

17. 軽量角形鋼による耐震天井構造システムの耐力評価に関する解析的研究

1010920081 山崎結子
指導教員 藤井大地 教授

軽量角形鋼管 耐震吊り天井 ANSYS 耐力評価 有限要素法

1. はじめに

2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災により、大規模空間を有する建築物における非構造部材（天井）の脱落被害が報告された。特に天井材の落下は人的被害の危険性が高い。そのため、耐震性能を十分に把握することが重要である¹⁾。これに対して、松本、佐藤らは、これまでに吊り天井構造の耐震性能に関する基礎的特性を調査するとともに、かしめ成形による軽量角形鋼管を用いて耐震性を向上させた新型の大型吊り天井構造（耐震構造型ぶどう棚）を提案している^{2),3)}。

本研究では、新たに、汎用有限要素解析プログラム ANSYS を用いて、かしめ成形による軽量角形鋼管を用いた吊り天井構造の構造特性を把握し、実験値と解析値との比較の検証を行う。

2. 耐震吊り天井構造の概要

今回使用する鋼材の正確なデータを把握するため、素材の引張試験を実施した。素材より切り出して製作した試験体の結果より、基準強度 F は 285 N/mm^2 、ヤング係数 E は $1.69 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ 、ポアソン比 ν は 0.3 で解析を行う。

本研究の吊り天井では、図 1 のようなかしめ成形角形鋼管を用い、構造は、図 2 に示すようなトラス構造とする。



図 1 かしめ成形角形鋼管



図 2 トラス構造の耐震吊り天井

3. かしめ成形角形鋼管の曲げ試験の概要

かしめ成形角形鋼管の基礎的曲げ性能を検討するために部材の曲げ試験を実施した。部材条件は、断面寸法 $100\text{mm} \times 45\text{mm} \times 1.2\text{mm}$ 、断面積 $A=3.71\text{cm}^2$ 、断面 2 次モーメント $I_x=50.8\text{cm}^4$ 、 $I_y=13.7\text{cm}^4$ である。試験は 3 試験体に対して実施する。

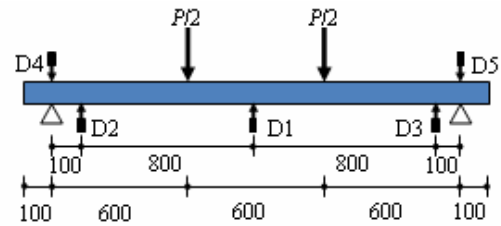


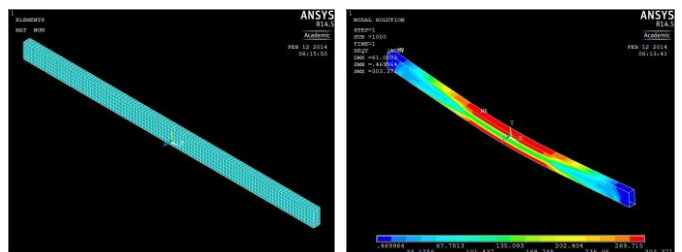
図 3 部材の曲げ試験

4. ANSYS を用いた曲げ解析

実験と同様の条件で解析を行う。ただし、曲げ実験の部材は、断面積 $A=3.42\text{cm}^2$ 、断面 2 次モーメント $I_x=45.0\text{cm}^4$ 、 $I_y=13.1\text{cm}^4$ 、圧縮実験の部材は、断面積 $A=2.10\text{cm}^2$ 、断面 2 次モーメント $I_x=6.73\text{cm}^4$ 、 $I_y=6.73\text{cm}^4$ である。

4.1 解析モデル 1（シェル要素微小変形解析）

シェル要素を用い、幾何学的非線形を考慮しない解析を行う。解析条件は、要素 SHELL181、節点数 1616、要素数 1600、最終ステップ数 1000 である。図 4 に変形前と変形後の形状を示す。

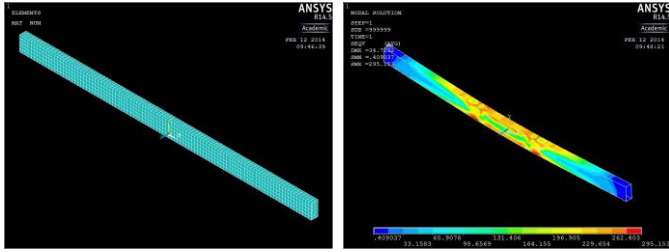


変形前 変形後

図 4 シェル要素微小変形の各形状

4.2 解析モデル 2（シェル要素大変形解析）

シェル要素を用い、幾何学的非線形を考慮した解析を行う。解析条件は、要素 SHELL181、節点数 1717、要素数 1700、最終ステップ数 580 である。図 5 に変形前と変形後の形状を示す。

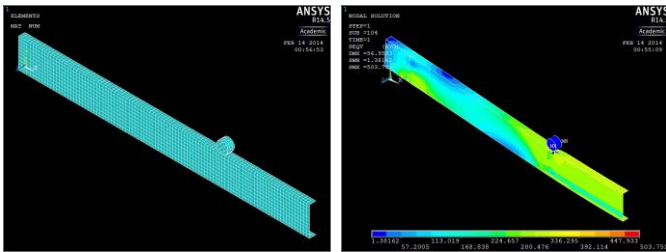


変形前 変形後

図 5 シェル要素大変形の各形状

4.3 解析モデル 3 (接触要素大変形に解析)

接触要素を用い、幾何学的非線形を考慮した 1/4 領域における解析を行う。解析条件は、要素 SHELL181, CONTA174, TARGE170, 節点数 5115, 要素数 2850, 最終ステップ数 104 である。図 6 に変形前と変形後の形状を示す。



変形前 変形後

図 6 接触要素大変形の各形状

5. 実験値と解析値の比較

実験結果を ANSYS による解析結果と比較する。図 7 は実験値と解析値の曲げモーメント-たわみ関係の比較を示す。

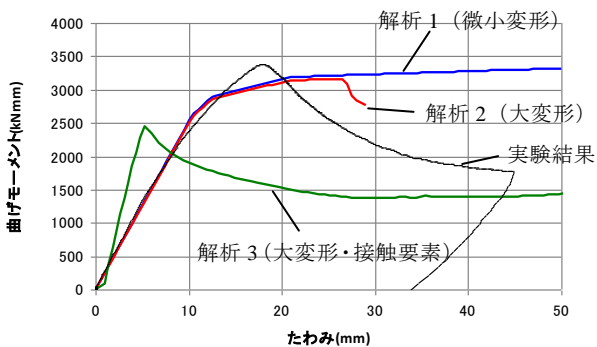


図 7 曲げモーメント-たわみ関係

図 7 より解析モデル 1 は微小変形理論に基づく解析であり、耐力劣化現象を表現できていないことがわかる。また、解析モデル 2 は、大変形理論に基づく解析であり、板の局部座屈を評価可能であるが、座屈後の変形挙動が不安定であることがわかる。これは荷重境界の作用条件を集中荷重としているために局所的な変形が過度に進行し、剛性方程式が不安定になってためであると推測される。これらに対し、解析モデル 3 は荷重の作用する境界

条件を接触要素を用いることで実際の実験モデルと同様のモデル化を行った解析であり、耐力劣化後の挙動を良好に解析することが可能であることが示された。

6. ANSYS を用いた圧縮解析

局部座屈の基礎特性を検討するために、かしめ成形角形鋼管の圧縮試験に対する解析を行った。部材条件は、断面寸法 $45\text{mm} \times 45\text{mm} \times 1.2\text{mm}$, 断面積 $A=2.39\text{cm}^2$, 断面 2 次モーメント $I_x=7.66\text{cm}^4$, $I_y=7.35\text{cm}^4$, 長さ $l=90\text{mm}$ である。

6.1 シェル要素大変形解析

シェル要素を用い、幾何学的非線形を考慮した解析を行う。解析条件は、要素 SHELL181, 節点数 4232, 要素数 4140, 最終ステップ数 106 である。

図 8 に実験結果と解析結果の変形形状を示す。図 8 より局部座屈によって、板の面外変形が確認される。

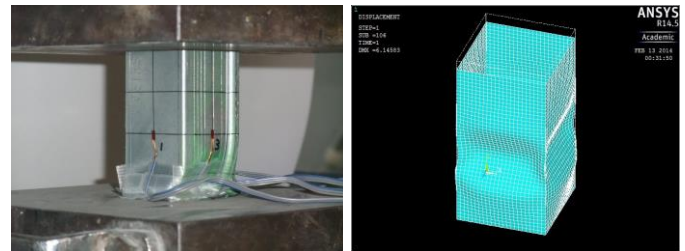


図 8 実験結果と解析結果の変形形状

7. まとめ

本論文では、汎用有限要素プログラム ANSYS を用いて、かしめ成形による軽量角形鋼管を用いた吊り天井構造の構造特性を把握し、実験値と解析値との比較の検証を行った。その結果、シェル要素を用いた大変形曲げ解析では、耐力劣化後の変形領域において解が不安定になり、解析できなかったものの、耐力劣化前の挙動は実験値と比べ、概ね良好な対応を示していることが確認された。また、シェル要素を用いた大変形圧縮解析では、変形形状が実験の形状とほぼ同一となった。今後、本研究で発生した問題の解決法を明らかにすることができれば、より実験値に近い解析を行うことができると考えられる。

参考文献

- 1)非構造材の安全性評価及び落下事故防止に関する特別調査委員会:天井等の非構造材の落下事故防止ガイドライン, 日本建築学会, 2013.3
- 2)松本慎也, 佐藤公章, 藤谷義信:軽量角形鋼管による耐震吊り天井構造の力学的特性に関する研究, 近畿大学工学部「近畿大学工学部研究報告」, No.47, 2013.12
- 3) 松本慎也, 藤谷義信, 佐藤公章:鋼製下地吊り天井構造の耐震性能に関する実験的研究, シンポジウム, 東日本からの教訓, これからの新しい国づくり, pp.283-286, 2012.3