

3D プリントを用いた FEM 検証手法

秋田大学 ○学生員 大竹 壯弥
秋田大学 学生員 坪井 瑛靖
秋田大学 学生員 竹内 駿哉
秋田大学大学院 学生員 斉藤 輝
秋田大学大学院 正員 後藤 文彦

1. はじめに

折り紙構造やハニカム構造といった複雑なパターンを有する構造では、解析的に剛性や座屈挙動を求めることが困難なため、有限要素法等の数値解析により挙動を解析する必要がある。しかし、こうした複雑なパターンの構造の有限要素モデルは、メッシュ分割や境界条件の設定に敏感で、数値解析が一定の精度で信頼できることを検証するのは難しい。一方、近年の 3D プリントの普及により、有限要素モデルをそのまま 3D プリントで造形し、模型による実験が可能になってきたため、3D プリントを有限要素法の検証に利用することが期待される。

2. 材料試験

3D プリント材料として一般的な Fullcure720 とクリープが小さいと思われる高耐熱材料 RGD525 に対して行った引張試験の試験装置と試験結果を図-1, 図-2 に示す。実験は、図-1 のような試験体に 30 秒ずつ 1kgf の重りを載荷して、軸方向のひずみを測定する。ひずみの変化は図-2 のような階段状のグラフとなるが、Fullcure720 はクリープが大きく荷重が変化しない 30 秒の間にもひずみが増加していくのがわかる。これに対して、RGD525 は、クリープがほとんど



図-1 引張試験体

認められない。RGD525 のヤング率を引張試験から求めると、2.84GPa となる。

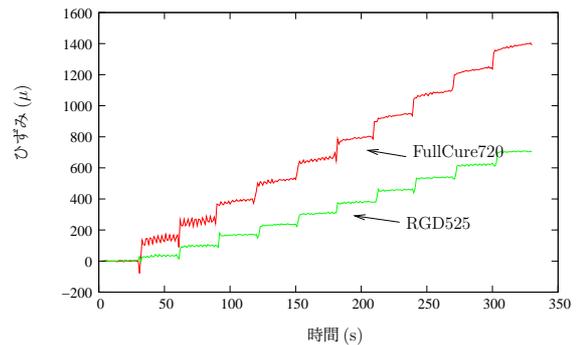


図-2 引張試験

次に、図-3 のような厚さ 0.8mm, 外形 53mm, 高さ 104.5mm の円筒を RGD525 で造形し、圧縮試験を行った結果を図-4 に示す。圧縮試験は、変位レンジが小さいためか、荷重を 1kgf ずつ増やしても変位が変化しない領域があり、線形関係は得られなかった。



図-3 圧縮試験体

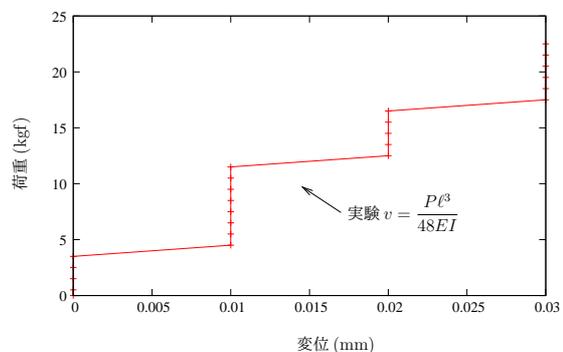


図-4 圧縮試験

そこで、図-5 のような 5mm×1cm×12cm の長方形断面梁を RGD525 で造形し、スパン 10cm, 中央荷重の 3 点曲げ試験を行った結果を図-6 に示す。



図-5 曲げ試験体

長方形断面の長辺を桁高として強軸方向に荷重した場合は、剛性が高めで、初期の線形域で求めたヤング率は 3.20GPa 程度となった。一方、長方形断面の短辺を桁高として弱軸方向に荷重した場合は、ヤング率が 1.66GPa と低めとなった。

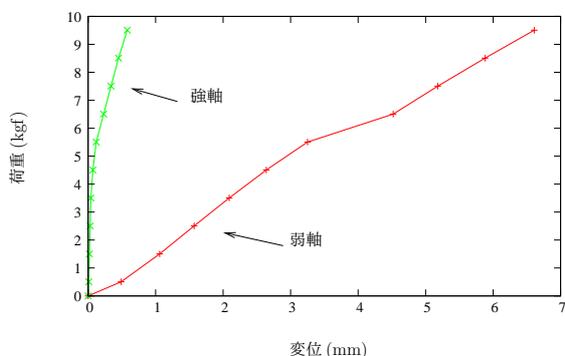


図-6 曲げ試験

3. ハニカムパネルの曲げ剛性

今回は、ハニカムパネルの剛性について、3D 造形モデルの実験で考察する。ハニカムパネルは、建築・建設材料として利用が広がっているが、有限要素解析する限りにおいては、同じ材料量の格子パネルと曲げ剛性を比較すると、格子パネルよりも曲げ剛性がむしろ小さくなる¹⁾。文献¹⁾では、Fullcure720 で造形したモデルによる実験で、ハニカム桁の剛性が正方格子桁の剛性より低くなることを確認している。ここでは、クリープが小さくより安定している RGD525 を用いて、同様の実験を行った。図-7 や図-8 のようにスパン 18cm の格子桁に 500g の棒状の重りを載せ、3 点曲げ試験を行う。

Fullcure720 と RGD525 の有限要素法 (FEM) で解析したたわみと実験で出した最大のたわみを表-1 と表-2 に示す。解析でも実験でもハニカムパネルの方が正方格子パネルよりもたわみが大きく剛性が

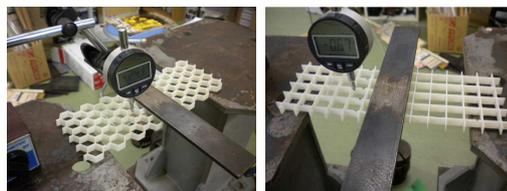


図-7 ハニカムパネルの荷重実験 図-8 正方格子パネルの荷重実験

表-1 パネルのたわみ (Fullcure720)

| | ハニカム | 正方格子 |
|-----|--------|--------|
| FEM | 4.24mm | 1.04mm |
| 実験 | 7.21mm | 1.29mm |

表-2 パネルのたわみ (RGD525)

| | ハニカム | 正方格子 |
|-----|--------|--------|
| FEM | 4.67mm | 0.18mm |
| 実験 | 4.14mm | 1.00mm |

低い、RGD525 を用いた今回の実験では、ハニカムパネルの剛性がやや大きめに突出しているようである。今回、正方格子は材料の全体をサポート材で覆って印刷したのに対して、ハニカムは材料の一部にサポート材を付ける方法で印刷したため、その影響が出たのかもしれない。

4. 考察

RGD525 は fullcure720 に比べると、クリープが小さいという意味では、剛性が安定していて、構造物の剛性評価の実験の用途に向いているかと思われたが、印刷方向に依存した異方性があるように思われる。使用した 3D プリンタは Eden260V であるが、3D プリンタの印刷特性も含めて検討が必要かもしれない。このように現状では、まだ 3D プリンタで造形したモデルで、有限要素法の精度検証を行うには課題が多いが、これからの課題として、印刷する層の向きが違うパターンを作成して実験し、印刷の際の層の積み立て方による剛性の違いや印刷方法による強度の変化を確認する必要がある。

参考文献

- 1) 江村 拓郎, 滝田 拓史, 後藤 文彦: 有限要素シミュレーション検証手段としての 3D プリンターの可能性, 平成 25 年度 土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集 (CD-ROM), I-23, 2014.