

近接爆発荷重を受ける RC 梁の破壊特性に関する実験的研究

防衛大学校 学生会員 ○高岡 康晃 永田 真 正会員 市野 宏嘉 別府 万寿博

1. 緒言

近年、世界各国で爆破テロや爆発事故が多発しており、構造物に対する合理的な耐爆設計法が求められている。構造物から十分に離れた位置で爆薬が爆発する場合の構造設計法については、これまでに多くの研究がなされてきた。しかし、爆薬が構造物に近い位置で爆発する近接爆発に対する耐爆構造設計法に関する研究は少ないのが現状である。本研究は、RC 梁に対する近接爆発実験を行い、RC 梁に作用する荷重特性と RC 梁の破壊特性について考察したものである。

2. 実験概要

図-1 に、実験の概要を示す。RC 梁の寸法は、幅および高さが 120mm、支点間距離 1100mm とした。主鉄筋およびせん断補強筋には D6 異形鉄筋を用い、引張鉄筋比を 0.59%、せん断補強筋比を 0.53%とした。コンクリートの圧縮強度は 35.6N/mm^2 である。爆薬の種類は C4 爆薬とし、球体に整形した。RC 梁は、回転を許容する支点治具で固定し、ピン支持に近い構造とした。実験では、RC 梁の直交方向に配置した鋼板に圧力センサーを配置し、RC 梁中心から圧力を 100mm 間隔で計測した。また、実験後に梁中央の残留変位を計測した。表-1 に、実験ケース、局部破壊の状況および残留変位を示す。実験では、爆薬量を 110g, 160g, 250g の 3 種類とし、次式で示す換算距離 $Z(\text{mkg}^{1/3})$ が 0.15, 0.175, $0.20\text{mkg}^{1/3}$ となるよう離隔距離を変化させた。

$$Z=R/W^{1/3} \quad (1)$$

ここに、 R は爆発荷重を受ける面と爆薬の離隔距離(m)、 W は TNT 換算質量(kg)である。

3. 近接爆発による圧力特性

一例として、実験ケース 8 の圧力および力積～時間関係を図-2 に示す。図から、最大圧力および力積は、RC 梁中心から離れるにしたがい小さくなっている。また、圧力の継続時間をみると、爆薬に最も近い Pr1 では 0.13ms であるのに対し、爆薬から最も離れた Pr5 では 0.20ms となっており、梁中心から離れるにしたがい長くなっている。図-3 に、実験で得られた力積を米軍の耐爆設計マニュアル(UFC)¹⁾から得られた評価値と比較して示す。図から、実験値と UFC による評価値はほぼ一致している。図-4 は、力積と換算距離の関係を示したものである。図から、いずれの爆薬量も換算距離が小さくなるにしたがい、力積が増加していることが

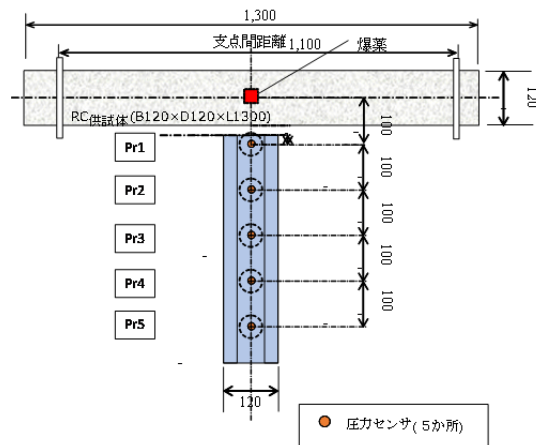


図-1 実験の概要 (平面図)

表-1 実験ケース

ケース	爆薬		離隔距離 R (mm)	換算距離 Z ($\text{mkg}^{1/3}$)	局部破壊	残留変位 (mm)
	C4 (g)	TNT換算 質量 (g)				
1	110	138.5	78	0.15	スボール破壊	6
2			90.5	0.175	なし	3
3			104	0.2	なし	3
4	160	200	88	0.15	スボール破壊	13
5			103	0.175	なし	11
6			118	0.2	なし	7
7	250	312.5	102	0.15	スボール破壊	20
8			119	0.175	スボール破壊	18
9			136	0.2	なし	10

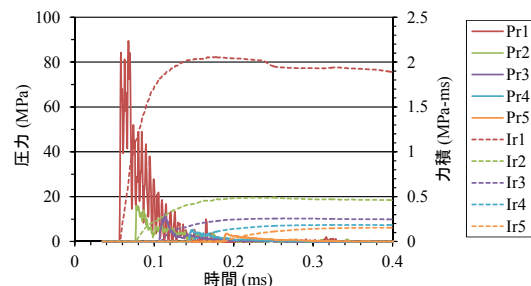


図-2 圧力および力積～時間関係(実験ケース 8)

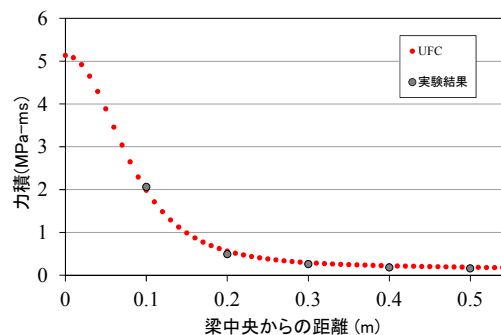


図-3 力積と部材中央からの距離の関係 (実験ケース 8)

キーワード 近接爆発, RC 梁, 局部破壊

わかる。また、同一の換算距離の場合、爆薬量が大きくなるにしたがい力積が増加している。

図-5 は、UFC に記述されている換算力積（力積を爆薬量の 1/3 乗で除した値）と換算距離の関係¹⁾を示したものである。図から、同一の換算距離では換算力積が等しくなり、爆薬量が増加するにしたがい力積が増加する。図-6 は同文献にて換算力積と入射角の関係¹⁾を示したものであるが、入射圧が同一の場合、入射角が減少するにしたがい換算力積が増加する。すなわち、換算距離が同一の場合、爆薬量が増加するにしたがい離隔距離が増加し、入射角が減少するため、力積がさらに増加したものと考えられる。

4. 近接爆発を受ける RC 梁の破壊性状評価

写真-1～3 に、実験ケース 2, 5 および 8 における RC 梁の損傷状況を示す。これらはいずれも等しい換算距離であるが、爆薬量が増加するにしたがい力積が増加するため、梁中央の破壊が進展していることがわかる。

RC 梁の局部破壊の程度について、Li らが数値解析結果に基づいて提案した次に示す局部破壊評価式²⁾と比較する。

$$Y=2.09 \times D^{-0.446} \times W^{0.609} \quad (2)$$

$$(200 \text{ mm} \leq D < 400 \text{ mm}, 0.5 \text{ kg} \leq W < 15 \text{ kg})$$

ここに、 D は梁の高さ(mm), W は TNT 換算質量(kg), Y はスポール破壊が生じる離隔距離(m)である。

図-7 に、実験結果と局部破壊評価式を比較したものを示す。図から、式(2)は本実験の適用範囲外であるが、概ね整合していることがわかる。また、残留変位は爆薬量ごとの換算距離が小さくなるにしたがい増加していることがわかる。同一の換算距離の場合、爆薬量が増加するにしたがい変位が増加している。この理由は、等しい換算距離に対して爆薬量が大きくなると力積も増大するため、変位が増加したものと考えられる。

5. 結言

本研究は、RC 梁に対し近接爆発実験を行い、RC 梁に作用する荷重特性と RC 梁の破壊特性について考察したものである。実験から、同一の換算距離の場合、爆薬量が大きくなるにしたがい力積が増加することがわかった。また、実験結果と Li らが提案した局部破壊評価式はほぼ整合することが分かった。力積の増加とともに局部破壊は進展し、残留変位も増加することがわかった。

参考文献

- 1) Department of Defense; UFC 3-340-02, Structures to Resist the Effects of Accidental Explosions, 2014.9
- 2) Jun Li, Hong Hao ; Numerical study of concrete spall damage to blast loads, International Journal of Impact Engineering, 2014.6

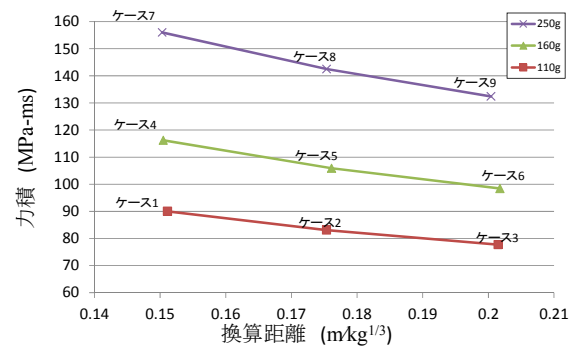


図-4 力積と換算距離の関係

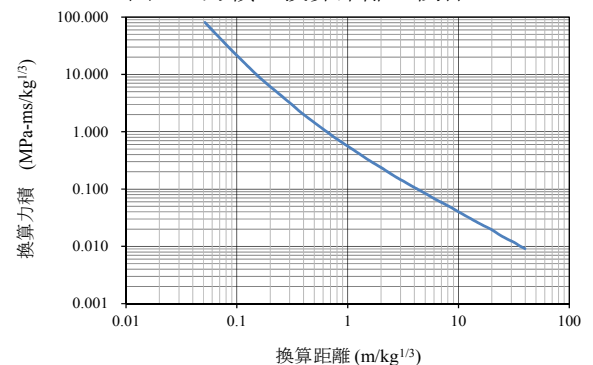


図-5 換算力積と換算距離の関係¹⁾

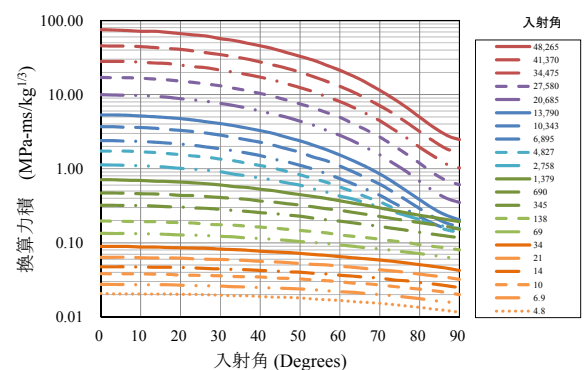


図-6 換算力積と入射角の関係¹⁾



写真-1 実験ケース 2 における RC 梁の損傷状況



写真-2 実験ケース 5 における RC 梁の損傷状況



写真-3 実験ケース 8 における RC 梁の損傷状況

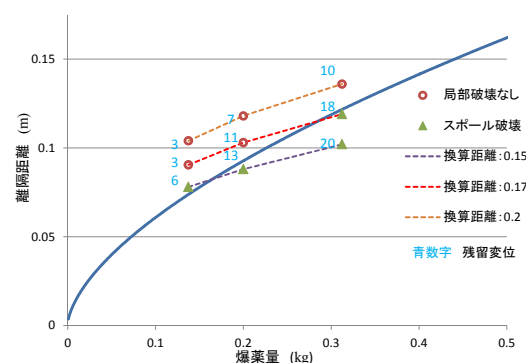


図-7 実験結果との局部破壊評価式²⁾の比較