

構造物の溶接座屈の発生と その除去に関する数値解析的検討

Numerical Analysis on Generation and Straightening
of Buckling Deformation due to Welding

大阪府立大学 工学域 機械系学類

海洋システム工学課程 生島研究室

学域4回生 諏訪部圭夏

(指導教員 : 生島一樹)

2024/2/14(水)

大阪府立大学 卒業論文発表会

座屈(Buckling)

圧縮応力がかかったときに大たわみが突然生じる現象



・細長い棒, 薄い板
で発生しやすい

溶接による座屈

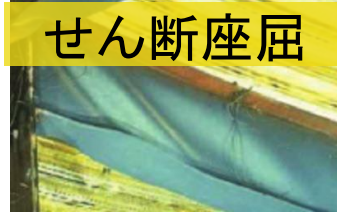
・鋼板の局所加熱によって発生した
残留応力が原因となる座屈



曲げ座屈



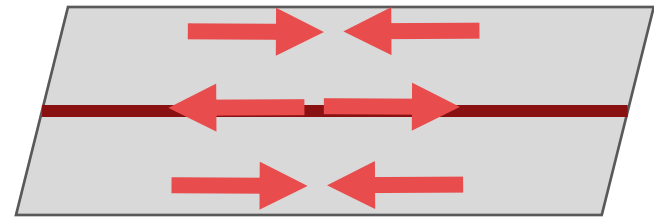
捩れ座屈



せん断座屈

Component-Based Model of Buckling Panels of Steel Beams at Elevated, Guan Quan, Shan-Shan Huang, Ian Burgess

座屈基礎講座, 土木学会
鋼構造委員会, 北田俊行



強度・組み立て精度が低下する

座屈防止の先行事例

- ◆ 入熱量 Q と板厚 h が $\frac{Q}{h^2} < 10 (J/mm^3)$ となる溶接条件を定める
- ◆ 溶接線を断続的に配置し入熱量を減らす
- ◆ 曲げ剛性が大きくなるように断面形状を工夫する(スティフナをつけるなど)

微小な溶接変形の対策

- ◆ プレスする
- ◆ 溶接部をハンマーで叩いて延ばす
- ◆ 適切な位置を加熱し全体の変形を調整する
→座屈では実用化されていない

座屈予防・微小変形の対策に関する知見はあるが
座屈の除去方法はあまり検討されていない

研究目標

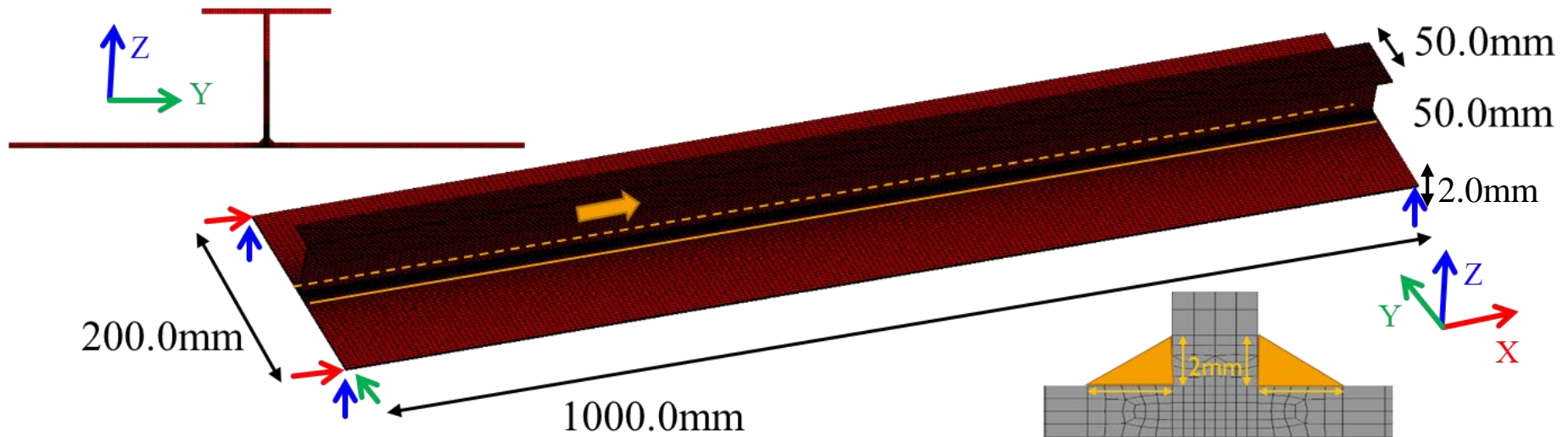
溶接座屈発生条件の検討
座屈発生後の変形除去の検討

発表内容

1. 解析モデル
2. 解析上の座屈現象の確認
3. 座屈除去方法
焼鈍を模擬した全体加熱
強制引張
4. 結言

座屈発生の観点から、溶接線の長い簡易なモデルで解析

モデル寸法



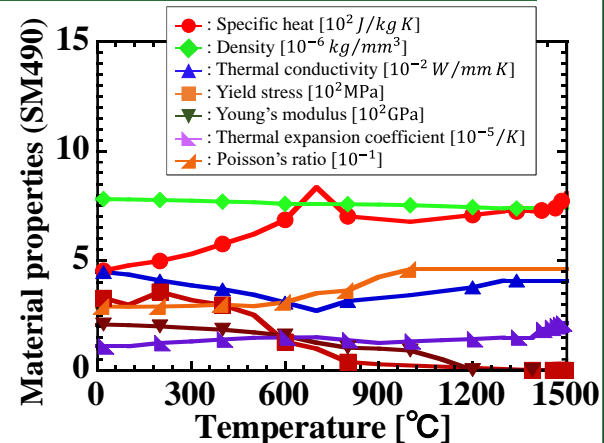
シリーズ計算：入熱量

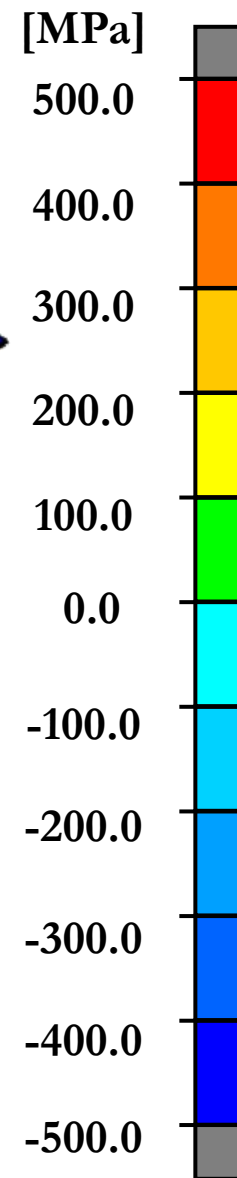
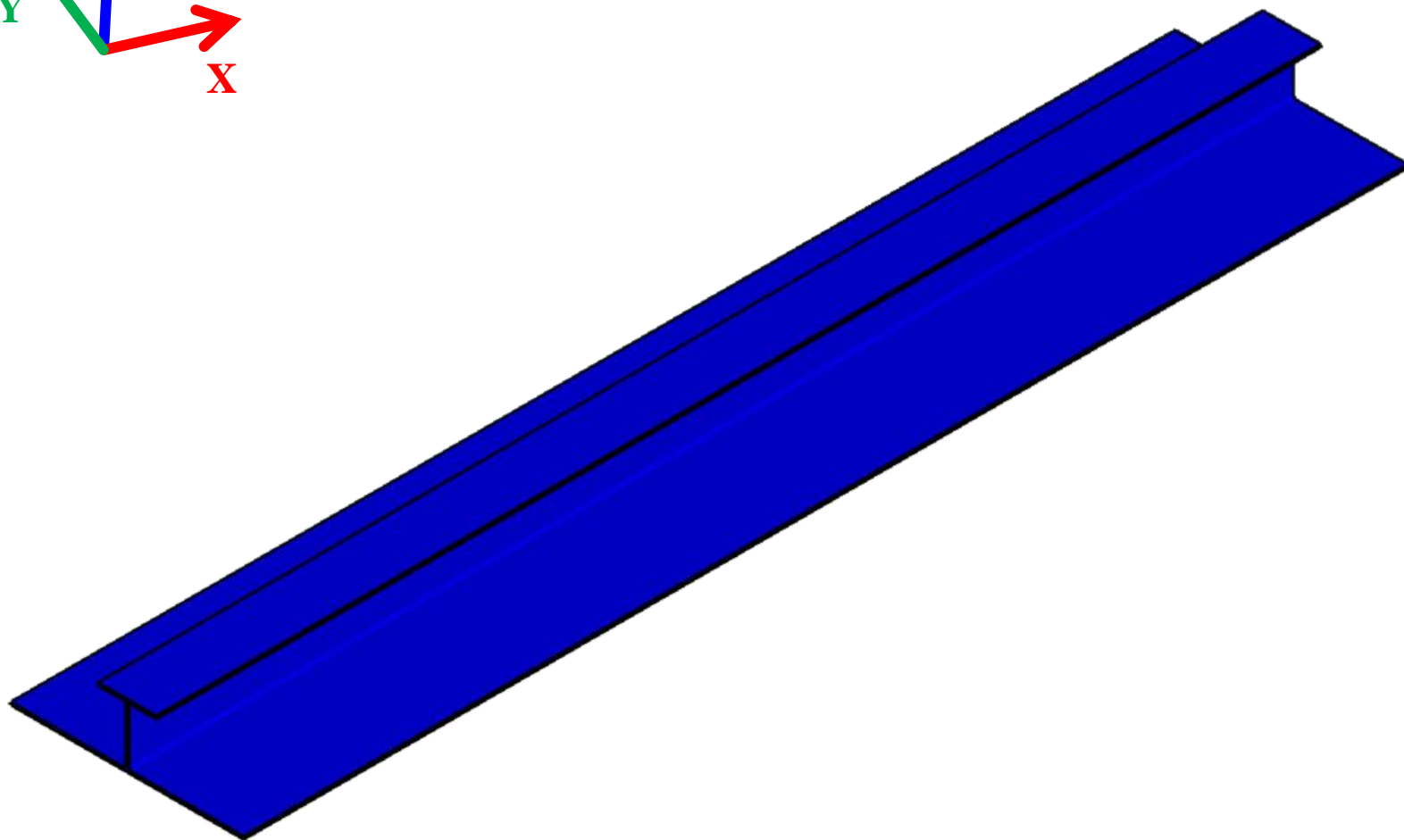
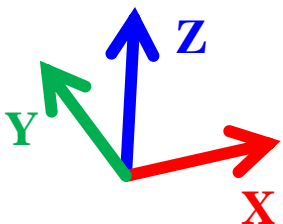
50.0 J/mm	300.0 J/mm
100.0 J/mm	400.0 J/mm
150.0 J/mm	500.0 J/mm
200.0 J/mm	600.0 J/mm
250.0 J/mm	

一般的な入熱量は
約250 J/mm以下とされる

座屈現象の特徴を把握するため
極端な入熱も行った

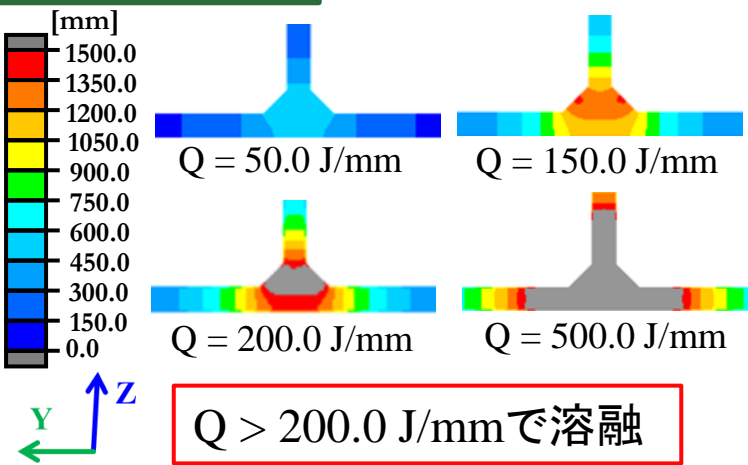
材料定数 (SM490A)



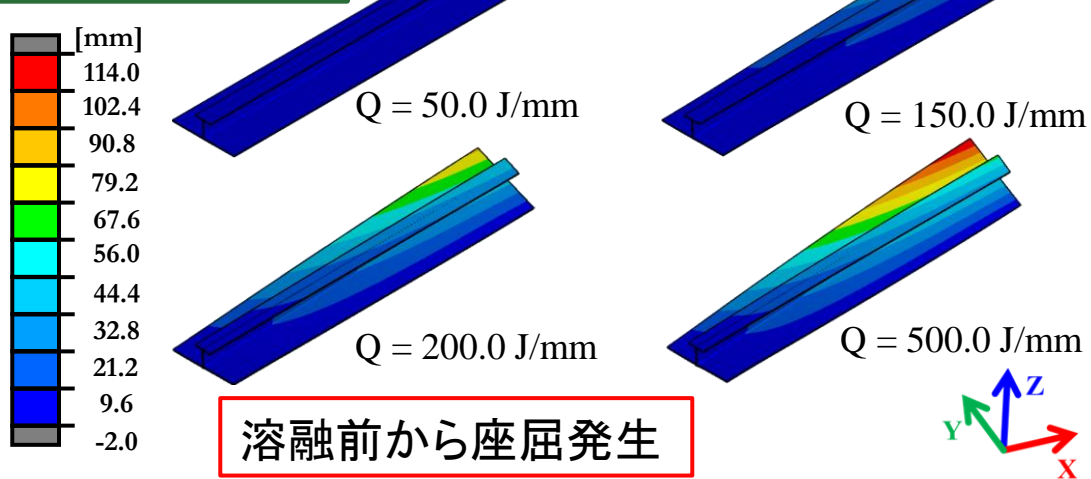


$$Q = 200.0 \text{ J/mm}$$

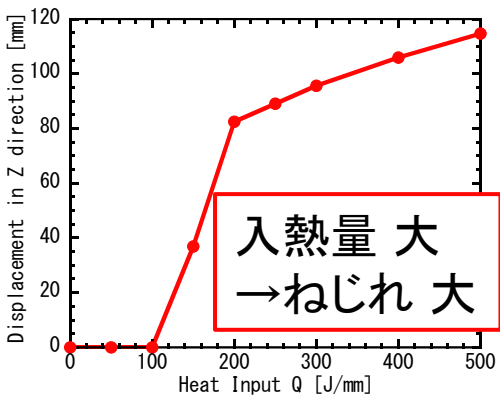
最高到達温度



Z方向変位分布

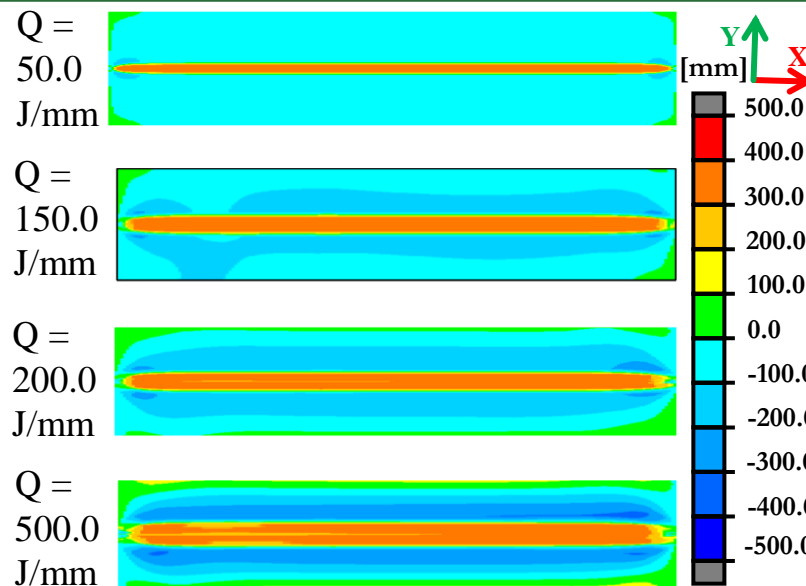


下板のZ方向最大変位



X方向残留応力分布

Q が大
↓
溶接部の引張残留
応力大
↓
断面内の力のつり合い
より、圧縮残留応力也大



入熱量が増加すると座屈変形量が増加する

研究目標

溶接座屈発生条件の検討
座屈発生後の変形除去の検討

発表内容

1. 解析モデル
2. 解析上の座屈現象の確認
3. 座屈除去方法
焼鈍を模擬した全体加熱
強制引張
4. 結言

変形除去の手法について

微小変形の除去

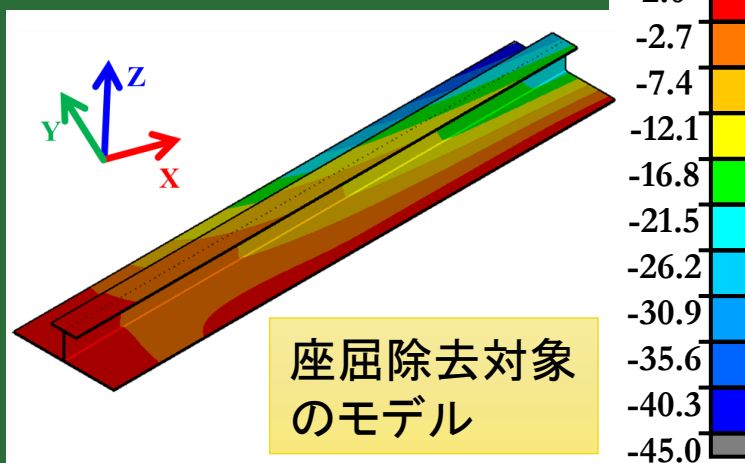
- ・局所加熱(線状加熱)
- ・局所加圧(ピーニング, プレスなど)

同様のアプローチでは加熱・加圧条件を見つけるのが困難

座屈変形除去

- ・焼鈍
- ・強制引張

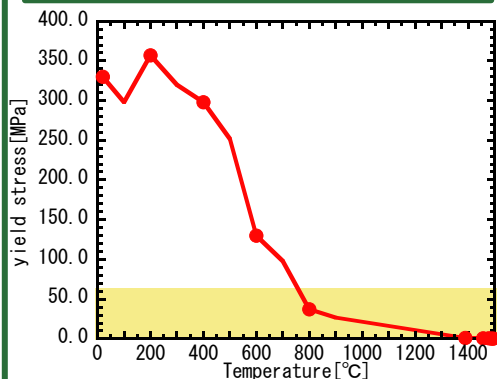
除去前のZ方向変位分布



焼鈍とは

一定温度を保つ炉内で金属を加熱し、内部の応力を取り除くこと

降伏応力の温度依存性



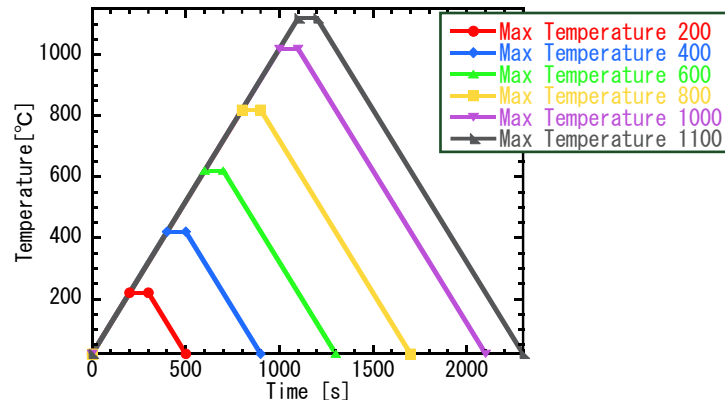
降伏応力の低下によって
力学的溶融状態になる



残留応力開放・座屈低減

温度サイクル

1.0°C/secで加熱・冷却
部材全体を均一に加熱

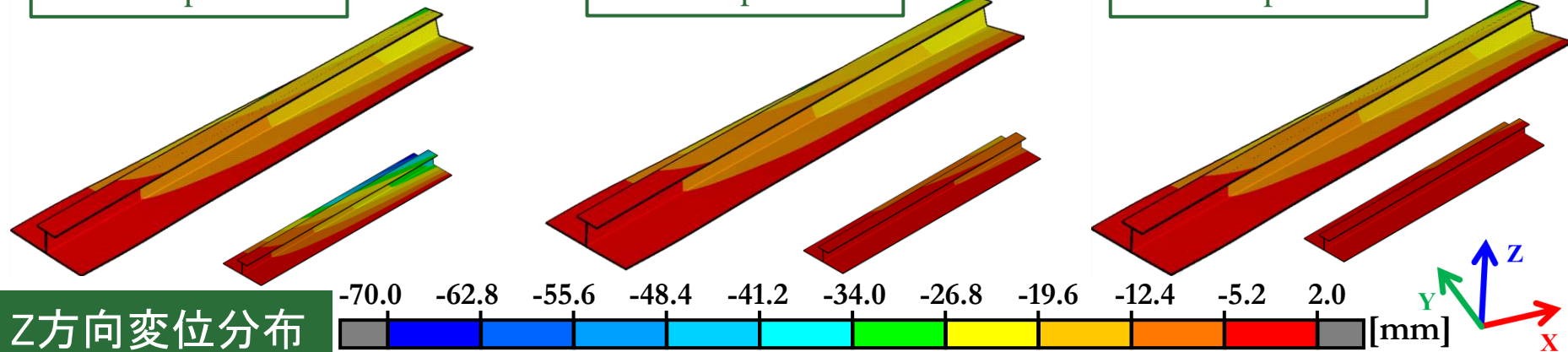


焼鈍を模した全体加熱

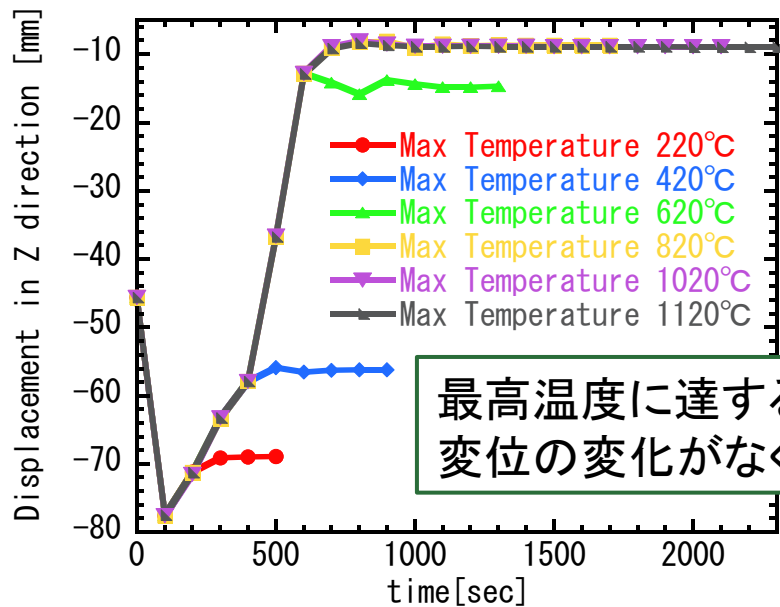
Max Temp. 220 °C

Max Temp. 620 °C

Max Temp. 820 °C

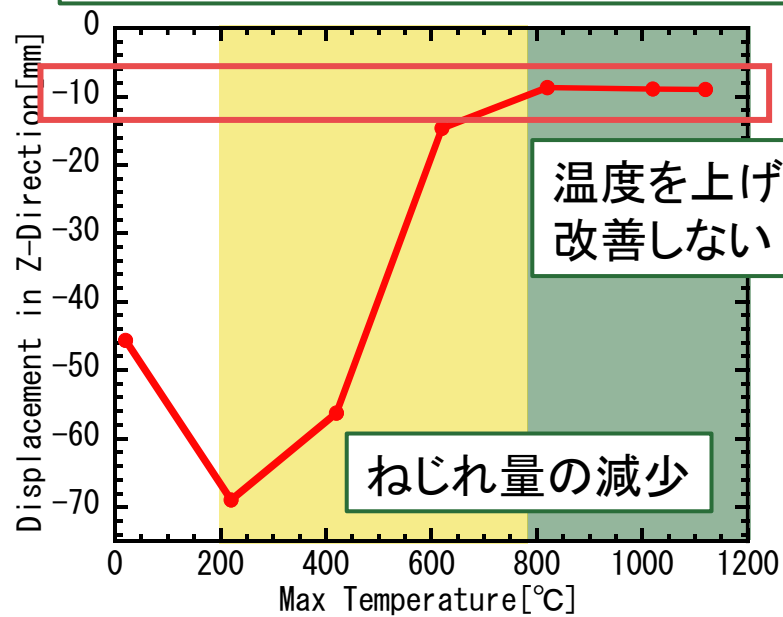


Z方向最大変位の推移



最高温度に達すると
変位の変化がなくなる

最高温度とZ方向最大変位の関係

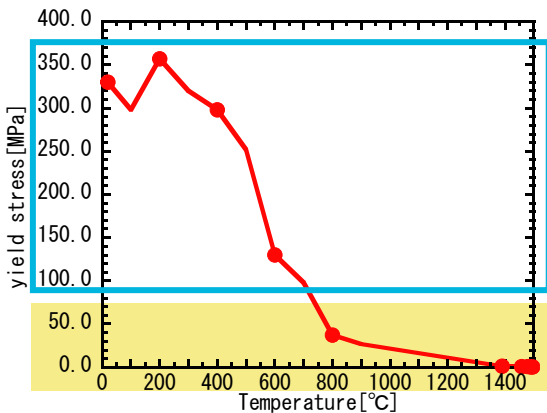


温度を上げてても
改善しない

ねじれ量の減少

800.0°Cまでねじれが改善され、それ以上の温度では変化がない

降伏応力の温度依存性

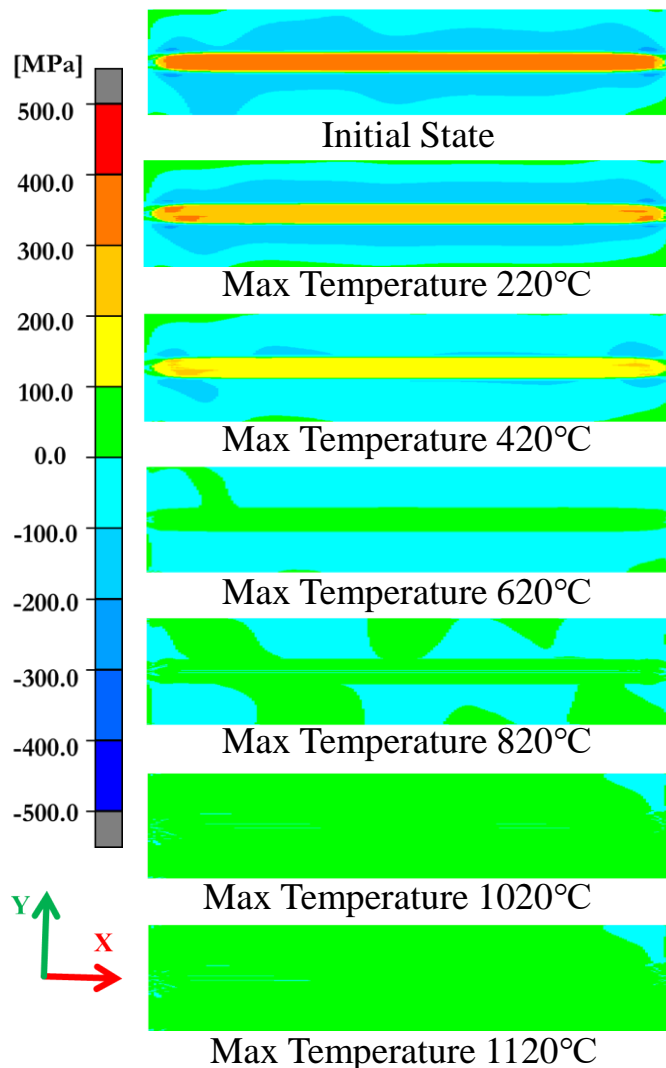


降伏応力が低下し
残留応力が低減

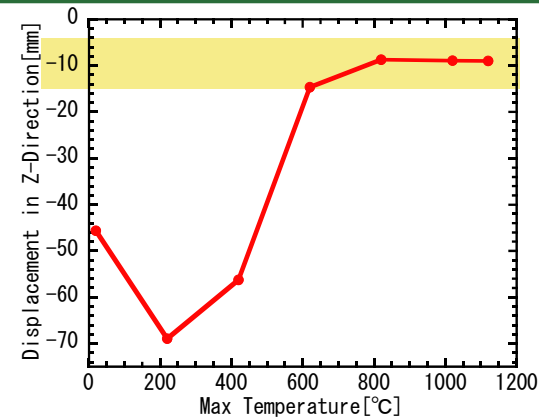


座屈低減

冷却後のX方向残留応力分布



最高温度とZ方向最大変位の関係



降伏応力が下がりにくく
なっている

残留応力が除去される際
に塑性ひずみ加わる

約800°Cで残留応力を解放しきることができる

研究目標

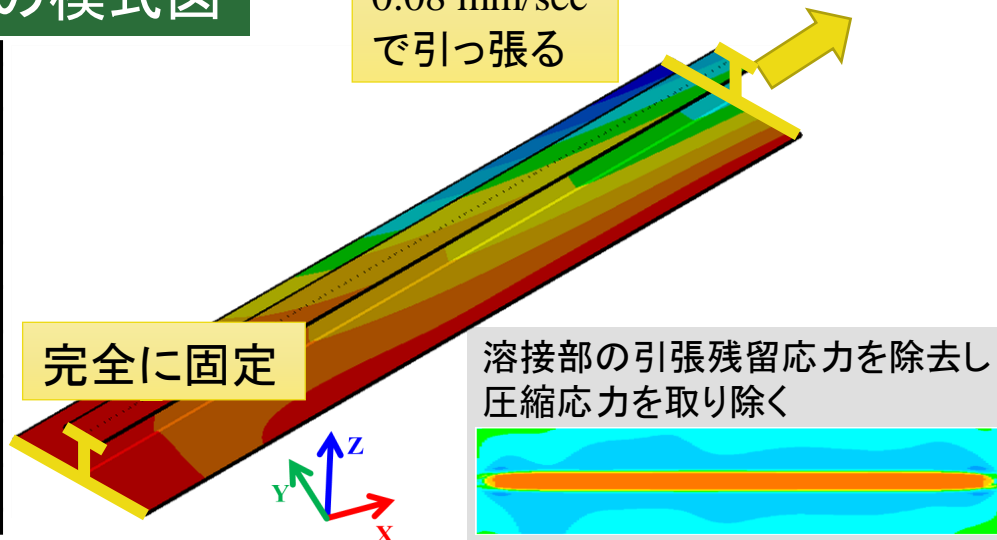
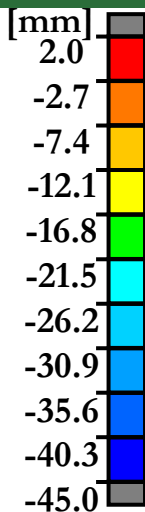
溶接座屈発生条件の検討
座屈発生後の変形除去の検討

発表内容

1. 解析モデル
2. 解析上の座屈現象の確認
3. 座屈除去方法
焼鈍を模擬した全体加熱
強制引張
4. 結言

解析の模式図

0.08 mm/sec
で引っ張る



引張量 δ [mm]

X方向降伏ひずみを与える変位 δ_Y を用いて,

- $\delta = 0.25 \delta_Y$ $\delta = 1.25 \delta_Y$
 - $\delta = 0.50 \delta_Y$ $\delta = 1.50 \delta_Y$
 - $\delta = 0.75 \delta_Y$ $\delta = 1.75 \delta_Y$
 - $\delta = 1.0 \delta_Y$ $\delta = 2.0 \delta_Y$
- ($\delta_Y = 1.6\text{mm}$)

Z方向変位分布

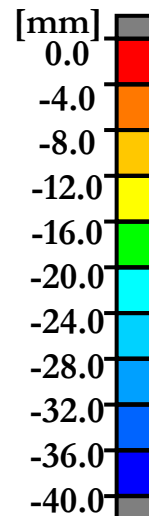
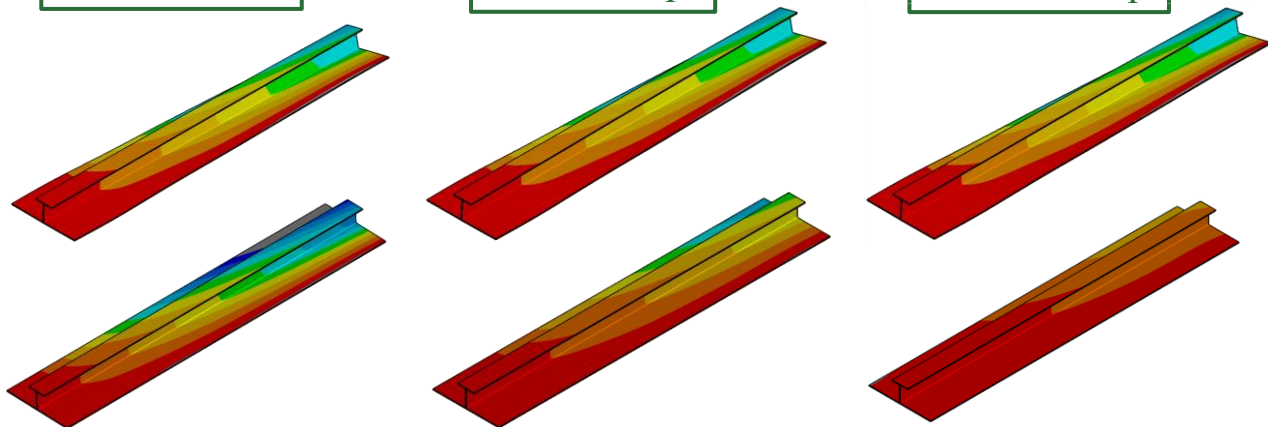
$\delta = 0.50 \delta_Y$

$\delta = 1.0 \delta_Y$

$\delta = 1.50 \delta_Y$

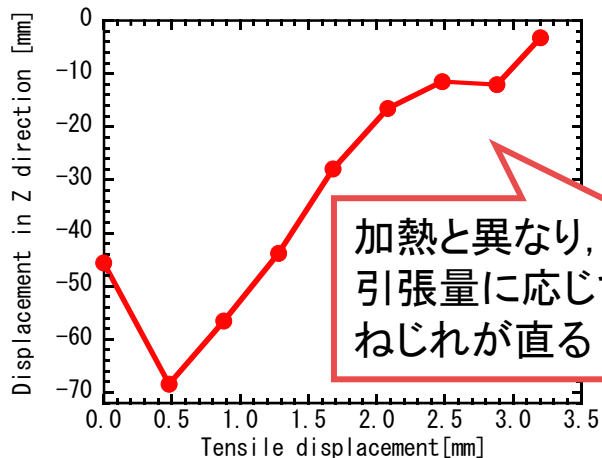
引張中

除荷後



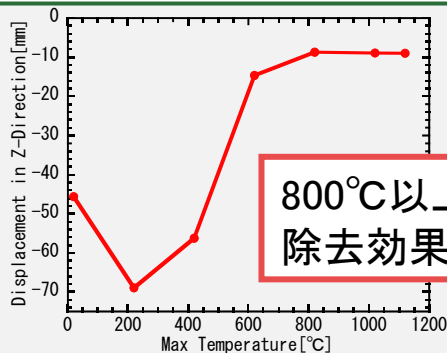
引張量が増えると座屈が取れやすい

最大引張量に対する除荷後の最大方向変位



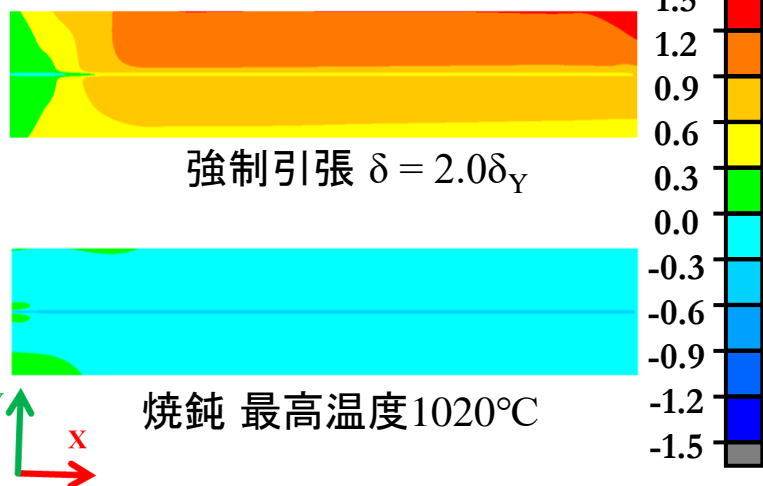
加熱と異なり、
引張量に応じて
ねじれが直る

焼鈍における 最高温度とZ方向最大変位の関係

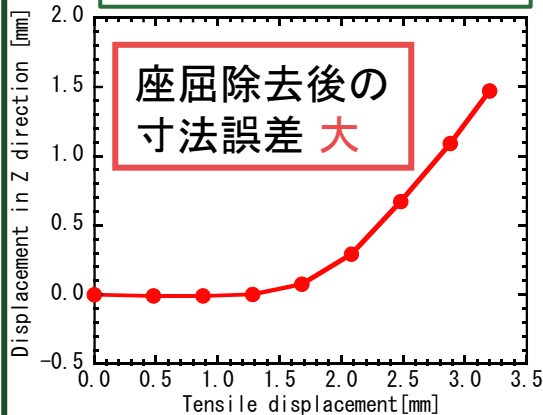


800°C以上で
除去効果 **小**

X方向変位分布

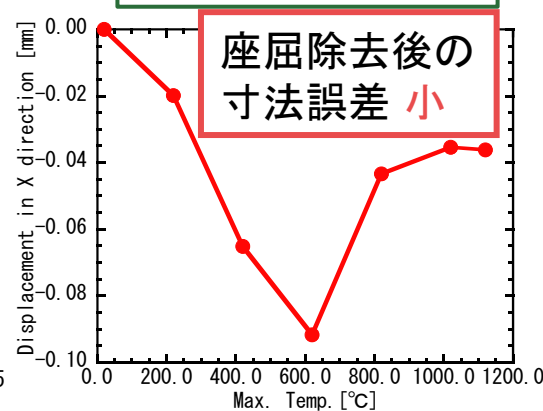


最大引張量に対する X方向最大変位



座屈除去後の
寸法誤差 **大**

最高温度に対する X方向最大変位

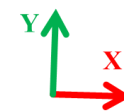
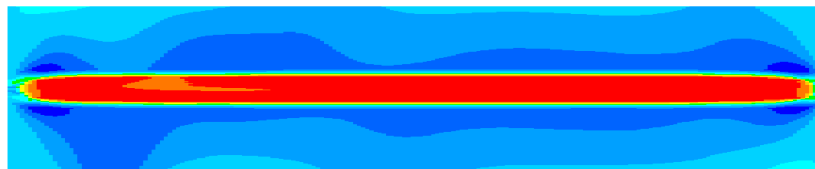


座屈除去後の
寸法誤差 **小**

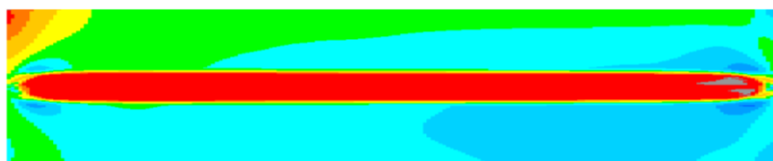
座屈除去効果は高いが、X方向の寸法精度が落ちる

X方向残留応力分布

Initial State



最大引張時

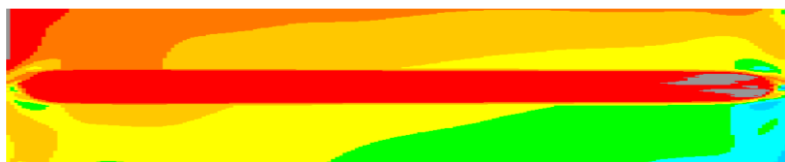


$$\delta = 0.50\delta_Y$$

除荷後



$$\delta = 0.50\delta_Y$$



$$\delta = 1.00\delta_Y$$



$$\delta = 1.00\delta_Y$$

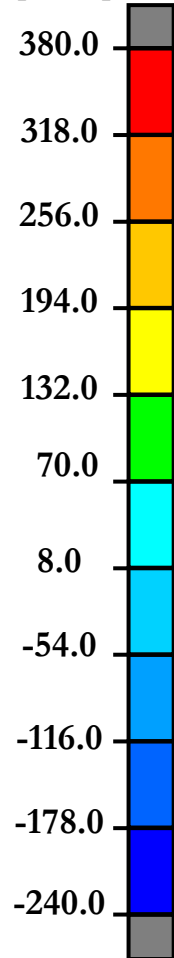


$$\delta = 1.50\delta_Y$$



$$\delta = 1.50\delta_Y$$

[MPa]



残留応力が低減できている

研究目標

溶接座屈発生条件の検討
座屈発生後の変形除去の検討

発表内容

1. 解析モデル
2. 解析上の座屈現象の確認
3. 座屈除去方法
焼鈍を模擬した全体加熱
強制引張
4. 結言

本研究では座屈除去手法の確立を目標に、基礎検討として熱的手法と機械的手法によるアプローチでねじれ座屈の除去を解析上で行なった。座屈除去解析に先立って、解析対象とするモデルの入熱量を変えて解析を行い、発生する座屈のパターンと各種分布の特徴を把握した。以下に得られた知見を示す。

入熱量を変えて溶接を行った結果、鋼板が溶融していなくてもねじれ座屈は発生し、さらに入熱量を上げると座屈変形は大きくなった。
残留応力を低減することで座屈も低減できる。
入熱量を上げると溶接部に加わる引張残留応力が増加し、断面内の力のつり合いより、周囲の鋼板には圧縮残留応力が加わる様子が確認できた。

全体加熱による座屈除去手法は部材に塑性ひずみを残しにくいという利点があるが、除去できる変形量には限界があり、限界に達するとそれ以上温度を上げて座屈は改善しなくなった。

強制変位で座屈の除去を試みると、残留応力の低減はできるが引っ張ったことによる塑性ひずみ加わるため、大きなねじれであるほど除去後の寸法が大きくなると考えられる。一方、全体加熱と異なって、それ以上の座屈除去が不可能となる限界値は見られず、大きな座屈が発生した場合の手法として有効であると言える。

ご清聴ありがとうございました