

ハニカム複合パネルの座屈強度が耐爆緩衝効果に与える影響に関する研究

防衛大学校 学生会員 ○清水 祐里 森 広毅 濱田 匠李
正会員 別府 万寿博 市野 宏嘉 昭和飛行機工業(株) 相澤 武揚

1. 緒言

近年、世界各国にて爆破テロが多発している。構造物が爆発作用を受けると、部材が局部的に破壊される特徴がある。このような爆発作用によって重要施設が被害を受けた場合、社会に与える影響は極めて大きい。爆発荷重を分散、低減させる技術の確立が急務である。本研究では、爆発荷重を分散、緩衝させる方法としてハニカムコアの上部にアルミニウムシートを設置したアルミハニカム複合パネル（ハニカムパネル）¹⁾に着目し、ハニカムコアの座屈強度がハニカムパネルの緩衝効果に与える影響を調べた。

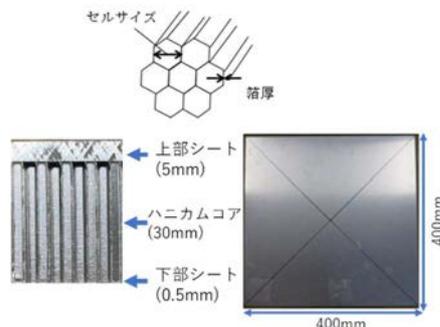


図-1 ハニカム複合パネルの概要

2. 実験の概要

実験は、SS400 鋼板の上部にハニカムパネルを設置し、その上方から C4 爆薬による爆発荷重を作用させた。SS400 鋼板（JIS G3101：降伏応力 245N/mm²，引張強度 400N/mm²）の寸法は縦 500mm，横 500mm，厚さ 4.5mm である。図-1 にハニカムパネルの概要を示す。上下のアルミニウムシートの厚さはそれぞれ 5mm および 0.5mm であり、ハニカムパネルの寸法は縦 400mm，横 400mm，厚さ 35.5mm である。表-1 に実験ケースを示す。本実験については座屈強度の異なる 2 種類のハニカムを使用してその緩衝効果を比較する。ハニカムコアは箱の 6 角柱が多数集まって構成された構造体である。本実験で使用するハニカムはセルサイズ 3.2mm，箱厚 0.0508mm であるハニカム A（座屈強度 9.9N/mm²）とセルサイズ 1.6mm，箱厚 0.0254mm であるハニカム B（座屈強度 1.6N/mm²）の 2 種類を用いた。図-2 に試験体の設置状況を示す。SS400 鋼板をボルトで治具に固定しその上部に両面テープを用いてハニカムパネルを固定した。また、密度 1.4g/cm³ の C4 爆薬を球形に成形し、質量は全てのケースにおいて 110g とした。実験では発泡スチロール製の支持台をハニカム中心に固定し、支持台に C4 爆薬を設置することによってハニカムパネルと鋼板の離隔距離を調整した。最大爆風圧を算定するための指標として、離隔距離を爆薬量の 3 乗根で除した値である換算距離が用いられており、基準ケースの換算距離は 0.215 m/kg^{1/3} となる。なお、実験ケース 4 に関しては、著者らによる文献 1) の実験データ¹⁾を参照している。

表-1 実験ケース

case	ハニカム	座屈強度 (N/mm ²)	離隔距離 (mm)	爆薬量 (g)	換算距離 (m/kg ^{1/3})
1	A	9.9	51.5	110	0.107
2			77		0.161
3			103		0.215
4			155		0.322
5	B	1.6	51.5		0.107
6			77		0.161
7			103		0.215
8			155		0.322

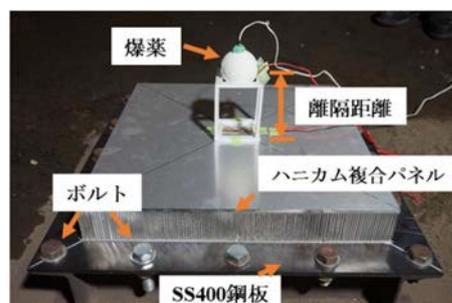


図-2 試験体の設置状況

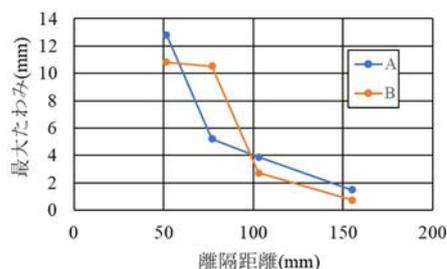


図-3 鋼板の最大たわみ比較

3. 実験結果および考察

図-3 および 4 に、それぞれ鋼板の最大たわみおよびハニカムパネル中央部の変形状況を示す。図-3 から、ハニカムの種類によらず離隔距離が小さくなると鋼板の最大たわみは急激に増大し、緩衝効果が失われることがわかる。また、離隔距離 103mm および 155mm において、座屈強度の低

キーワード 近接爆発，ハニカム複合構造，緩衝効果，換算距離，座屈強度

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 TEL046-841-3810 beppu@nda.ac.jp

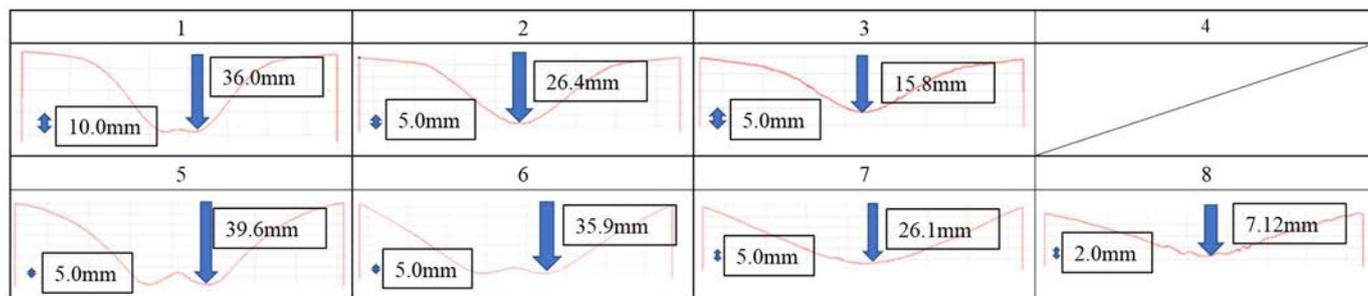


図-4 ハニカム中央部の変形状況

いハニカム B の鋼板の最大たわみは、座屈強度の高いハニカム A のそれぞれ 70% および 49.9% であり、高い緩衝効果を示した。ここで、図-4 のハニカムの变形から、実験ケース 2, 3, 4, 7 および 8 では上部シートが下部シートに接触する現象（底付現象）は発生しなかった。一方で、実験ケース 1, 5 および 6 では、底付現象が確認された。図-3 と図-4 の比較から、底付現象が生じると、ハニカムパネルの緩衝効果が消失すると考えられる。また図-3 から、ハニカム B では、離隔距離 77mm の最大たわみがハニカム A よりも大きくなった。図-4 に示す実験ケース 2 と 6 のハニカムの变形性状から、ハニカム B の実験ケース 6 は爆発直下において底付現象が生じて山なりに盛り上がっており、このために緩衝効果が消失したと考えられる。以上から、座屈強度の低いハニカムパネルは座屈強度の高いハニカムパネルよりも緩衝効果は高いが、底付現象が発生すると緩衝効果を消失することがわかった。

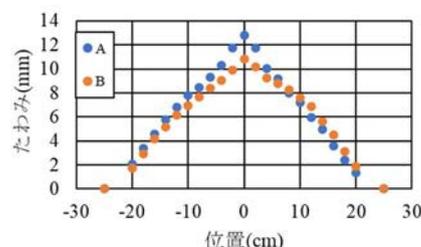
図-5 に、鋼板のたわみ分布を示す。図-5 より、座屈強度の高いハニカム A のケースについては爆発荷重の大きい中心部にかけて集中的に変形していることがわかる。一方、座屈強度の低いハニカム B のケースでは、ハニカム A と比較すると鋼板は全体的に変形していることがわかる。しかし、ハニカム B において底付現象が生じた離隔距離 51.5mm および 77mm のケースから、鋼板の中心部において集中的な変形が生じていることがわかる。以上からも、座屈強度の低いハニカム B は座屈強度の高いハニカム A に比べて耐爆緩衝性能が高いといえる。しかし、底付現象が生じると、底付部分から大きな荷重が鋼板へ作用することで緩衝性能が発揮されないと考えられる。ただし、座屈強度が高いハニカム A においても、既往の研究からもり離隔距離 77mm 以上離れているケースのようにハニカムパネルに大きな変形や座屈変形が生じない場合は、比較的良い緩衝効果を示している。今後、想定している爆発作用に対して合理的なハニカムの座屈強度や厚さを算定する手法を確立する必要がある。また、本研究で得られた結果は、本実験条件下での限定的なものであるため、より検討を重ねる必要がある。

4. 結言

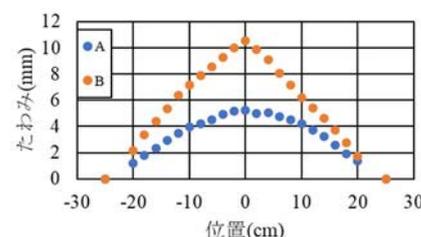
本研究は、ハニカムコアの座屈強度を 2 種類に変化させたハニカムパネルに対して近接爆発を行い、ハニカムパネルの緩衝効果を比較したものである。実験の結果、いずれのハニカムパネルも高い緩衝効果を示すことがわかった。また、座屈強度が低いハニカムパネルは高い緩衝効果を示すが、底付現象が発生すると緩衝効果を消失することがわかった。

参考文献

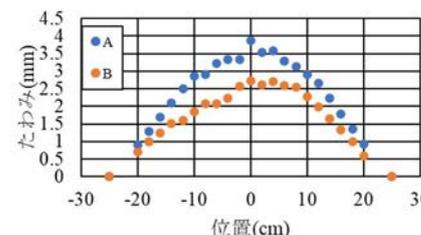
- 1) 郷原将哉, 濱田匠李, 別府万寿博, 市野宏嘉, 相澤武明: 近接爆発を受けるハニカム複合パネルの耐爆緩衝性能に関する実験的研究, 第 48 回関東支部技術研究発表会, 2021



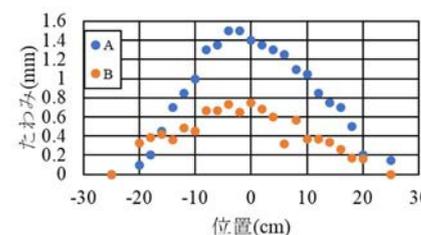
(a) 離隔距離 51.5mm



(b) 離隔距離 77mm



(c) 離隔距離 103mm



(d) 離隔距離 155mm

図-5 鋼板のたわみ分布