

近接爆発に対するハニカム複合構造の緩衝効果に関する実験的研究

防衛大学校 学生会員 ○峯 好古 長谷川 大 片岡 新之介
正会員 別府 万寿博 昭和飛行機工業(株) 相澤 武揚

1. 緒言

近年、世界的に爆破テロや爆発事故が多発している。このような爆発作用によって重要な施設が被害を受けた場合、社会へ与える影響は極めて大きいため、爆発荷重に対する防護設計法を確立することは急務である。本研究は、鉄筋コンクリート(以下では RC と呼ぶ) 部材に対する緩衝材の一つとしてアルミハニカムに着目し、近接爆発を受けるハニカム複合構造の耐爆性能および RC 版にハニカム複合構造を設置した場合の緩衝効果について検討を行ったものである。

2. 実験の概要

図-1 および表-1 に、ハニカム複合構造と RC 版の寸法および構成材料の力学特性を示す。ハニカムコアの形状は六角形構造で、密度は 37kg/cm^3 および 72kg/cm^3 の 2 種類を用いた。ハニカムコアの上面には、爆風圧を受けるためにアルミニウム(以下では AL と呼ぶ) およびガラス繊維強化プラスチック(以下では GFRP と呼ぶ) のシートを貼付している。なお、GFRP については、シートを 90° に交差して 34 枚重ねた UD 材と、ガラス繊維を編み込んで(朱子織) 19 枚重ねた CL 材を作製した。ハニカムコアとシート上部からなるハニカム複合構造の寸法は、縦 40cm、横 40cm および高さ 3.5cm であり、ハニカムの密度およびシートが異なる計 6 種類の試験体を作製した。RC 版の寸法については、縦 500mm、横 500mm および厚さ 80mm で、引張鉄筋比は 0.5% である。図-2 および表-2 に、試験体の設置状況および実験ケースを示す。爆薬については、密度 1.4g/cm^3 の C4 爆薬を円柱状に成形した。C4 爆薬をそれぞれの試験体の中央に離隔距離を設けて設置し、6 号電気雷管により起爆した。実験ケースについては、図-2 (a) に示すハニカム複合構造だけに爆発荷重を作用する実験では爆薬量を 29.5g、離隔距離を 3.2cm に設定した。一方、図-2 (b) に示す RC 版に対する緩衝効果を調べる実験では、爆薬量を 50g とし、離隔距離を 2cm から 4cm に変化させた。また、試験体の衝撃応答を調べるため、図-3 に示すように、RC 版の裏面にひずみゲージを貼付してひずみ応答を計測した。

3. 実験結果および考察

図-4 に、ハニカム複合構造に対する爆発実験における試験体

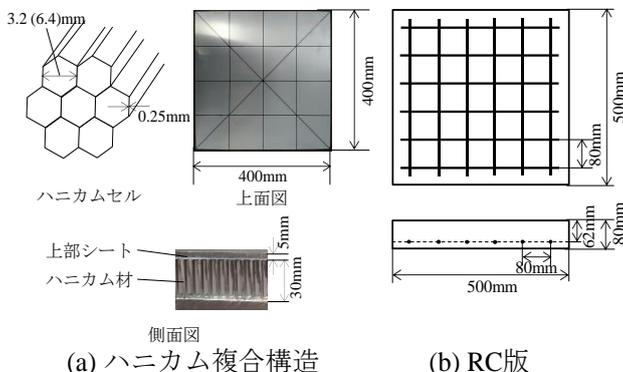


図-1 試験体の寸法

表-1 ハニカム材料特性値

番号	密度 (kg/cm ³)	圧縮強度 (MPa)	圧縮弾性率 (MPa)	セルサイズs ₁ (mm)	箔厚t (mm)
1	72	4.5	573	3.2	0.25
2	37	1.6	161	6.4	0.25

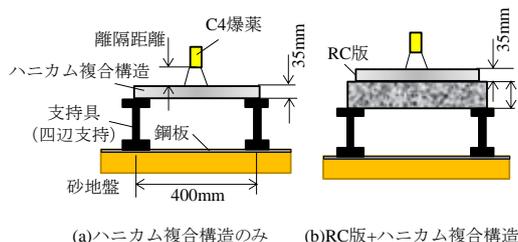


図-2 試験体の設置状況

表-2 実験ケース

番号	種類	上部シート	密度 (kg/cm ³)	爆薬量 (g)	離隔距離 (cm)
1	ハニカム複合構造	AL材	37	29.5	3.2
2	ハニカム複合構造	UD材	37	29.5	3.2
3	ハニカム複合構造	CL材	37	29.5	3.2
4	ハニカム複合構造	AL材	72	29.5	3.2
5	ハニカム複合構造	UD材	72	29.5	3.2
6	ハニカム複合構造	CL材	72	29.5	3.2
7	RC版	無し	無し	50	2
8	ハニカム複合構造+RC版	AL材	AL材	50	2
9	ハニカム複合構造+RC版	UD材	UD材	50	2
10	ハニカム複合構造+RC版	CL材	CL材	50	2
11	RC版	無し	無し	50	4
12	ハニカム複合構造+RC版	AL材	AL材	50	4
13	ハニカム複合構造+RC版	UD材	UD材	50	4
14	ハニカム複合構造+RC版	CL材	CL材	50	4

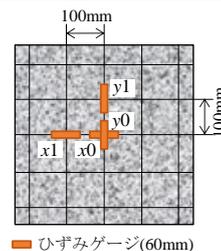


図-3 ひずみゲージ貼付位置

キーワード 爆発荷重, ハニカム複合構造, 鉄筋コンクリート版, 緩衝効果

連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校建設環境工学科 TEL:046-841-3810 E-mail:ed17003@nda.ac.jp

の破壊の一例を示す。図-4(a)に示すハニカム複合構造の破壊性状をみると、AL材およびUD材のケースでは表面の中心部が大きく変形し凹みを生じている。一方で、CL材については中央部に貫通孔が生じており、AL材およびUD材に比べて耐爆性能が小さいことがわかる。また、AL材とUD材の密度が大きいケースは、密度が小さいケースに比べて変形量が小さくなっているが、CL材についてはやはり中心部に貫通孔が生じた。以上から、ハニカム複合構造はAL材およびUD材を設置することにより、効果的に爆発荷重に抵抗すると考えられる。次に、図-4(b)に示すRC版の破壊性状をみると、離隔距離が2cmでハニカム複合構造を設置していないRC版の裏面には裏面剥離が生じている。一方で、ハニカム複合構造を設置したRC版については、破壊が大幅に低減していることがわかる。なお、本ケースのハニカム複合構造には全て貫通孔が生じていた。さらに、離隔距離を4cmにしたケースではハニカム複合構造を設置していないRC版の裏面にはひび割れが生じているが、ハニカム複合構造を設置したケースでは裏面のひび割れが生じていないことがわかる。

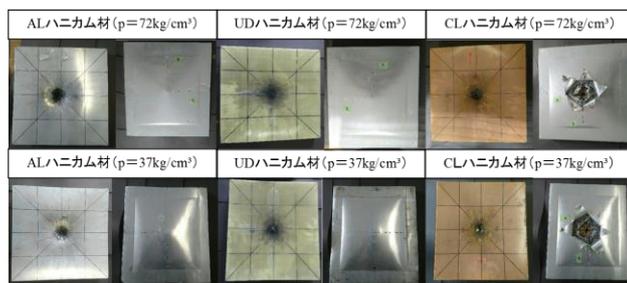
図-5に、RC版の裏面におけるひずみ～時間関係を示す。離隔距離が2cmのケースにおいては、全てのケースで爆発直後には約1000 μ ～2000 μ の圧縮ひずみが生じた後、時刻0.4msからゼロあるいは引張ひずみに転じる傾向を示している。これは、過去に行われた同様の実験においても観察されており、圧縮応力波の伝播やRC版に高次モードの変形が生じたためと考えられる。次に、離隔距離が4cmのケースをみると、ハニカム複合構造を設置していないRC版では、離隔距離が2cmのケースと同様に爆発直後に約800 μ の圧縮ひずみが生じているが、ハニカム複合構造を設置したケースでは、CL材を除き爆発直後に引張ひずみが生じている。これは、ハニカム複合構造に貫通孔が生じていないケースと対応しており、ハニカム複合構造の設置によりRC版に入射する荷重が分散したことやRC版の変形が高次モードから1次モードの全体変形へと変化したことなどが考えられる。

4. 結言

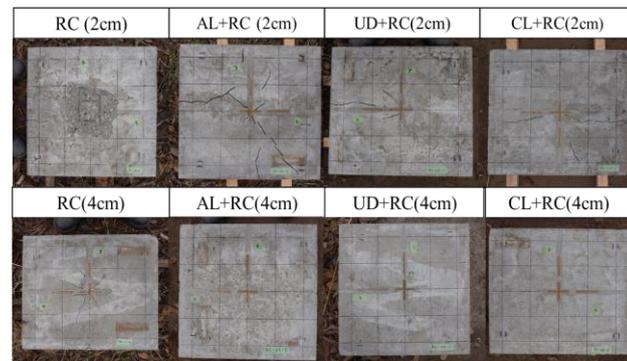
本研究は、近接爆発を受けるハニカム複合構造の緩衝効果について検討を行ったものである。その結果、ハニカム複合構造の上部シートとしてはAL材およびUD材が効果的な緩衝性能を発揮した。ハニカム複合構造を設置したRC版は、離隔距離4cmの場合にはハニカム複合構造の緩衝効果により、変形モードが全体変形へと変化する傾向が認められた。

参考文献

- 1) 別府万寿博, 大野友則, 大久保一徳, 佐藤和幸: 接触・近接爆発に対する繊維シート補強コンクリート板の耐爆性能, 土木学会論文集 A, Vol.66, No.4, pp.700-716, 2010.



(a) ハニカム複合構造



(b) RC版裏面の破壊 (() 内は離隔距離)

図-4 ハニカム複合構造およびRC版の破壊

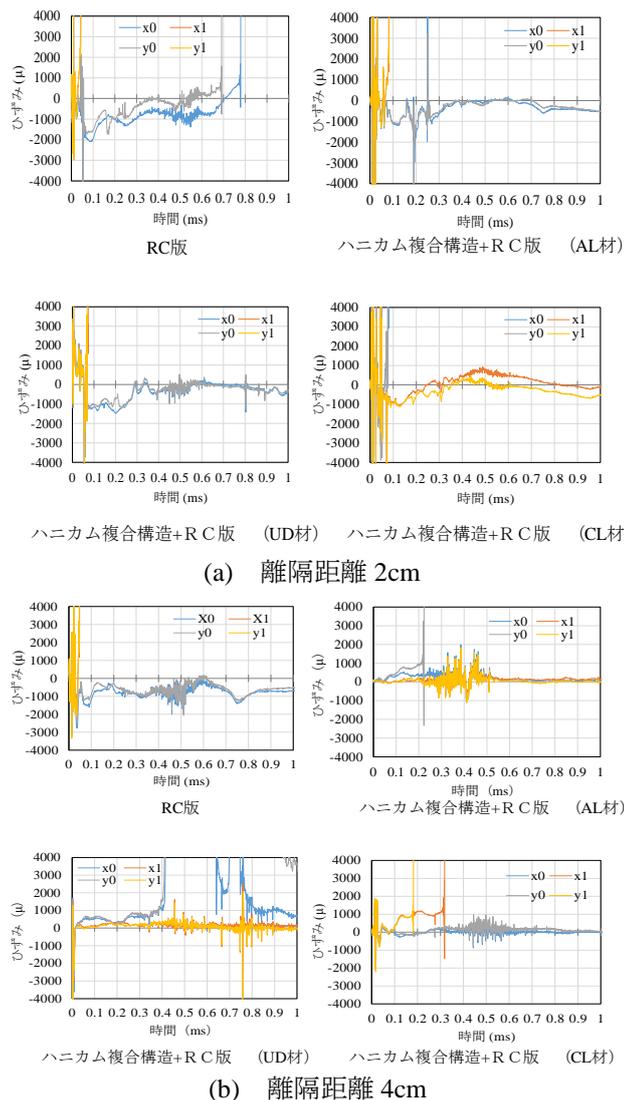


図-5 RC版裏面のひずみ～時間関係