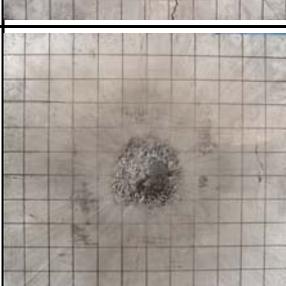
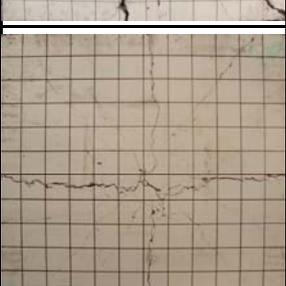
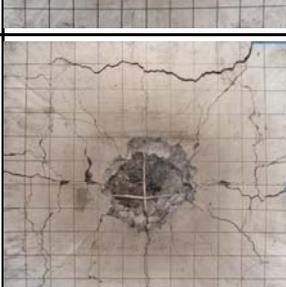
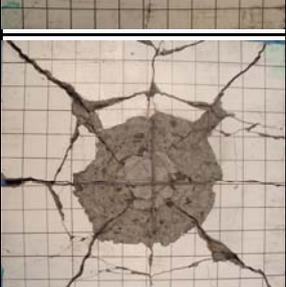
種類	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)	曲げタフネス (kNmm)	曲げ靱性係数 (N/mm ²)
普通コン	35.8	29.3	2.78	—	—	—
PEFRCC	59.4	24.3	7.94	9.37	38.6	8.69

表 4.5 損傷寸法

記号	構成	版	C (cm)	C _d (cm)	S (cm)	S _d (cm)	H (cm)
No.1	PEFRCC2層構造版 (50mm×2) *中空層厚 5mm	上	13.9	3.5	0	0	0
		下	0	0	0	0	0
No.2	PEFRCC2層構造版 (50mm×2) *中空層厚 30mm	上	13.3	5	19.1	—	—
		下	0	0	0	0	0
No.3	PEFRCC2層構造版 (50mm×2) *緩衝材①厚 15mm 挿入	上	13.4	3.8	—	—	0
		下	—	—	0	0	0
No.4	普通コン2層構造版 (50mm×2) *緩衝材①厚 15mm 挿入	上	19.2	5	—	—	—
		下	—	—	40.8	5	—
No.5	PEFRCC2層構造版 (50mm×2) *緩衝材②厚 15mm 挿入	上	13.8	4.3	—	—	0
		下	—	—	0	0	0
No.6	普通コン2層構造版 (50mm×2) *緩衝材②厚 15mm 挿入	上	19.5	5	—	—	—
		下	—	—	32.9	5	—
No.7	PEFRCC2層構造版 (50mm×2) *緩衝材③厚 15mm 挿入	上	13.9	5	—	—	—
		下	—	—	0	0	0
No.8	普通コン2層構造版 (50mm×2) *緩衝材③厚 15mm 挿入	上	18.6	5	—	—	—
		下	—	—	32.0	5	—
No.9	PEFRCC2層構造版 (50mm×2) *緩衝材①厚 5mm 挿入	上	14.1	4.0	—	—	0
		下	—	—	4.7	1.9	0

* C: クレータ直径、C_d: クレータ深さ、S: スポール直径、S_d: スポール深さ、H: 貫通孔直径

* 爆薬量=200g 一定

試験体	爆薬量 200g			
	上版		下版	
	表面 (クレータ)	裏面 (スポール)	表面	裏面 (スポール)
No.1				
No.2				
No.3				
No.4				
No.5				
No.6				

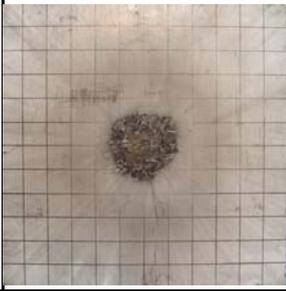
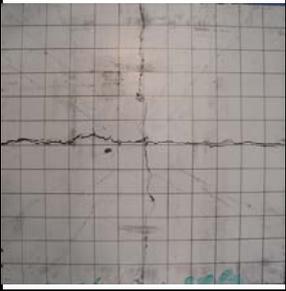
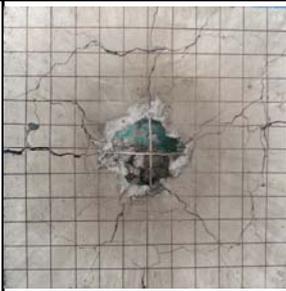
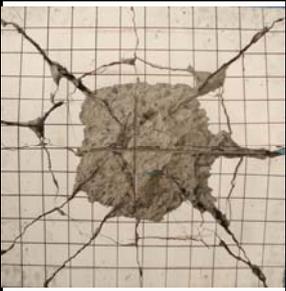
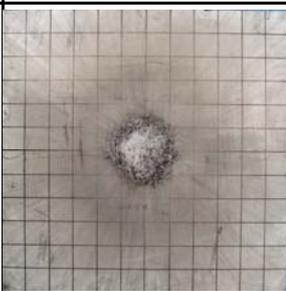
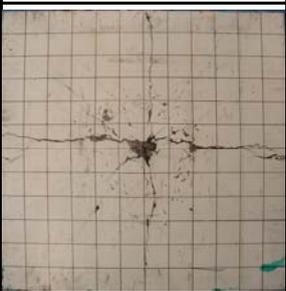
試験体	爆薬量 200g			
	上版		下版	
	表面 (クレータ)	裏面 (スポール)	表面	裏面 (スポール)
No.7				
No.8				
No.9				

図 4.2 外部損傷状況

試験体	爆薬量 200g
No.1	
No.2	
No.3	
No.4	
No.5	
No.6	
No.7	
No.8	
No.9	

図 4.3 内部損傷

5. 2007 年度試験データ

表 5.1 使用材料

セメント	早強ポルトランドセメント 密度=3.13g/cm ³	
骨材	川砂 表乾密度=2.63g/cm ³ 吸水率=2.81% 最大寸法=2.5mm 粗粒率=2.10	砕石 6 号 表乾比重=2.95g/cm ³ 吸水率=1.27% 最大寸法=15mm 実積率=56.3%
	豊浦珪砂 絶乾密度=2.7g/cm ³	
混和材	高炉スラグ微粉末 密度=2.89g/cm ³ 、比表面積=6140cm ² /g	
混和剤	高性能 AE 減水剤	
短繊維	ポリエチレン繊維 (F-PEF) 密度=0.97g/cm ³ 寸法=12μm×30mm (原糸カットタイプ) 引張強度=2620N/mm ² 引張弾性率=79kN/mm ²	
	ポリエチレン繊維 密度=0.97g/cm ³ 寸法=12μm×18mm (原糸カットタイプ) 引張強度=2620N/mm ² 引張弾性率=79kN/mm ²	
	PAN 系炭素繊維 (CF) 密度=1.90g/cm ³ 寸法=7μm×40mm (12K 集束タイプ) 引張強度=4410N/mm ² 引張弾性率=226kN/mm ²	
	鋼繊維 (SF) 密度=7.85g/cm ³ 寸法=0.6×25mm (異形カットワイヤー) 引張強度=1079N/mm ² 以上	
鉄筋	SD295A,D10	



写真 5.1 使用繊維

表 5.2 使用調合

種類	V _f (%)	W/B (%)	s/a (%)	S _g /B (%)	S _p /B (%)	単位量 (kg/m ³)						スランプ (cm)
						C	S _g	W	S	G	F	
F-PEFRC	1.0	50	65	50	0.50	325	325	325	750	453	9.70	14.7
CFRC	1.0	50	65	50	0.50	325	325	325	750	453	19.0	9.0
SFRC	2.0	50	65	50	0.50	230	230	230	1020	616	157	11.4
PEF-ECC	1.5	45	100	0	0	1068	0	481	427	0	14.6	9.0

* PEF-ECC には、細骨材として豊浦珪砂、繊維には長さ 18mm の原糸カットタイプ PEF を使用

表 5.3 強度試験結果

種類	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)	曲げタフネス (kNmm)	曲げ靱性係数 (N/mm ²)
F-PEFRC	36.2	15.9		6.61	23.4	5.27
CFRC	57.0	22.3		11.3	22.0	4.94
SFRC	47.2	27.1		8.59	30.4	6.84
PEF-ECC	49.6	17.6		9.54	36.7	8.27

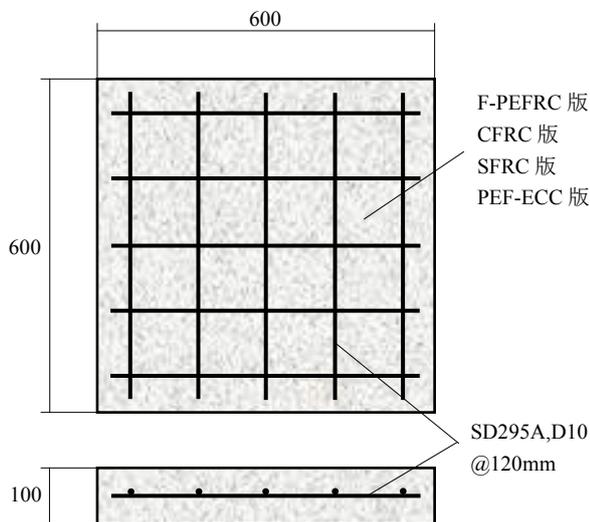


図 5.1 試験体仕様

表 5.4 損傷寸法

種類	構成	爆薬量 (g)	C (cm)	C _d (cm)	S (cm)	S _d (cm)	H (cm)
F-PEFRC	単版 100mm	100	13.1	3.3	1.9	1.1	0
		200	15.9	5.0	23.9	4.9	0
CFRC	単版 100mm	100	13.4	3.2	23.8	4.0	0
		200	19.5	4.2	29.5	5.8	0
SFRC	単版 100mm	100	14.7	2.8	6.4	2.8	0
		200	18.4	4.3	24.8	5.4	0
PEF-ECC	単版 100mm	100	11.5	3.0	0	0	0
		200	15.3	3.7	25.3	4.8	0

* C : クレータ直径、C_d : クレータ深さ、S : スポール直径、S_d : スポール深さ、H : 貫通孔直径

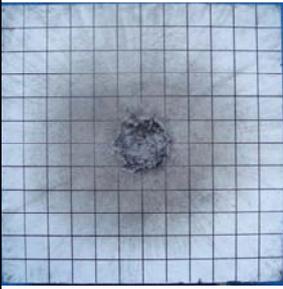
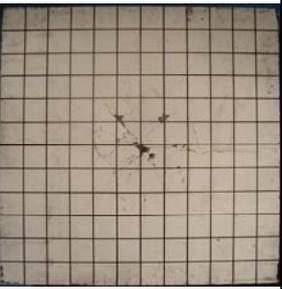
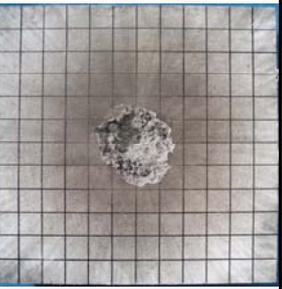
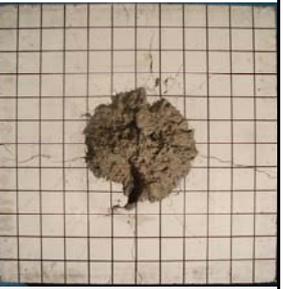
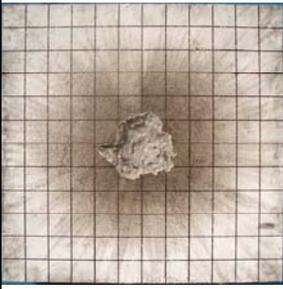
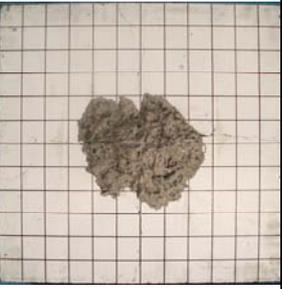
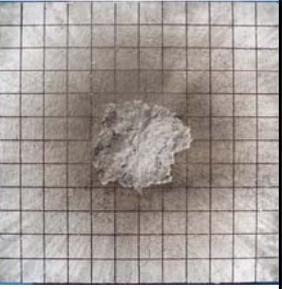
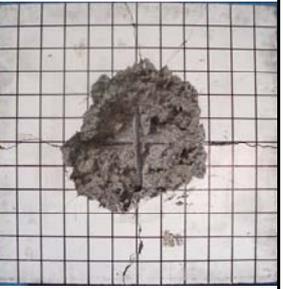
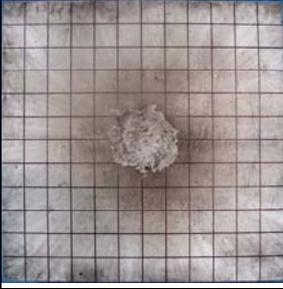
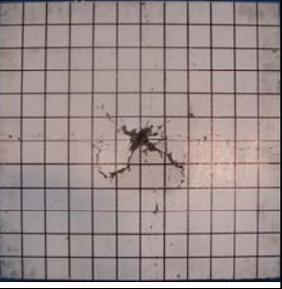
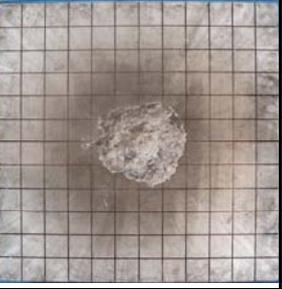
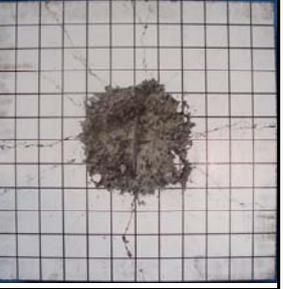
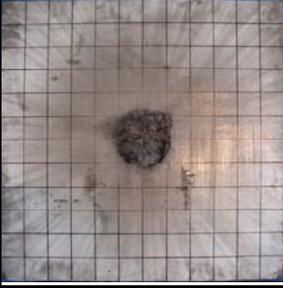
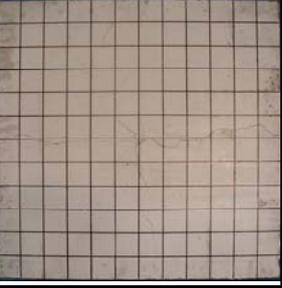
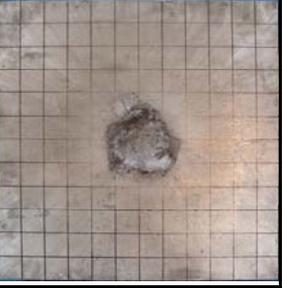
試験体	爆薬量 100g		爆薬量 200g	
	クレータ	スポール	クレータ	スポール
F-PEFRC 版				
CFRC 版				
SFRC 版				
PEF-ECC 版				

図 5.2 外部損傷状況

試験体	爆薬量 100g	爆薬量 200g
F-PEFRC 版		
CFRC 版		
SFRC 版		
PEF-ECC 版		

図 5.3 内部損傷状況

6. 2008 年度試験データ

表 6.1 使用材料

セメント	早強ポルトランドセメント 密度=3.13g/cm ³	
骨材	川砂 表乾密度=2.63g/cm ³ 吸水率=2.81% 最大寸法=2.5mm 粗粒率=2.10	砕石 6 号 表乾比重=2.95g/cm ³ 吸水率=1.27% 最大寸法=15mm 実積率=56.3%
混和材	高炉スラグ微粉末 密度=2.89g/cm ³ 、比表面積=6140cm ² /g	
混和剤	高性能 AE 減水剤	
短繊維	ポリエチレン繊維 (S-PEF) 密度=0.97g/cm ³ 寸法=590μm×30mm (集束タイプ) 引張強度=1870N/mm ² 引張弾性率=43kN/mm ²	
接着材 注入材	PCM エマルジョン：コンパウンド：高炉スラグ微粉末 =1.0：4.0：1.5 (質量比) 二水石膏混入率=10% (対結合材質量)	
普通コンクリート	レディーミクストコンクリート 普通-30-18-20-N	
鉄筋	SD295A,D10 φ5 みがき棒鋼	
連続繊維シート	炭素繊維シート (高強度タイプ) 目付量=300g/m ² 公称厚さ=0.167mm (2 層直交貼付) 引張弾性率=230kN/mm ² 引張強度=3430N/mm ²	
	炭素繊維シート (高弾性タイプ) 目付量=300g/m ² 公称厚さ=0.152mm (2 層直交貼付) 引張弾性率=704kN/mm ² 引張強度=1940N/mm ²	
	ポリエチレン繊維シート 目付量=250g/m ² 公称厚さ=0.258mm (2 層直交貼付) 引張弾性率=70kN/mm ² 引張強度=1850N/mm ²	
プライマー 接着剤	エポキシ樹脂	

表 6.2 PEFRC の使用割合

種類	V _f (%)	W/B (%)	s/a (%)	S _g /B (%)	S _p /B (%)	単位量 (kg/m ³)						スランプ (cm)
						C	S _g	W	S	G	F	
PEFRC	4.0	33	65	50	0.50	488	488	325	565	341	38.8	13.2

表 6.3 強度試験結果

種類	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)	曲げタフネス (kNmm)	曲げ靱性係数 (N/mm ²)
PEFRC	59.4	22.3		11.4	46.3	10.4
普通コン	37.9	27.3	2.30			

表 6.4 試験体仕様一覧

種類	構成
PEFRC 単版	版厚 100mm
PEFRC2 層構造版	版厚 50mm×2 層 *PCM 接着
PEFRC-PCa ブロック版	版厚 100mm 600×200mm×3 段 *PCM 接着 *φ20mm シース内ネジ節棒鋼 D10 挿入 PCM 注入
PEFRC 裏面鋼管付き単版	版厚 100mm *角形鋼管 STKR400 (□-100×100×4.5mm) をフック付きアンカーボルトで定着
高強度 CF シート裏面補強	RC 版厚 100mm *高強度 CF シート (直交 2 層) 接着貼付
高弾性 CF シート裏面補強	RC 版厚 100mm *高弾性 CF シート (直交 2 層) 接着貼付
PEF シート裏面補強	RC 版厚 100mm *PEF シート (直交 2 層) 接着貼付

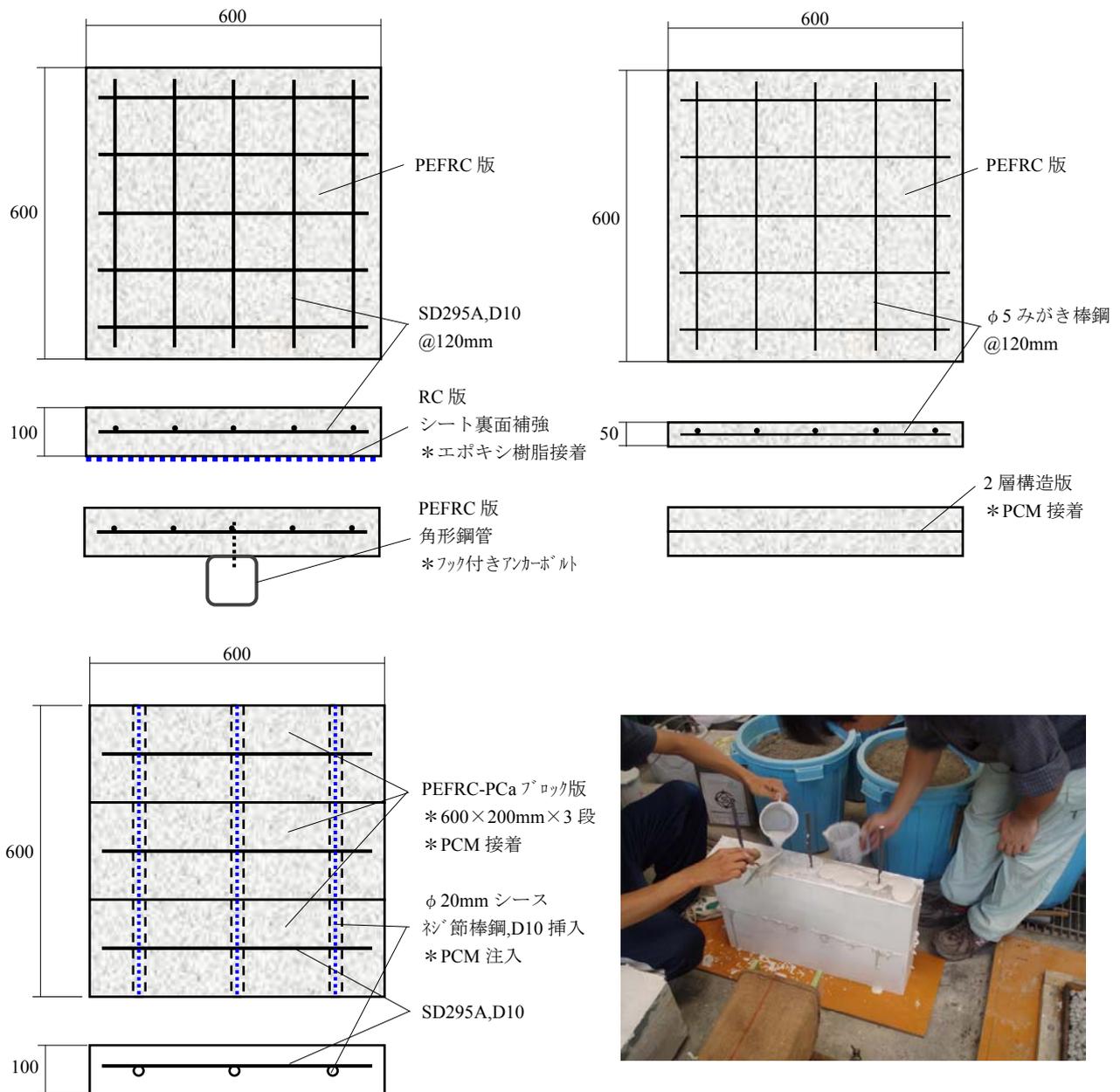


図 6.1 試験体仕様

表 6.5 損傷寸法

種類	爆薬量 (g)	C (cm)	C _d (cm)	S (cm)	S _d (cm)	H (cm)
PEFRC 単版	200	15.1	3.3	18.9	4.0	0
PEFRC2 層構造版	200	13.9	3.5	12.2	2.9	0
PEFRC-PCa ブロック版	200	16.4	3.8	16.9	3.9	0
PEFRC 裏面鋼管付き単版	200	13.2	3.1	0	0	0
高強度 CF シート裏面補強	100	15.9	3.1	0	0	0
	200	20.8	4.1	0	0	0
高弾性 CF シート裏面補強	100	13.7	3.4	25.9	4.5	0
	200	20.0	4.1	31.0	5.9	0
PEF シート裏面補強	100	15.3	3.5	0	0	0
	200	20.1	4.1	0	0	0

* C: クレータ直径、C_d: クレータ深さ、S: スポール直径、S_d: スポール深さ、H: 貫通孔直径

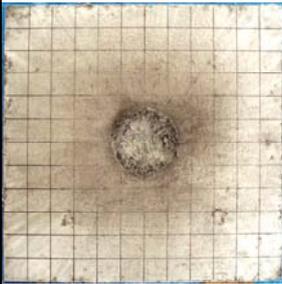
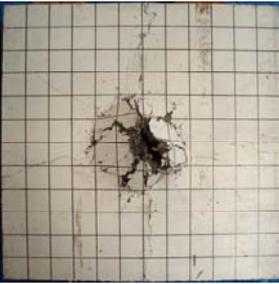
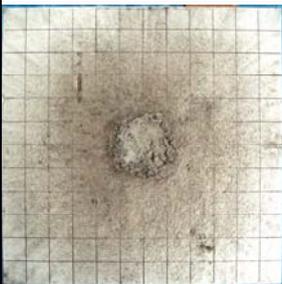
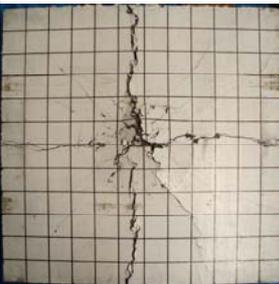
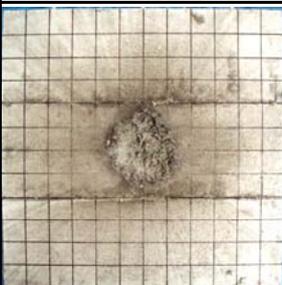
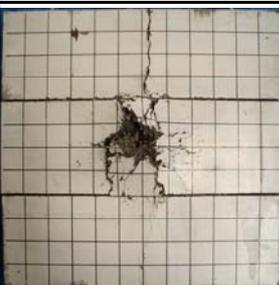
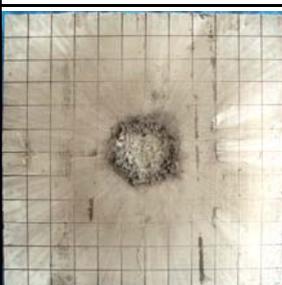
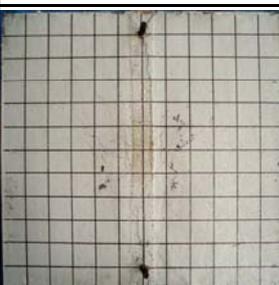
試験体	爆薬量 200g	
	クレータ	スポール
PEFRC 単版		
PEFRC2層 構造版		
PEFRC-PCa ブロック版		
PEFRC 裏面 鋼管付き単版		

図 6.2 外部損傷状況

試験体	爆薬量 200g
PEFRC 単版	
PEFRC2 層 構造版	
PEFRC-PCa ブロック版	
PEFRC 裏面 鋼管付き単版	

図 6.3 内部損傷状況

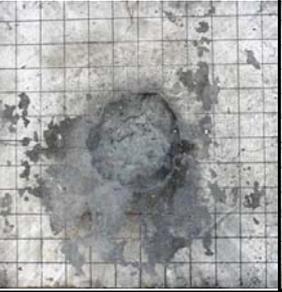
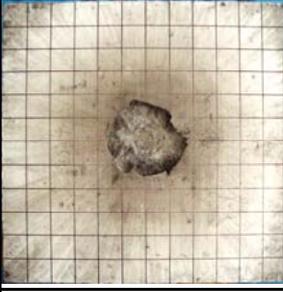
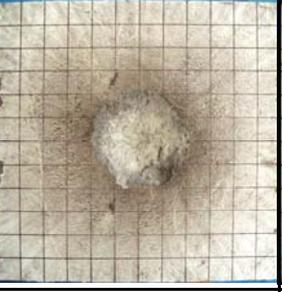
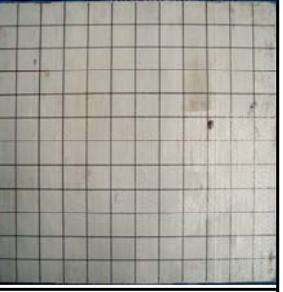
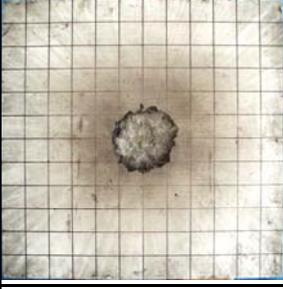
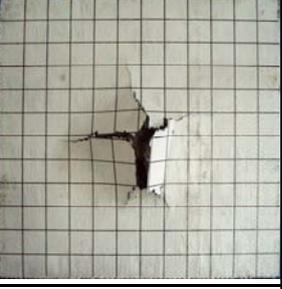
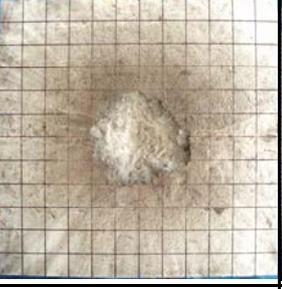
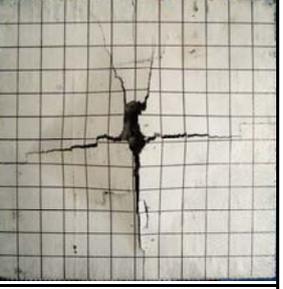
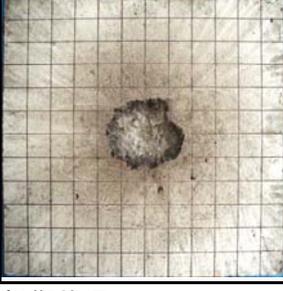
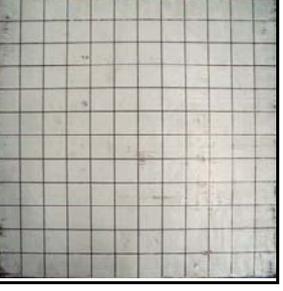
試験体	爆薬量 100g		爆薬量 200g	
	クレータ	スポール	クレータ	スポール
無補強 RC版				
高強度 CFシート 裏面補強				
高弾性 CFシート 裏面補強				
PEF シート 裏面補強				

図 6.4 外部損傷状況

試験体	爆薬量 100g	爆薬量 200g
無補強 RC 版		
高強度 CF シート 裏面補強		
高弾性 CF シート 裏面補強		
PEF シート 裏面補強		

図 6.5 内部損傷状況

7. 2009 年度試験データ

表 7.1 使用材料

普通コンクリート		レディーミクストコンクリート 普通-30-18-20-N									
鉄筋		φ5 みがき棒鋼									
PEFRC	使用材料	セメント		早強ポルトランドセメント 密度=3.13g/cm ³							
		骨材		川砂 表乾密度=2.57g/cm ³ 吸水率=2.69% 最大寸法=1.2mm 粗粒率=2.10				砕石 表乾密度=2.95g/cm ³ 吸水率=1.27% 最大寸法=20mm 実積率=57.2%			
		混和材		高炉スラグ微粉末 密度=2.89g/cm ³ 、比表面積=6140cm ² /g							
		混和剤		高性能 AE 減水剤							
		短繊維		ポリエチレン繊維 (集束タイプ) 密度=0.97g/cm ³ 寸法=590μm×30mm 引張強度=1870N/mm ² 引張弾性率=43kN/mm ²							
	使用調査	V _f (%)	W/B (%)	S _g /B (%)	s/a (%)	S _p /B (%)	単位量 (kg/m ³)				
	4.0	33	50	65	0.5	C	S _g	W	S	G	F
実測スランプ=12.1cm											
連続繊維補強材		炭素繊維 (CF) シート (高強度タイプ) 目付量=300g/m ² 、公称厚さ=0.167mm、 引張強度=3430N/mm ² 、引張弾性率=230kN/mm ²									
		ポリエチレン繊維 (PEF) シート 目付量=250g/m ² 、公称厚さ=0.258mm、 引張強度=1850N/mm ² 、引張弾性率=70kN/mm ²									
		炭素繊維 (CF) プレート 幅×厚=50×4mm、引張強度=450kN/mm ² 、引張弾性率=1200N/mm ²									
		ポリエチレン繊維 (PEF) ネット 網目寸法=45×45mm、引張強さ=4030N (撚り線 1 本当たり)									
		炭素繊維 (CF) ロッド 公称断面積=73.3mm ² 、引張強度=2450N/mm ² 、引張弾性率=147kN/mm ²									
接着材 注入材		PCM エマルジョン：コンパウンド：高炉スラグ微粉末=1.0：4.0：1.5 (質量比) 二水石膏混入率=10% (対結合材質量)									
高靱性 PCM	使用材料	エマルジョン (E)		ポリアクリル酸エステル系共重合体							
		コンパウンド (Co)		白色セメント 40%：珪砂 6 号 60%							
		混和材料		高炉スラグ微粉末 (Sg) 密度=2.89g/cm ³ 、比表面積=6140cm ² /g 二水石膏 (Gy) 高性能 AE 減水剤 (ポリカルボン酸エステル系) (Sp)							
		短繊維		ポリエチレン繊維 (F) 密度=0.97g/cm ³ 、寸法=12μm×18mm、 引張強度=2580N/mm ² 、引張弾性率=73kN/mm ²							
	使用調査	V _f (%)	E : Co : Sg (質量比)		Gy/B (%)	Sp/B (%)	単位量 (kg/m ³)				
	1.0	1 : 4.0 : 1.5		10	1.0	E	P	Sg	Gy	Sp	F
実測フロー値=163											

表 7.2 試験体仕様一覧

No.	種類	構成	爆薬量 (g)
1	PEFRC	プレキャスト空洞ブロック版 * 600×200mm×3 段 * 版厚 50mm、空洞厚 50mm	200
2	普通コンクリート	RC 版厚 75mm	200
3	普通コンクリート	RC 版厚 75mm * 裏面 CF シート (直交 2 層) 接着貼付	200
4	普通コンクリート	RC 版厚 75mm * 裏面 PEF シート (直交 2 層) 接着貼付	200
5	普通コンクリート	RC 版厚 75mm * 裏面 CF プレート接着貼付	200
6	普通コンクリート	RC 版厚 75mm * 裏面 CF ロッド補強高靱性 PCM 増厚 25mm	200
7	普通コンクリート	RC 版厚 75mm * 裏面 PEF ネット補強高靱性 PCM 増厚 25mm	200

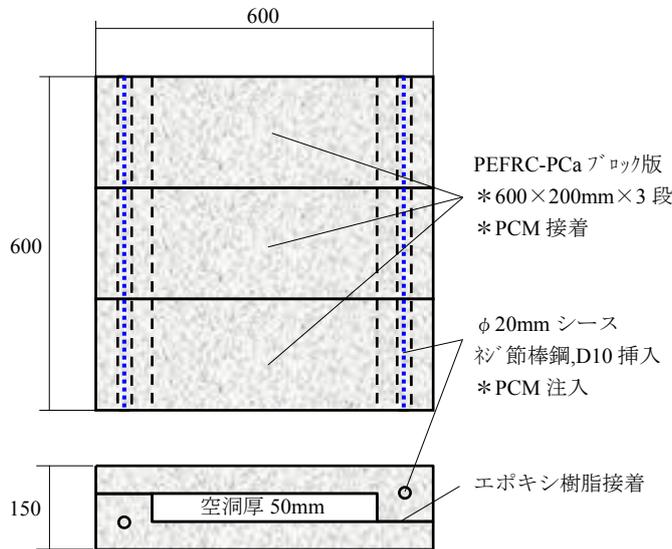


図 7.1 試験体 No. 1 仕様

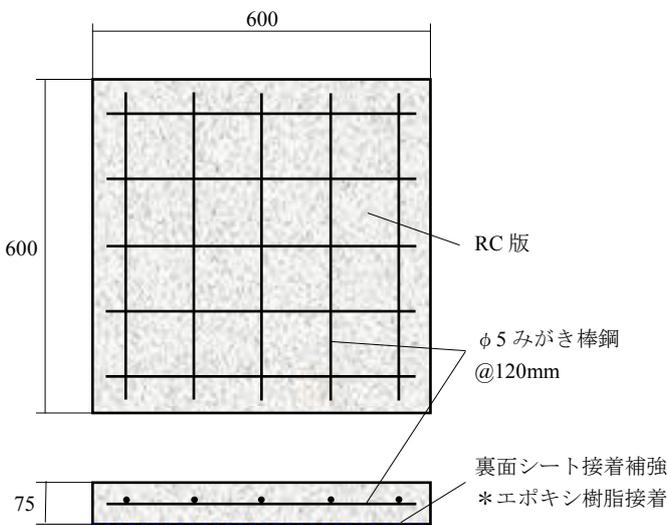


図 7.2 試験体 No. 2, 3, 4 仕様

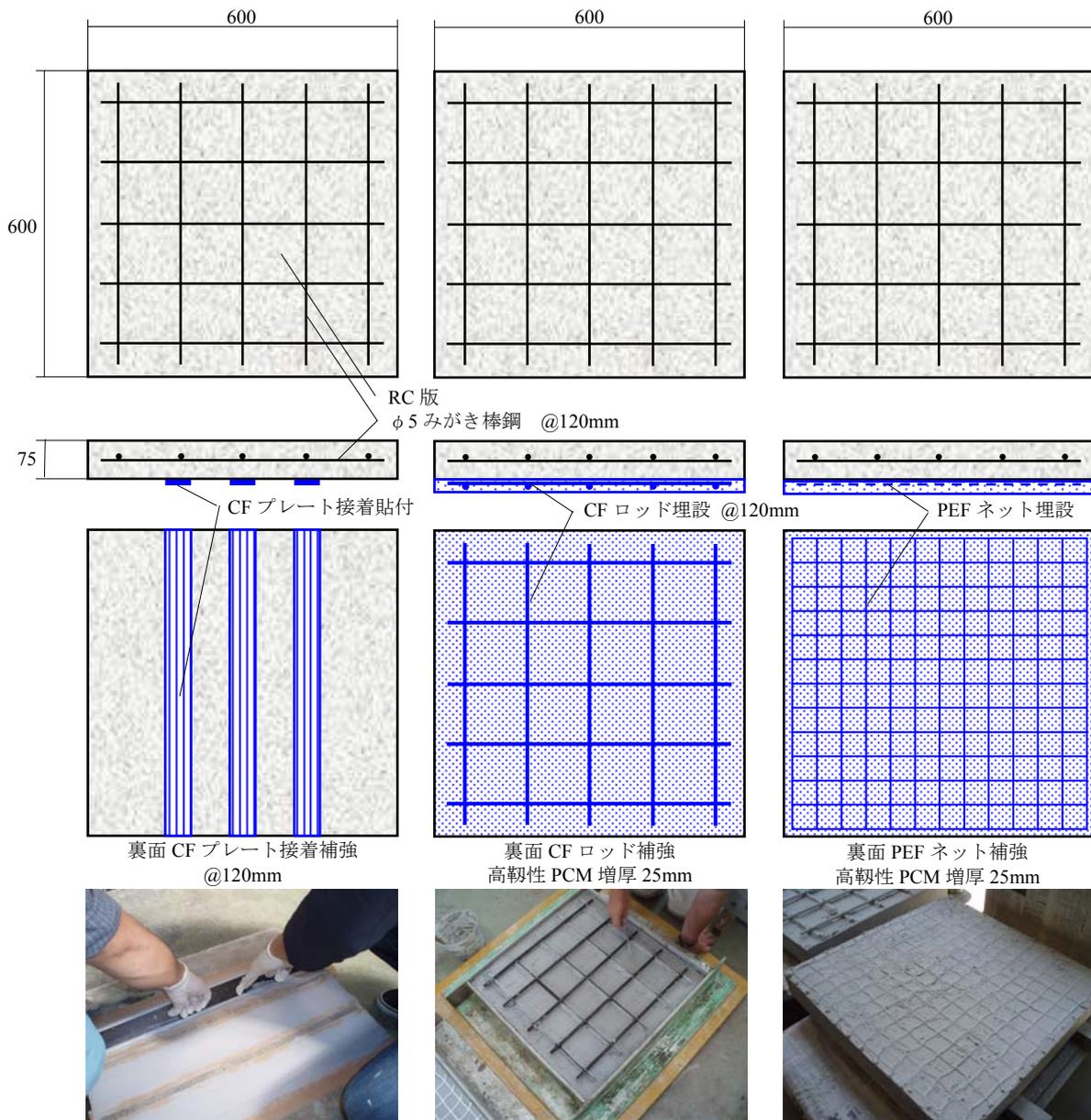


図 7.3 試験体 No. 5, 6, 7 仕様

表 7.3 強度試験結果

種類	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)	曲げタフネス (kNmm)	曲げ靱性係数 (N/mm ²)
PEFRC	64.4	22.0	7.15	10.8	44.9	10.1
普通コン	36.0	27.2	2.78			
高靱性 PCM	26.5		4.16	11.4		

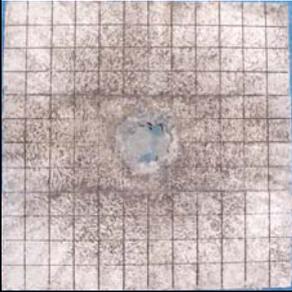
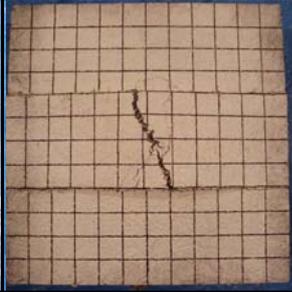
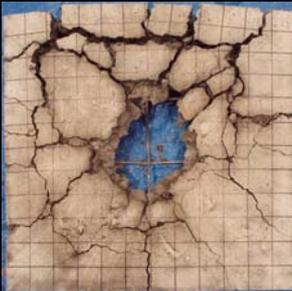
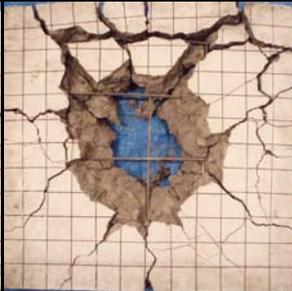
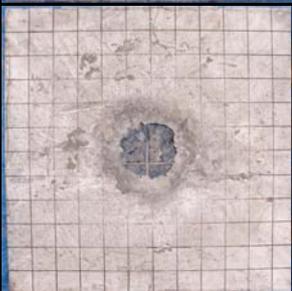
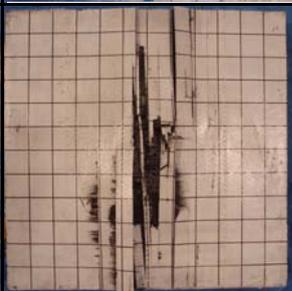
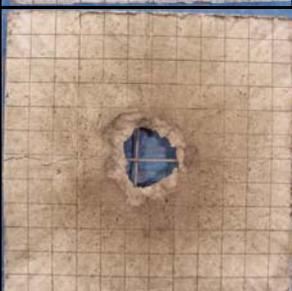
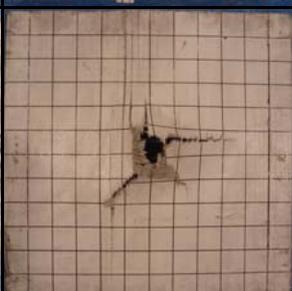
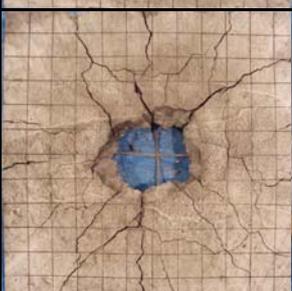
* 高靱性 PCM については、圧縮および引張強度試験用に $\phi 50 \times 100$ mm 円柱供試体各 3 個、曲げ強度試験用に $40 \times 40 \times 160$ mm 角柱供試体 3 個を作製し、現場湿布養生材齢 28 日後試験時まで気中養生

表 7.4 損傷寸法

No.	種類	爆薬量 (g)	C (cm)	C _d (cm)	S (cm)	S _d (cm)	H (cm)
1	PEFRC-PCa 空洞ブロック版	200	13.4	50 ^{*1}	0	0	—
2	無補強 RC 版	200	23.2	2.3	34.3	5.2	16.5
3	CF シート補強 RC 版	200	18.8	1.2	26.9	6.3	11.3
4	PEF シート補強 RC 版	200	17.4	2.1	31.6	5.5	11.2
5	CF プレート補強 RC 版	200	20.5	1.5	32.3	6.1	14.7
6	CF ロッド補強高靱性 PCM 増厚 RC 版	200	19.8	2.5	28.7	7.5	10.7
7	PEF ネット補強高靱性 PCM 増厚 RC 版	200	21.6	3.5	30.7	6.5	13.3

* C : クレータ直径、C_d : クレータ深さ、S : スポール直径、S_d : スポール深さ、H : 貫通孔直径

*1 : 上版の損傷深さを版全体のクレータ深さとした。

試験体	爆薬量 200g	
	クレータ	スポール
No.1		
No.2		
No.3		
No.4		
No.5		

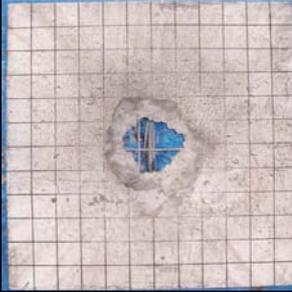
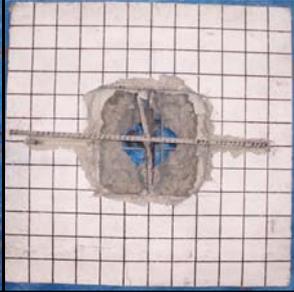
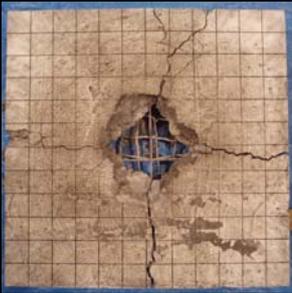
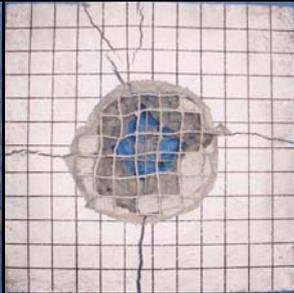
試験体	爆薬量 200g	
	クレータ	スポール
No.6		
No.7		

図 7.4 外部損傷状況