

特殊アクリル樹脂シートで裏面補強したコンクリート板の耐爆性能に関する実験的研究

防衛大学校 学生会員 ○上野裕稔 学生会員 学生会員 大久保 一徳
正会員 大野友則 正会員 別府万寿博 旭化成ジオテック(株) 梶田悦男

1. 緒言

火薬類・危険物の貯蔵施設や社会的に重要な施設を建設する際には、不測の事故や爆破テロによる爆発荷重を考慮する必要がある¹⁾。その際、構造物に求められる耐爆性能としては、損傷・破壊を抑えること(損傷低減効果)および破片を飛散させないこと(飛散物防止効果)が求められる。近年、橋脚等のコンクリート構造物に対する耐震補強用の材料として特殊アクリル樹脂シートが用いられている。本研究では、ビニロン繊維およびステンレスメッシュで強化したエポキシアクリレート樹脂シートで裏面補強したコンクリート板に対する接触爆発実験を行い、ビニロン繊維およびステンレスメッシュ補強による耐爆性能向上について検討を行ったものである。

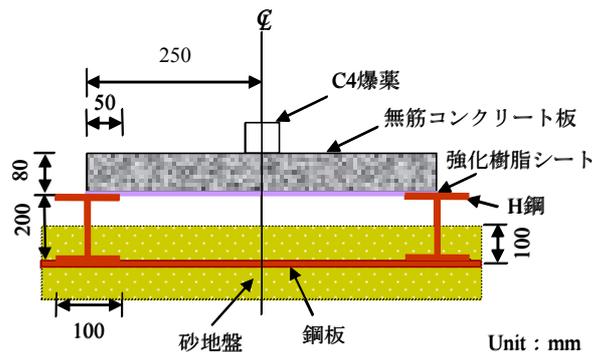


図-1 実験の概要図

表-1 樹脂シートの力学特性

補強材料の種類	枚数	弾性係数 E(N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	厚さ t(mm)	破断伸び (%)
VAFR	1	570	56	2	12.0
	2			4	
SAFR	1	12600	168	1.6	2.2
	2			3.2	

2. 爆発実験

2.1 実験の概要

図-1に示すように、H鋼の上にコンクリート板供試体を設置し、支持幅50mmの二辺支持とした。コンクリート板の寸法は、縦500mm、横500mm、厚さ80mmで、実験時の圧縮強度は28.9N/mm²である。爆薬はC4爆薬を用いて円柱型(高さ/径=1)に成形し、6号電気雷管で起爆した。コンクリート板裏面の補強材料としては、ビニロン繊維補強エポキシアクリレート樹脂シート(以下、VAFRという。)、ステンレスメッシュ補強エポキシアクリレート樹脂シート(以下、SAFRという。)を用いた。VAFRおよびSAFRの力学特性を、表-1に示す。実験ケースは表-2に示すように、それぞれの強化樹脂シートの枚数を1枚または2枚とした。爆薬量は、破壊モードの予測式である森下らの式²⁾を用いて算出し、貫通限界となる46gを用いた。コンクリート板の破壊モードは、図-2に示すように、クレータ(表面破壊)、スポール(裏面破壊)、貫通、斜めひび割れおよび接着面の損傷と定義する³⁾。ここで、スポールと斜めひび割れの違いは、破壊されたコンクリート片がコンクリート板から完全に分離した場合をスポール、分離せずひび割れが生じている場合を斜めひび割れと定義している。接着面の損傷には、コンクリートと強化樹脂シートの接着面におけるコンクリートの剥離とする。また、破壊の程度を評価するため、図-3に示すように、スポールの直径および深さと斜めひび割れの幅と高さの測定を行った。スポールの直径は、4箇所を測定しその平均とした。スポールの深さについては、損傷箇所の最も深い位置での深さを計測した。斜めひび割れの幅は、コンクリート内部における最大直径で、斜めひび割れの高さは、斜めひび割れの最高位置からコンクリート板裏面までの高さとした。

表-2 実験ケース

実験番号	補強の種類	剛性E・t (kN/mm)
1	無補強	-
2		
3	VAFR	1.14
4		
5	SAFR	20.16
6		
7		
8		40.32

2.2 実験結果および考察

実験で得られた損傷状況を、図-4に示す。なお紙面の関係上、損傷図は各ケース1体だけを示している。図中において、強化樹脂シートで補強したコンクリート板裏面に描いた円状の実線は、強化樹脂シートの上からパルハンマーを転がすことによる音の変化から確認した損傷領域を示している。

無補強のケース(実験番号1)では、クレータとスポールが生じた。また、クレータの深さおよびスポールの深さは、それぞれ31mmおよび47mmであり、断面に生じた損傷の深さの合計は78mmとなる。すなわち、コンクリート板が貫通するかどうかの限界(貫通限界)であり、概ね森下らの式による推定値と一致している。VAFR1枚および2枚で補強したケース(実験番号3および5)の破壊モードは「クレータ、スポール、斜めひび割れおよび接着面の損傷」であった。ただし、VAFR2枚で補強した

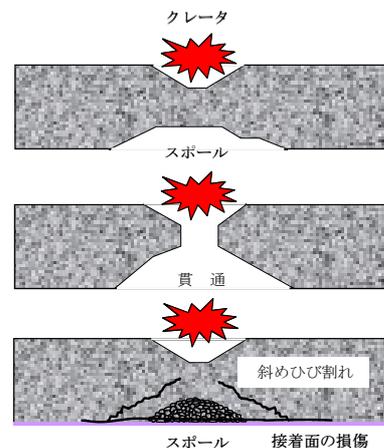


図-2 破壊モードの種類

キーワード：特殊アクリル樹脂, 耐爆性能, 裏面補強, C4爆薬, 爆発, 局部損傷, コンクリート板

連絡先：〒239-8686 横須賀市走水1-10-20 防衛大学校建設環境工学科 Tel : 046-841-3810 Fax : 046-844-5913

ケースは、1枚で補強したケースと比較してスポールの直径および深さはさほど変化はないが、コンクリート板内部のコンクリート片は細かく分離していないことがわかる。SAFR1枚および2枚で補強したケース(実験番号7および9)の破壊モードは、スポールは生じず「クレータ、斜めひび割れおよび接着面の損傷」であった。2枚で補強したケースでは、1枚で補強したケースと比較して斜めひび割れの数が大きく低減した。以上より、強化樹脂シートで裏面補強したすべてのケースでコンクリートの飛散が抑止された。また、局部損傷の低減効果は、SAFRの方がVAFRよりも大きいことがわかる。さらに、補強枚数を増加させるとその効果は大きくなることが認められた。

2.3 斜めひび割れに関する考察

強化樹脂シートでコンクリート板の裏面を補強したすべてのケースで斜めひび割れは生じた。図-5に、斜めひび割れの高さと幅の関係について示す。斜めひび割れの高さが低減するに従って、その幅は比例して増加していることがわかる。また、斜めひび割れの高さは、SAFRで補強した場合の方がVAFRで補強した場合よりも小さいことがわかる。図-6に、斜めひび割れの高さと補強材料の剛性(E・t)関係について示す。これより剛性を増加させるに従って斜めひび割れの高さはほぼ比例して低減していることがわかる。

3. 結言

本研究の成果をまとめると以下のようなになる。

- (1) VAFRおよびSAFRで補強したケースはいずれも飛散物を防止することができる。特に、SAFRで補強したケースはスポールを生じないためコンクリート板内部の損傷を低減させることができる。また、いずれの強化樹脂シートも補強枚数を増加させると損傷の領域は低減する。
- (2) 強化樹脂シートの剛性を増加させると、コンクリート板内部の局部損傷の低減効果は大きくなり、斜めひび割れの高さは樹脂シートの剛性の増加に従って低減する。

参考文献

1) テロにも負けないインフラ施設, 日経コンストラクション, pp.38-61, 2002.2.8
 2) 森下政浩, 阿曾沼剛, 齊藤和伸, 松尾啓: 近接爆発荷重によるRC版の局所損傷, 防衛施設学会平成17年次研究発表会, pp.35-39, 平成18年1月
 3) 大久保一徳, 別府万寿博, 大野友則, 佐藤和幸: 繊維シート補強によるコンクリート板の耐爆性能向上に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.3, 2007

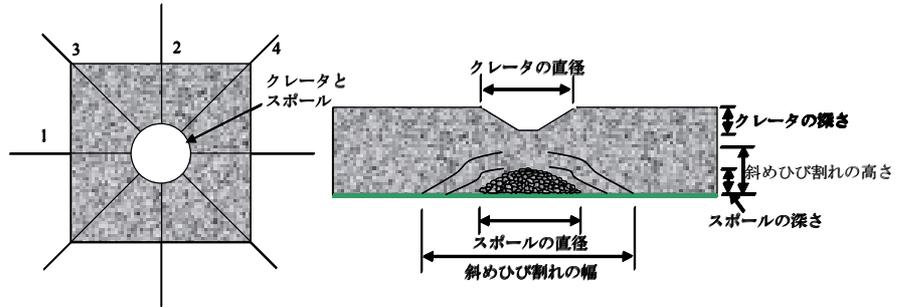


図-3 局部損傷の測定方法

実験番号	補強材料の種類	厚さ(mm)	損傷状況			破壊モード
			表面	裏面	断面	
1	無補強	-				クレータ スポール
3	VAFR	2				クレータ スポール 斜めひび割れ 接着面の損傷
5		4				クレータ スポール 斜めひび割れ 接着面の損傷
7	SAFR	1.6				クレータ スポール 斜めひび割れ
9		3.2				クレータ スポール 斜めひび割れ

図-4 損傷状況

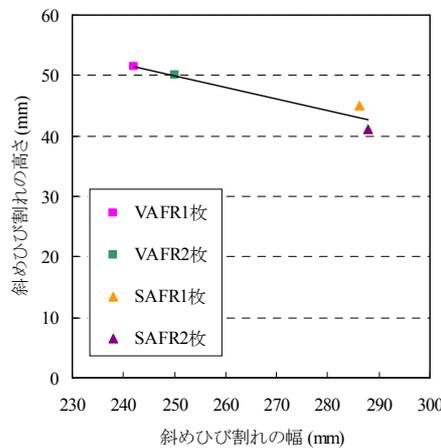


図-5 斜めひび割れの高さと幅の関係

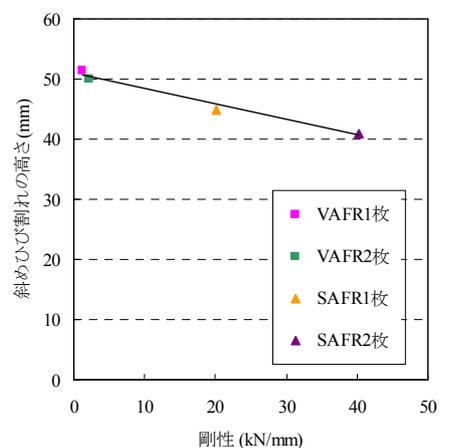


図-6 斜めひび割れの高さと補強シートの剛性の関係