

論文 SIFCON パネルと緩衝材とで構成される爆発緩衝システムの RC 版への緩衝効果と裏面補強との併用効果

北村 塔子*1・山口 信*2・米田 ひかり*1・森島 慎太郎*3

要旨: スラリー充填繊維コンクリート (SIFCON) パネルと緩衝材とで構成される爆発緩衝システムを爆発面に設置した鉄筋コンクリート (RC) 版の接触爆発による損傷について実験的検討を行った。その結果, SIFCON パネルおよび緩衝材はともに約 2 倍の厚さの普通コンクリートと等価な緩衝効果を有していることが確認された。さらに, SIFCON パネルの埋設型枠への適用を想定し, RC 版の爆発面に上記緩衝システムを, 裏面に SIFCON パネルをそれぞれ接合した積層部材の損傷についても検討した結果, 各層の等価コンクリート厚さを用いることで積層部材の損傷を評価できる可能性が示唆された。

キーワード: SIFCON, 接触爆発, 局部破壊, 緩衝システム, 裏面補強

1. はじめに

接触爆発を受ける鉄筋コンクリート (RC) 版の損傷としては, 作用を受けた面とは反対側の裏面側コンクリートが破片化して飛散する裏面剥離 (スポール) が生じる点に特徴がある。RC 造建築物内部の人命を防護するためには, スポール発生に伴うコンクリート片の飛散による 2 次被害を防止する必要がある。従って, スポールを抑止することが設計上の許容限界と位置付けられる。

著者らは既報¹⁾において, 薄肉のスラリー充填繊維コンクリート (SIFCON) パネルにより裏面補強した RC 版の接触爆発に対する耐爆性能について実験的検討を行い, RC 版裏面に接合した SIFCON パネルが 10.8 倍の厚さの普通コンクリートに相当する良好な耐爆補強効果を有していることを明らかにしている。

ここで, 著者らは将来的に, SIFCON パネルを耐爆構造物の壁体を構築する際の埋設型枠として適用することを想定している。その場合, 爆発面側には裏面へ向けて伝播する応力波を減衰させるための何らかの工夫を施すことが望ましいと考えられるが, 単に SIFCON パネルを爆発面側に設置するだけであれば, 応力波は減衰することなく RC 版へと透過することが予想される。この面で, SIFCON パネルと RC 版との間に適切な衝撃緩衝材を挿入する方法が有用視される。

そこで本研究では, RC 版の爆発面側にエネルギー吸収要素として SIFCON パネルを設置し, 尚且つ RC 版-SIFCON パネル間に衝撃緩衝材として硬質ポリウレタンフォームを挿入した積層構造版の接触爆発による局部破壊について実験的検討を行った (実験 1)。また, SIFCON パネルの埋設型枠への適用に向けた基礎検討として, 上述の爆発緩衝システムと SIFCON パネルによる裏面補強との併用効果についても併せて検討した (実験 2)。

2. 実験方法

2.1 使用材料・調合および製造方法

本実験で使用した材料は表-1 に示す通りである。衝撃緩衝材としては, 低速衝突問題において発泡スチロールの有効性²⁾が, 近接爆発問題においてアルミハニカム複合パネルの有効性³⁾がそれぞれ確認されているが, 本研究では既報⁴⁾において良好な緩衝性能が確認された硬質ポリウレタンフォームを用いた。

SIFCON に用いたグラウト材は表-2 に示す通り, 本繊維の間に充填可能で, 尚且つ SIFCON の良好な耐爆性能を確保する上で好適と判断された調査⁵⁾によるものとした。表-3 にグラウト材のフレッシュ性状を示す。本繊維間に充填可能なグラウト材の 0 打フロー値 (JIS コーン使用) は 380 程度以上であることが確認されているが⁵⁾, 両実験シリーズにおいてそれを満足する流動性が得られていることが確認される。

SIFCON は, 予め型枠中に短繊維を敷き詰め, その間

表-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-24-18-20-N) 実測スランプ: 17.0cm (実験 1), 20.5cm (実験 2) 実測空気量: 6.2% (実験 1), 3.4% (実験 2)	
SIFCON	結合材	早強ポルトランドセメント 高炉スラグ微粉末 6000
	細骨材	珪砂 8 号 表乾密度: 2.40g/cm ³ , 粒径: 0.3mm 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
	補強用繊維	細径真直鋼繊維 寸法: φ0.2×13mm, 引張強さ: 2000MPa 引張弾性率: 205GPa, 実積率: 10.0%
緩衝材	硬質ポリウレタンフォーム 密度: 0.0267g/cm ³ , ヤング係数: 4.77MPa	

表-2 グラウト材の調合

W/B [%]	W/P [%]	Sg/B [%]	S/B [%]	単位量 [g/batch]			
				W	C	Sg	S
35	25	50	40	5000	7150	7150	5700

注) W: 水, C: セメント, Sg: 高炉スラグ微粉末, S: 細骨材, B (=C+Sg): 結合材, P (=C+Sg+S): 粉体

*1 熊本大学 大学院自然科学教育部 博士前期課程 (学生会員)

*2 熊本大学 大学院先端科学研究部 准教授・博(工) (正会員)

*3 日鉄高炉セメント(株) SL 事業部 統括主任・博(工) (正会員)

隙にグラウト材を注入することにより製造した。なお、本繊維の実積率は 10.0%であり⁵⁾、それが得られるように所定量の繊維を量り取って型枠中に敷き詰めた。また、グラウト材はその自重のみにより繊維間隙に充填させた。

2.2 静的力学特性

普通コンクリートおよび SIFCON の圧縮試験にはφ100×200mm 円柱供試体を、SIFCON の曲げ試験には 100×100×400mm 角柱供試体を各 3 体作製し、材齢 28 日目まで現場水中養生後、試験時まで気中養生とした。また、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 の中央 3 点曲げ載荷による荷重-載荷点変位曲線をそれぞれ測定した。

以上のようにして得られた力学特性値を表-4 に示す。SIFCON においては、いずれの実験シリーズにおいても 50MPa 以上の高い曲げ強度が得られていることが判る。

2.3 接触爆発試験体

図-1 に接触爆発試験体の形状・寸法および配筋を、表-5 に接触爆発試験体一覧をそれぞれ示す。試験体は幅×長さ 500×500mm の正方形版とした。配筋が局部破壊に及ぼす影響は小さいことが知られているが⁶⁾、本実験では割れ防止程度の目的で縦横の間隔 120mm の格子状鉄筋を RC 版の版厚中央に 1 層配した。RC 版および SIFCON パネルは 500×500mm の面が打設面となるように作製した。RC 版の打設面はこて仕上げとし、実験 2 ではそれに加えてグラインダによる研磨処理を行ったが、グラウト材に関しては実験 1, 2 ともに仕上げなしとした。RC 版および SIFCON パネルは材齢 28 日目まで現場水中養生後気中養生し、RC 版に予め設けたφ18mm のボルト孔を介して M12 のボルトにより接合した。

実験 1 では、爆発面に緩衝材を挟んで SIFCON パネルを接合した試験体を検討対象としたが、RC 版厚は 60mm で一定とし、SIFCON パネル厚および緩衝材厚を 10, 20 および 30mm の 3 水準でそれぞれ変化させた。実験 2 では、爆発面に緩衝材を挟んで SIFCON パネルを、裏面に直接的に SIFCON パネルをそれぞれ接合した試験体を検討対象としており、RC 版厚を 60mm で、爆発面側および裏面側の SIFCON パネル厚と緩衝材厚は 10mm でそれぞれ一定とした。爆薬量は実験の状況に応じ、スポール限界が現れるように各 3 水準で変化させた。なお、実験 2 における緩衝材-RC 版間に限り材料同士の接触面が打設面となったが、RC 版の打設面を研磨することでできる限り不陸を除去し、さらに緩衝材が RC 版に密着するようにボルトを強く締め付けて接合したため、100%に近い接触面積率が確保できていたと考えられる。

ここで、本実験で用いた爆薬は、実験 1 で SEP 爆薬、実験 2 で含水爆薬と異なるが、下式に示すトリニトロトルエン (TNT) 等価質量を用いれば発生エネルギー量が

表-3 グラウト材のフレッシュ性状および圧縮強度

実験	JP 漏斗 流下時間 [s]	Flow		圧縮強度 [MPa]
		JIS コーン 使用	φ50×100mm コーン使用	
1	18.2	409	337	117
2	11.65	402	324	102

注) 圧縮強度は、φ50×100mm 円柱供試体 3 体の平均値であり、養生条件は接触爆発試験体と同様である

表-4 普通コンクリートと SIFCON の静的力学特性

材料名	実験	γ [kN/m ³]	σ _B [MPa]	E [GPa]	σ _f [MPa]	σ _b [MPa]
普通コンクリート	1	22.8	33.4	26.2	—	—
	2	23.1	37.6	24.8	—	—
SIFCON	1	25.8	169	20.9	57.8	—
	2	25.7	152	20.4	54.9	39.4

注) γ: 気乾単位体積重量, σ_B: 圧縮強度, E: ヤング係数, σ_f: 曲げ強度, σ_b: 曲げ靱性係数 (限界変位 4mm), 実験 1 の σ_b は測定機器の故障により測定できなかった

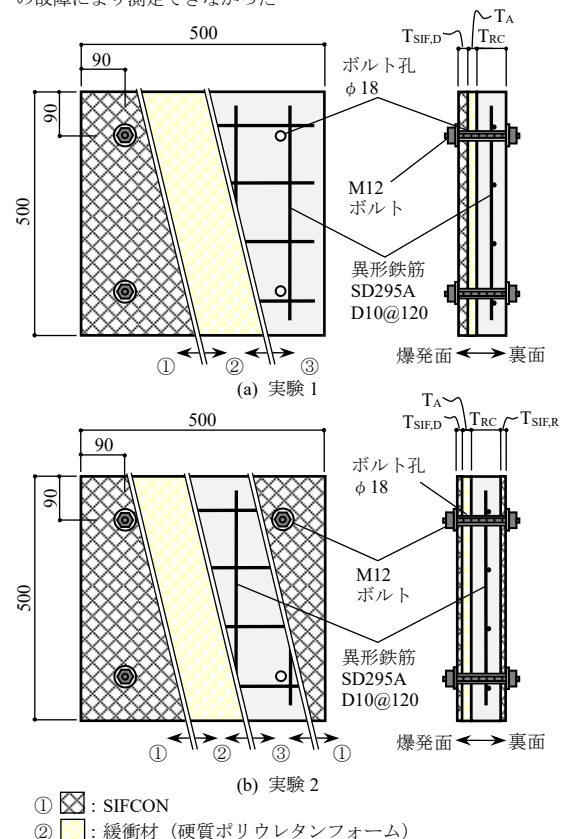


図-1 接触爆発試験体の形状・寸法および配筋

表-5 接触爆発試験体一覧

実験	ID	厚さ [mm]						爆薬 種類	W _a [g]	W _m [g]
		T _{SIF,D}	T _A	T _{RC}	T _{SIF,R}	T _{to}				
1	1-1-0-25.9	10	10	60	0	80	SEP	30	25.9	
	1-1-0-34.6	10	10	60	0	80	SEP	40	34.6	
	1-1-0-43.2	10	10	60	0	80	SEP	50	43.2	
	1-2-0-43.2	10	20	60	0	90	SEP	50	43.2	
	1-2-0-51.9	10	20	60	0	90	SEP	60	51.9	
	1-2-0-60.5	10	20	60	0	90	SEP	70	60.5	
	1-3-0-51.9	10	30	60	0	100	SEP	60	51.9	
	1-3-0-60.5	10	30	60	0	100	SEP	70	60.5	
	1-3-0-69.2	10	30	60	0	100	SEP	80	69.2	
	2-2-0-60.5	20	20	60	0	100	SEP	70	60.5	
	2-2-0-64.9	20	20	60	0	100	SEP	75	64.9	
	2-2-0-69.2	20	20	60	0	100	SEP	80	69.2	
2	3-2-0-77.8	30	20	60	0	110	SEP	90	77.8	
	3-2-0-86.5	30	20	60	0	110	SEP	100	86.5	
	3-2-0-95.1	30	20	60	0	110	SEP	110	95.1	
	1-1-1-181	10	10	60	10	90	含水	240	181	
	1-1-1-196	10	10	60	10	90	含水	260	196	
	1-1-1-211	10	10	60	10	90	含水	280	211	

注) T_{to}: 総厚, W_a: 実際の爆薬量, W_m: 爆薬の TNT 等価質量

等価な TNT の質量に換算することが可能である。

$$W_m = W_a \times K / K_{TNT} \quad (1)$$

ここに、 W_m ：爆薬の TNT 等価質量 [g]、 W_a ：実際の爆薬量 [g]、 K ：使用した爆薬の熱エネルギー [MJ/kg]、

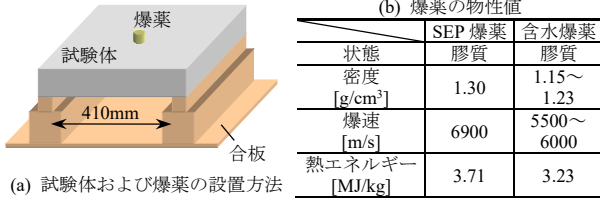


図-2 接触爆発試験方法

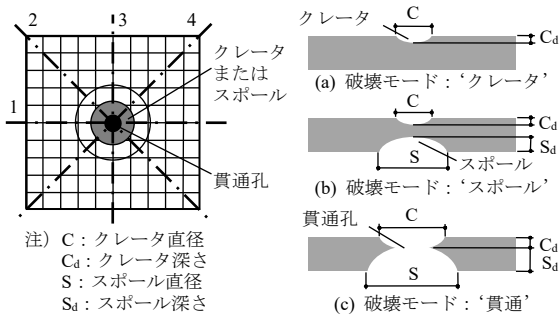


図-3 局部破壊寸法の定義

K_{TNT} ：TNT の熱エネルギー [=4.29MJ/kg] である。図-2 中に各爆薬の物性値を示す。また、表-5 中には、式(1)により求めた各爆薬の TNT 等価質量を併記している。

2.4 接触爆発試験方法

図-2 に接触爆発試験方法を示す。2 本の木製架台上に内法スパン 410mm 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発破器により爆薬（装薬形状は直径：高さ=1：1）を起爆させた。

2.5 局部破壊寸法の測定方法

図-3 に局部破壊寸法の定義を示す。クレータおよびスポールの直径は、形状が非対称となるため直線 1-4 に沿って 4 箇所測定し、それらの平均値とした。また、クレータおよびスポールの深さは、それぞれ爆発面および裏面から局部破壊の最深部に至るまでの距離とした。

3. 実験結果および考察

3.1 実験 1

(1) 破壊性状および破壊モード

表-6 に、実験 1 における代表的な試験体の破壊性状を示す。爆発面では、SIFCON パネル厚が 10 および 20mm

表-6 代表的な試験体の破壊性状（実験 1）

a) 爆発面側 SIFCON パネル厚：10mm，緩衝材厚：10mm		$W_a=30g (W_m=25.9g)$		$W_a=40g (W_m=34.6g)$		$W_a=50g (W_m=43.2g)$	
左：爆発面	右：裏面						
切断面							
b) 爆発面側 SIFCON パネル厚：10mm，緩衝材厚：30mm		$W_a=60g (W_m=51.9g)$		$W_a=70g (W_m=60.5g)$		$W_a=80g (W_m=69.2g)$	
左：爆発面	右：裏面						
切断面							
c) 爆発面側 SIFCON パネル厚：30mm，緩衝材厚：20mm		$W_a=90g (W_m=77.8g)$		$W_a=100g (W_m=86.5g)$		$W_a=110g (W_m=95.1g)$	
左：爆発面	右：裏面						
切断面							

注) 支持位置は左右両端であり、視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。

の試験体で爆薬量に関わらず SIFCON パネルに貫通が生じ、その直下の緩衝材が粉碎されている様相が確認された。また、緩衝材が粉碎された箇所に接する RC 版の部分には若干の窪みが生じている様相が確認されている。

これに対し、SIFCON パネル厚が 30mm の試験体では上記とは異なる破壊性状が認められた。すなわち、SIFCON パネルは貫通することなく、パネル中のスポール破壊箇所が裏面へ向けて凸状に変形し、それが直下の緩衝材を押し潰すことで RC 版を押圧している様相が確認された。ここで、SIFCON 単体のスポール限界は $T/W_m^{1/3} = 1.62\text{cm/g}^{1/3}$ であることが確認されている。従って、爆発問題におけるスケール則 (1/3 乗則) に従った場合、厚さ 30mm の SIFCON パネルにおいてスポール限界となる爆薬の TNT 等価質量は 6.35g となるが、本実験ではその 10 倍以上の爆薬量であったにもかかわらず SIFCON パネル中のスポール破壊箇所は剥落には至らなかった。このことは、同箇所が延性に富んだ変形状を示したために、それが直下の緩衝材を押し潰す間に SIFCON パネル本体から分離することなく、最終的にはパネル裏面から 20mm 離れた RC 版が障害物となることでその変形が停止した可能性を示唆している。

表-7 に破壊モード一覧を示す。いずれの試験体構成においても破壊モードが‘クレータ’から‘スポール’へと変化するスポール限界に近い条件を特定することができた。また、表中で破壊モードが‘クレータ’となっている実験データのうち最も爆薬量が多い条件をスポール限界と位置付けた場合、SIFCON パネルと緩衝材の合計厚さが増加するほどスポール限界爆薬量が増大する傾向にあることが判る。なお、表-6 において、裏面中央を中心とする円形のひび割れが生じている試験体が幾つか認められ、これらはその試験条件がスポール限界に近い条件であったことを示しているものと考えられる。

(2) 局部破壊寸法

普通 RC 版を対象とした損傷評価式 (修正 McVay 式) によれば、その損傷深さは下式により評価される。

クレータ深さ

$$C_d/T = -0.046 \cdot T/W_m^{1/3} + 0.42 \quad (2)$$

全損傷深さ (クレータ深さとスポール深さの和)

$$(C_d + S_d)/T = C_d/T \quad (3.6 < T/W_m^{1/3}) \quad (3)$$

$$(C_d + S_d)/T = -0.49 \cdot T/W_m^{1/3} + 2.0 \quad (2.0 \leq T/W_m^{1/3} \leq 3.6) \quad (4)$$

$$(C_d + S_d)/T = 1.0 \quad (T/W_m^{1/3} < 2.0) \quad (5)$$

ここに、 C_d : クレータ深さ [cm], S_d : スポール深さ [cm], T : 版厚 [cm] である。なお、スポール深さは全損傷深さからクレータ深さを差し引くことで求められる。

図-4 に総厚 T_{10} で無次元化したクレータおよびスポール深さの測定値を示す。なお、図中には総厚が等しい

表-7 試験体の破壊モード一覧 (実験 1)

$T_{SIF,D}$ [mm]	T_A [mm]	爆薬の TNT 等価質量 W_m [g]								
		25.9	34.6	43.2	51.9	60.5	69.2	77.8	86.5	95.1
10	10	○	●	●						
10	20			○	○	●				
10	30			○			●	●		
20	20					○	●	●		
30	20								○	○

注) 破壊モードは、○: ‘クレータ’, ●: ‘スポール’

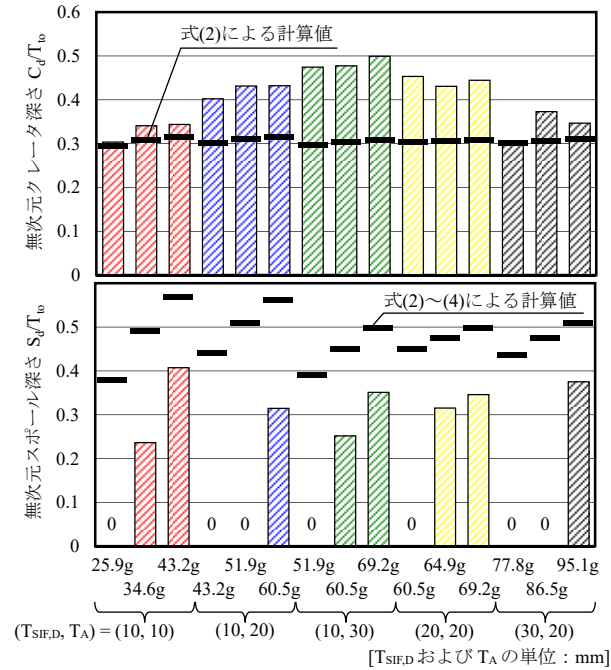


図-4 無次元化された損傷深さの測定値 (実験 1)

RC 版に関する式(2)~(5)による計算値も併記している。

無次元クレータ深さ C_d/T_{10} は修正 McVay 式による計算値よりも一様に大きくなっており、その傾向は緩衝材厚さが増えるほど顕著である。これは、上述の通り爆薬直下の緩衝材が完全に破砕されたためであるが、SIFCON パネル中のスポール破壊箇所が粉碎されていなかった SIFCON パネル厚 30mm かつ緩衝材厚 20mm のケースにおいては緩衝材厚が等しい他の試験体よりも C_d/T_{10} がやや低減されていることが判る。

無次元スポール深さ S_d/T_{10} は、全層を普通コンクリートと見做した修正 McVay 式による計算値よりも明らかに低減されており、最大で 0.5 程度の低減が認められる。このことは、爆発面近傍のコンクリートを SIFCON と緩衝材に置き換えることがスポール抑止を図る上で有効であることを示唆している。

修正 McVay 式⁶⁾では、普通 RC 版におけるクレータおよびスポールの深さ-直径関係を下式で与えている。

クレータ深さ-直径関係

$$C_d/T = 0.20 \cdot C/T \quad (C/T < 1.6) \quad (6)$$

$$C_d/T = 0.016 \cdot C/T + 0.30 \quad (1.6 \leq C/T) \quad (7)$$

スポール深さ-直径関係

$$S_d/T = 0.15 \cdot S/T \quad (S/T < 2.9) \quad (8)$$

$$S_d/T = -0.017 \cdot S/T + 0.71 \quad (2.9 \leq S/T) \quad (9)$$

図-5 および 6 に本実験データと上式による計算値との関係を示す。クレータの形状は、式(6)による計算値よりも深さ方向に大きくなる傾向にある。これは上述の通り、爆薬直下で緩衝材が破碎されたためであると考えられる。

スポールの形状に関しては、スポール限界近傍でスポールがやや歪な形状となった試験体 1-1-0-34.6 および 2-2-0-64.9 がやや逸脱しているものの、それを除けば式(8)による計算値と概ね良く一致する傾向にある。従って、本緩衝システムを適用することによりスポールは生じ難くなるものの、スポール限界を超える条件下では普通 RC 版と同様の形状を有するスポールが生じると考えられる。

(3) SIFCON パネルおよび緩衝材の等価コンクリート厚さの評価

本緩衝システムを適用した部材の損傷評価法構築のためには、SIFCON パネルおよび緩衝材それぞれの等価コンクリート厚さを明確にしておくことが重要であると考えられる。そこでここでは、部材のスポール限界を確保する上で必要な SIFCON パネルおよび緩衝材の等価コンクリート係数の導出を試みる。

修正 McVay 式によれば、普通 RC 版におけるスポール限界は、下式⁹⁾により算出される。

$$T/W_m^{1/3} = 3.6 \quad (10)$$

ここで、本緩衝システムを適用した RC 版における SIFCON パネルおよび緩衝材の等価コンクリート係数をそれぞれ α および β とおくと、式(10)は以下のように書き換えられる。

$$(T_{RC} + \alpha \cdot T_{SIF,D} + \beta \cdot T_A) / W_m^{1/3} = 3.6 \quad (11)$$

式(11)に本実験で得られたスポール限界に近い 5 データを当てはめて重回帰分析を行った結果、下式が得られた。

$$(T_{RC} + 2.04 \cdot T_{SIF,D} + 2.06 \cdot T_A) / W_m^{1/3} = 3.6 \quad (12)$$

図-7 に式(12)の計算精度を示す。若干のばらつきはあるものの、式(12)の左辺は平均的にはスポール限界値である $3.6\text{cm/g}^{1/3}$ に近い値となっており、重回帰分析における重相関係数は 0.996 であったことから、概ね妥当な精度を有しているものと考えられる。また、式(12)によれば、SIFCON パネルと緩衝材の等価コンクリート係数はともに 2 程度となり、エネルギー吸収要素としての SIFCON パネルと、応力波減衰要素としての緩衝材のスポール低減への寄与は同程度であることが判る。

3.2 実験 2

(1) 破壊性状および破壊モード

表-8 に実験 2 における試験体の破壊性状を示す。全試験体において、爆発面側 SIFCON パネルには爆薬直下近傍で貫通が生じた。また、その下の緩衝材は、いずれの試験体においても完全に押し潰された状態にあった。さらに、RC 版にも全試験体で貫通が生じた。

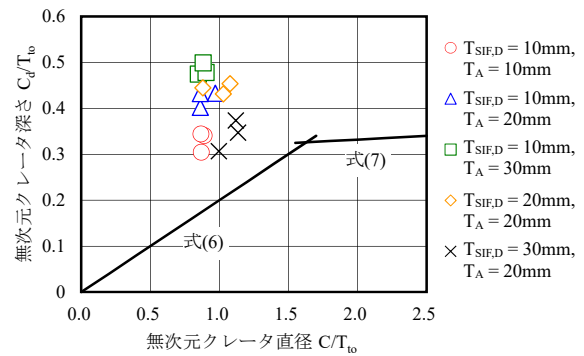


図-5 クレータ深さとクレータ直径との関係 (実験 1)

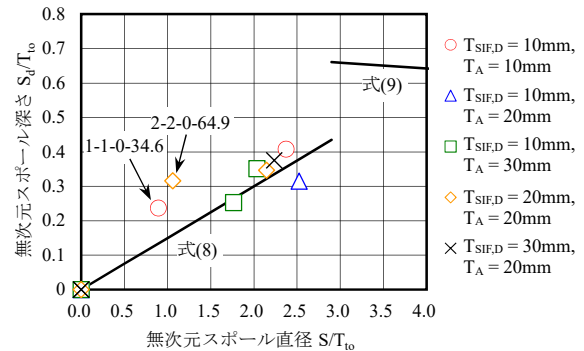


図-6 スポール深さとスポール直径との関係 (実験 1)

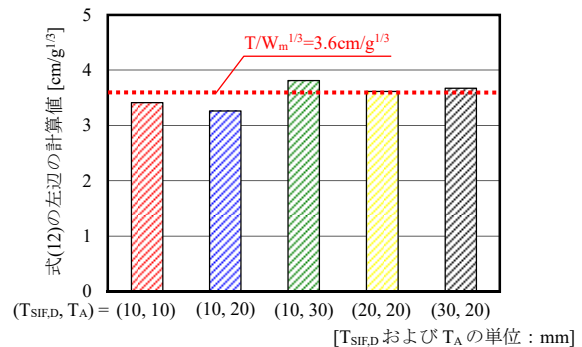
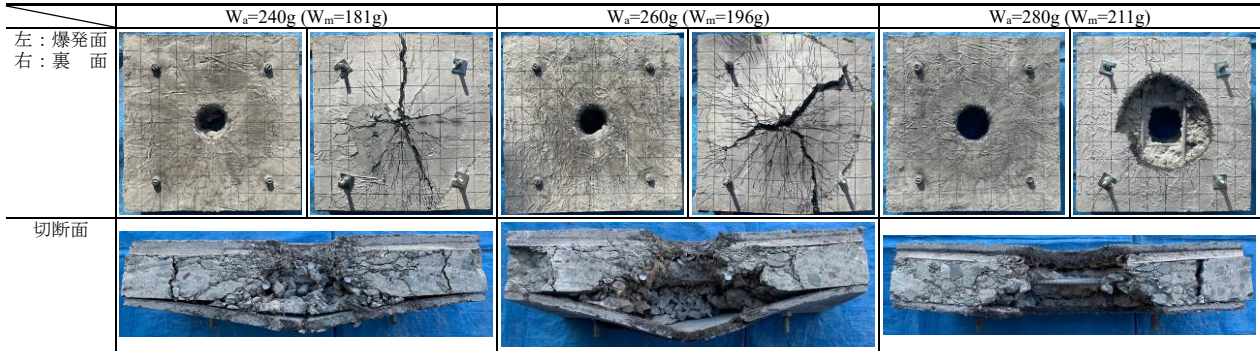


図-7 式(12)の計算精度 (実験 1)

以上のように、全試験体で爆発面側 SIFCON パネルから RC 版にかけて貫通が生じたが、裏面側 SIFCON パネルの損傷に関しては、爆薬直下近傍を起点とした放射状ひび割れが発生している点は共通しているものの、爆薬量に応じて差異が認められた。すなわち、 $W_a=240$ および 260g ($W_m=181$ および 196g) では面外方向へ向けてたわみ変形が生じ、これによりパネルにひび割れの発生が見られたが、 $W_a=280\text{g}$ ($W_m=211\text{g}$) になるとパネルに押抜きせん断に起因する貫通が生じた。従って、本試験体においては $W_a=260\text{g}$ ($W_m=196\text{g}$) がスポール限界に近い条件であると考えられる。なお、上述の通り裏面側 SIFCON パネルが貫通していない場合であっても爆発面側 SIFCON パネルから RC 版にかけて貫通が生じているため、裏面側 SIFCON パネルに貫通が生じた場合には試験体全体に貫通が生じることになり、本試験体には‘スポール’の破壊モードは存在しない。従って、本試験体

表-8 試験体の破壊性状 (実験 2)



注) 支持位置は左右両端であり、視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。

ではスポール限界と貫通限界とが一致することになる。ここで、W_a=240 および 260g (W_m=181 および 196g) ではボルトが SIFCON パネルの曲げたわみを拘束しているように見受けられるが、実際の埋設型枠においてもセパレータが曲げたわみを拘束すると考えられ、また、本実験におけるボルト間隔は一般的なセパレータ間隔よりも狭いことを考慮すると、本実験条件は押抜きせん断破壊の抑止を考える上では安全側の条件であると考えられる。

(2) 各層の等価コンクリート厚さを用いた損傷評価

前節で示した通り、爆発面側 SIFCON パネルおよび緩衝材の等価コンクリート係数は、それぞれ 2.04 および 2.06 であると考えられる。また、裏面に接合した SIFCON パネルの等価コンクリート係数は 10.8 であることが確認されている¹⁾。従って、各層の等価コンクリート係数を用いたスポール限界の評価式は、以下のようになる。

$$\frac{2.04 \cdot T_{SIF,D} + 2.06 \cdot T_A + T_{RC} + 10.8 \cdot T_{SIF,R}}{W_m^{1/3}} = 3.6 \quad (13)$$

上式に本実験条件 (T_{SIF,D}=1cm, T_A=1cm, T_{RC}=6cm, T_{SIF,R}=1cm) を代入すると、スポール限界は W_m=196g となり、本実験結果と一致する。従って、各層の等価コンクリート厚さを用いることにより、本積層部材の損傷を評価できる可能性がある。但し、現段階で実験データ数が限定的であるため、今後更なる検討が必要である。

4. まとめ

本研究の範囲内で、以下に示す知見が得られた。

- (1) SIFCON パネルおよび緩衝材から成る爆発緩衝システムに関して、RC 版のスポールを抑止するための SIFCON パネルおよび緩衝材の等価コンクリート係数はそれぞれ 2.04 および 2.06 であり、これらのスポール低減への寄与は同程度であると考えられた。
- (2) 爆発面に上述の爆発緩衝システムを、裏面に SIFCON パネルをそれぞれ接合した RC 版のスポール限界は、各層の等価コンクリート厚さを用いて評価できる可能性が示唆された。

但し、現段階で実験データ数が限定的であるため、今後

更なる検討が必要である。

謝辞

接触爆発試験は熊本大学産業ナノマテリアル研究所の爆発実験施設にて行われたものであり、外本和幸教授、田中茂准教授、徳田誠助教、草野健技術補佐員より多大なご協力をいただきました。また、実験にあたり、熊本大学技術部の戸田善統技術専門職員、濱崎ありさ技術職員ならびに当時の学生である江本昇平氏、黒木隆道氏、友廣康太氏、平野大輔氏、美濃憲杜氏よりご協力をいただきました。さらに、本研究は JSPS 科研費基盤研究 (C) (課題番号: 23K04105, 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) 山口信ほか: スラリー充填繊維コンクリート薄肉パネルにより裏面接着補強した鉄筋コンクリート版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. 89, No. 823, pp. 1060-1071, 2024
- 2) 岸徳光ほか: 三層緩衝構造の緩衝性能に関する大型屋外実験, 構造工学論文集, Vol. 46A, pp. 1257-1265, 1995
- 3) 別府万寿博ほか: 近接爆発を受けるアルミハニカム複合パネルの緩衝効果に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol. 66A, pp. 1036-1046, 2020
- 4) 樋口洸太郎ほか: SIFCON パネルと緩衝材とを併用した RC 版への爆発緩衝工法に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 207-210, 2022
- 5) Morishima, S., et al.: Effects of Fiber Type on Blast Resistance of Slurry-Infiltrated Fiber Concrete under Contact Detonation, Journal of Advanced Concrete Technology, Vol. 18, pp. 157-167, 2020
- 6) 森下政浩ほか: 接触爆発を受ける鉄筋コンクリート版の損傷, 構造工学論文集, Vol. 46A, pp. 1787-1797, 2000
- 7) 山口信ほか: SIFCON の接触爆発に対する耐爆性能とそれを用いた積層型耐爆構造部材の開発, コンクリート工学論文集, Vol. 34, pp. 105-116, 2023