

論文 モルタル調合による高流動グラウト材を用いた SIFCON の接触爆発に対する耐爆性能

森島 慎太郎^{*1}・山口 信^{*2}・張 志成^{*3}・兼安 真司^{*4}

要旨: スラリー充填繊維コンクリート (SIFCON) におけるマトリックスの収縮量低減および材料製造に伴う環境負荷低減を図るため、小粒径細骨材を対結合材質量比で 40, 80% 含有し、尚且つ単位セメント量の 50% を高炉スラグ微粉末で置換した高流動グラウト材を試作し、これを適用した SIFCON の接触爆発に対する耐爆性能について検討した。その結果、同材料が既報のペースト調合 SIFCON と同等の耐爆性能を有することが明らかとなった。更に、同材料を用いた効率的な耐爆性能向上技術の構築に資するため、同材料とプレパックドコンクリートとを用いたシームレスな積層型耐爆構造版を提案し、その良好な耐爆性能を明らかにした。

キーワード: SIFCON, モルタル, プレパックドコンクリート, 積層補強, 接触爆発, 局部破壊, 力学特性

1. はじめに

繊維補強セメント複合材料 (以下, FRCC) の耐爆性能向上に要求される高靱性¹⁾を得るためには、短繊維のアスペクト比を大きくし、尚且つ高い繊維体積率を確保することが必要であるが、これらの因子はフレッシュ時の FRCC のコンシステンシーを著しく増大させる。一方、型枠中に予め短繊維を敷き詰め、その間隙にグラウト材を注入して製造するスラリー充填繊維コンクリート (以下, SIFCON) が提案されており、同手法によれば 10% を超える繊維体積率を確保できることが示されている²⁾。

著者らはこれまでに、SIFCON を対象とした接触爆発試験を実施し、同材料が他の各種 FRCC に比して良好な耐爆性能を有することを明らかにしている³⁾。また、SIFCON を用いた効率的な耐爆補強技術の構築に資するため、裏面側コンクリートを SIFCON に置換した SIFCON 積層補強鉄筋コンクリート (以下, RC) 版の耐爆性能についても検討を行い、全断面に SIFCON を用いた場合と同等以上の耐爆性能が得られることを示している⁴⁾。

ところで、既往の研究²⁻⁶⁾において検討対象とされている SIFCON のマトリックスは、モルタルではなく、いずれもペーストであり、これは、極めて狭隘な繊維間隙にグラウト材を注入する際に細骨材が間隙閉塞の原因になるためであると考えられる。しかし、マトリックスの収縮量低減および材料製造に伴う環境負荷低減等を図るためには、マトリックスのモルタル化や、混和材料の多量使用による単位セメント量の低減等が重要な課題である。

そこで、本研究では、ごく小粒径の細骨材を対結合材質量比で 40, 80% 含有し、尚且つ単位セメント量の 50% を高炉スラグ微粉末で置換した高流動グラウト材を試作し、これを適用した SIFCON の接触爆発に対する耐爆性能

能について実験的検討を行った。また、耐久性・耐火性等の面で弱点と成り易い接合界面を廃し、シームレスな SIFCON 積層補強 RC 版を構築することを目的に、裏面近傍に鋼繊維を、それ以外の部分には粗骨材をそれぞれプレバックし、その全層にグラウト材を注入して製造した総プレパックド SIFCON 積層補強 RC 版の耐爆性能についても併せて検討した。

2. 実験方法

2.1 使用材料・調合および製造方法

表-1 に使用材料を示す。グラウト材には結合材として早強ポルトランドセメントと高炉スラグ微粉末を用い、細骨材として珪砂 7 号を用いた。また、SIFCON における補強用繊維として両端フック付きの鋼繊維 (アスペクト比: 48.4) を、プレパックドコンクリート (以下, PPC) における粗骨材として碎石 2005 をそれぞれ用いた。

表-2 にグラウト材の調合および物性値を示す。水粉体比 $W/P (=W/(C+Sg+S))$ を、0 打フロー値 300 以上 (修正 JASS コーン使用) が得られる範囲内で 20% 一定とし、砂結合材比 $S/B (=S/(C+Sg))$ を 40 および 80% の 2 水準で

表-1 使用材料

グラウト材	セメント	早強ポルトランドセメント 密度: 3.14g/cm ³
	混和材料	高炉スラグ微粉末 (6000 ブレーン品) 密度: 2.91g/cm ³ , 比表面積: 5960cm ² /g
	細骨材	珪砂 7 号 (S7) 絶対密度: 2.63g/cm ³ , 粒径: 1.2mm 以下
	化学混和剤	ポリカルボン酸系高性能減水剤 メチルセルロース系増粘剤 ポリエーテル系消泡剤
SIFCON のみ	補強用繊維	鋼繊維 (両端フック付き) 密度: 7.85g/cm ³ , 寸法: φ0.62×30mm 引張強度: 1080MPa 以上
PPC のみ	粗骨材	碎石 2005 表乾密度: 3.01g/cm ³ , 吸水率: 0.67%, 最大寸法: 20mm, 実積率: 59.0%

*1 熊本大学 大学院自然科学研究科 博士前期課程 建築学専攻 (学生会員)

*2 熊本大学 大学院先端科学研究部 物質材料科学部門 助教 博(工) (正会員)

*3 熊本大学 大学院自然科学研究科 博士前期課程 建築学専攻

*4 日鉄住金高炉セメント(株) SL 事業部 品質管理・技術グループ グループリーダー

変化させた。従って、水結合材比 W/B は、 $S/B=40\%$ の割合で 28% 、 $S/B=80\%$ の割合で 36% となった。なお、SIFCONにおける繊維体積率 V_f は既報^{3),4)}と同様に 11.5% とした。

グラウト材の混練には回転数 1100rpm の高速ハンドミキサーを用い、全材料を一括して 4 分間練り混ぜた。その後、予め所定量の鋼繊維または粗骨材を詰めた型枠中に、グラウト材を上面からの流し込みにより注入した。写真-1 に試験体製造状況の一例を示す。

2.2 素材試験方法

圧縮試験用に $\phi 100 \times 200\text{mm}$ 円柱供試体を、曲げ試験用に $100 \times 100 \times 400\text{mm}$ 角柱供試体を各 3 体作製し、材齢 28 日目まで現場湿布養生後、試験時まで 3 週間気中養生とした。なお、圧縮試験では圧縮応力-ひずみ曲線を、曲げ試験ではスパン長 300mm の 3 点曲げ荷重による荷重-載荷点変位曲線をそれぞれ計測した。また、グラウト材、鋼繊維および粗骨材の密度を基に算出した複合体の理論密度に対する実測密度の比をグラウト充填率と位置付け、これによりグラウト材の充填状況を確認した。

2.3 試験体

図-1 に試験体の形状・寸法および配筋を、表-3 に試験体一覧をそれぞれ示す。試験体は 600mm 四方の平板であり、総厚は 100mm で一定とした。また、爆薬量 W は 100 および 200g の 2 水準で変化させた。なお、普通 RC 版のスポールおよび貫通限界は、修正換算コンクリート厚さ $T/W_m^{1/3}$ を用いて以下のように表される⁷⁾。

$$\frac{T}{W_m^{1/3}} = \begin{cases} 3.6\text{cm/g}^{1/3}; & \text{スポール限界} \\ 2.0\text{cm/g}^{1/3}; & \text{貫通限界} \end{cases} \quad (1)$$

ここに、 T : RC 版厚 (cm)、 W_m : 爆薬のトリニトロトロン (TNT) 等価質量 ($=W \times (K/K_{\text{TNT}})$, g)、 W : 実際の爆薬量 (g)、 K : 使用した爆薬の Chapman-Jouguet (C-J) 爆轟エネルギー ($=3.71\text{MJ/kg}$)、 K_{TNT} : TNT の C-J 爆轟エネルギー ($=4.29\text{MJ/kg}$) である。RC 版厚が 100mm であれば、 $W=100\text{g}$ で $T/W_m^{1/3}=2.3\text{cm/g}^{1/3}$ 、 $W=200\text{g}$ で $T/W_m^{1/3}=1.8\text{cm/g}^{1/3}$ となる。従って、本実験条件は、普通 RC 版であれば、 $W=100\text{g}$ で $T/W_m^{1/3}$ の値がスポール限界以下且つ貫通限界以上となるため局部破壊モードはスポール、 $W=200\text{g}$ で $T/W_m^{1/3}$ の値が貫通限界以下となるため局部破壊モードは貫通となる条件である。

試験体 No.1~4 は、いずれも全層が SIFCON で構成されるものであり、試験体の割れ防止程度の目的で縦横のピッチ 120mm の格子状鉄筋を版厚中央に配した。試験体 No.5~8 では、裏面からの厚さ 25mm の範囲に鋼繊維を、 $25 \sim 100\text{mm}$ の範囲に粗骨材をそれぞれプレパックし、その全層に上面からの流し込みによりグラウト材を注入した。また、これら試験体では、層間剥離に伴う SIFCON 層の脱落が懸念されたため、爆発面および裏面からのかぶり厚さが各 9mm となるように格子状 (上下層ともに

表-2 グラウト材の割合および物性値

a) 割合

ID	S/B (%)	W/B (%)	W/P (%)	Sg/B (%)	単位量 (kg/m ³)		
					C	Sg	W
S7-0.4	40	28	20	50	655	655	367
S7-0.8	80	36	20	50	502	502	362

注) S/B: 砂結合材比, W/B: 水結合材比, W/P: 水粉体比, Sg/B: 高炉スラグ微粉末によるセメント置換率, P=(C+Sg+S): 粉体, B=(C+Sg): 結合材, C: セメント, Sg: 高炉スラグ微粉末, W: 水, S: 細骨材。

b) 物性値

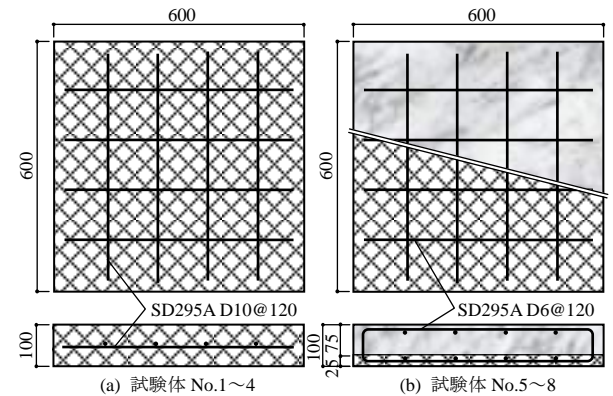
ID	T (°C)	0-Flow (JIS)	0-Flow (修正 JASS)	JP (s)	J14 (s)	M (g/cm ³)	γ (kN/m ³)	σ_B (MPa)
S7-0.4	26.7	370	311	26.7	16.4	2.165	21.6	133
S7-0.8	23.6	402	332	15.6	9.9	2.165	21.5	104

注) T: 練り温度, 0-Flow: 0 打フロー値, JP: JP 漏斗流下時間, J14: J14 漏斗流下時間, M: フレッシュ時の単位容積質量, γ : 気乾単位体積重量, σ_B : 圧縮強度。混練時の水温は 19.7°C 。



(a) グラウト材の混練 (b) グラウト材の注入

写真-1 試験体製造状況の一例



(a) 試験体 No.1~4 (b) 試験体 No.5~8

図-1 試験体の形状・寸法および配筋

表-3 試験体一覧

No.	ID	グラウト割合	試験体条件 (mm)			W (g)	$T/W_m^{1/3}$ (cm/g ^{1/3})
			総厚	SIFCON 厚	PPC 厚		
1	S7-0.4-S-100	S7-0.4	100	100	0	100	2.3
2	S7-0.8-S-100	S7-0.8	100	100	0	100	2.3
3	S7-0.4-S-200	S7-0.4	100	100	0	200	1.8
4	S7-0.8-S-200	S7-0.8	100	100	0	200	1.8
5	S7-0.4-D-100	S7-0.4	100	25	75	100	2.3
6	S7-0.8-D-100	S7-0.8	100	25	75	100	2.3
7	S7-0.4-D-200	S7-0.4	100	25	75	200	1.8
8	S7-0.8-D-200	S7-0.8	100	25	75	200	1.8

注) W: 爆薬量, T: 総厚, $T/W_m^{1/3}$: 修正換算コンクリート厚さ, W_m : 爆薬のトリニトロトロン (TNT) 等価質量。

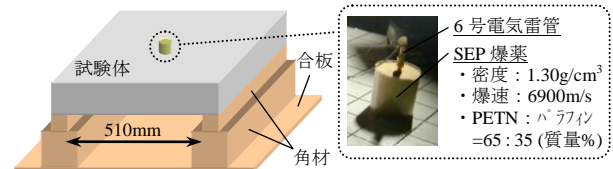


図-2 接触爆発試験方法

120mm ピッチ) の鉄筋かごを配した。なお、いずれの試験体構成においてもグラウト材の割合は S7-0.4 および S7-0.8 の 2 種類とし、養生条件は 2.2 節と同様とした。

2.4 接触爆発試験方法

図-2 に示す通り、 2 本の木製台座上に内法スパン

510mm となるように試験体を設置し、その上面中央で6号電気雷管を用いて SEP 爆薬を起爆させた。なお、爆薬の形状は直径と高さが等しい円柱形とした。

2.5 損傷評価方法

試験終了後、図-3 に示す局部破壊寸法を測定した。但し、後述する通り、PPC-SIFCON 積層構造版では外観上は十分にスポールが低減された場合であっても内部の PPC 層に甚大なスポール破壊が生じるため、外観上明らかなスポールを detached spall、内部に生じ飛散に至っていないスポールを attached spall と称して区別することとし、2次被害発生に直接的に関係する detached spall の直径および深さを測定対象とした。

3. 実験結果および考察

3.1 素材特性

表-4 に素材試験結果を、図-4 に圧縮応力-ひずみ曲線の測定値を、図-5 に曲げ試験における荷重-載荷点変位曲線の測定値をそれぞれ示す。なお、図-4 および 5 中には、SIFCON および PPC のそれぞれについて、供試体 3 体の測定値を全て示している。

グラウト充填性に関して、SIFCON および PPC のいずれにおいても 99% 程度の良好な充填率を示している。

圧縮特性に関して、SIFCON では表-2 に示したグラウト材単体と同等の圧縮強度を示したのに対し、PPC ではグラウト材単体に比して圧縮強度がかなり小さくなっている。その理由として、粗骨材同士が接触する PPC にあっては粗骨材-モルタル界面に発生する付着ひび割れ

が連結し易くなっている可能性が考えられる。なお、SIFCON では PPC に比して延性に富んだ圧縮性状を示しており、その傾向は W/B および S/B が大きい S7-0.8 調合において顕著になっている。

SIFCON の曲げ特性に関して、W/B および S/B が小さい S7-0.4 調合の方で曲げ強度は高くなっているものの、同調合の一部供試体では最大荷重到達後に比較的速やかに曲げ耐力が低下する性状が認められる。

図-6 に SIFCON および PPC の各種力学特性の関係を示す。なお、同図中には、既報の鋼繊維補強コンクリート (以下、SFRC)⁸⁾ およびペースト調合 SIFCON³⁾ に関する実験データも併記している。

一般に、繊維分散性確保のためセメントリッチなマトリックス調合となる FRCC のヤング係数は普通コンクリ

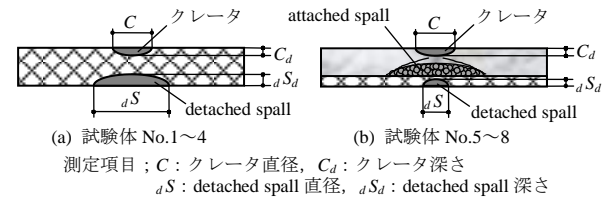


図-3 局部破壊寸法の定義

表-4 SIFCON および PPC の素材特性

種類	グラウト調合	F_g (%)	γ (kN/m ³)	σ_B (MPa)	E (GPa)	ϵ_{co} (μ)	σ_f (MPa)	$\bar{\sigma}_b$ (MPa)
SIFCON	S7-0.4	98.8	27.7	132	24.1	16500	47.3	39.5
	S7-0.8	99.1	27.6	119	18.3	29500	43.5	38.8
PPC	S7-0.4	99.1	26.0	53.3	29.5	3410	6.64	—
	S7-0.8	99.1	25.9	41.9	28.7	3390	6.78	—

注) F_g : グラウト充填率, γ : 気乾単位体積重量, σ_B : 圧縮強度, E : ヤング係数, ϵ_{co} : 圧縮強度時ひずみ, σ_f : 曲げ強度, $\bar{\sigma}_b$: 曲げ靱性係数。 $\bar{\sigma}_b$ 算出にあたっての基準変位は 4mm とした。

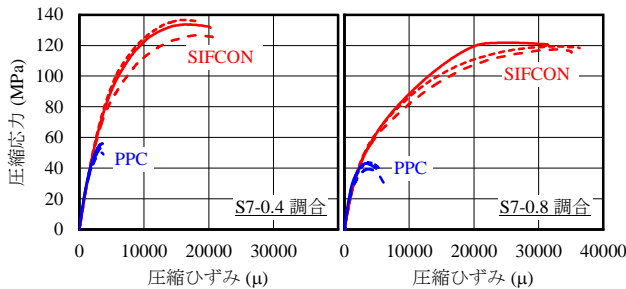


図-4 圧縮応力-ひずみ曲線の測定値

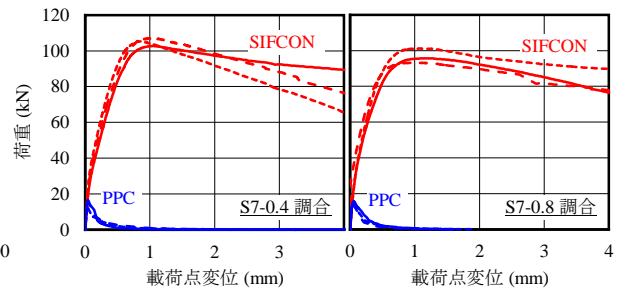


図-5 曲げ試験における荷重-載荷点変位曲線の測定値

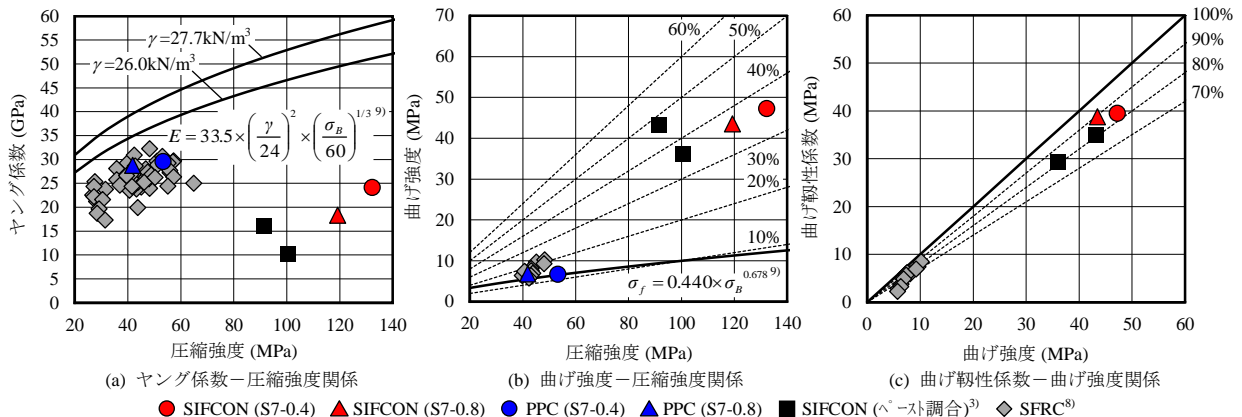
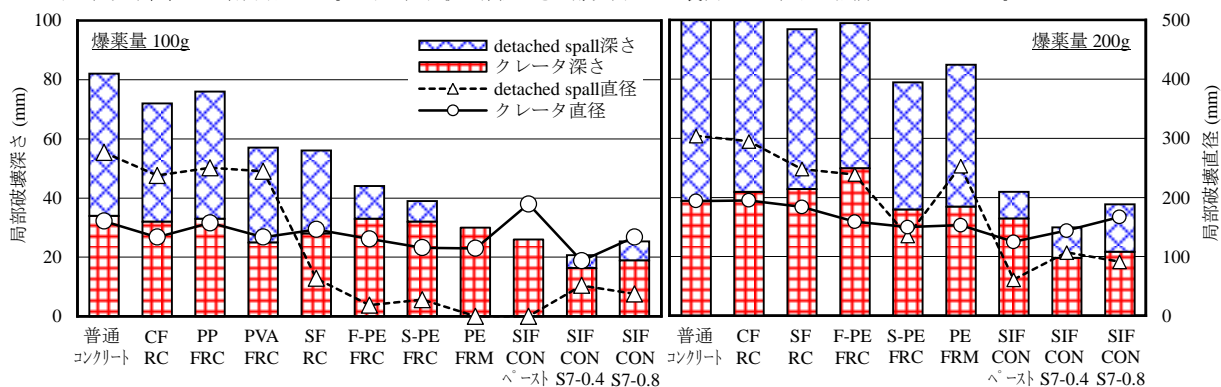


図-6 SIFCON および PPC の各種力学特性の関係

表-5 SIFCON 単体で構成される試験体 No.1~4 の破壊性状

		グラウト割合：S7-0.4		グラウト割合：S7-0.8	
W=100g	左：爆発面 右：裏面				
	切断面				
W=200g	左：爆発面 右：裏面				
	切断面				

注1) 支承位置は左右両端である。 注2) 目視で確認できた爆発面および裏面のひび割れを強調して示している。



注) 普通コンクリートおよび以下の各種 FRCC に関するデータは文献^{1),3)}より引用した：CFRC (炭素繊維補強コンクリート, $V_f=1.0\%$)、PPFRC (ポリプロピレン繊維補強コンクリート, $V_f=1.5\%$)、PVAFRC (ポリビニルアルコール繊維補強コンクリート, $V_f=5.0\%$)、SFRC (鋼繊維補強コンクリート, $V_f=2.0\%$)、F-PEFRC (原糸カットタイプを用いたポリエチレン繊維補強コンクリート, $V_f=1.0\%$)、S-PEFRC (集束タイプを用いたポリエチレン繊維補強コンクリート, $V_f=4.0\%$)、PEFRM (ポリエチレン繊維補強モルタル, $V_f=1.5\%$)、ペースト割合 SIFCON ($V_f=11.5\%$)。

図-7 FRCC の種類の違いが局部破壊寸法に及ぼす影響

ートより小さくなることが知られているが、図-6(a)より、SIFCON のヤング係数は SFRC のそれよりも更になくなる傾向にある。なお、PPC のヤング係数は、同一圧縮強度の普通コンクリートよりやや小さい程度である。

圧縮強度に対する曲げ強度比 (図-6(b)) は、SFRC で 10~20% の範囲内にあるのに対して、SIFCON では 30~50% と高くなっており、本調合による SIFCON はペースト割合 SIFCON と同等の曲げ補強効率を示している。

曲げ強度に対する曲げ靱性係数比 (図-6(c)) は、FRCC の延性の程度を表す指標であるが、本調合による SIFCON の上記比率は 80~90% の範囲内にあり、ペースト割合 SIFCON と同等の延性的な曲げ性状を示している。

3.2 耐爆性能

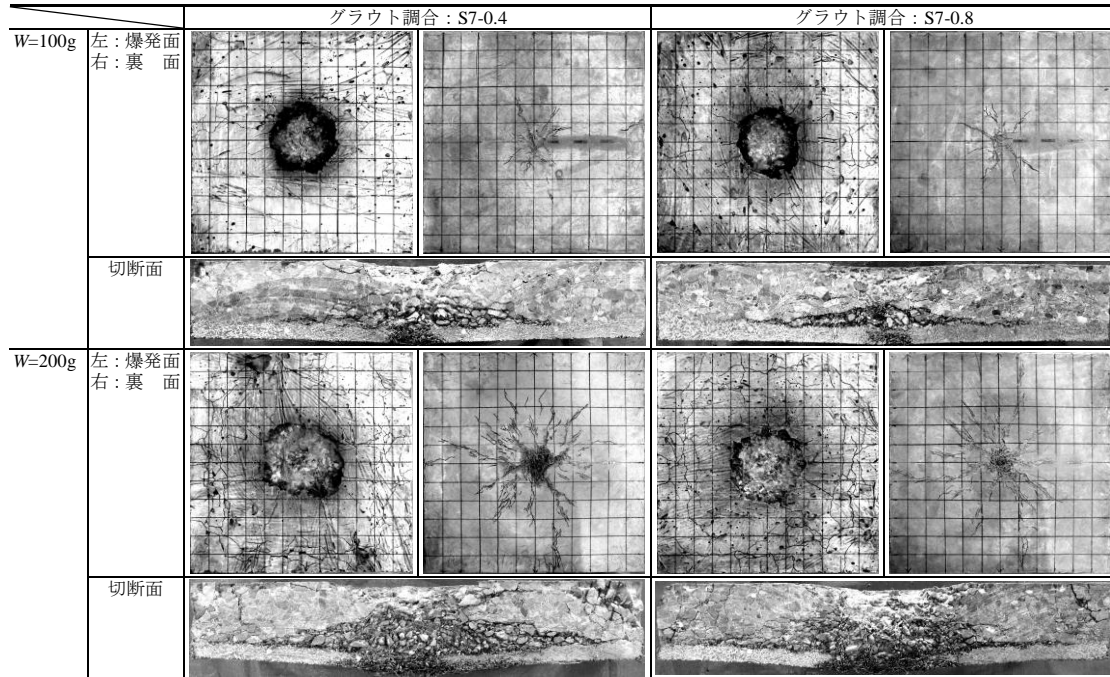
(1) モルタル調合 SIFCON 単体

表-5 にモルタル調合 SIFCON 単体で構成される試験

体 No.1~4 の破壊性状を示す。爆薬量 100g では、グラウト材の割合に関わらず裏面中央近傍がごく僅かに剥離した程度であり、detached spall は殆ど生じていない。爆薬量 200g になると、裏面中央近傍で浮き上がりが生じ、その程度は S7-0.4 調合の方でやや大きくなっているが、いずれの調合も主要な飛散片の発生は十分に抑止された状態にあった。また、SIFCON 単体で構成されるこれら試験体では、detached spall 近傍を除き目視で確認可能なひび割れの発生は裏面に認められない。

図-7 に FRCC の種類の違いが局部破壊寸法に及ぼす影響を示す。モルタル調合 SIFCON の局部破壊寸法は、爆薬量 100g ではポリエチレン繊維補強コンクリート等と同程度となっている。しかし、爆薬量 200g になると、 V_f が 4.0% 以下の通常の FRCC では全損傷深さが版厚近くまで増大しているのに対し、モルタル調合 SIFCON は

表-6 PPC-SIFCON 積層構造版試験体 (No.5~8) の破壊性状



注1) 支承位置は左右両端である。 注2) 目視で確認できた爆発面および裏面のひび割れを強調して示している。

依然として良好な detached spall 低減性能を示しており、ペースト調合 SIFCON と同等の耐爆性能を示している。

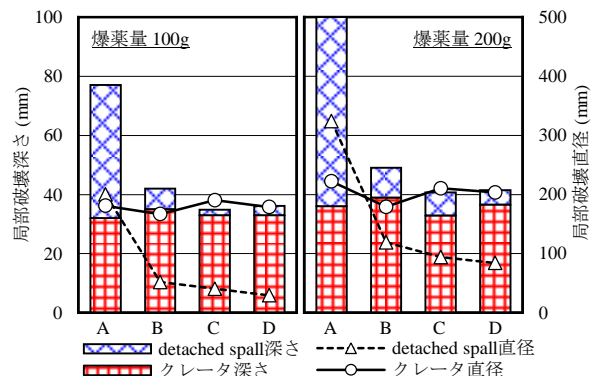
モルタル調合 SIFCON 同士を比較した場合、僅かではあるが強度・靱性が大きい S7-0.4 調合の方で局部破壊が小さくなる傾向にある。また、これら SIFCON のクレータ深さは普通コンクリートの 1/2 程度にまで低減されていることから、繊維体積率を大きくし、尚且つマトリックスを緻密化したことにより鋼繊維による横拘束効果が発現し、クレータが低減された可能性が考えられる。

(2) PPC-SIFCON 積層構造版

表-6 に PPC-SIFCON 積層構造版 (試験体 No.5~8)

の破壊性状を示す。爆薬量 100g では、SIFCON 単体で構成される試験体と同様に、裏面中央近傍がごく僅かに剥離した程度である。また、爆薬量 200g においては裏面中央近傍に浮き上がりが見られたが、その程度は SIFCON 単体の場合に比して軽微であり、主要な飛散片の発生も十分に抑止された状態にあった。なお、いずれの爆薬量においても、PPC 層に顕著な attached spall が発生し、それが直下の SIFCON 層を押圧することで SIFCON 層全体にたわみ変形が生じており、裏面には、detached spall を起点とする放射状ひび割れと、支承に対して平行な曲げひび割れが発生している様相が確認された。

図-8 に SIFCON 積層補強が局部破壊寸法に及ぼす影響を示す。既報⁴⁾では、全断面の 25% に相当する裏面側コンクリートを SIFCON に置換することにより、普通コンクリートのみであれば局部破壊モードが貫通となる条件下であっても良好に detached spall が低減されることを示しているが、本実験で対象とした PPC-SIFCON 積層構




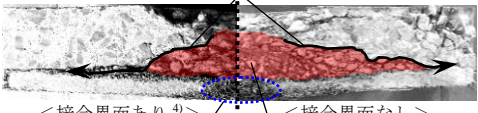
記号	層構成 (「爆発面側+裏面側」の順に記載)	接合 界面
A	普通コンクリート単体 (厚 100mm) ⁴⁾	無
B	普通コンクリート (厚 75mm)+ペースト調合 SIFCON (厚 25mm) ⁴⁾	有
C	PPC (S7-0.4, 厚 75mm)+モルタル調合 SIFCON (S7-0.4, 厚 25mm)	無
D	PPC (S7-0.8, 厚 75mm)+モルタル調合 SIFCON (S7-0.8, 厚 25mm)	無

図-8 SIFCON 積層補強が局部破壊寸法に及ぼす影響

造版においても同様の効果が認められる。また、これら積層構造版における detached spall の規模は、図-7 に示した SIFCON 単体のそれよりも小さくなる傾向にある。

既報⁴⁾では、普通 RC 版における detached spall 発生メカニズム (表-7 中の(a)) を踏まえた上で、SIFCON 積層補強による detached spall 低減メカニズムを、(i) 応力波の干渉作用により、SIFCON 層内で発生する引張応力が小さくなるために、同箇所でも甚大な detached spall が生じないこと、(ii) SIFCON 層のせん断抵抗が普通コンクリート層のそれに比して大きいために、普通コンクリート層で発生した斜めひび割れが SIFCON 層を貫通せず、途中から脆弱な接合界面に沿って進展すること、(iii) SIFCON 層の高い押抜きせん断耐力に起因して、普通コンクリート層で発生した attached spall 片を SIFCON 層で

表一 7 SIFCON 積層補強による detached spall 低減メカニズムの模式図

版構成	模式図
(a) 普通 RC 版 ⁴⁾	 <p>(i) 爆発荷重の作用によって生じた圧縮応力波が自由境界面で引張応力波となって反射し、コンクリートに引張破壊が生じる。</p> <p>(ii) 爆薬底面近傍を頂部とする最大せん断応力面に引張応力波が重なることで斜めひび割れが生じ、detached spall 面を形成する。</p>
(b) SIFCON 積層補強 RC 版	 <p>(i) 応力波の干渉作用により、SIFCON 層内で発生する引張応力が小さくなるために、同箇所で大規模な detached spall が生じない。</p> <p>(ii) SIFCON 層のせん断抵抗が普通コンクリート（または PPC）層のそれに比べて大きいために、普通コンクリート（または PPC）層で発生した斜めひび割れが SIFCON 層を貫通せず、途中から 2 層間を幅方向に進展する。本実験結果によれば、上記性状に接合界面の有無は殆ど影響しない。</p> <p>(iii) SIFCON 層の高い押抜きせん断耐力に起因して、普通コンクリート（または PPC）層で発生した attached spall 片が SIFCON 層に捕縛される。</p> <p><接合界面あり⁴⁾> <接合界面なし></p>

注) (b) は文献⁴⁾に示す図に本実験で得られた知見を加筆したものである。

捕縛可能であること、の複合によるものと考察している（表一 7 中の(b)）。本実験で検討対象とした PPC-SIFCON 積層構造版は接合界面を有さない点で上述の普通コンクリート-SIFCON 積層構造版と異なっているが、その場合も PPC 層で発生した斜めひび割れが 2 層間を幅方向に進展している様相が確認される。このことは、SIFCON 層のせん断抵抗が十分に大きいために、耐久性等の面で弱点と成り易い接合界面を設けなくとも、detached spall 面を形成する斜めひび割れの進展経路を制御することが可能であることを示唆していると考えられる。

4. まとめ

本研究の範囲内で、以下の知見が得られた。

- (1) モルタル調合 SIFCON はペースト調合の場合と同等の detached spall 低減性能を有しており、尚且つクレータ深さも普通コンクリートの 1/2 程度にまで低減されることが明らかとなった。また、以上の性能は、若干ではあるが強度・靱性が大きい S7-0.4 調合の方で大きくなる傾向にあった。
- (2) PPC-SIFCON 積層構造版が、接合界面を有する普通コンクリート-SIFCON 積層構造版と同等の detached spall 低減性能を有することが示された。このことから、耐久性等の面で弱点と成り易い接合界面を設けなくとも、SIFCON 層のせん断抵抗が十分に大きいために、detached spall 面を形成する斜めひび割れの進展経路を制御することが可能であると考えられた。

謝辞

本研究は、熊本大学パルスパワー科学研究所（研究所長：勝木淳教授）の研究支援の下で実施されたものであり、実験にあたり、外本和幸教授、田中茂助教、草野健技術補佐員、戸田善統技術専門職員、濱崎ありさ技術職員ならびに Danny Triputra Setiamanah 氏、山口菜摘氏、宮脇晃平氏をはじめとする学生諸氏よりご協力いただきました。また、本研究の一部は JSPS 科研費基盤研究(C)（課題番号：17K06647、研究代表者：山口信）の助成を受けて実施されました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 山口信：高分子量ポリエチレン繊維を用いた繊維補強コンクリートの調合設計と耐爆構造物としての応用に関する実験的研究，熊本大学学位論文，2009.3
- 2) Lankard, D. R.: Slurry Infiltrated Fiber Concrete (SIFCON), Concrete International, Vol.6, No.12, pp.44-47, 1984
- 3) 山口信ほか：スラリー充填繊維コンクリート (SIFCON) の接触爆発に対する耐爆性能，日本建築学会構造系論文集, Vol.80, No.718, pp.2033-2043, 2015.12
- 4) 山口信，長渡健之，森島慎太郎：鉄筋コンクリート版の耐爆性能に及ぼす SIFCON 積層補強の効果—スラリー充填繊維コンクリート (SIFCON) の接触爆発に対する耐爆性能—，日本建築学会構造系論文集, Vol.82, No.732, pp.279-289, 2017.2
- 5) 石田裕哉，岩瀬裕之，六郷恵哲，小柳洽：スラリー注入鋼繊維補強コンクリートの特性と継手部への利用，第 8 回コンクリート工学年次講演会論文集，pp.429-432, 1986.7
- 6) 河野克哉，石田征男，高橋英孝，田中敏嗣：鋼繊維を多量混入したセメント系材料の開発と力学特性，コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, pp.227-232, 2011.7
- 7) 森下政浩，田中秀明，安藤智啓，萩谷浩之：接触爆発を受ける鉄筋コンクリート版の損傷に及ぼすコンクリート強度及び鉄筋間隔の影響，コンクリート工学年次論文集, Vol.15, No.2, pp.89-98, 2004.5
- 8) 村上聖，浦野登志雄，三井宜之：鋼繊維補強コンクリートの力学パラメータに及ぼす調合因子の相互作用の定量分析，コンクリート工学年次論文集, Vol.7, No.1, pp.23-30, 1996.1
- 9) 野口貴文：高強度コンクリートの基礎的力学特性に関する研究，東京大学学位論文，1995.3