

近接爆発を受けるアルミハニカム複合パネルの緩衝性能に関する実験的研究

防衛大学校 正会員 ○別府 万寿博 学生会員 峯 好古 森 広毅

正会員 市野 宏嘉 昭和飛行機工業（株） 相澤 武揚

1. 緒言

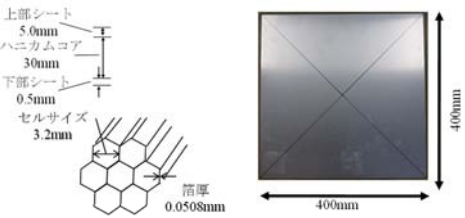
近年、世界的に爆破テロや爆発事故が多発している．このような爆発作用によって重要施設が被害を受けた場合，社会に与える影響が極めて大きいため，爆発荷重に対する防護設計法を確立することは急務である¹⁾．本研究は，爆発荷重の緩和材料としてアルミハニカム複合パネル（ハニカム複合パネル）に着目し，近接爆発の条件を変化させてハニカム複合パネルの緩衝効果を調べたものである．

2. 実験の概要

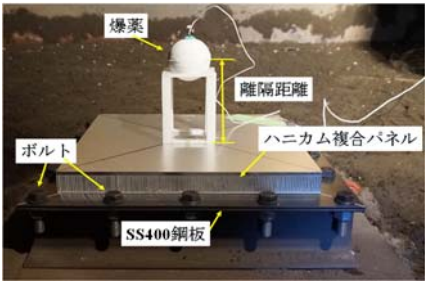
実験は，SS400 鋼板上にハニカム複合パネルを設置し，その上方から C4 爆薬による爆発荷重を作用させた．ハニカム複合パネルによる爆発荷重の緩衝効果を検討するため，SS400 鋼板のみのケースと SS400 鋼板上にハニカム複合パネルを設置したケースについて実験を行った．図－1 に，ハニカム複合パネルの概要を示す．ハニカムコアと上部シートからなるハニカム複合パネルの寸法は，縦 400mm，横 400mm，厚さ 35.5mm である．上部シートには，厚さ 5mm のアルミニウム板を用いた．ハニカムコア（座屈強度 4.5MPa）は箔の六角柱が多数集まって構成された構造体であり，セルサイズは 3.2mm，箔厚は 0.0508mm である．図－2 に試験体の設置状況を示す．SS400 鋼板（JIS G3101: 降伏応力 245N/mm²，引張強度 400 N/mm²）の寸法は，縦 500mm，横 500mm および厚さ 4.5mm である．SS400 鋼板をボルトで治具に固定し，その上面に両面テープを用いてハニカム複合パネルを設置した．また，C4 爆薬の密度は 1.4g/cm³ とし，球形に成型した．表－1 に実験ケースを示す．C4 爆薬 100kg が 1m の離隔距離で爆発した場合を想定した縮小実験として，爆薬量 50g，離隔距離 80mm を基準ケース（Case1, 2）とした．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．また，基準の換算距離で爆薬量と離隔距離を大きくしたケース（Case3, 4）を設定した．さらに，基準の 2 倍の換算距離で爆薬量と離隔距離を大きくしたケース（Case5, 6）も設定した．米国の防護設計基準²⁾を用いて，各ケースの最大爆風圧と力積を求めると，基準ケースの Case1, 2 ではそれぞれ 16.5MPa および 2.5MPa・ms となる．また，Case3, 4 における最大爆風圧および力積は，それぞれ 16.5MPa および 3.2MPa・ms となる．Case5, 6 における最大爆風圧および力積は，それぞれ 6.3MPa および 1.0MPa・ms となる．すなわち，Case3, 4 は基準ケース Case1, 2 と比べて，最大爆風圧は同じであるが力積は 28%大きくなる．Case5, 6 の最大爆風圧および力積は基準ケース Case1, 2 と比べて，それぞれ 61.8%および 60%小さくなる．

3. 実験結果および考察

図－3 に，Case2, Case4 および Case6 におけるハニカム複合パネルの変形状と断面の座屈状況を示す．Case2 では，表面に直径 214mm，最大たわみ 8.6mm のへこみ変形が生じた．Case4 では表面に直径 316mm，最大たわみ 13.8mm の大きなへこみ変形が生じた．Case2 と Case4 を比較すると，同じ換算距離でも薬量が大きくなると上部シートに



図－1 ハニカム複合パネルの概要



図－2 試験体の設置状況

表－1 実験ケース

Case	ハニカム	離隔距離 (mm)	爆薬量 (g)	換算距離 (m/kg ^{1/3})
1	無	80	50	0.215
2	有	80	50	0.215
3	無	103	110	0.215
4	有	103	110	0.215
5	無	206	110	0.43
6	有	206	110	0.43

生じるへこみ変形の直径は 47.7%増加することがわかる。Case6 では、表面に直径 226mm, 最大たわみ 1.6mm のへこみ変形が生じた。Case2 と Case6 を比較すると、換算距離および薬量が大きくなると上部シートに生じるへこみ変形の直径が 5.6%増加することがわかる。

図-4 に、Case1 および Case2 の鋼板のたわみ分布の比較を示す。図-4 から、Case1 および Case2 の最大たわみはそれぞれ 4.1mm および 0.15mm であり、ハニカム複合パネルを設置することで最大たわみが約 96.3%低減されたことがわかる。この理由は、爆風圧を受けたハニカム複合パネルに座屈が生じ、鋼板には座屈が生じた範囲に座屈荷重が分布して作用するため、衝撃力を低減、分散したものと考えられる。図-5 に、鋼板のたわみ分布を示す。図-5(a)はハニカムを設置しないケースを示しており、Case1, Case3 および Case5 ではそれぞれ鋼板中央に約 4.1mm, 約 12.3mm および約 2.7mm の最大たわみが生じた。すなわち、同じ換算距離でも薬量が大きくなると最大たわみは約 3 倍に増加し、換算距離が 2 倍になると最大たわみは 0.65 倍へ低減することがわかる。図-5(b)はハニカム複合パネルを設置したケースであり、Case2, Case4 および Case6 ではそれぞれ約 0.15mm, 約 3.75mm および約 0.5mm の最大たわみが生じた。すなわち、最大爆風圧は同じであるが力積が大きい Case4 では、基準ケースと比べて最大たわみが約 25 倍へと増加した。これは、換算距離が同じでも爆薬量が大きくなると力積も大きくなるため、ハニカム複合パネルに生じた座屈範囲や深さが大きくなり、たわみ量が増加したものと考えられる。また、最大爆風圧と力積が小さい Case6 では、基準ケースと比べて最大たわみが約 3.3 倍へ増加した。この理由は、このケースの最大爆風圧と力積は基準ケースより小さいが、爆薬の直径が大きいためハニカム複合パネルに生じた座屈範囲が大きくなり、たわみ量が増加したものと考えられる。すなわち、座屈の範囲や深さが緩衝効果の発現に影響することを示している。

4. 結言

本研究は、爆発条件を変化させた近接爆発を行って、ハニカム複合パネルの緩衝効果を比較検討したものである。実験の結果、基準ケースと比べて換算距離が同じで爆薬量を大きくしたケースでは最大たわみが約 25 倍へと増加し、換算距離を 2 倍にしたケースでは最大たわみが約 3.3 倍へ増加した。すなわち、ハニカム複合パネルに生じる最大爆風圧および力積が大きいと緩衝効果が小さくなることや、爆薬の直径の大きさによって座屈の範囲や深さが大きくなり、緩衝効果の発現に影響することがわかった。

参考文献

- 1) 清野純史, 岡本直剛, Charles Scawthorn : 爆弾テロのリスク評価手法について, 社会技術研究論文集, Vol.4, pp.84-93, 2006.
- 2) US Department of Defense : Structures to resist the effects of accidental explosions, UFC-3-340-02, chapter2, 2014.

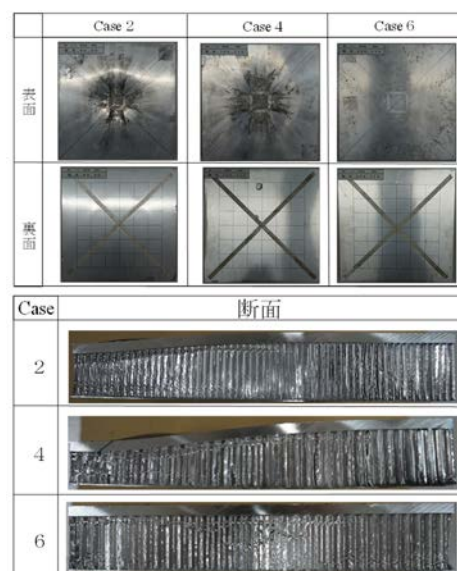


図-3 ハニカム複合パネルの変形状

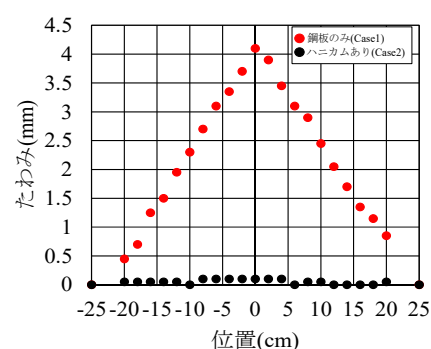
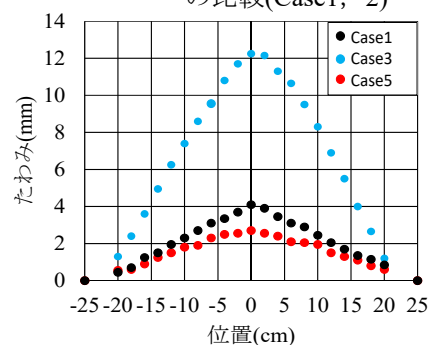
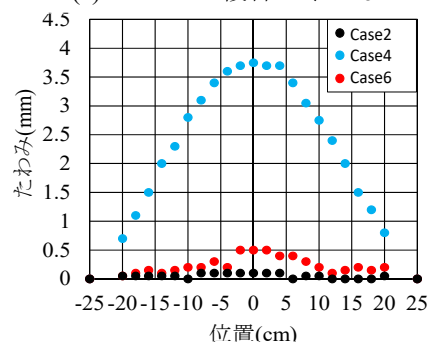


図-4 鋼板のたわみ分布の比較(Case1, 2)



(a) ハニカム複合パネルなし



(b) ハニカム複合パネルあり

図-5 鋼板のたわみ分布