

プラスチック製構造体の有限要素法解析

The finite element analysis of plastic structure

西村敬一^{*1)}、野村賀寿雄^{*1)}、三橋正典^{*1)}、瀬来隆夫^{*2)}

Keiichi NISHIMURA, Kazuo NOMURA, Masanori MITSUHASHI and Takao SERAI

プラスチック製構造材の設計に有限要素法解析を適用した。実際の製品に適用する前に使用可能と考えられる要素の種類と分割数の影響について検討し、計算負荷で最も有利な平面ひずみ要素でもソリッド要素やシェル要素と同程度の精度で解析が可能であること、要素分割数が少ない場合は解析結果に著しい影響を与えること、実測値との比較の結果から有限要素法解析値は、製品設計に必要とする程度の精度を有することなどを明らかにした。これらの結果をふまえて、ハニカム構造とブロック構造の2種類の構造に有限要素解析を適用したところ、ブロック構造の方が変形、応力ともが小さかった。

1. 緒言

近年、プラスチック製品は軽量性や耐腐食性などの利点から、構造材にも利用されるようになってきたが、金属材料に比べて強度的に劣るため、実際の製品設計には注意が必要である。本研究は、建築用基礎部材に有限要素法解析を適用しその最適化を試みたものであるが、その過程で興味ある知見が得られたので紹介する。

2. 解析モデルの作成と解析手順

当初考えていた構造は、Fig. 1 に示すハニカム構造である。この部品は建築家屋などの基礎部材として使用され、外部との通気性を確保するため、水平方向に空洞を有する構造になっているが、その状態で上部からの荷重に耐える必要がある。2次元CADで作成した形状をDXFファイルを通じて、汎用有限要素プログラム(MARC)のプリプロセッサに取り込み、有限要素への分割、拘束条件や荷重条件などの境界条件処理などしたのち、有限要素解析を行う。解析モデルの作成と解析手順をFig. 2 に示す。

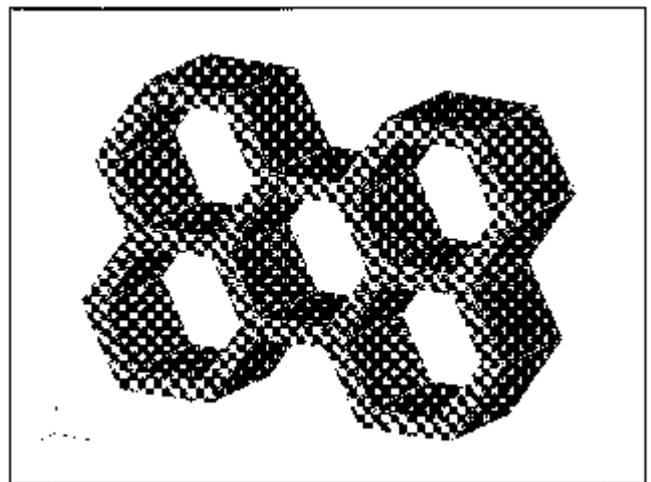


Fig.1 Analysis model (hony-comb structure)

3. 解析条件の検討

解析可能な要素としてFig. 3の平面ひずみ要素、シェル要素、3次元ソリッド要素の3種類が考えられる。平面ひずみ要素は製品の断面方向(X-Y方向とする)のみを考え、Z方向にはひずみが発生しないと仮定する要素であ

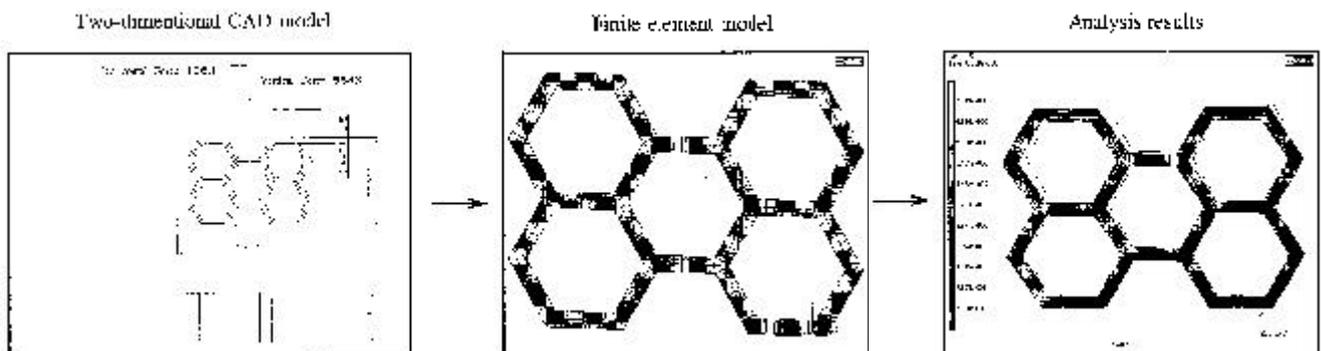


Fig 2 Drawing the model and the analysis procedure

り、供試形状の場合その仮定が成り立つか疑問であるが、計算負荷、有限要素モデルの作成のしやすさなどから、最も有利な要素である。シェル要素は製品の中立面に要素を作成し、その要素に対して厚さを定義する方法であり、薄肉製品に適した要素でプラスチック製品によく使用されるが、断面形状に対する自由度が小さい。ソリッド要素は全く仮定を設けない要素で実際に最も近いが、計算負荷が大きくなる。そこで、それら3つの要素について、要素分割数を要因に取り入れて解析条件の検討を行った。使用した材料は、実際の量産を考えているASA樹脂でその内容をTable .1 に示す。解析方法は、下面を完全拘束とし、上面に垂直方向に558N、水平方向に186Nの荷重を与えた。境界条件の与え方をFig .4 に示す。この荷重条件は、実際の使用時の負荷状態を想定している。なお、この問題は、本来接触問題として取り扱う必要があるが、予備解析で解析結果にほとんど影響しないことが確認できたので線形弾性解析で行った。Fig .5 にソリッド要素の解析例を示す。3種類の要素における最大変位の結果をTable .2 に、Von Mises応力の結果をTable .3 に示す。要素分割数の影響は、2次元要素と3次元要素で同列に比較できないが、表では行単位に要素の細かさの観点から比較できるように配慮し

ている。平面ひずみ要素とソリッド要素では、要素分割数の影響が大きく、平面ひずみ要素では3000要素程度で一定値に近づいた。ソリッド要素の場合も同様な傾向を示すが、要素分割数を多くしていくと計算負荷が大きくなり、計算が不可能であった。シェル要素の場合、要素に厚さを定義するため、このような形状では正方形に近い要素分割が可能で要素分割数の影響はほとんど認められなかった。ただし、シェル要素は断面形状変化に対する対応が困難である。以上の3種類の要素による解析内容をまとめるとこの問題に関しては、平面ひずみ要素でも十分解析は可能でソリッド要素やシェル要素に近い解析値が得られた。ただし、要素分割数の影響は大きいので3000要素以上に分割する必要がある。

4 . 有限要素解析の検証

プラスチック製ブロックから解析と同じモデルを切削加工し、圧縮試験機で荷重と変位の関係を測定した。なお、材料としてはブロック形状の手配が可能なポリエーテルエーテルケトン (PEEK) 樹脂を用いた。その内容をTable .4 に、実験結果と解析結果の比較をFig .6 に示す。なお、実際の使用時の荷重条件を検討し直した結果、水平方向荷

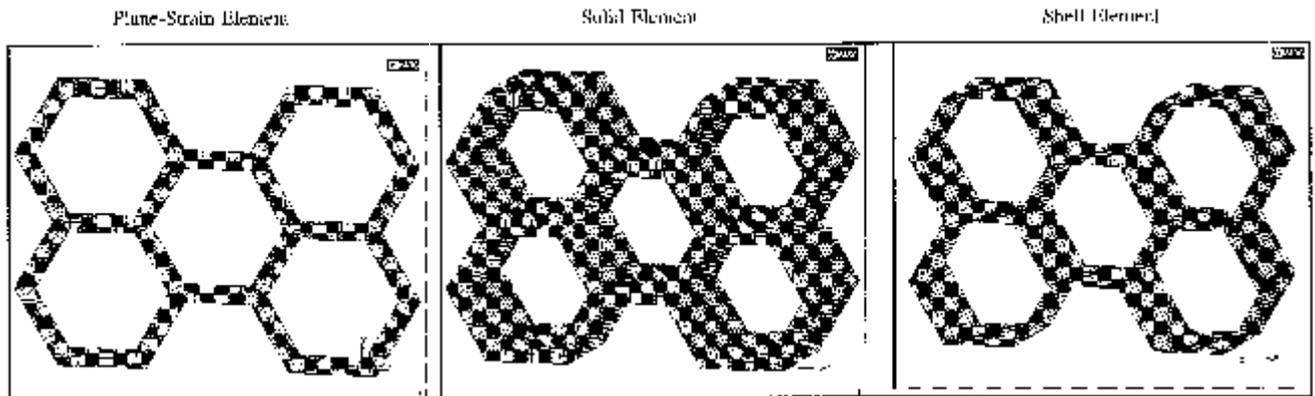


Fig 3 Three element types for analysis

Table .1 Sample resin(ASA)

Item	Contents
Resin Maker	Mitsubishi Rayon com.ltd
Resin Name	Acrylonitrile-styrene-acrylic-rubber resin(ASA)
Grade	DialacA S310G30
Young's Modulus	4 9 0 0 MPa
Poison's Ratio	0 . 3 4

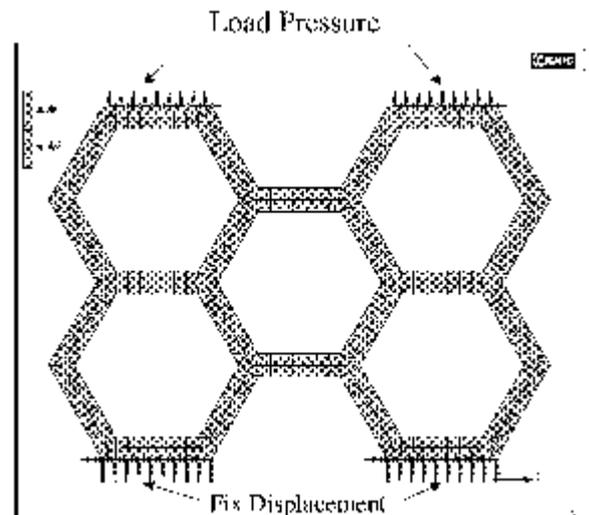


Fig 4 Analysis method(boundary conditions)

Table 2 Influence of element numbers and types for Max-Displacement

Plane-Strain Element(marc element no 11)		Solid Element(marc element no 7)		Shell Element(marc element no 139)	
Element number	Max Displacement(mm)	Element number	Max Displacement(mm)	Element number	Max Displacement(mm)
118	0.37	1180	0.39	96	0.63
390	0.57	5070	0.60	360	0.63
937	0.63	18740	impossibility	1200	0.63
2675	0.67				
6075	0.69			4800	0.64

Table 3 Influence of element numbers and types for Von_mises stress

Arbitrary Quadrilateral Plane-Strain		Three-Dimensional Arbitrarly Distorted Brick		Bilinear Thin-Shell Element	
Element numbers	Von_mises stress(MPa)	Element numbers	Von_mises stress(MPa)	Element numbers	Von_mises stress(MPa)
118	37.1	1180	38.6	96	79.4
390	73.5	5070	82.8	360	79.0
937	80.0	18740	impossibility	1200	92.7
2675	98.8				
6075	107.1			4800	110.

重は無視できることがわかったため、荷重は垂直負荷のみで要素分割数は2675要素で解析した。結果を比較すると、実測値は荷重負荷の初期に大きく変形し、解析値と異なっている。これは通常では考えにくく、初期荷重負荷の時、製品の切削誤差、試験機のアソビなどの影響がでているものと思われる。そこで実測値を荷重0に外挿し、その切片の値を補正値として実測値全てを補正したのが、図中の補正した実測値である。補正を行うことにより、実測値と解析値はよく一致するようになった。

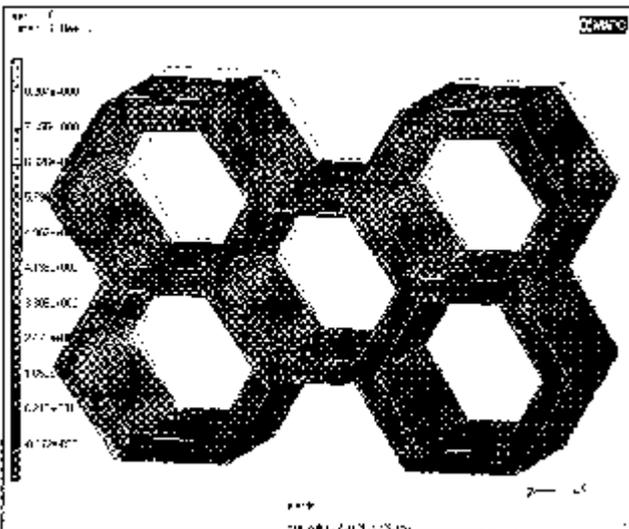


Fig 5 Example of analysis results(solid element)

Table 4 Sample resin(PEEK)

Item	Contents
Resin Maker	Nippon Polypenco limited
Resin Name	Poly-ether-ether-keton resin(PEEK)
Grade	Polypenco PEEK PK-450
Young's Modulus	3570 MPa
Poison's Ratio	0.4

5. プラスチック製構造体の最適設計

解析条件の検討から最適な解析方法が決定でき、また実測値との比較検証から実用的な精度で変形や強度を予測することが可能なことが明らかとなった。そこで目的とする製品の形状の最適化のため、Fig. 7に示すブロック状とハニカム構造の2種類の形状について検討した。両形状の断面積が等しくなるように形状を作成し、それをFig. 2に示す方法で有限要素解析した。解析は左右対称の条件を設定し、実際の製品の半分のモデルで解析しており、また、現実との対応を忠実に再現するため、上部から剛体を製品に圧縮する方法で解析した。その結果をFig. 7及びTable. 5に示す。ブロック構造の方が明らかに耐荷重特性が優れている。

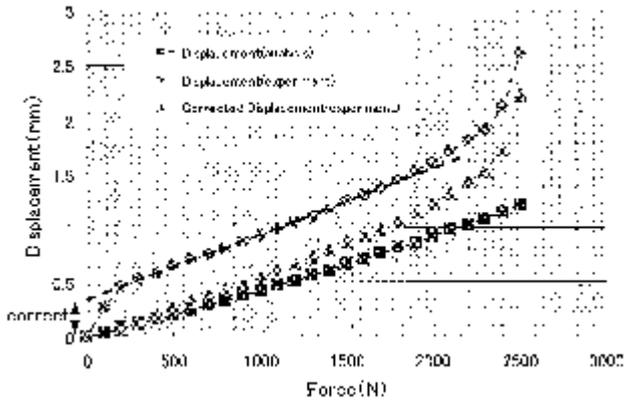


Fig. 6 Displacement of experiment and analysis for honeycomb structure

Table 5 Displacement and Von_mises stress of honeycomb and block structure

structure	hony-comb structure	block structure
Item		
Max Displacement(mm)	0.23	0.07
Von_mises stress(MPa)	59.5	17.1

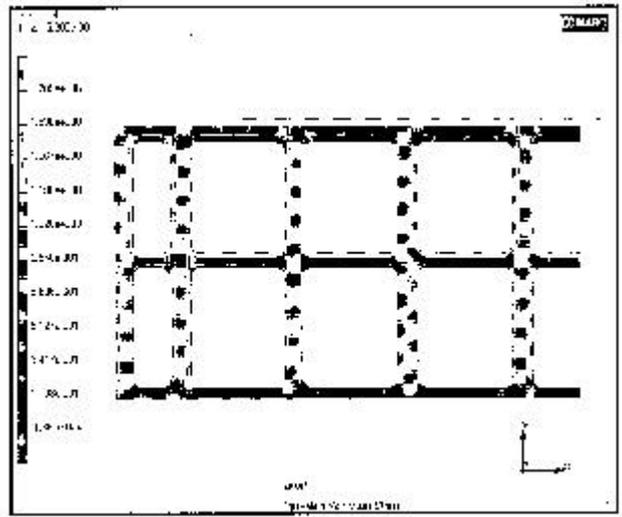
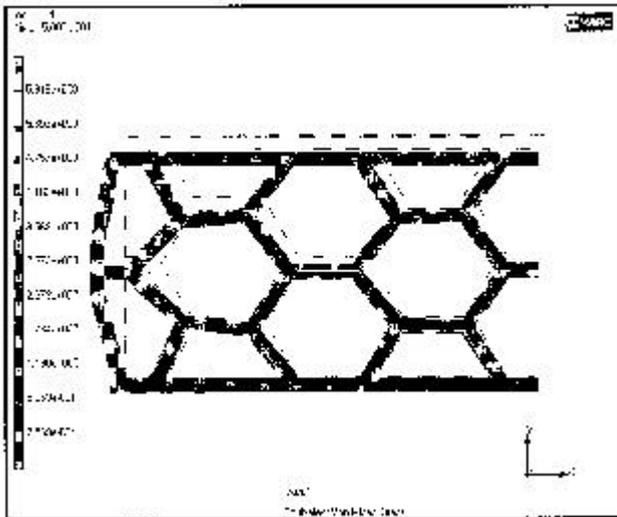


Fig. 7 Displacement and Von_mises stress of honeycomb and block structure

6. 結 言

プラスチック構造体の設計に有限要素解析を適用し、製品が深さ方向に均一な断面を有する解析対象では、平面ひずみ要素の使用が可能で、シェル要素、3次元ソリッド要素と同程度の精度が得られること、有限要素法解析値は、製品設計に必要とする程度の精度を有すること、今回の目的とする製品には、ブロック構造体が適していることなどを明らかにした。

ただし、今回の検討は材料物性が時間に依存しない線形弾性体として解析したが、プラスチック材料はクリープ現象に代表されるような時間依存性の大きな材料であり、今回の製品の使用用途を考えるとそれらを考慮した解析が必要である。