

ハニカム複合パネルの耐爆緩衝効果に関する数値シミュレーション

防衛大学校 学生会員 ○三浦 賢卓 学生会員 濱田 匠李 正会員 別府 万寿博
 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,社会に与える影響は極めて大きく,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ハニカム複合パネルに着目し,爆発実験で得られた緩衝効果について数値解析により検討したものである.

2. 実験の概要及び結果

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²⁾.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35mmである.上部シートには,厚さ5mmのアルミニウムを用いた.ハニカムコア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0.061mmである.図-2に試験体の設置状況を示す.SS400鋼板の寸法は,縦500mm,横500mmおよび厚さ4.5mmである.SS400鋼板をボルトとクランプを用いて治具に固定し,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.

C4爆薬は密度 1.4g/cm^3 とし,質量110g,直径53mmの球形に成形した.C4爆薬を試験体の中央上部に,爆薬中心から試験体上面までの距離(離隔距離)が103mmとなるよう設置して,6号電気雷管により起爆した.図-3に実験後のハニカム複合パネルの変形状況を示す.表面には深さ12.1mmのたわみ変形が生じており,その変形範囲は直径240mmであった.断面を見るとハニカムコアに上下端からほぼ同じ範囲において座屈が生じていることがわかる.変形後のハニカムコアの厚さは中央で16.9mmであった.ハニカム複合パネルを設置していないケースではSS400鋼板中央に最大約9.5mmのたわみが生じた.ハニカム複合パネルを設置したケースではSS400鋼板中央に最大約4mmのたわみが生じた.ハニカムなしのケースと比較すると最大たわみが約58%低減された.

3. 数値解析結果および考察

解析モデルを図-4に示す.解析モデルは2次元軸対称系でモデル化した.600mm×600mmのオイラー空間中の

キーワード 爆発作用, 近接爆発, ハニカム複合構造, 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 TEL046-841-3810 beppu@nda.ac.jp

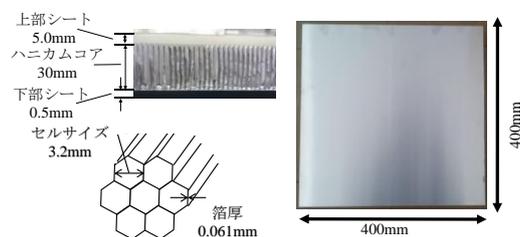


図-1 ハニカム複合パネルの概要

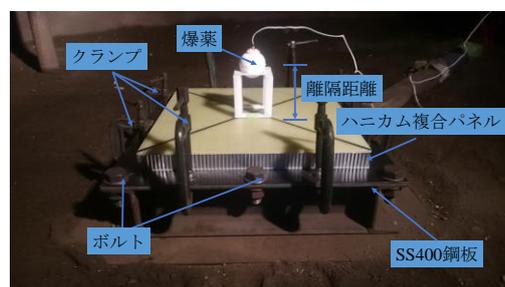
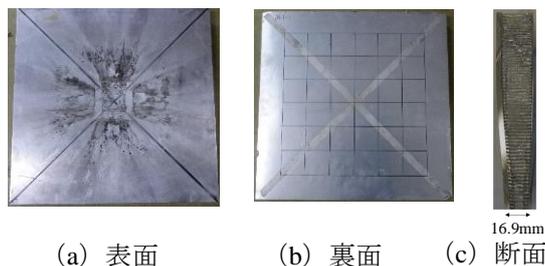
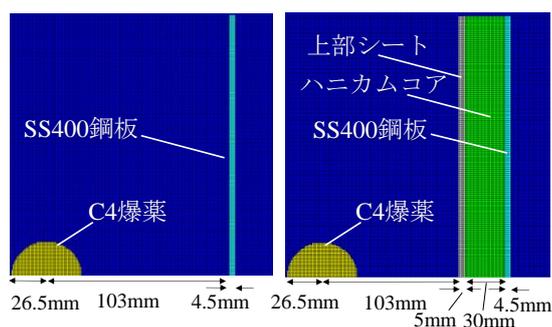


図-2 試験体の設置状況



(a) 表面 (b) 裏面 (c) 断面
 図-3 ハニカム複合パネルの変形性状



(a) ハニカムなし (b) ハニカムあり
 図-4 解析モデル

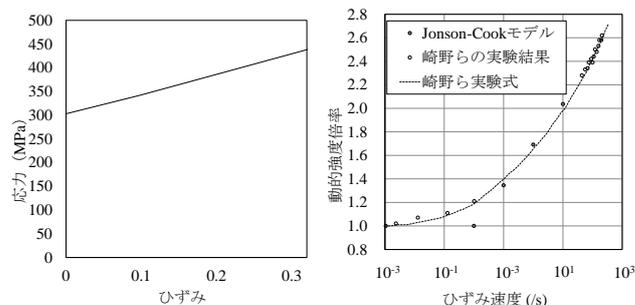
空気密度は 0.00125g/cm^3 とし、C4 爆薬および試験体を含む 200×200 の領域は一辺 1mm の要素でモデル化した。実験と同様に、直径 53mm である球形の C4 爆薬、厚さ 4.5mm の SS400 鋼板を設置し、SS400 鋼板のみのケースと SS400 鋼板上にハニカム複合パネルを設置したケースについて解析を行った。SS400 鋼板およびハニカム複合パネルはラグランジュ座標系でモデル化した。境界条件として、オイラー空間の外周に流出境界条件を設定し、SS400 鋼板端部の変位を固定した。SS400 鋼板の応力～ひずみ関係および動的強度倍率を、図-5 に示す。SS400 鋼板の構成則にはひずみ硬化とひずみ速度効果を考慮するため Johnson Cook の降伏基準を用いた。上部シートであるアルミニウムの構成則には von Mises の降伏基準を用いた。図-6 にハニカムコアの圧力～密度関係および応力～ひずみ関係を示す。構成則にはひずみ硬化を考慮した Johnson Cook の降伏基準を用いた。ハニカムコアと上部シートは剛結合とし、ハニカムコアと SS400 鋼板は接触条件を考慮した。図-7 にハニカムコアの相当塑性ひずみ分布を示す。図の色調は、青色から赤色に近づくにしたがいひずみが大きくなることを示している。図から、ハニカムコアは爆発荷重が作用すると上部シート側から裏面側にかけて徐々に塑性化し、変形は時刻約 0.2ms で収束した。変形後の厚さは約 18mm となり、実験結果と比較すると 7% 大きな値であった。実験および解析で得られた SS400 鋼板のたわみ分布の比較を図-8 に示す。解析においては、ハニカム複合パネルを設置していないケースでは SS400 鋼板中央に最大約 12mm のたわみが生じた。実験値と比較すると 26% 大きい値であった。ハニカム複合パネルを設置したケースでは SS400 鋼板中央に最大約 6.5mm のたわみが生じた。実験値と比較すると 62% 大きい値であった。ただし、ハニカム複合パネルを設置することで SS400 鋼板の最大たわみは約 46% 低減され、緩衝効果のある程度再現した。

4. 結言

本研究は、近接爆発を受けるハニカム複合パネルの緩衝効果について数値解析により検討を行ったものである。数値解析の結果、SS400 鋼板にひずみ硬化およびひずみ速度効果を考慮した Johnson Cook の構成則を用い、ハニカムコアにひずみ硬化を考慮した Johnson Cook の構成則を用いることでハニカム複合パネルによる緩衝効果のある程度再現した。

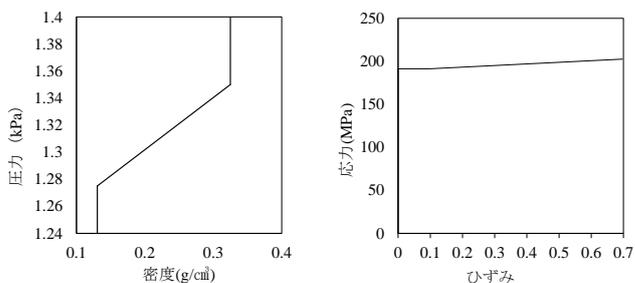
参考文献

- 1) 永田真：近接爆発を受ける RC 構造物の損傷評価法に関する研究，防衛大学校理工学研究科後期課程卒業論文，2018。
- 2) 寺澤拓真：ハニカム複合構造の耐爆効果に関する研究，防衛大学校卒業論文，2019。



(a) 応力～ひずみ関係 (b) 動的強度倍率

図-5 SS400 鋼板の構成則



(a) 圧力～密度関係 (b) 応力～ひずみ関係

図-6 ハニカムコアの構成則

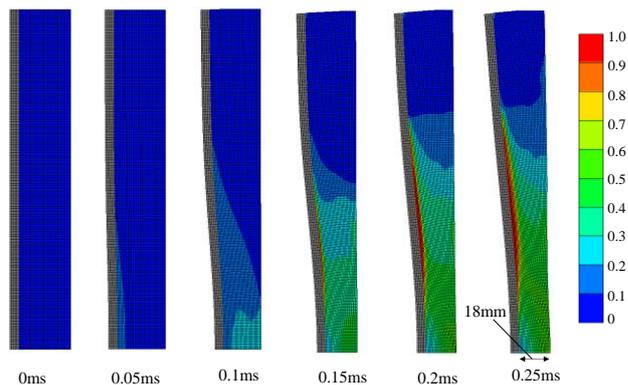
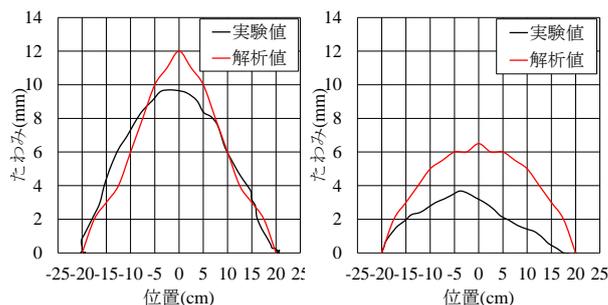


図-7 ハニカムコアの相当塑性ひずみ分布



(a) ハニカムなし (b) ハニカムあり

図-8 SS400 鋼板のたわみ分布の比較

図-8 SS400 鋼板のたわみ分布の比較