

接触爆発を受ける VFRC 板の耐爆性能に関する研究

防衛大学校 学生会員 ○長谷川 大 正会員 別府 万寿博 市野 宏嘉
株式会社クラレ 正会員 小川 敦久

1. 緒言

近年、世界各地で爆破テロや爆発事故が多発している。爆発作用による構造物の損傷および人命や財産の損失を軽減するため、爆発作用に対する構造物の防護設計法の確立が求められている。これまでに、繊維補強コンクリート（FRC）は、繊維の混入によってプレーンコンクリートの脆性を改善し、高い吸収エネルギーを示すことが報告されている¹⁾。しかし、FRC 板の耐爆性能に関する研究は少ないのが現状である。本研究は、ポリビニルアルコール繊維補強コンクリート（VFRC）板に対する接触爆発実験を行い、VFRC 板の耐爆性能を調べたものである。

2. 実験の概要

図-1 に、接触爆発実験の概要を示す。VFRC 板の作製には、ポリビニルアルコール（PVA）繊維を用いた。PVA 繊維は親水性が非常に高いため、コンクリートとの化学的な付着が発現する。この繊維を、コンクリートに体積比で 2% 混入した。試験体の寸法は縦横各 500mm、厚さを 60～120mm に変化させ、鋼製支持具を用いて四辺を 50mm 幅で支持した。図-1(b)に示すように、試験体の中央部に C4 爆薬を設置して、6 号電気雷管により起爆した。C4 爆薬は直径と高さが 1:1 の円柱形

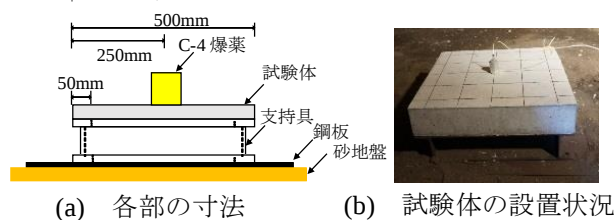


図-1 実験の状況

表-1 実験ケース

No.	板厚 (mm)	薬量 (g)	TNT換算薬量 W_E (g)	換算板厚 $T/W_E^{1/3}$ (cm $^{1/3}$)	No.	板厚 (mm)	薬量 (g)	TNT換算薬量 W_E (g)	換算板厚 $T/W_E^{1/3}$ (cm $^{1/3}$)
1	60	14	15.8	2.39	11	100	30	33.9	3.09
2	60	20	22.6	2.12	12	100	40	45.2	2.81
3	60	30	33.9	1.85	13	100	50	56.5	2.61
4	60	45	50.9	1.62	14	100	60	67.8	2.45
5	60	60	67.8	1.47	15	100	80	90.4	2.23
6	80	30	33.9	2.47	16	100	100	113.0	2.07
7	80	40	45.2	2.25	17	100	120	135.6	1.95
8	80	50	56.5	2.08	18	100	140	158.2	1.85
9	80	70	79.1	1.86	19	120	80	90.4	2.67
10	80	90	101.7	1.71	20	120	100	113.0	2.48
					21	120	120	135.6	2.34

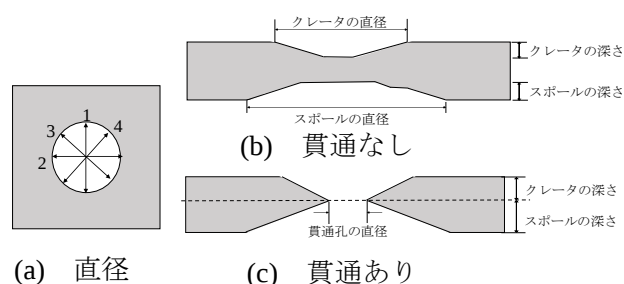


図-2 計測の要領

とし、密度が 1.4g/cm³ となるように成型した。表-1 に実験ケースを示す。爆薬の質量は 14～140g とし、実験は 21 ケース実施した。換算板厚 $T/W_E^{1/3}$ は板厚 T を TNT 換算薬量の 3 乗根 $W_E^{1/3}$ で除したものであり、損傷を評価する際に用いる指標である。圧縮強度は平均して 35.4kN/mm² である。破壊モードは、表面のみに破壊が生じるクレータ、クレータに加えて裏面が剥離した破壊であるスポール、クレータとスポールが連結した貫通に分類した。接触爆発実験による試験体の損傷評価を行うため、クレータおよびスポールの直径および深さを計測した。図-2 に示す計測要領のように、クレータおよびスポールの直径は破壊部の 4 か所を計測した平均値とした。貫通が生じない場合、図-2(b)に示すようにクレータおよびスポールの深さは 3 か所を測定し、最も深い値とした。貫通が生じた場合は、図-2(c)に示すように試験体の切断面において、表面または裏面から貫通孔が最小となる位置までをそれぞれ、クレータおよびスポールの深さとした。なお、実験ケースによっては、裏面の一部が剥離し、他の部分は浮き上がるものの繊維によって連結した状態が生じた。この場合は、浮き上がった部分も剥離したものとして計測を行った。

3. 実験結果および考察

板厚 100mm に対して、薬量を 30～140g に変化させた場合の破壊性状を図-3 に示す。破壊モードは、薬量 30g、40g および 60g はクレータ、薬量 80g および 100g はスポール、薬量 140g は貫通であった。小さい薬量では、表面

キーワード：接触爆発，繊維補強コンクリート，VFRC 板，耐爆性能

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 E-mail : beppu@nda.ac.jp

にクレータが生じるのみで板の内部には損傷は生じないが、薬量を増大させると板の内部には裏面に近い位置から層状のひび割れが発生する。このひび割れは、薬量の増加により繊維の引抜きを伴い開口した。さらに薬量を増加させるとスポールが形成されるとともに繊維が FRC から完全に引抜かれ、破片となって剥離した。薬量の増加を続けると、スポールの範囲がさらに爆発面側に拡大し、クレータと連結して貫通が生じた。また、No.17 の断面の拡大写真から、剥離片は繊維との付着により剥落していないことが確認できる。

図-4 は板厚 T と TNT 換算薬量 $W_E^{1/3}$ の関係を、破壊モードで区別してプロットしたものである。なお、 W_E については C-4 の薬量を 1.13 倍して TNT 換算薬量とした。図中には、以下で定義される換算厚さ α を表す直線も示している。

$$\frac{T}{W_E^{1/3}} = \alpha \quad (1)$$

VFRC 板のスポールおよび貫通限界の換算厚さは、それぞれ $\alpha = 2.5 \text{ cm/g}^{1/3}$ 、および $\alpha = 2.0 \text{ cm/g}^{1/3}$ である。なお、森下ら²⁾によると、鉄筋コンクリート (RC) 版に対しては $\alpha = 3.6 \text{ cm/g}^{1/3}$ でスポールが発生し、 $\alpha = 2.0 \text{ cm/g}^{1/3}$ で貫通が生じることが報告されている。したがって、VFRC 板はスポール抑制の観点から、RC 版と比べて高い耐爆性能を示すと言える。図-5 に、クレータの深さ C_d および損傷深さ $C_d + S_d$ (クレータの深さとスポールの深さ S_d の和) を、それぞれ板厚 T で除した値と換算厚さ $T/W_E^{1/3}$ ($=\alpha$) の関係を示す。図中には森下ら²⁾による RC 版の実験データに対する近似式 (黒の実線) および本実験の結果を示している。VFRC 板の C_d/T は、RC 版とほぼ同等である。VFRC 板の $(C_d + S_d)/T$ は RC 版よりも小さくなる傾向にある。すなわち、VFRC 板は RC 版と比較して、同等の換算厚さでもスポールの深さが小さくなる。これは VFRC 板にひび割れが生じた場合、繊維が応力を負担しつつ徐々にマトリックスから引き抜けるため高い靱性を示し、RC 版と比べ破壊の進展が抑制されることを示している。しかし、破壊が進行すると繊維の引抜きが生じて繊維補強の効果が小さくなるため、RC 版と VFRC 板の損傷深さの差は小さくなったものと推察される。

4. 結言

本研究は、VFRC 板の接触爆発実験を行い、スポールおよび貫通が発生する限界板厚および破壊の深さについて検討したものである。実験の結果、VFRC 板は RC 版と比較して、スポールが発生する限界の板厚およびスポールの深さにおいて高い耐爆性能を示すことがわかった。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書 施工編，丸善，2012。
- 2) 森下政浩，田中秀明，伊藤孝，山口弘：接触爆発を受ける鉄筋コンクリート板の損傷，構造工学論文集 Vol.46A，PP.1787-1797，2000。

No.	薬量 (g)	表面	裏面	断面	破壊モード
11	30				クレータ
13	40				クレータ
15	60				スポール
17	100				スポール
18	140				貫通

図-3 板厚 100mm の破壊性状

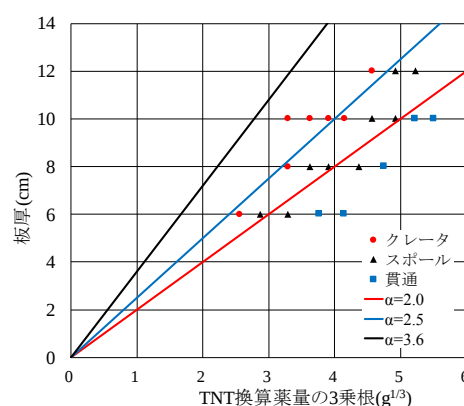


図-4 破壊モードの推移

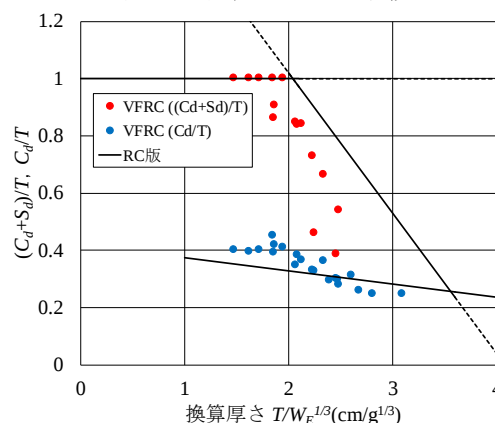


図-5 損傷深さ～換算厚さの関係