

防撓構造の最終強度に及ぼす 初期不整および残留応力の影響の検討

大阪公立大学 工学研究科 航空宇宙海洋系専攻 海洋システム工学課程 生島
研究室 修士2回 武内 洋介

1. 背景
2. 基礎検討
3. 防撓パネル最終強度試験
4. 画像計測による照合結果
5. 防撓パネル試験体での検討
6. 今後の予定

背景

船舶は貿易で重要な役割を担っており、物資の輸送に限らず、**航行中の安全性**は極めて重要



構造の安全性を担保するためには、**構造としての最終強度**について事前に検討する必要

溶接によって発生する**初期不整**や**残留応力**などが影響



船体の最終強度を高精度に解析するにあたっては、**溶接変形**および**残留応力**の影響を考慮する必要がある



画像元: <http://www.jeis.or.jp/>

事故の例: 2020年7月 モーリシャス沖



画像元: <https://www.iza.ne.jp/article/20200817-6EXQFYZIBBPS7MFGMYF7FKMQVY/>

本研究

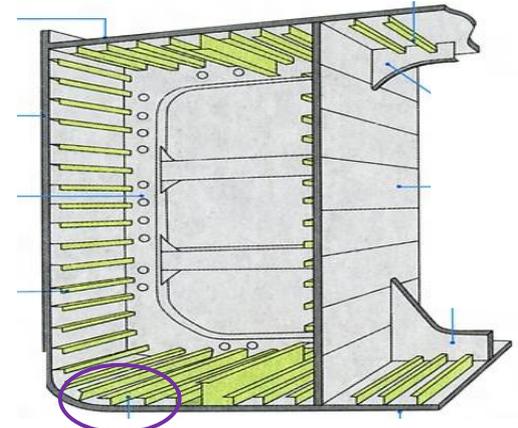
船体構造においてよく使用される形式である防撓構造を使用



防撓構造を組立てる際の溶接に伴って初期不整や残留応力



理想化陽解法FEMによる構造の最終強度解析



<https://kotobank.jp/image/dictionary/nipponica/media/81306024011850.jpg>



基礎試験体および船体模擬試験体を用いた実験を行い、解析結果と実験結果を比較することで最終強度に対する組立工程の影響について検討する。

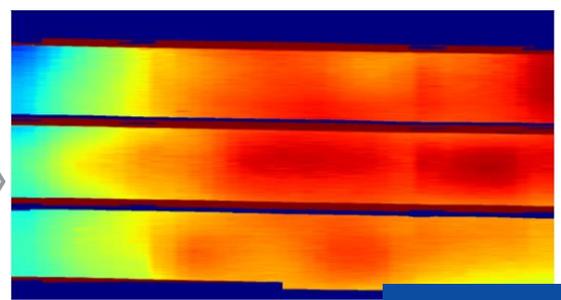
本研究の実施内容

最終強度試験の流れ

防撓パネルの製作



初期たわみの計測



最終強度試験
→海技研で実施



有限要素解析と比較



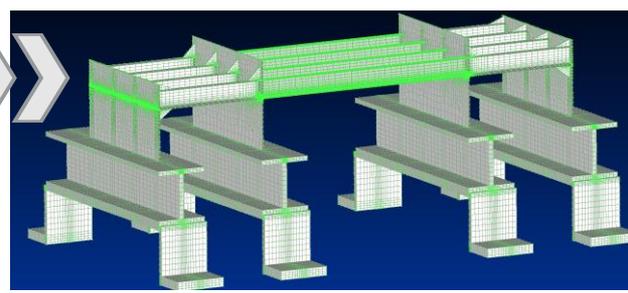
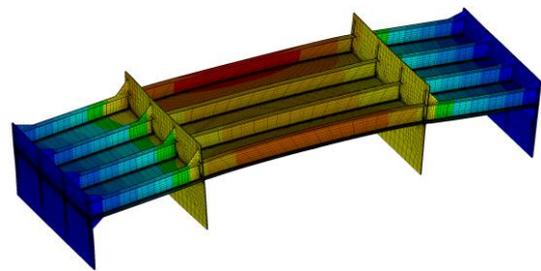
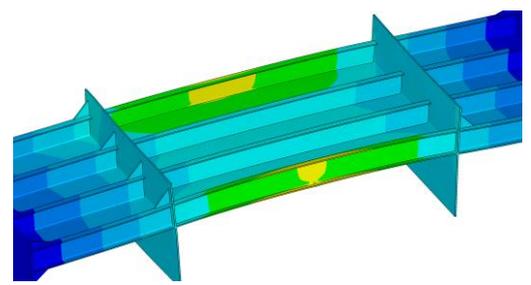
計測結果の
解析も必要



熱弾塑性解析

解析結果との比較

弾塑性解析との比較



溶接変形・残留応力の影響をそれぞれ分離して検討する

防撓パネル試験体の溶接組み立てと変形

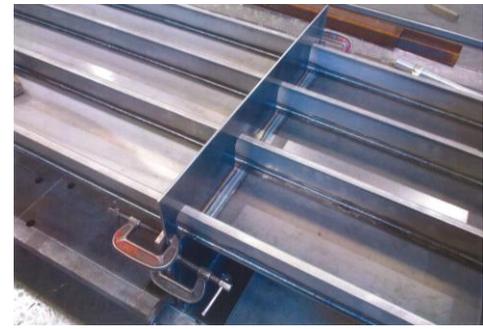
試験体製造工程



ロンジ材の溶接



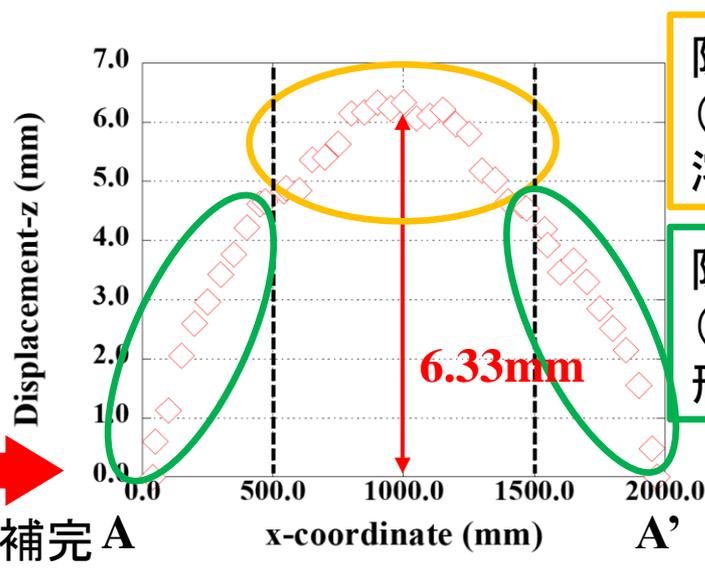
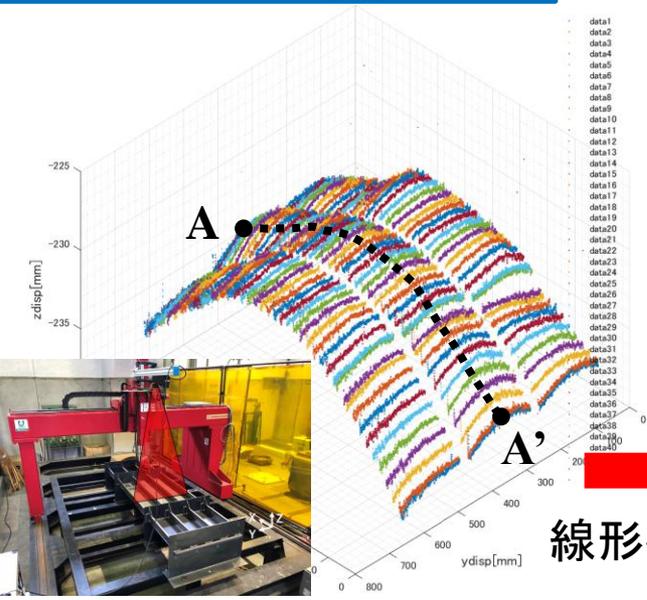
トランス材下部の溶接



トランス材上部の溶接

組み立ての際の溶接変形

レーザー変位計を用いて試験体の変位分布を計測



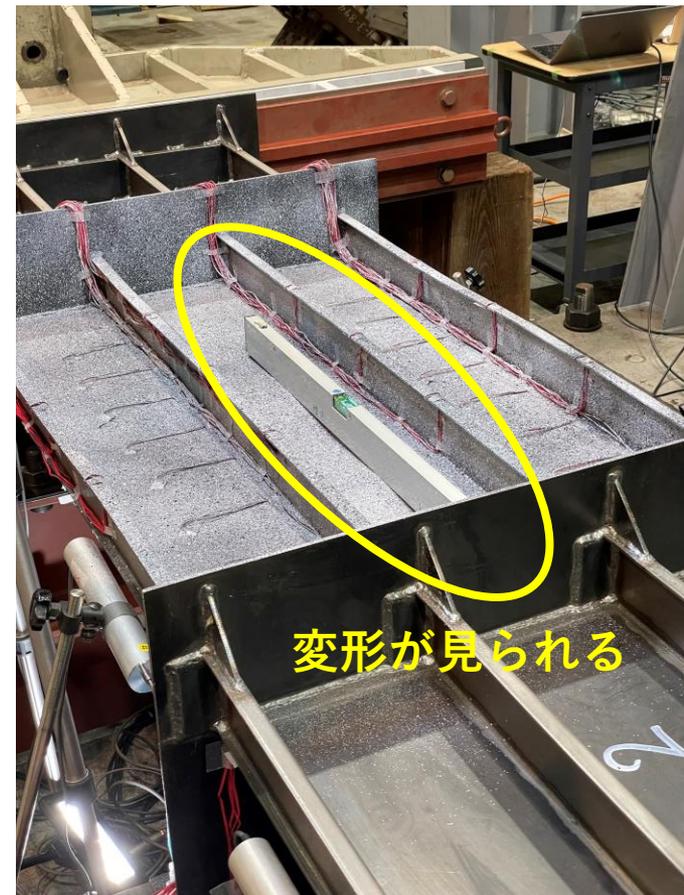
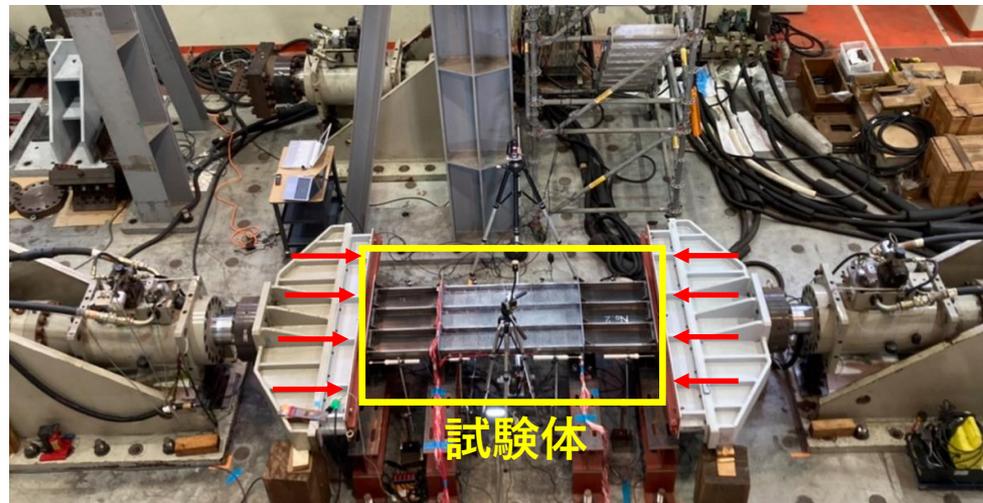
防撓パネルの中央部分 (板厚3.2mm部分) で大きな溶接変形が見られる

防撓パネルの両端部分 (板厚4.5mm部分) では線形形状の変位が見られる

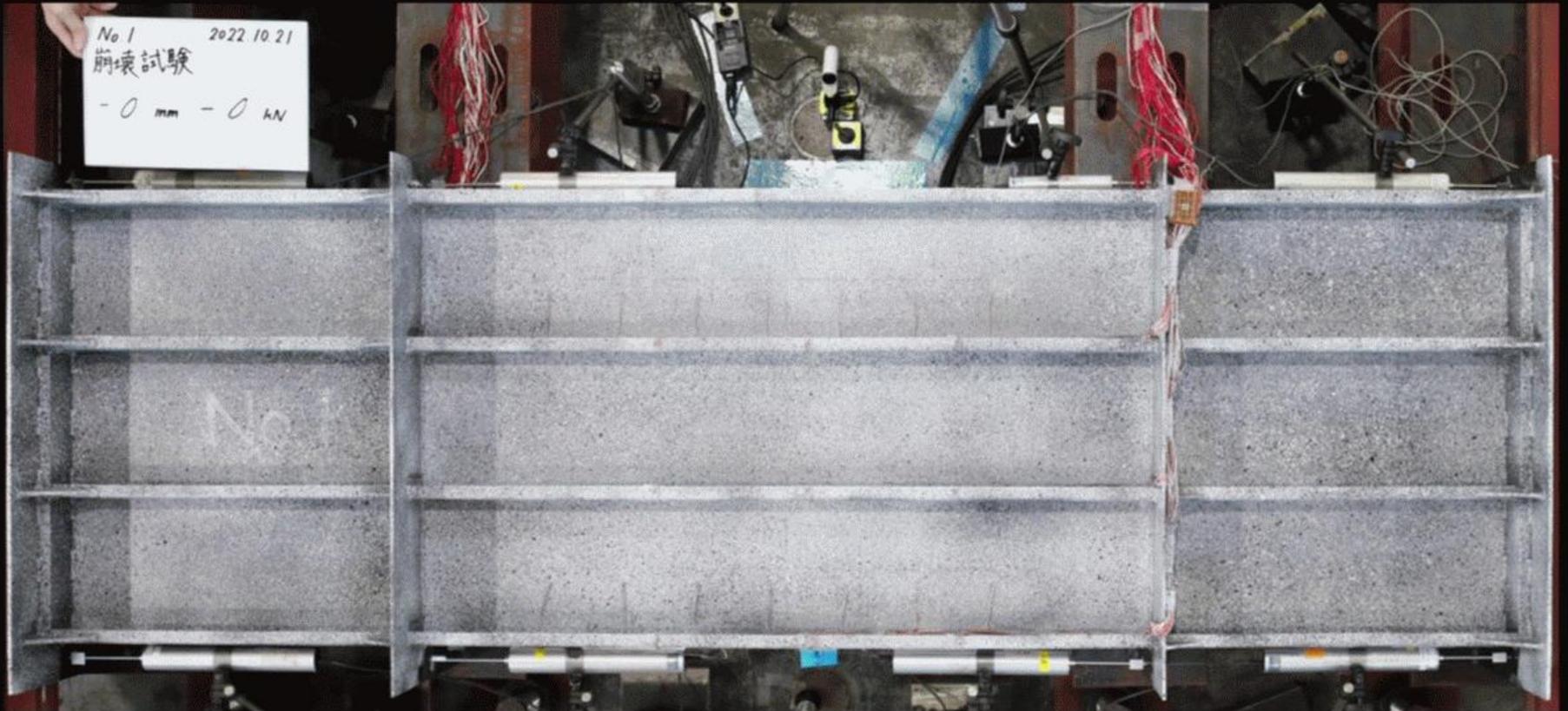
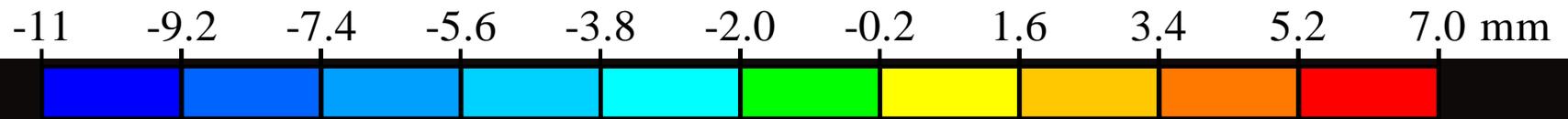
変位の最大部と最小部で6.33mmの差

防撓パネル試験体の崩壊試験

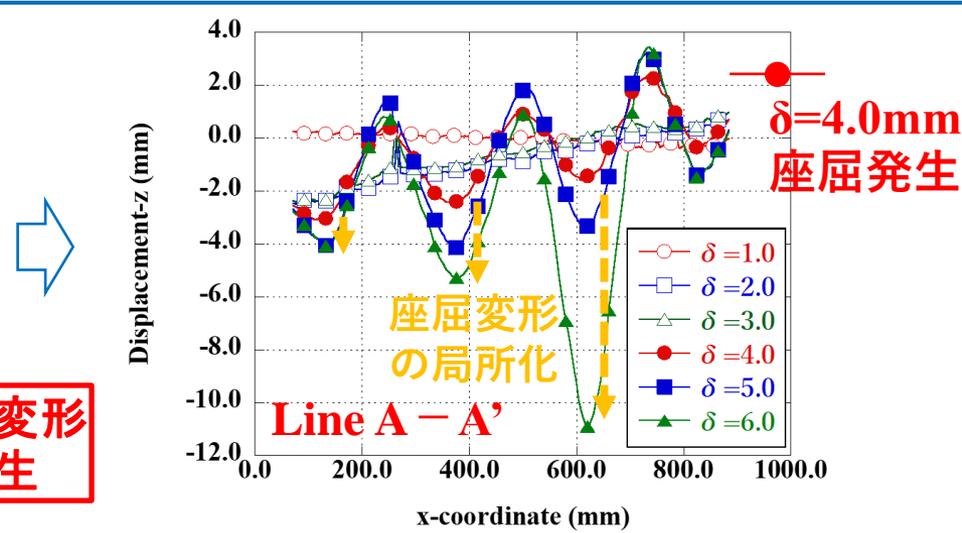
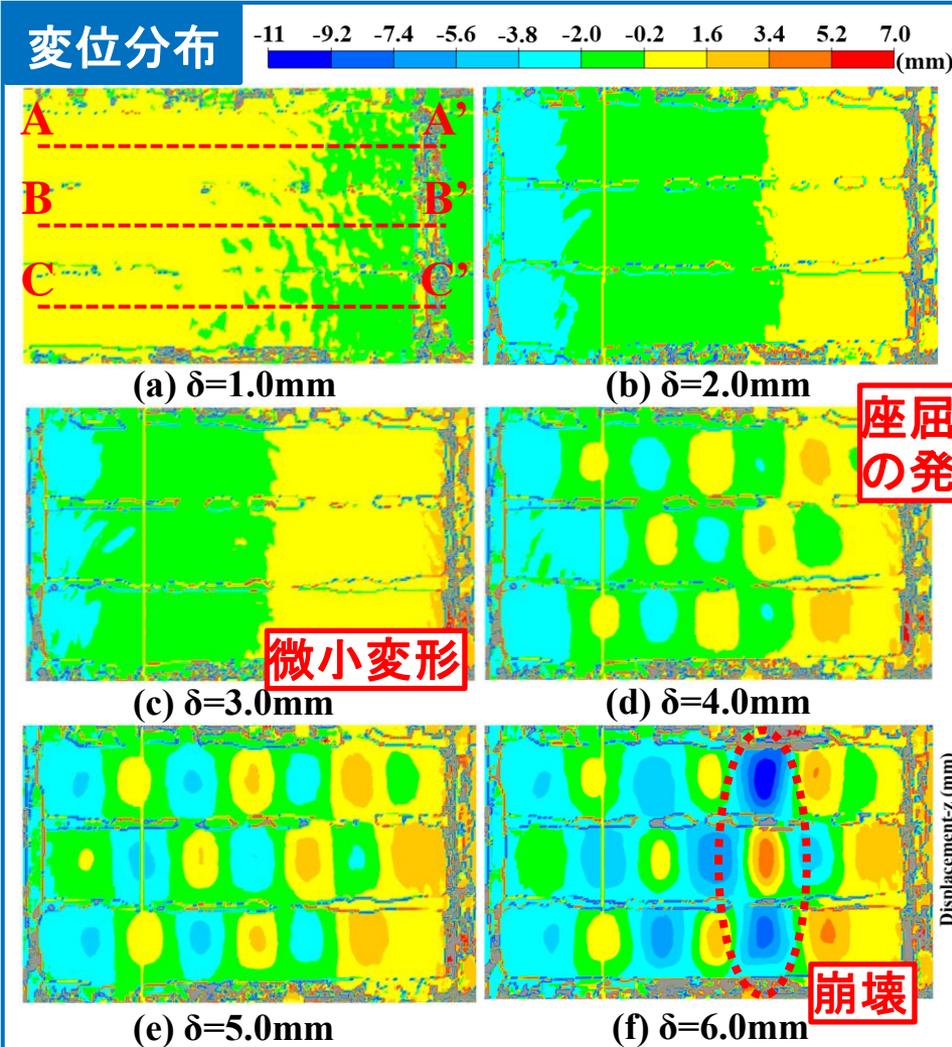
防撓パネルの最終強度試験の様子@海洋技術安全研究所



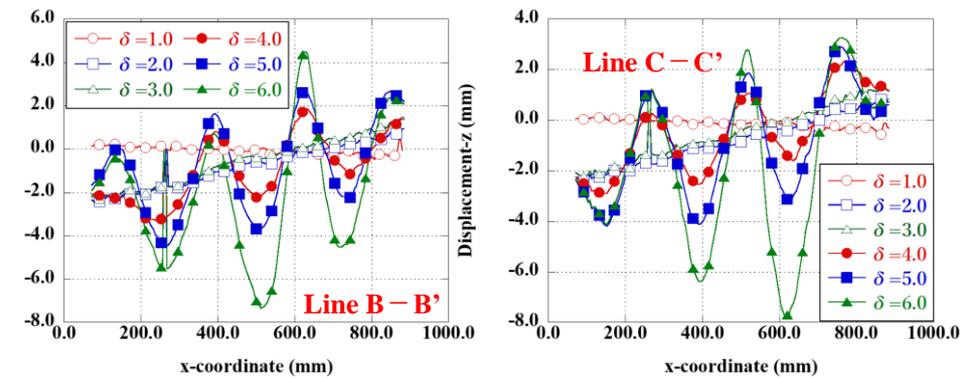
防撓パネルの最終強度試験



ステレオ画像法を用いた面外方向変位分布



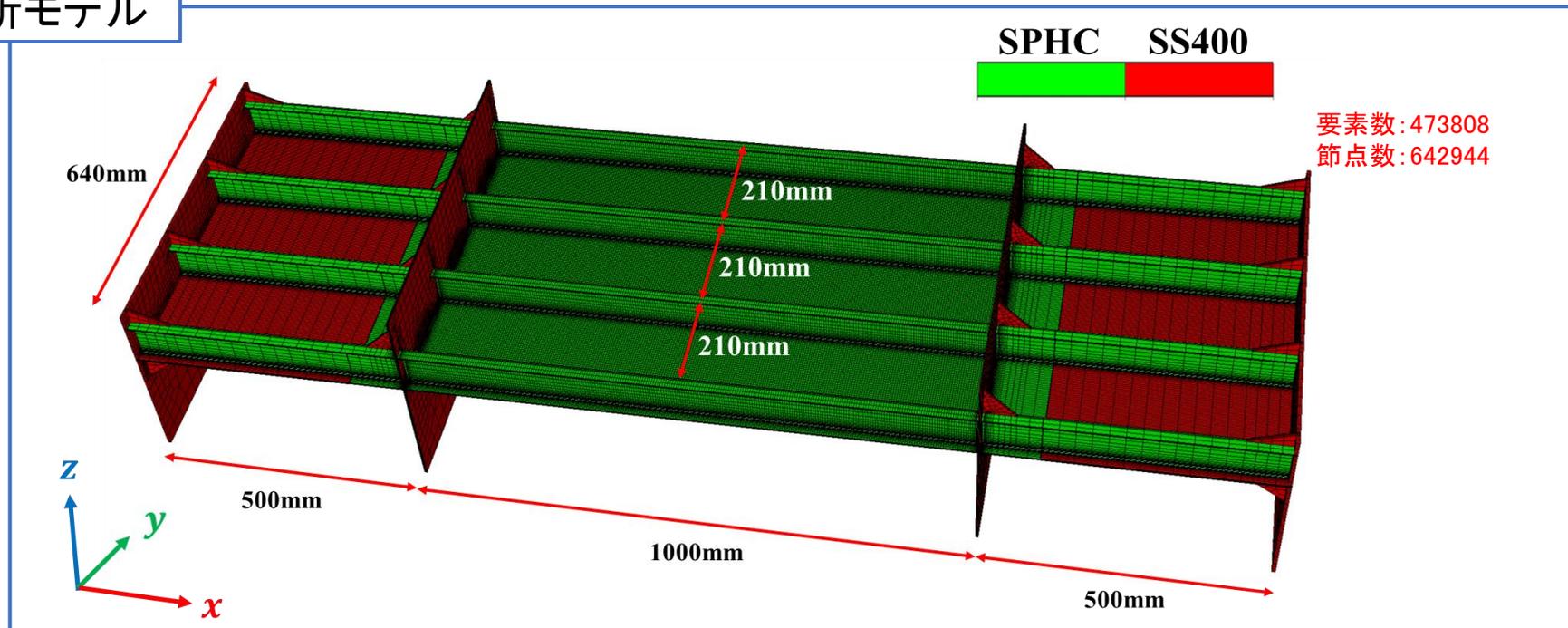
座屈変形の発生 → 局所化 → 崩壊



押し込み量 $\delta=4.0\text{mm}$ で座屈変形発生、押し込み量 $\delta=6.0\text{mm}$ で $x=600\text{mm}$ 付近で崩壊

防撓パネル試験体の溶接解析

解析モデル

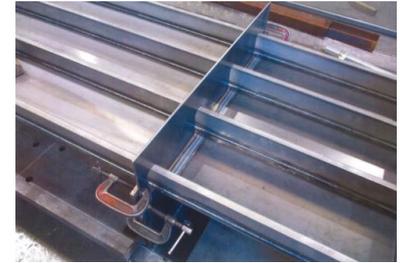
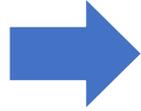


解析条件

	溶接棒	脚長	電流	電圧	溶接速度	溶接効率
case①	無	1mm	130A	11.3V	3.3333mm/s	0.7
case②	Φ1.6	2mm	135A	12.0V	3.6364mm/s	0.7
case③	Φ1.6	3mm	145A	12.6V	4.0000mm/s	0.7

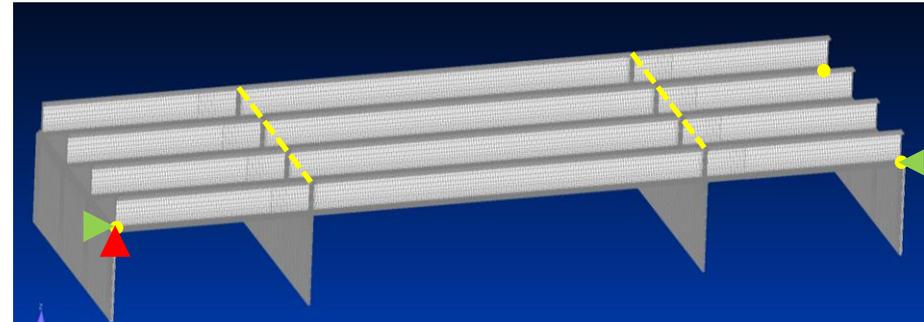
溶接解析

試験体製造工程と解析順序



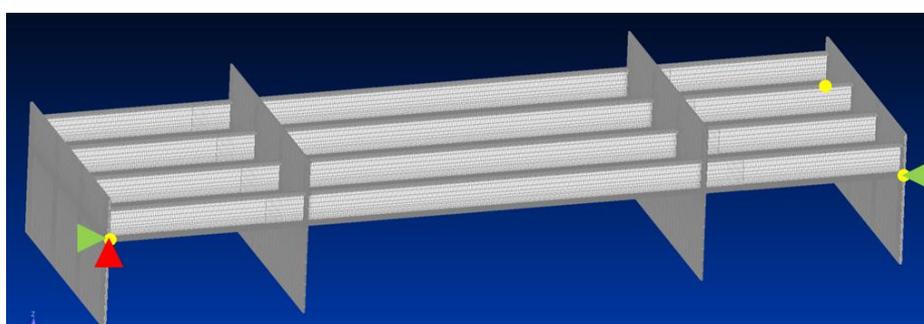
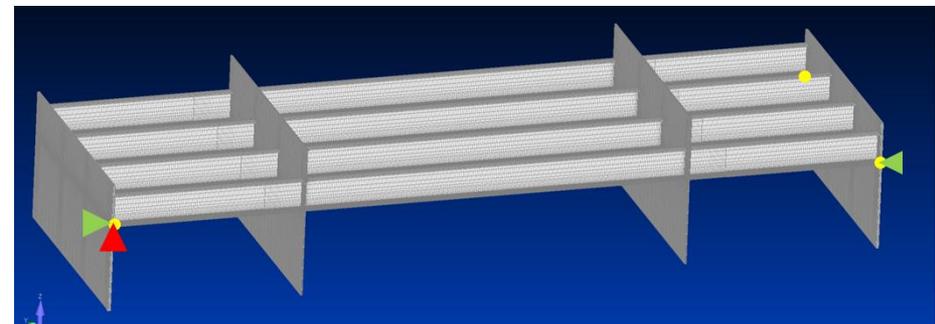
① 下図の拘束条件でロング材の溶接を行う

② トランス材下部の溶接の溶接を行う

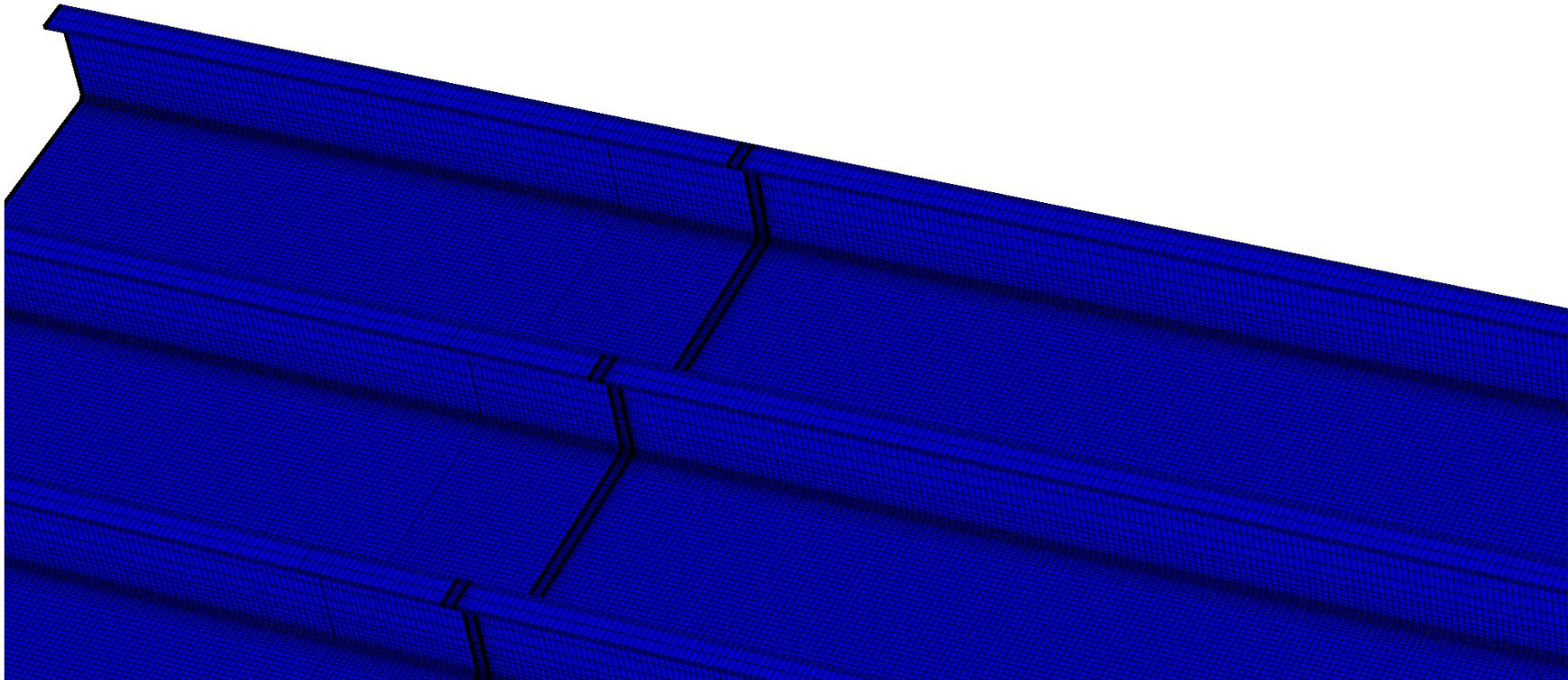


③ フランジの拘束を外す

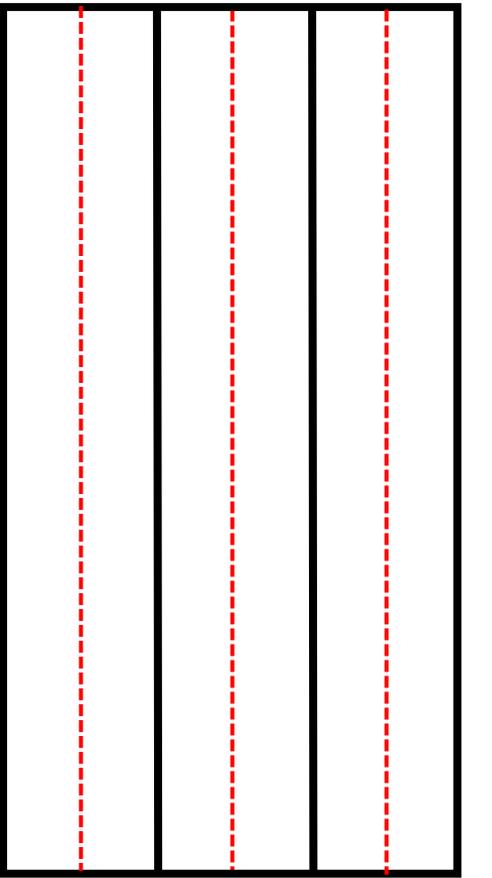
④ トランス材上部の溶接の溶接を行う



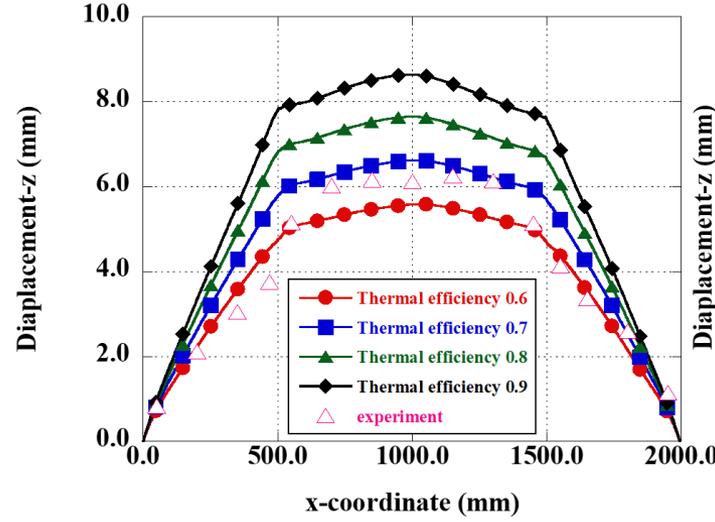
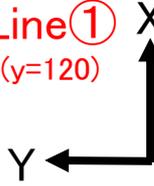
溶接解析



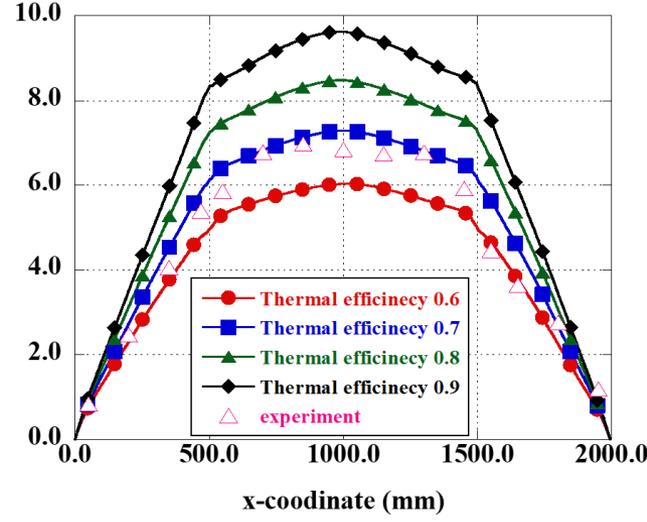
実験値との比較



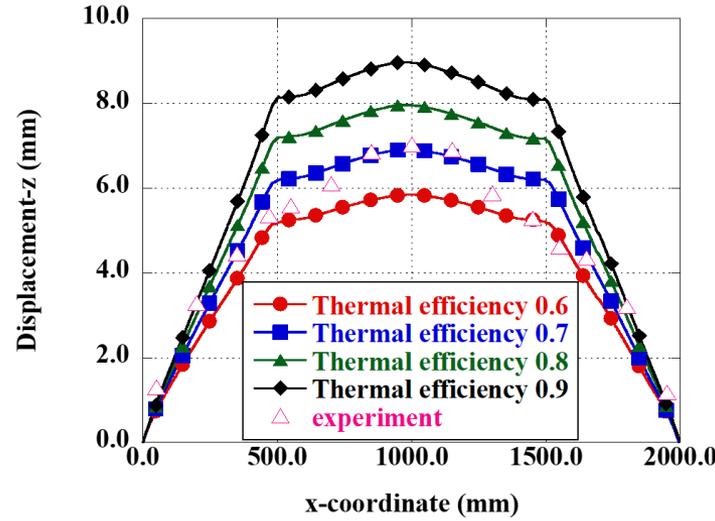
Line③ (y=520) Line② (y=320) Line① (y=120)



Line① (y=120)



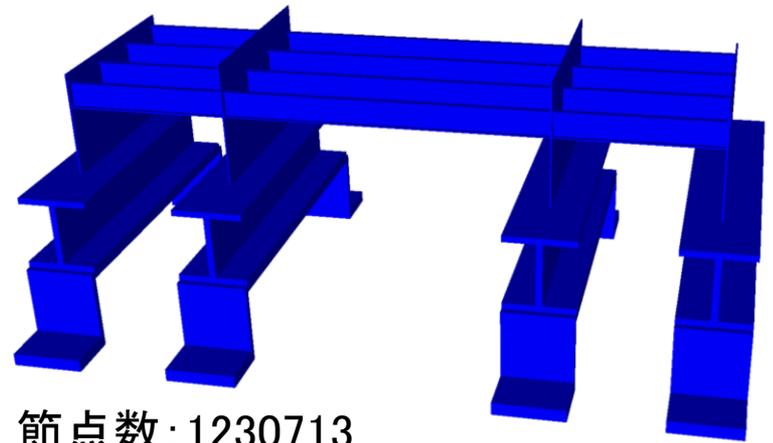
Line③ (y=520)



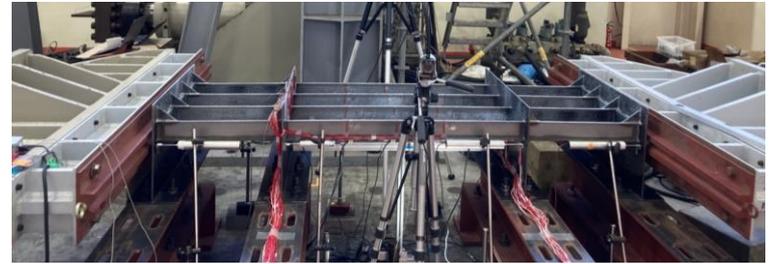
Line② (y=320)

防撓パネルの最終強度解析

モデル

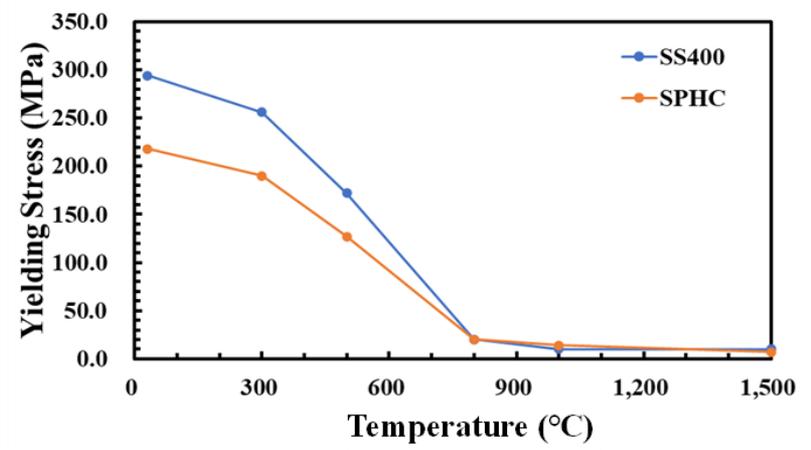
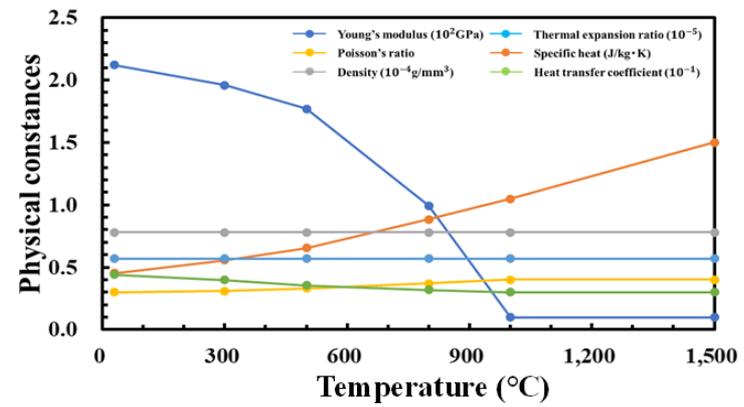


節点数: 1230713
要素数: 1038832



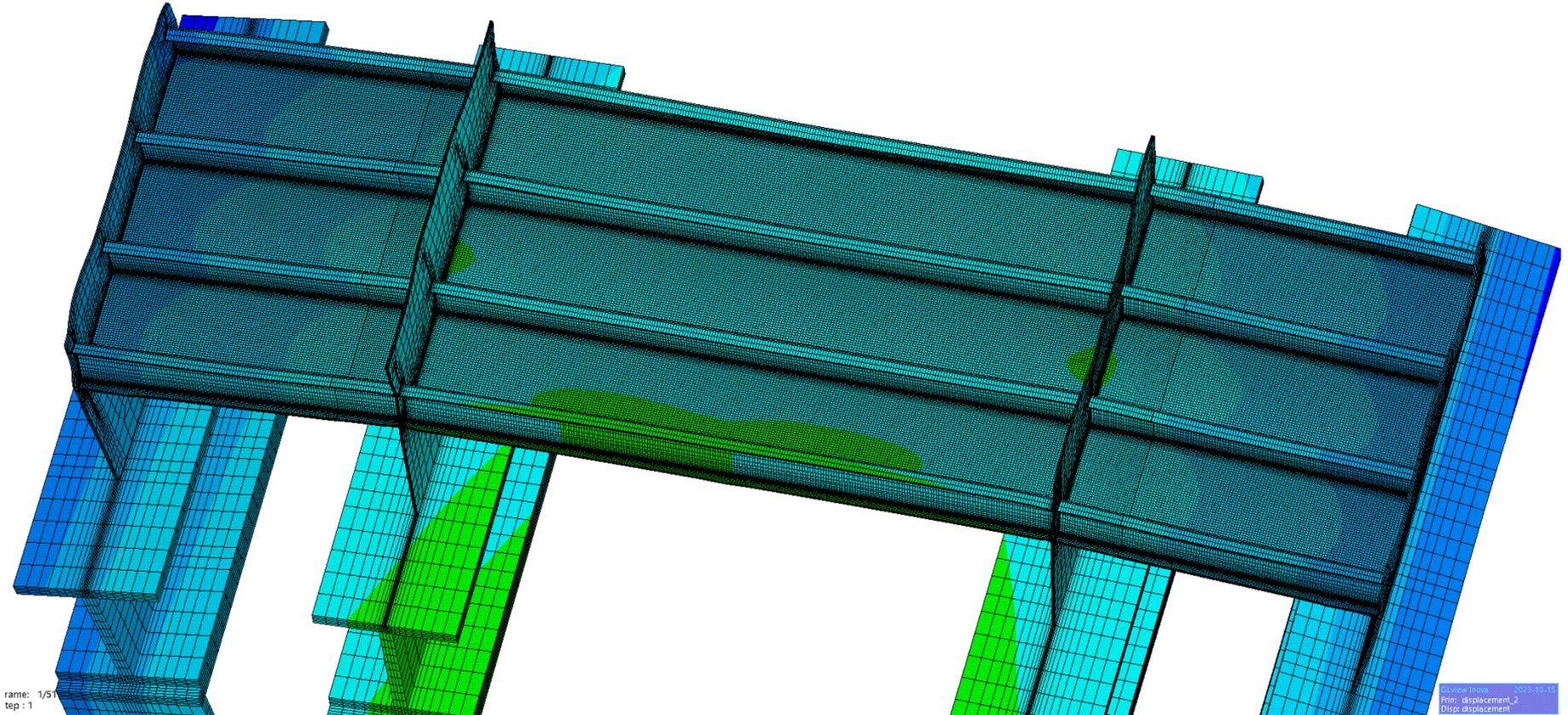
	δ : displacement per 1step	step
$x = 0$	0.002mm	1000
$x = 1200$	-0.002mm	1000

材料定数



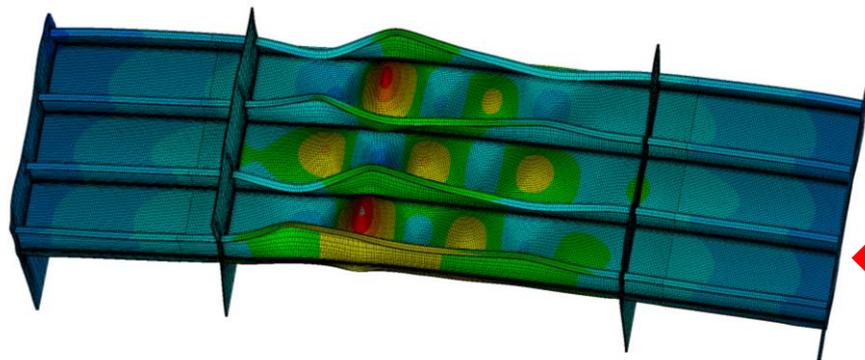
防撓パネルの最終強度解析

最終強度解析の様子

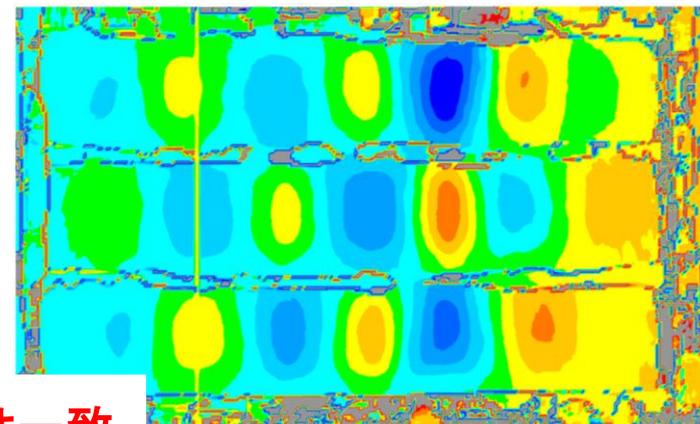
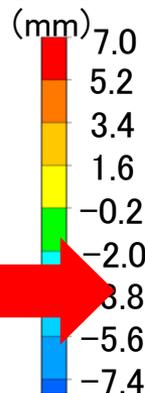


防撓パネルの最終強度解析

面外方向変位

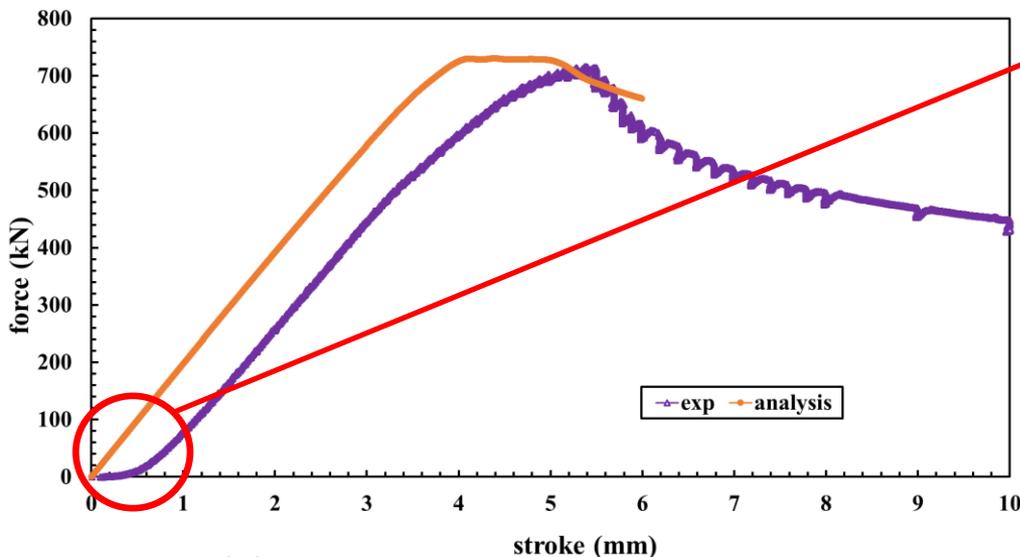


押し込み量3.0mm



座屈モードの傾向は一致

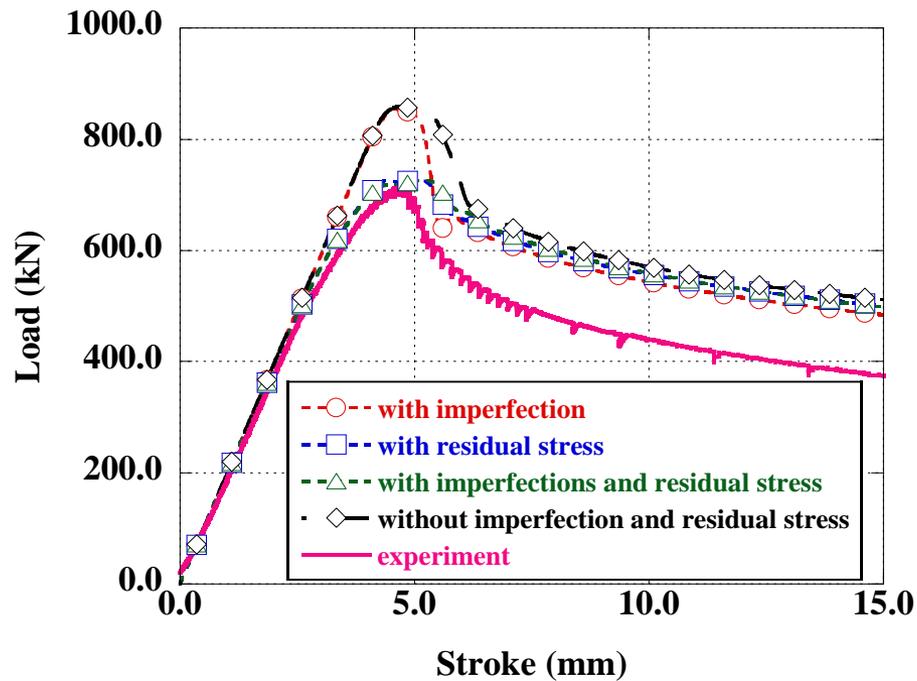
荷重ストローク線図



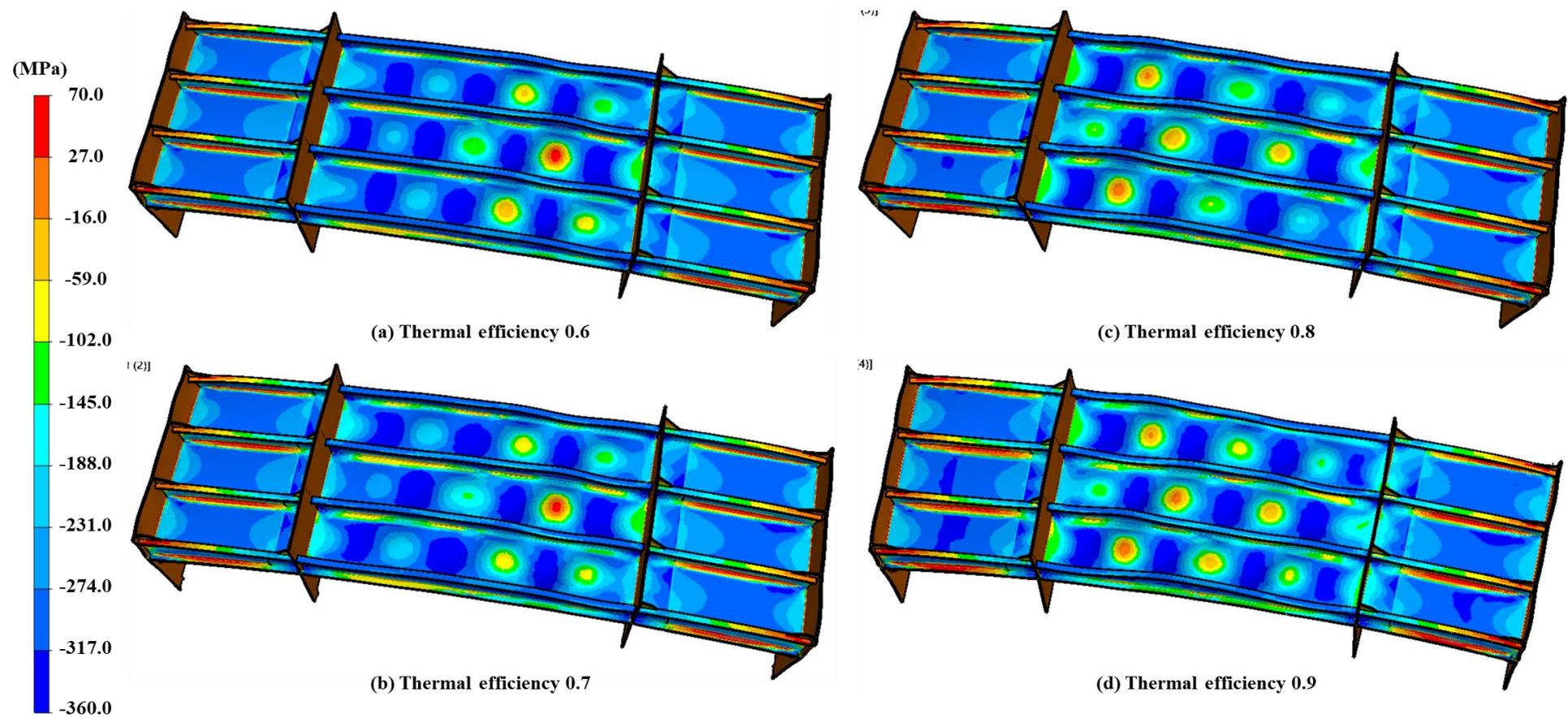
実験の際、試験体と圧縮機がかみ合うまでの区間と考えられる

荷重ストローク線図において、
・弾性領域における傾き
・最終強度の値
のおおよそ一致を確認

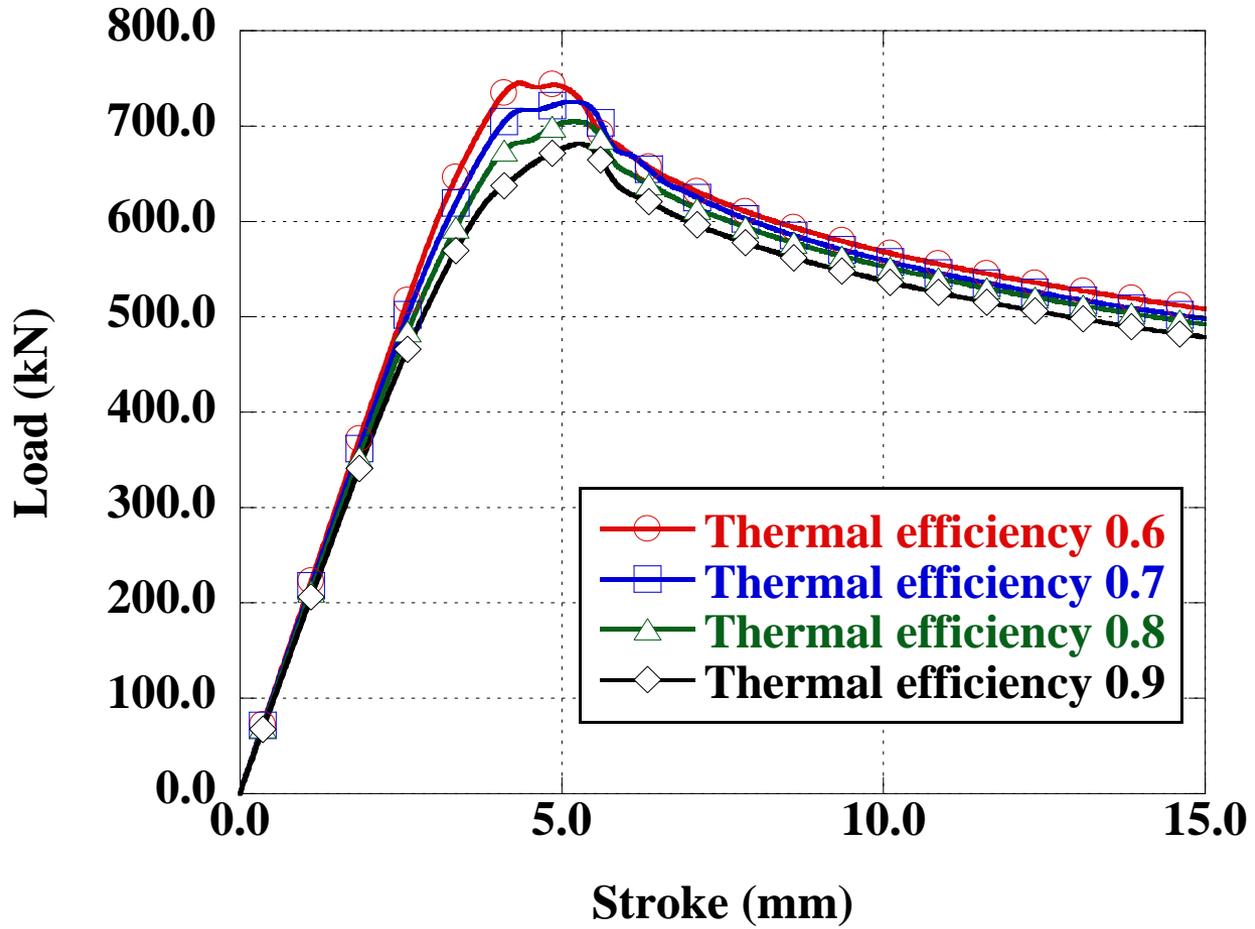
防撓パネルの最終強度解析



溶接条件を変更した際の最終強度



溶接条件を変更した際の最終強度



結言

本研究では、船体構造においてよく使用される形式である防撓構造を考え、最終強度に及ぼす溶接組み立ての影響について検討した。実際に防撓パネル試験体を溶接により製作し、崩壊試験を行うことで計測した最終強度と、理想化陽解法FEMを用いた溶接解析および最終強度解析を行った結果との比較を通して解析の妥当性の検証を行った。さらに、溶接の際の入熱量を変化させることで、溶接組み立ての影響が最終強度に及ぼす影響について検討した。以上の検討より得られた結果を以下に示す。

1. 溶接を行う際の溶接条件として入熱量や溶接速度が挙げられるが、入熱量が変化した時は構造の溶接変形・残留応力に変化が見られたが、溶接速度が変化しても入熱量が変化しない限り、入熱部分の溶け込み形状に変化がなく、溶接変形・残留応力に大きな影響を与えないと結論付けた。
2. 構造の最終強度に及ぼす要因として溶接変形・残留応力が考えられるが、本研究の基礎研究で使用したT継手モデルにおいては、溶接変形・残留応力ともに影響したが、残留応力による影響が支配的であった。
3. 溶接組み立てを行った防撓パネル試験体の崩壊試験において、ステレオ画像法を用いて変位分布を求めた。その結果、押し込み量が4.0mm付近で座屈変形が現れ、押し込み量をさらに大きくすると、変形の局所化が起こり、崩壊に至った。
4. 溶接組み立てを行った防撓パネル試験体に対して、レーザー変位計を用いて計測した溶接変形の傾向と、理想化陽解法FEMを用いて行った溶接解析の結果を比較すると、熱効率の値が0.7のものと実験結果の傾向がおおよそ一致することが確認できた。
5. 崩壊試験による最終強度の値と理想化陽解法FEMを用いた最終強度解析による最終強度の値がおおよそ一致していることから、理想化陽解法FEMを用いた解析によって妥当な結果を得られることが確認できた。
6. 溶接組み立てによる溶接変形・残留応力は構造の最終強度に影響を与え、その影響は残留応力の影響の方が支配的である。溶接の入熱量の増加に伴い、初期不整・残留応力が大きくなるので、最終強度が低下する可能性があることを示した。