

ハニカムパネルの座屈解析における有限要素タイプの影響

Effect of Finite Element Type for the Buckling Analysis of Honeycomb Panels

○平田麟太郎¹, 長谷部寛², 長澤大次郎³*Rintaro Hirata¹, Hiroshi Hasebe², Daijiro Nagasawa³

Abstract: When a honeycomb panel is used as a member of a bridge, it is necessary to understand the buckling characteristics of the honeycomb panel under in-plane loading. Because of the complexity of the honeycomb panel structure, it has multiple buckling modes, and the stress distribution inside the honeycomb core must be evaluated. Generally, shell elements are used to analyze thin-walled members in the finite element method, but solid elements are also necessary to understand the stress distribution inside the honeycomb panel. Therefore, in the finite element buckling analysis, we compared the results of the analysis using shell elements with the results of the analysis using solid elements.

1. 研究背景と研究目的

ハニカムパネルは正六角形部材をハチの巣を模倣して内部に配列し、表面板で挟み込んだものである。パネル面垂直からの圧縮力に耐性があることが知られ、航空、機械業界など様々な分野で扱われている。土木分野では、ハニカムパネルを緊急仮設橋のウェブ・フランジ材として使用するといった検討もなされている^[1]。ハニカムパネルを橋梁に適用する場合には、荷重が面内載荷となる場合も想定する必要があるが、ハニカムパネルの面内載荷に関する検討は十分になされていない。

面内載荷を受けるハニカムパネルは形状パラメータを変えることにより、複数の座屈モードを示す^[2]。パネル内構造の複雑さが複数の座屈モードを示す原因であり、ハニカムコア内部への応力伝達を把握することが複雑な座屈挙動のメカニズム解明の必要条件である。一般的に、板材のような薄肉部材の有限要素解析には

シェル要素を用いる。しかし、ハニカムパネルはパネル内のハニカムコアが厚みを有するため、座屈解析で耐力評価をする際に内部の応力伝達の状況によっては、ソリッド要素でないと応力状況を評価できない可能性がある。そのため、本研究ではハニカムパネルをソリッド要素とシェル要素で要素分割した際の座屈荷重と解析特性の違いを評価することを目的とした。

2. 解析条件

解析に使用したハニカムパネルは 3DCAD ソフト Rhinoceros およびそのアドオンツール Grasshopper を用いて作成した。解析は汎用有限要素解析ソフトの Marc/Mentat を用いた。要素分割はメッシュ生成ソフトである gmsh により行い abaqus 形式でエクスポートして Marc に読み込んだ。座屈荷重は線形座屈解析により取得し、コア内部の応力分布は線形弾性体解析により調べる。

ハニカムパネルの解析モデルを Figure 1 に示す。また、ハニカムパネルの形状パラメータおよび材料諸元を Table 1 に示す。材料はアルミ合金を想定しヤング率、ポアソン比を決定した。本検討では、パネル長 $L = 2000$ mm およびパネル幅 $W = 2000$ mm, 上下パネル厚さ $T = 20$ mm, ハニカムコア厚さ $t = 20$ mm に設定し、ハニカムコア高さ h を変化させた各ハニカムパネルを同じ要素サイズの 6 面体ソリッド要素と 4 角形シェル要素で要素分割した。ソリッド要素の節点数・要素数は 75 万, 60 万, シェル要素の節点数・要素数は 20 万程度であった。境界条件は、4 辺支持の面内載荷として、ハニカムパネルの一边を固定し、対辺から水平荷重を載荷した。その他 3 辺は高さ方向の変位のみ拘束した。

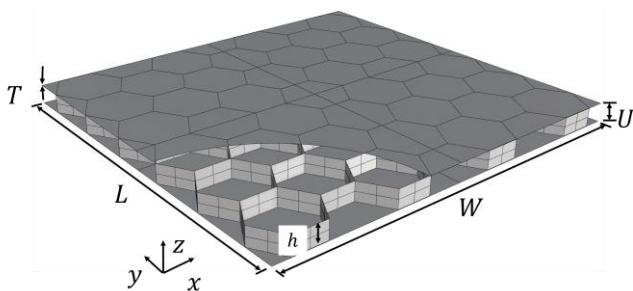


Figure 1. Honeycomb panel

Table 1. Geometry parameters and material properties

L : Length of panel	W : Width of panel
T : Thickness of surface panels	U : Thickness of panel
h : height of cores	t : thickness of cores
E : Young's modulus (=70GPa)	ν : Poisson's ratio (=0.3)

3. 結果

シェル要素とソリッド要素の比較をするにあたり、事前に要素サイズと解の収束状況を確認した。上下パネルの厚さと等しい 20mm を gmsh の最大要素サイズに設定したところ座屈荷重の収束を確認した。以降の解析の最大要素サイズは 20mm で検討した。

Figure 2 は、ハニカムコア高さを変化させた時のシェル要素、ソリッド要素の座屈荷重を表している。全体座屈モードを示すコア高さ $h=40\text{mm}$ と局部座屈を示すコア高さ $h=160\text{mm}$ ではシェル、ソリッドともに座屈荷重にあまり差異が見られなかった。全体座屈と局部座屈が複合した座屈モードである $h=100\text{mm}$ は、シェル要素とソリッド要素で同じ要素サイズであるにもかかわらず座屈荷重に差が生じた。 $h=100\text{mm}$ の座屈モードを Figure 3 と Figure 4 に示す。わずかにメッシュが不均一なソリッド要素のモデルは Figure 3 に示すように座屈モードが対称的でなくなった。対して、メッシュが均一なシェル要素のモデルは Figure 4 に示すように座屈モードが対称的になった。このわずかなメッシュ分割の均一性の違いが座屈解析の不安定性を増大させ、両モデル間で解析値に大きな差が生じたと考えられる。

線形弾性体解析時のソリッド要素を用いたモデルのコア厚さ方向の応力分布はほぼ同じであることを確認した。そして、ソリッド要素を用いたモデルのコア厚さの応力分布を平均してシェル要素と比較した図を Figure 5 に示す。Figure 5 より、ソリッド要素とシェル要素では線形弾性体解析時のハニカムコア内の応力分布はほぼ等しいものであることが分かった。

4. まとめ

ハニカムパネルをソリッド要素とシェル要素で要素分割をした際に、大きく異なる点は見受けられなかった。そのため、ハニカムパネルに対してもシェル要素で要素分割をすることが、解析コスト、精度的に好ましいと考えられる。

謝辞

本研究は戸田育英財団の研究助成を受けた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] 加藤颯, 小野慎治, 山田雄太, 長谷部寛, 長澤大次郎 : 災害時における種々のスパンに適用可能な移動式可変アーチ橋の提案, 土木学会第 75 回年次学術講演会概要集 I-318, 2020
- [2] 平田麟太郎, 長谷部寛, 長澤大次郎 : 四辺支持されたハニカムパネルの座屈強度に対するコア厚さの影響, 土木学会第 79 回年次学術講演会概要集, I-233, 2024

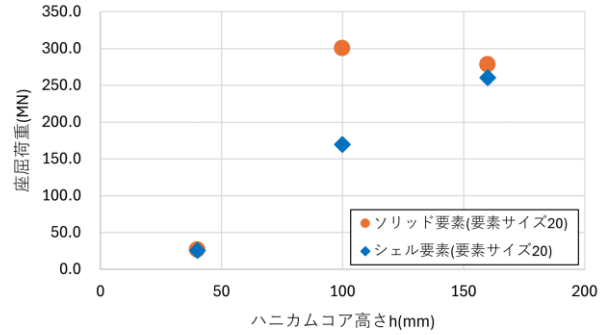


Figure 2. Buckling loads of each model

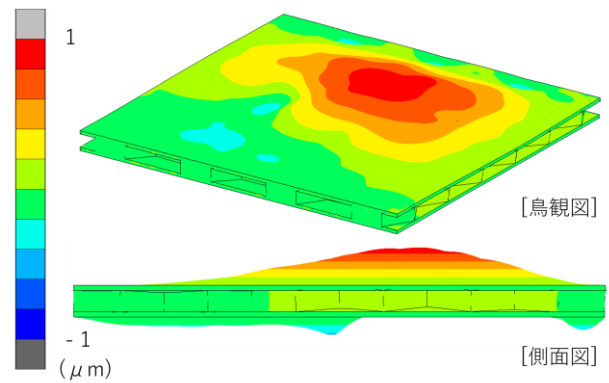


Figure 3. Buckling modes of the solid model case

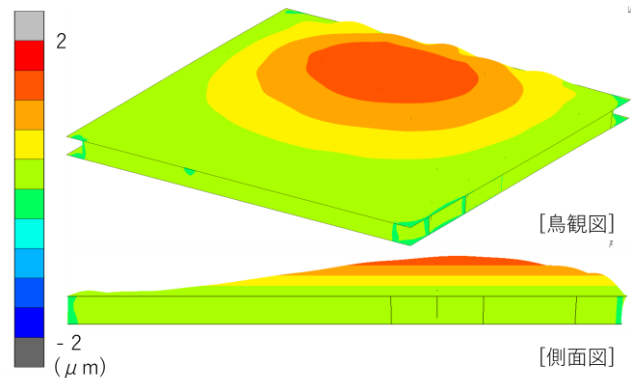


Figure 4. Buckling modes of the shell model case

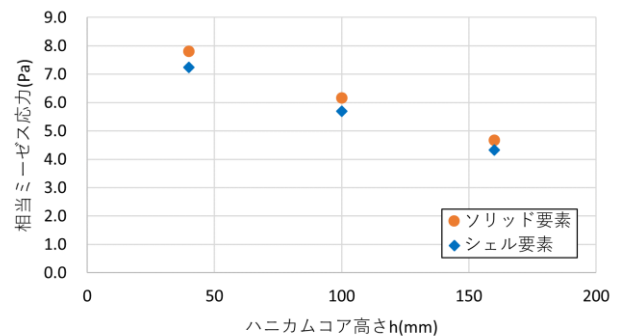


Figure 5. Stress distribution with shell and solid elements