

近接爆発荷重を受けるコンクリート版の破壊挙動に関する研究

防衛大学校 学生会員 ○大山浩代 正会員 大野友則 正会員 別府万寿博

1. 緒言

近年、爆破テロや花火工場等における爆発事故によって構造物が損傷、破壊するケースが増加している。このような爆発荷重に対する防護設計を確立するためには、爆発荷重を受けるコンクリート構造物がどのような破壊を示すのかを調べる必要がある。本研究は、爆発荷重を受けるコンクリート版の破壊挙動を調べるため、C4 爆薬を用いてコンクリート版に対する接触及び近接爆発実験を行ったものである。

表 - 1 コンクリートの配合

粗骨材最大寸法(mm)	スランブ(cm)	水セメント比 W/C(%)	細骨材率 s/a(%)	
20	18	57	48.8	
単位量(kg/m ³)				
水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	AE 減水剤
172	302	874	947	3.02

2. コンクリート版に対する爆発実験

2.1 実験の概要

供試体は、縦 50cm×横 50cm、厚さ t=3, 5, 10cm の 3 種類のコンクリート版を作製した。コンクリートの配合を表 - 1 に示す。なお、実験時点での圧縮強度、引張強度はそれぞれ 25.9, 1.78MPa である。供試体および爆薬の設置状況を、写真 - 1 に示す。木製の支持台上で 4 辺を単純支持したコンクリート版中央に C4 爆薬を設置し起爆した。その際、スタンドオフ（爆薬とコンクリート版表面までの距離）は専用の治具で高さを調整した。実験ケースは、表 - 2 に示すように薬量 W は 20～180g、スタンドオフ S は 0～15cm の範囲で設定した。



写真 - 1 供試体設置状況

2.2 実験結果および考察

接触または近接爆発荷重を受けるコンクリートの局部破壊は、図 - 1 に示すようにクレータ（表面）破壊、スポール（裏面）破壊、貫通に分類される¹⁾。本研究でもこの分類に従って、爆発条件と破壊の関係を調べた。

(1)接触爆発による破壊

版厚 10cm のコンクリートに対して、薬量 20, 50g を接触爆発させたときに生じた破壊状況を写真 - 2 に示す。これより、表面に残された爆発痕から、爆発による圧力は版中央に集中して作用していることがわかる。薬量 20g ではクレータが発生し、50g になるとクレータに加えスポール破壊が生じた。

(2)近接爆発による破壊

版厚 10cm のコンクリート版に対して、薬量 50g、スタンドオフ 4, 7cm の条件で近接爆発させた。破壊状況を写真 - 3 に示す。これより、スタンドオフ 4cm のときにはクレータが生じたが、スタンドオフを 7cm にすると破壊は生じなかった。しかし、同じスタンドオフ（7cm）でも薬量を 180g にすると貫通破壊が生じた。次に、版厚 5 cm のコンクリート版に対して、薬量 50g、

表 - 2 実験ケース

番号	t (cm)	W(g)	S(cm)	番号	t (cm)	W(g)	S(cm)
1	10	20	0	6	5	50	7
2	10	50	0	7	5	50	10
3	10	50	4	8	5	50	15
4	10	50	7	9	3	50	15
5	10	180	7	10	3	50	15

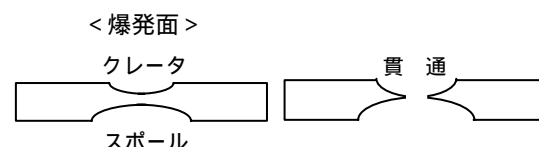


図 - 1 破壊の種類

W	20g	50g
表		
裏		
	クレータ	クレータ + スポール

写真 - 2 版厚 t=10cm の接触爆発

キーワード：コンクリート版、接触爆発、空中爆発、爆風圧、C4 爆薬

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

スタンドオフ 7, 10, 15cmの条件で近接爆発させた．破壊状況を写真 - 4 に示す．これより，スタンドオフ 7cm のときにはスポール破壊が生じたが，スタンドオフ 10, 15cmのケースでは，局部破壊は確認できなかった．この理由として，C4 爆薬の最大爆風圧の評価式²⁾ $p_s = 5258.6K^{-1.9155}$ (p_s : 最大爆風圧, K : 換算距離) より最大爆風圧を求めると，スタンドオフ 7, 10, 15cmに対して 126.584, 63.924, 29.401(MPa)となる．すなわち，距離の比が 1:1.43:2.14 のとき，最大爆風圧比は 1:0.5:0.23 である．したがって，最大爆風圧は距離比の 2 乗に逆比例することがわかる．

なお，版厚 3cm のコンクリート版に対し，薬量 50g，スタンドオフ 15cm の爆発実験では 2 回とも貫通破壊が生じた．

2.3 既往の評価式との比較

近接爆発を受ける鉄筋コンクリート版の損傷予測法に Mcvay の式がある．また，防衛庁技術研究本部第 4 研究所は，この式を基に接触爆発，クレータ発生限界を補足する式を提案している¹⁾．これらは次式で表される．

(スポール限界) 接触爆発: $T/W^{1/3} = 3.6$

近接爆発: $T/W^{1/3} = 2.80(R/W^{1/3})$

(貫通限界) 接触爆発: $T/W^{1/3} = 2.0$

近接爆破: $T/W^{1/3} = 1.24(R/W^{1/3})$

(クレータ発生): $R/W^{1/3} \leq 3.1$

(T : 版厚(cm), R : スタンドオフ(cm), W : TNT 換算量(g))

実験による破壊を，上式と比較して図 - 2 に示す．なお，上式は TNT 爆薬に対する評価式であるため，本実験で用いた C4 は比効力 1.4 として質量を修正した．図より，本実験によるクレータ発生限界は換算距離 1.5 付近となり評価式よりも小さいが，貫通，スポール限界の傾向は評価式とほぼ対応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，以下のようになる．

(1) 版厚 10cm のコンクリート版では，薬量 20g の接触爆

発でクレータが生じ，薬量 50g になるとスポール破壊も生じた．しかし，薬量 50g でも，スタンドオフが 4cm 程度あればスポール破壊も生じず，7cm になると全く破壊しなかった．

(2) 版厚 5cm では，薬量 50g，スタンドオフ 7cm のケースでスポール破壊が生じたが，10cm 以上のスタンドオフでは破壊は発生しないことがわかった．

(3) 実験結果を TNT 換算して Mcvay の式と比較したところ，クレータ以外の破壊はほぼ一致した．

参考文献 1) 森下政浩ら：近接爆発による RC 版の局所損傷，防衛施設学会平成 17 年度年次研究発表会，pp.35～39, 平成 18 年 1 月．

2) 安全工学講座 2：爆発，安全工学協会編，海文堂．

	W=50g, S=4cm	W=50g, S=7cm	W=180g, S=7cm
表			
裏			
	クレータ	破壊なし	貫通

写真 - 3 版厚 $t=10$ cm の近接爆発

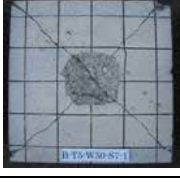
	W=50g, S=7cm	W=50g, S=10cm	W=50g, S=15cm
表			
裏			
	スポール	破壊なし	破壊なし

写真 - 4 版厚 $t=5$ cm，薬量 $W=50$ g の近接爆発

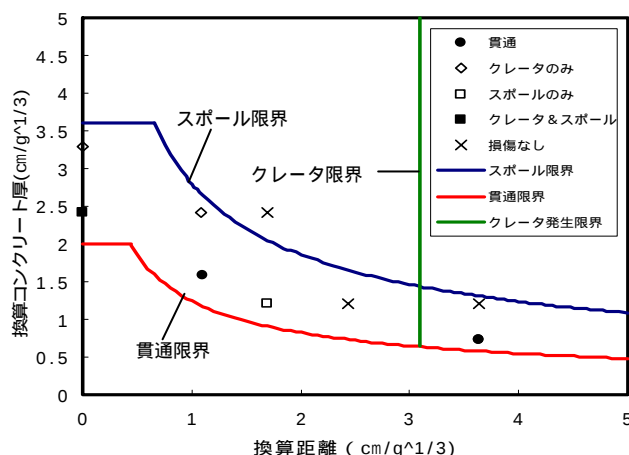


図 - 2 破壊結果に対する実験と評価式の比較