

一節点 6 折線エネルギー吸収折紙構造の最適設計

Optimal Design for Energy Absorbing Origami Structure with
6 Folding Lines at One Nodal Point



○阿部綾(明治大学)、楊陽(明治大学)、萩原一郎(明治大学)
明治大学先端数理科学インスティテュート

発表者自己紹介

GISによる古地図上の街路幅員に関する研究で学士を得て街並みの歴史的イメージ分析に関する研究で修士号を得たのち民間企業でSEとして勤務、子育て専念期間を経て、特許庁非常勤職員として復職。

2016年度より明治大学萩原研究室にて、折紙構造の工学的な応用研究

(2枚貼り折りのアルミ缶適用、折り畳み果物輸送箱、衝撃解析等)に取り組んでいる

自動車のエネルギー吸収材も落石防護柵もエネルギー吸収で一番効率の良い中空の真直柱構造である。両者とも途中で折れ曲がらず軸圧壊が極力長く継続するよう設計されるが、最初の圧壊荷重値が飛びぬけて高く前者は時に乗員に傷害を与える。後者は最初面で落石を受け、荷重方向変換綱で柱構造の圧壊へと変換するが、柱の圧壊前に綱が切れる問題がある。更に自らの嵩張りが邪魔し圧壊長さも限定的である。そのため、最初から圧壊終了までほぼ等荷重でほぼ全長近く折畳まれる折紙構造が期待されるが各段の長さをいくりにするかなどパラメータが多く高速・高精度最適化法が期待される。本研究では折紙構造エネルギー吸収材と最適化法中心に述べる。

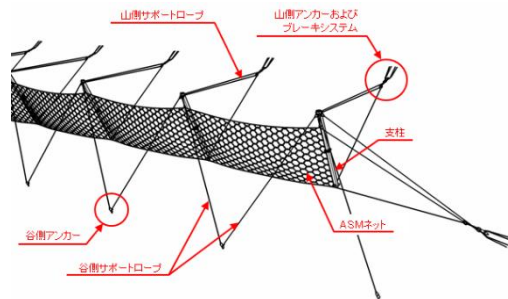
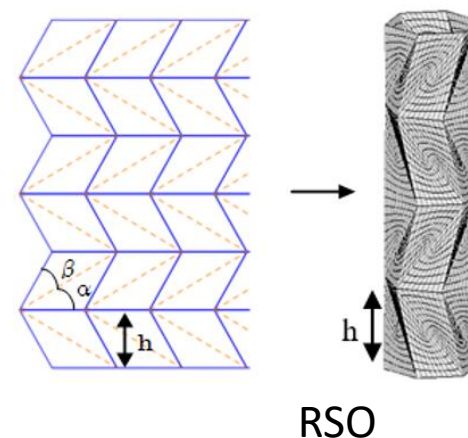
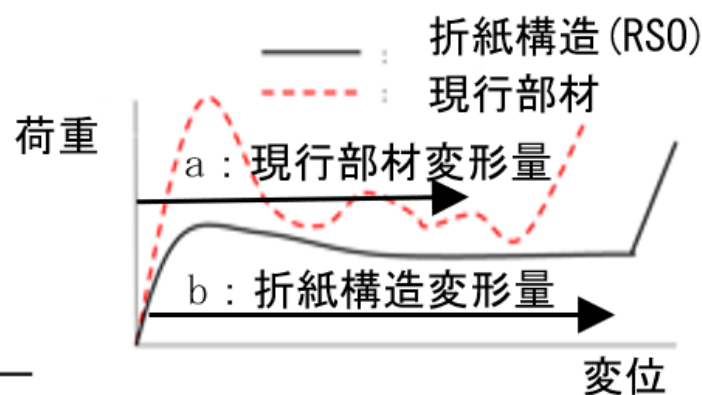
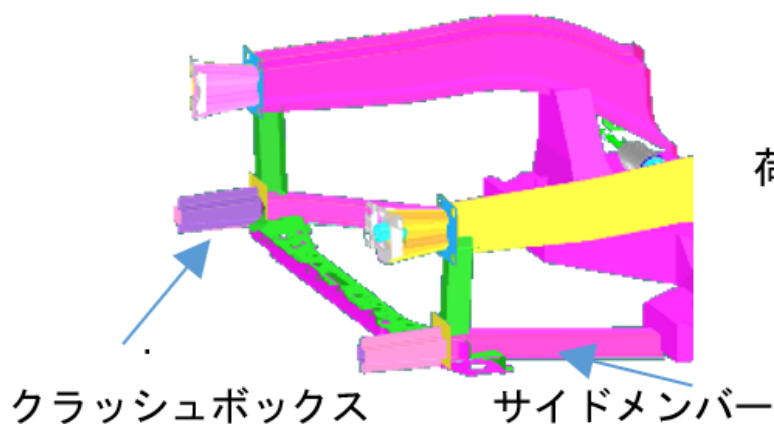
研究の背景

現行自動車のエネルギー吸収材（クラッシュボックス、サイドメンバー）の欠点

- ①初期ピーク荷重値が高い。
 - ②自らの嵩張りで自長の7割ほどしか変形しない。
- 落石防護柵も同様の課題

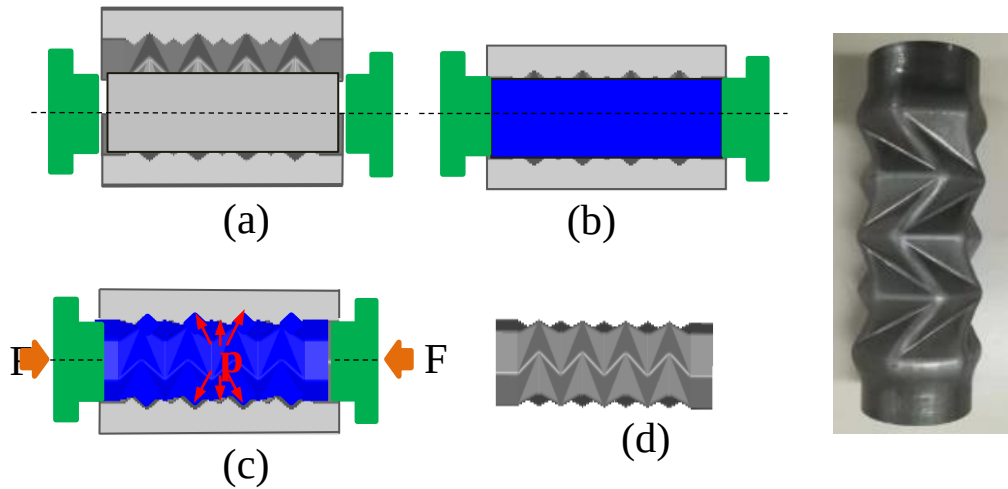


一節点6折折紙構造である反転螺旋折紙構造(RSO)で解決

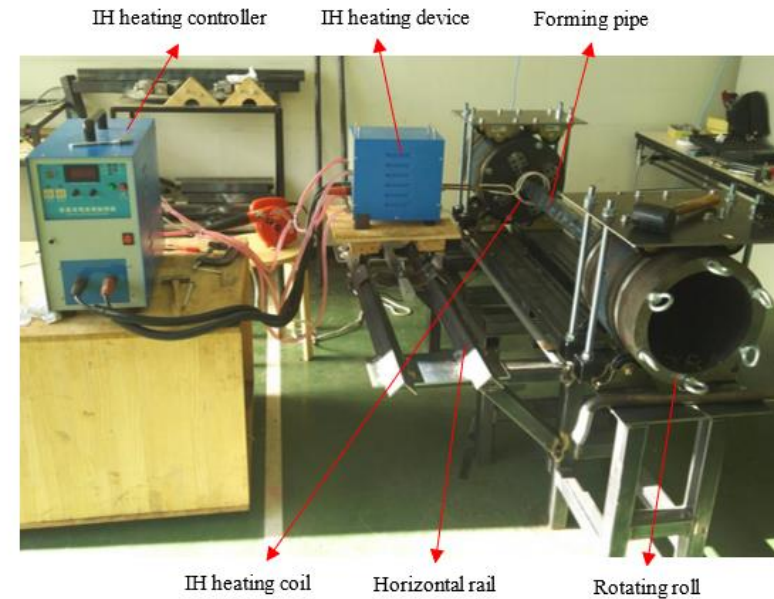


落石防護柵

RSOで解決したが、ハイドロフォーミングでは高価—部分加熱振り回転成形法で安価に製造

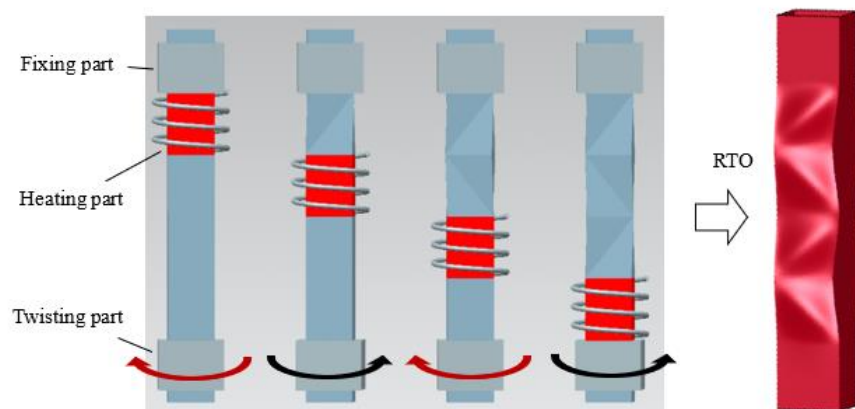


ハイドロフォーミング成形の流れと
それによって得られるRSO（右端）

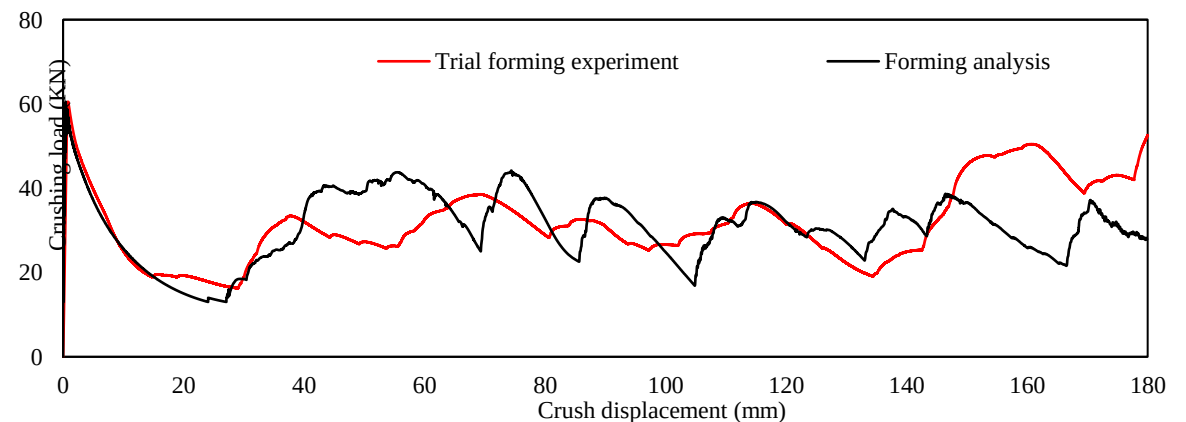


開発した部分加熱振り回転成形装置

部分加熱振り回転成形法で得られる反転ねじり折紙構造とその荷重—変位特性（実験、解析比較）



反転ねじり型折紙構造（RTO）



RSOやRTOでは1段の長さをいくらにするかが問題

定説: 断面や長さが同じ真直材の軸圧壊時の座屈モードの半波長長さを1段の長さにする

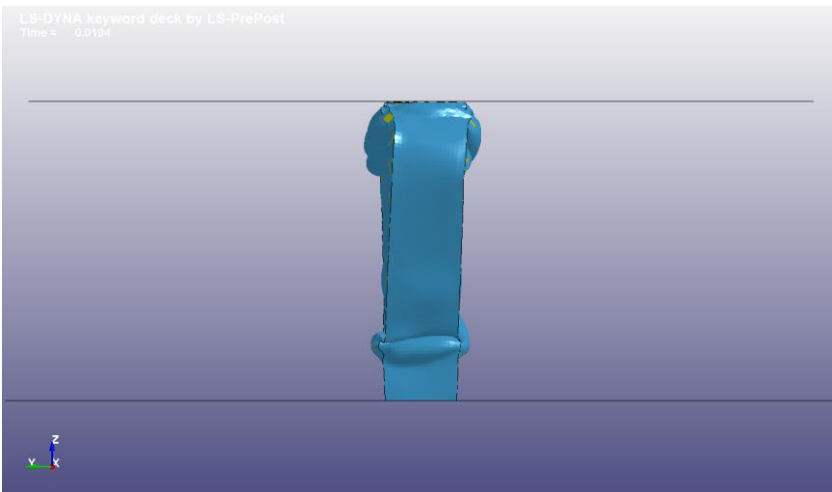
振り角5度の鋼材製RTOの特性を調べたところ、半波長で検討した場合

- ①の全長544.5mmでは②の6段、④の全長1000mmでは⑤の10段いずれもそれより段数が多い方
③、⑥の方が初期ピーク荷重値は低くエネルギー吸収量も多い
- ⑧、⑨は外側1.2mm,内側0.5mmの二重構造の真直材で、両者を結合するフォーム材を⑧は全長分、⑨は下端から半分の高さまで注入した
⑦の全長644.5mm単独の真直材に比し、重量は7割弱で⑧はエネルギー吸収量2倍、⑨は1.2倍でしかもピーク荷重値も下がっている
- ④、⑦の真直材単独の解析では折れ曲ったのでエネルギー吸収量は2ケース記している
(最初の数字: 解析値、後の数値: 理想的に潰れた場合の換算値) 真直材単独では既に全長644.5mmで不安定、RTOや真直材+フォーム材注入時はで全長1000mmでも安定

👉 今後は各段の非一様な長さの組合せ、フォーム材の特性や量を考慮する適切な最適化手法が必要

表 1 RTO、真直材、フォーム材入り真直材二重構造特性比較

①～⑦の板厚:2.3[mm] ⑧～⑨の外側板厚:1.2[mm],内側板厚:0.5[mm]	重量 [kg]	初期荷 重[kN]	エネルギー吸収量 [e+7Nmm]
① 544.5mm-真直材	3.57	193	2.9(変形量400mm)
② 544.5mm-RTO-振り角度5度-6段	3.57	178	2.4(変形量440mm)
③ 544.5mm-RTO-振り角度5度-9段	3.54	115	2.6(変形量440mm)
④ 1000mm-真直材	6.6	191	3.15(変形量390mm) 4.5(変形量730mm)
⑤ 1000mm-RTO-振り角度5度-h:90.75mm-N:10段	6.6	107	4.37(変形量790mm)
⑥ 1000mm-RTO-振り角度5度-h:60.5mm-N:16段	6.49	109	4.93(変形量790mm)
⑦ 644.5mm-真直材	4.3	193	2.72(変形量330mm) 3.36(変形量450mm)
⑧ 644.5mm-真直材(外)+真直材(内)+foam(100%)	2.9	206	6.9(変形量450mm)
⑨ 644.5mm-真直材(外)+真直材(内)+foam(50%)	2.9	173	4.2(変形量450mm)

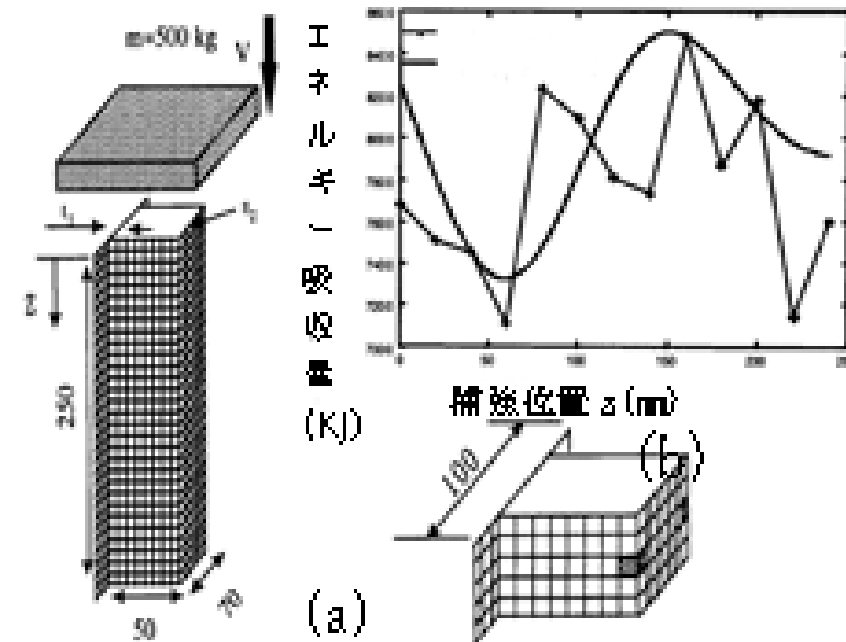
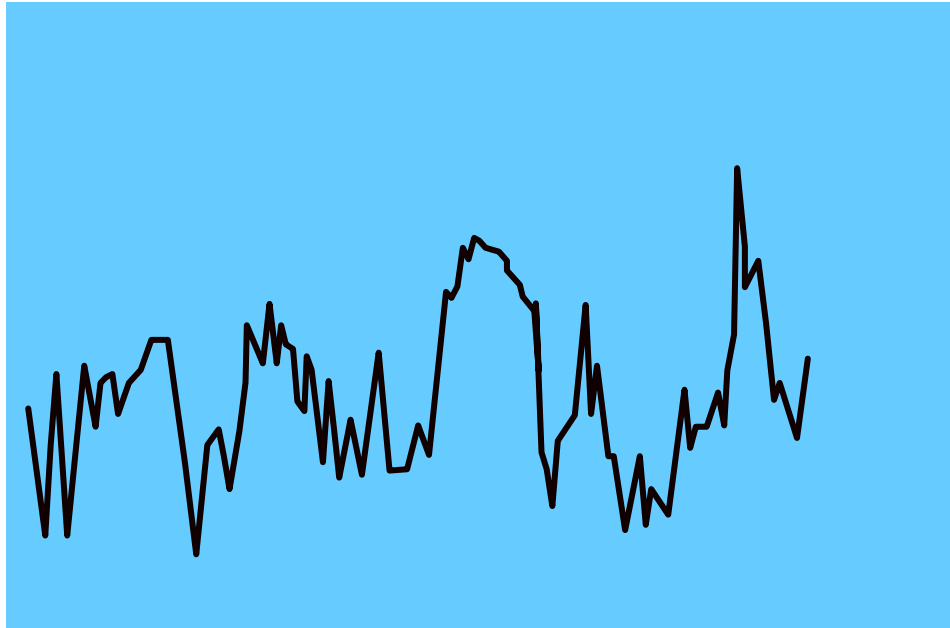


Case⑧のシミュレーションモデル

<https://youtu.be/arfNujNbVnM>

MPOD(Most Probable Optimal Design)

曲面応答法の利用例



MPOD

第1ステップ: 全領域の中でどこに最適値があるか (Most probable)を探し出す

第2ステップ: 最適値あたりの応答曲面の精度を高める

使用するHNN(Holographic Neural Network)は、研究室独自のもので、外挿能力を有することから、境界上に試行点を設ける必要がなく、本来、非線形問題は凸凹のある曲線となるが、そのような余計なものは追わず、極大点だけを目指す

現在の第3次AIブームを牽引するCNN(Convolutional Neural Network)ではとにかく多くのデータを用いるのに対し、MPODでは極大点あたりだけのデータを集めればよく、極めて効率の良い手法となる

お問い合わせ先 明治大学先端数理科学インスティテュート 阿部 綾 楊陽 萩原一郎
E-mail origamieng@gmail.com