

14. HMPS法とIESO法を用いた大変形弾性部材の形態創生に関する研究

1610920020 一橋美緒
指導教員 藤井大地 教授

Hamiltonian MPS法, IESO法, 形態創生, 座屈, 大変形弾性部材

1. はじめに

藤井ら¹⁾は、ボクセル分割された直方体固定設計領域から、力学的合理性を有する多様な構造形態を創生できる位相最適化手法として、IESO法(+仕上アルゴリズム)を提案している。また、本手法は、有限要素法の代わりに、粒子法の一つであるHMPS法を用いることにより、大変形(有限変形)を考慮できる手法に拡張されている²⁾。

一方、澤田ら³⁾は、地震時に主要骨組構造に損傷を与えずに地震応答を低減する大変形弾性部材(筋交、方杖)の開発を行っている。しかしながら、提案されている部材は、引張のみに有効なもので、引張・圧縮のどちらにも有効なものは検討されていない。

そこで、本研究では、HMPS法とIESO法(+仕上アルゴリズム)を用いた大変形を考慮できる位相最適化手法により、引張と圧縮のどちらにも有効な大変形弾性部材の形態創生を行い、本研究室で開発された形態創生法の有効性を検討する。

2. 形態創生法の概要

HMPS法とIESO法(+仕上アルゴリズム)を用いた大変形を考慮できる位相最適化手法については、文献2)に詳しく示されているので、ここでは、その概要を示す。

HMPS法は、粒子法の一つで、静的応力解析も、ステップ外力を与えた運動方程式を動的陽解法で解き、振動が人工減衰によって収まった時点の解を静的解とする方法で解かれる。したがって、振動の収束が遅ければ、計算効率は良いが、振動の収束が遅いと計算時間がかかる。文献2)の解析例では、座屈を伴う大変形であっても最大20000ステップ程度で収束していたが、今回扱う解析例は、軸方向荷重による鉛直振動であるため、非常に収束が遅く、膨大な計算時間を要する。そこで、本研究では、振動が収束する解を求めることはあきらめ、最初のリバウンドが起きる寸前の解を収束解としている。

位相最適化手法のひとつである、IESO法(+仕上アルゴリズム)は、文献1),2)に示す方法と同じであるが、本研究では、残存要素数が目標の要素数に達すると自動的に仕上アルゴリズムに移行するようにしている。このような改良で、計算効率の改善をはかっている。

3. 解析例

図1は、以上の解析手法の有効性を検討するための解析モデル³⁾を示す。固定設計領域の分割数は $50 \times 332 \times 2$ で、左端の $50 \times 2 \times 2$ 要素は粒子法で固定境界を表すための要素となる(粒子法で回転拘束を与えるための処置)。ただし、設計変数は、X軸、Y軸、Z軸に関して対称となるように設定している(Y軸の対称軸が中央に来るようにするため左右の固定設計領域の長さが異なる)。解析モデルの諸元は、ヤング係数205GPa、ポアソン比0.3、単位体積質量 7850 kg/m^3 とし、荷重条件は、右端の断面の全節点に1Nを与えた場合(153N)を微小変形解析用とし、大変形解析では、これに掛ける倍率を与える。

図2は、図1の解析モデルの最適化前の形態に対してHMPS法による動的解析結果を示したものである。ただし、荷重は2000倍の圧縮荷重とし、変形を10倍に拡大して示している。図に示すように、1300ステップ近辺でリバウンドを生じており、このリバウンドは20000ステップの計算でも収束しない。このため、本解析では、最初のリバウンドが生じる直前で解析を打ち切っている。

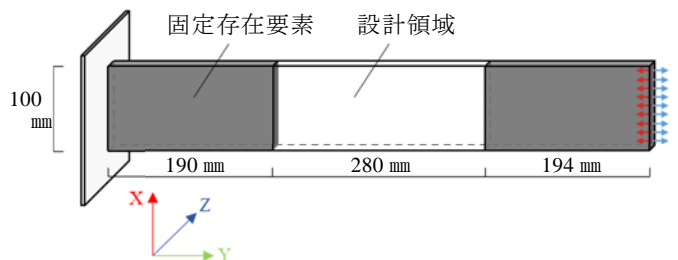


図1 解析モデル

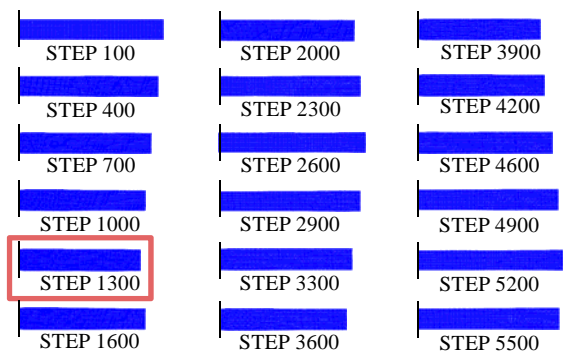


図2 初期形態の変形状態

図3は、圧縮荷重と引張荷重に対して、荷重倍率を変化させた場合の位相最適化結果を示している。ただし、IESO法の目標体積 \bar{v} は0.73、影響半径倍率 b_r は3.0、除去率 λ は0.05とし、仕上アルゴリズムにおける影響半径倍率は3.0、除去率は0.01、付加率は0.04としている。図より、引張に関しては、荷重が大きくなって大きな変化はないが、圧縮に関しては、大きく位相が変化することがわかる。また、微小変形の場合は、引張と圧縮の位相は一致するが、大変形になると異なる。

図4は、引張と圧縮のどちらの荷重にも対応できる最適形態を求めたものである。ただし、この場合は、面外に座屈しないように拘束条件を加えた場合の結果も示している。IESO法の解析パラメータは図3の解析と同じである。図より、面外拘束なしの(b)では、中央に座屈止めのような形態が現れることがわかる。

図5と図6は、図3と図4のいくつかの解形態の変形を示したものである。図に示すように、面外拘束なしの場合は、面内の形態の座屈長さが短くなり、面外に大きな座屈が生じないような形態になっていることがわかる。

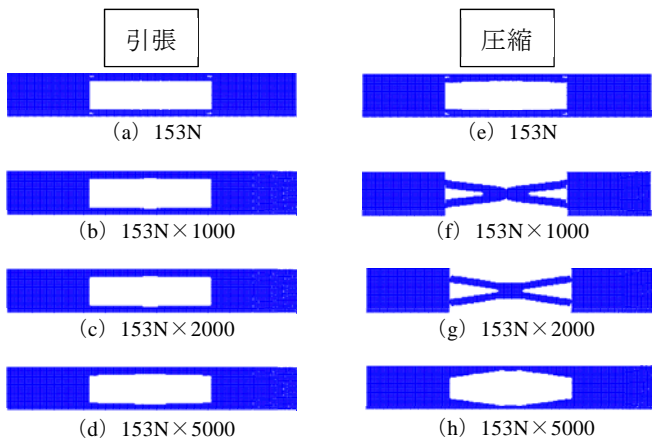


図3 微小変形解・大変形解の比較（面外拘束なし）

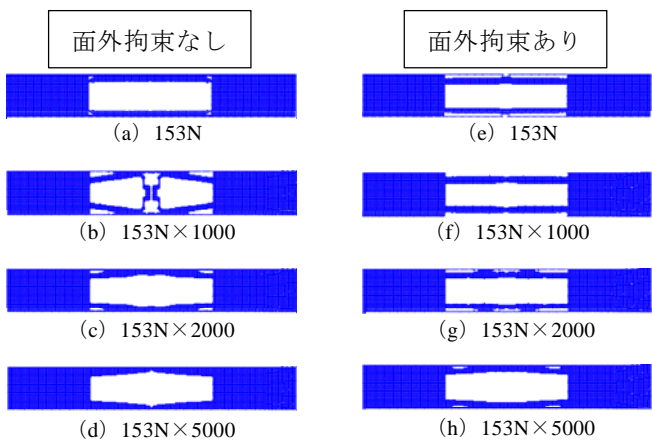


図4 引張+圧縮変形解の比較

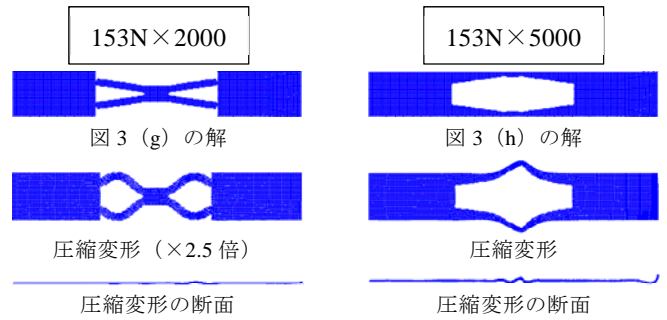


図5 図3の圧縮変形（面外拘束なし）

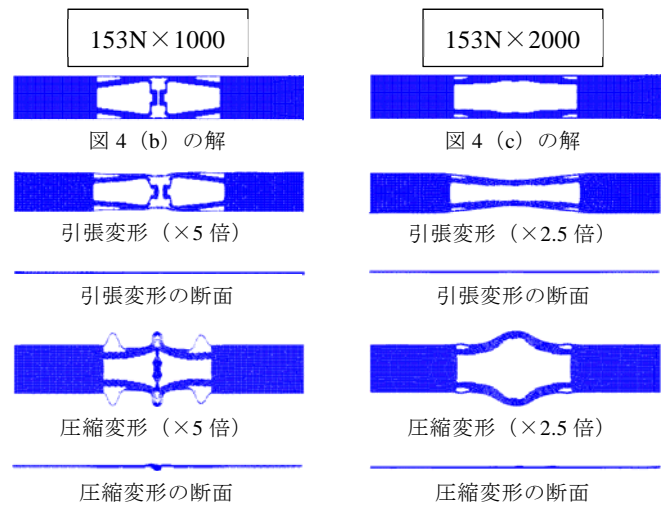


図6 図4の引張+圧縮変形（面外拘束なし）

4. まとめ

本論文では、HMPS法とIESO法(+仕上アルゴリズム)を用いて、大変形弾性部材の形態創生を試み、その有効性を検討した。その結果、微小変形理論にもとづく方法では求めることができなかった、圧縮荷重に対しても大変形に強い形態が求められることがわかった。

今後は、さらにエネルギー吸収を高めるため、設計対象領域にコンプライアントメカニズムを導入することを検討する予定である。

参考文献

- 1) 新内洋平, 松本慎也, 藤井大地: IESO法を用いた建築構造の形態創生 鉛直荷重と地震荷重に抵抗する建物の自然形態, 日本建築学会構造系論文集, Vol.82, No.731, pp.97-103, 2017.1
- 2) 藤井大地, 山下真輝, 眞鍋匡利: HMPS法とIESO法を用いた有限変形を伴う弾性構造体の位相最適化, 日本建築学会構造系論文集, Vol.84, No.764, pp.1337-1344, 2019.10
- 3) 西田銀次, 中村建人, 澤田樹一郎: 大変形弾性部材の性能実験及び解析的研究, 鋼構造年次論文報告集, 第24巻, pp.470-475, 2016.11