

2023.02.22

大阪府立大学 卒業論文発表会

# 残留応力分布の変化に及ぼす 繰返し荷重に関する数値的検討

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 B4 山本泰平

(指導教員 : 生島一樹)

# 背景・目的

## 研究背景

- ・船舶・橋梁等の大型鋼構造物の製造には溶接が必要不可欠

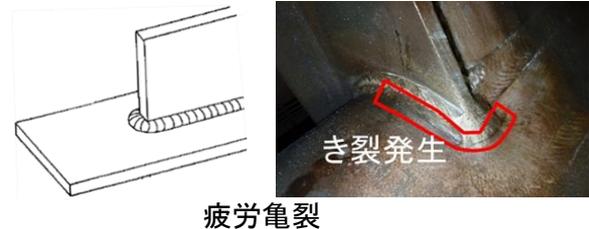
### 溶接残留応力の影響

- ・溶接部近傍に高い引張り残留応力が発生  
→脆性破壊強度の低下・疲労強度の低下
- ・疲労き裂や応力腐食割れの原因の一つ

### 繰返し荷重の影響

- ・波浪などの環境外力により船体に繰返し荷重が作用  
→残留応力が変化

**繰返し荷重を受ける構造物では残留応力の緩和が最初の一回目の荷重のみならず、その後の繰返し荷重によって逐次緩和するかを知ることは重要**



## 研究目的

**溶接継手の残留応力分布や塑性ひずみ分布が繰返し荷重を受けたときにどのように変化するかについて解析的に検討**

## 検討内容

### 基礎検討

- ・平板 → ・簡易的なモデル
- ・T継手 → ・隅肉溶接の止端部に応力集中し疲労亀裂が生じる

### 応用検討

- ・パイプの繰返しねじり →
- ・パイプはねじりの荷重を受ける

# 解析理論

加工硬化→金属に応力を加えて塑性変形させたときに金属が硬くなる現象

降伏曲面がどのように変化するかを表すためにモデル化

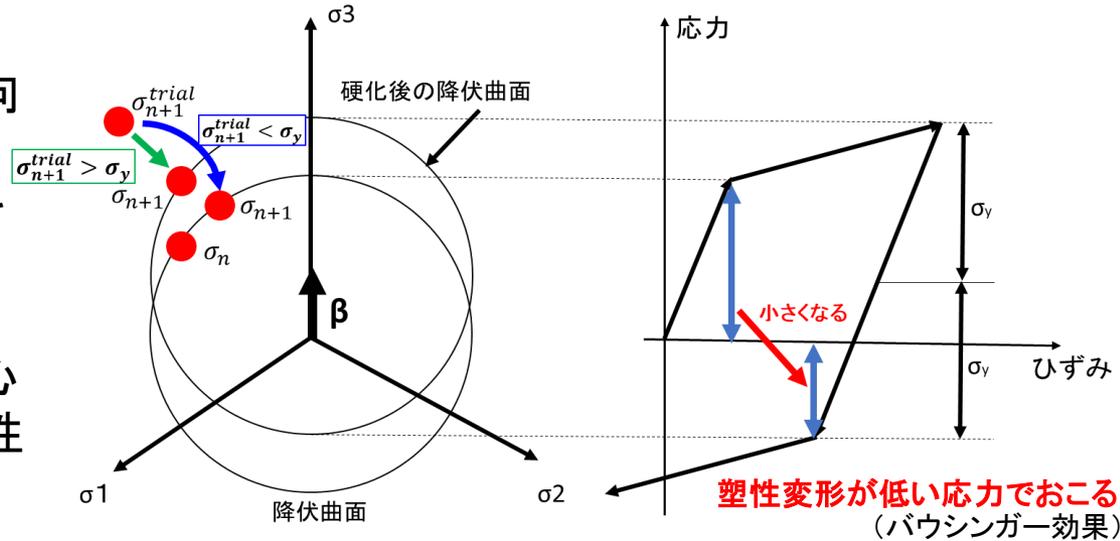
## 等方硬化

・降伏曲面が初期曲面から(その中心が)移動することなく均一(等方)に拡大するように時間発展するような塑性モデル

## 移動硬化

・塑性変形が生じた金属材料に逆方向の力が作用した際に**圧縮の降伏応力が引張の降伏応力より低くなる現象**を考慮しないとけない

・降伏曲面の形状は変わらずに、中心位置が硬化と共に移動するような塑性モデル



## 後退オイラー法

変形後の応力が弾性領域ではない場合、降伏応力の値が変化する

降伏応力を超えていれば降伏曲面上にくるように応力増分値を比例的に減少させ、相当塑性ひずみ増分を計算

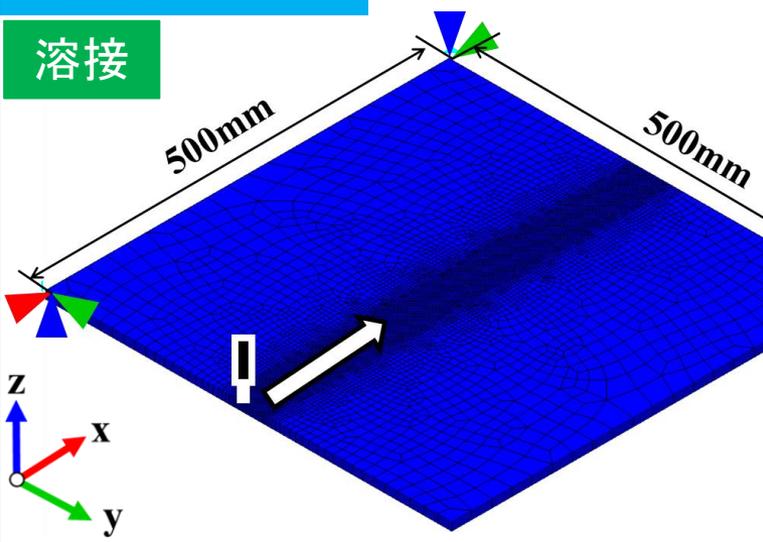
# 基礎モデルに関する検討

# 平板モデルの解析条件

・最も簡易的な構造である平板を用いて繰返し荷重後の残留応力分布の変化を確認

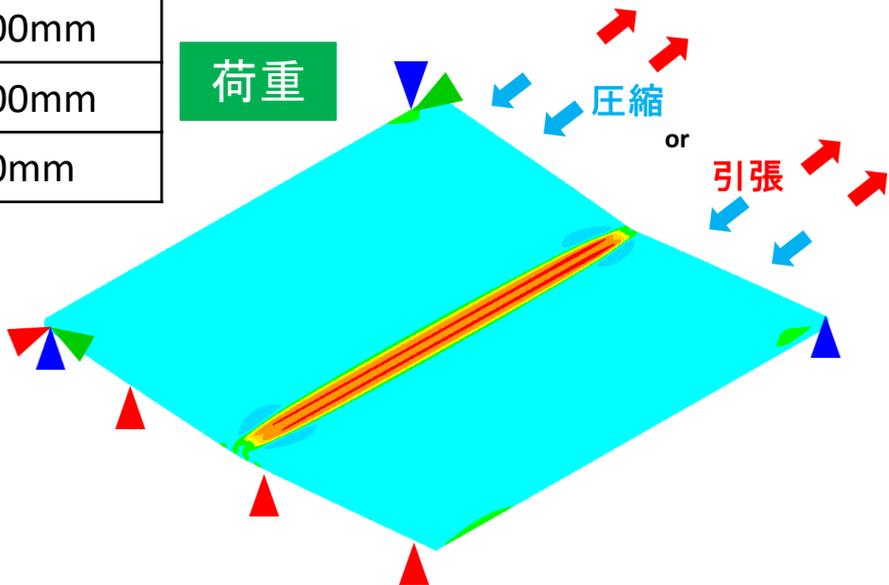
## 解析モデル

### 溶接

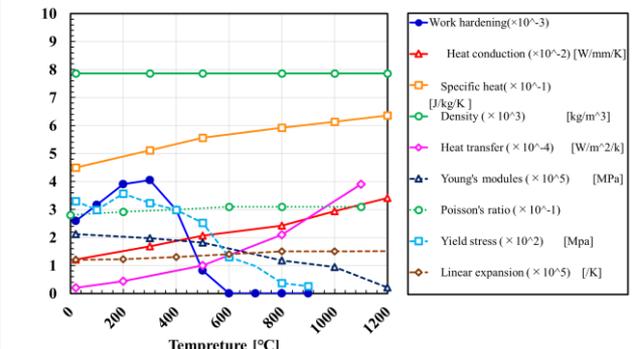


板幅	500mm
板長さ	500mm
板厚	10mm

### 荷重



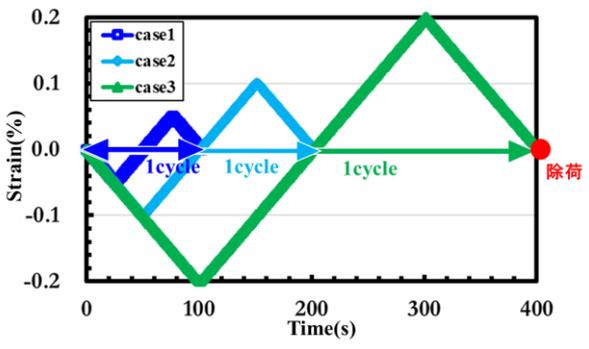
## 材料定数 (SM490A)



## 解析条件

X: 溶接線方向, Y: 溶接線に垂直な方向

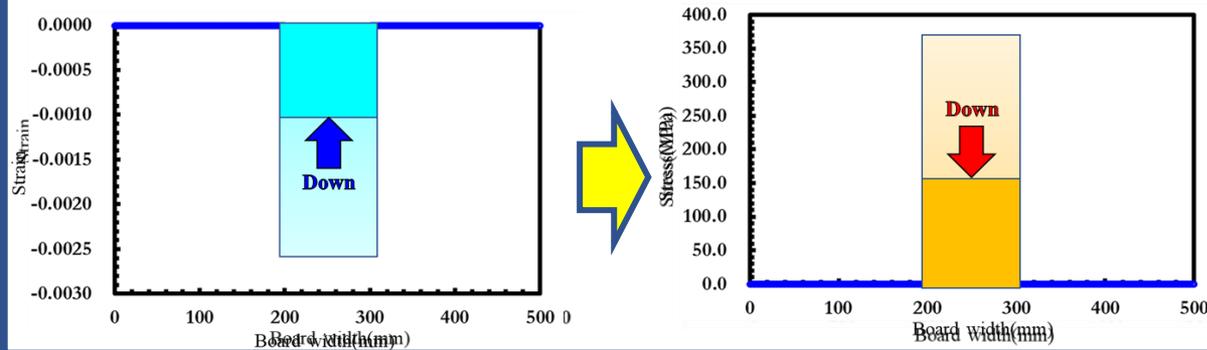
	0.05% (case1)	0.1% (case2)	0.2% (case3)
等方硬化 (15cycle)	X・Y	X・Y	X・Y
移動硬化 (15cycle)	X・Y	X・Y	X・Y



# 平板の解析結果

・サイクル数の増加による残留応力の変化についてしらべる

## 荷重による残留応力減少のメカニズム

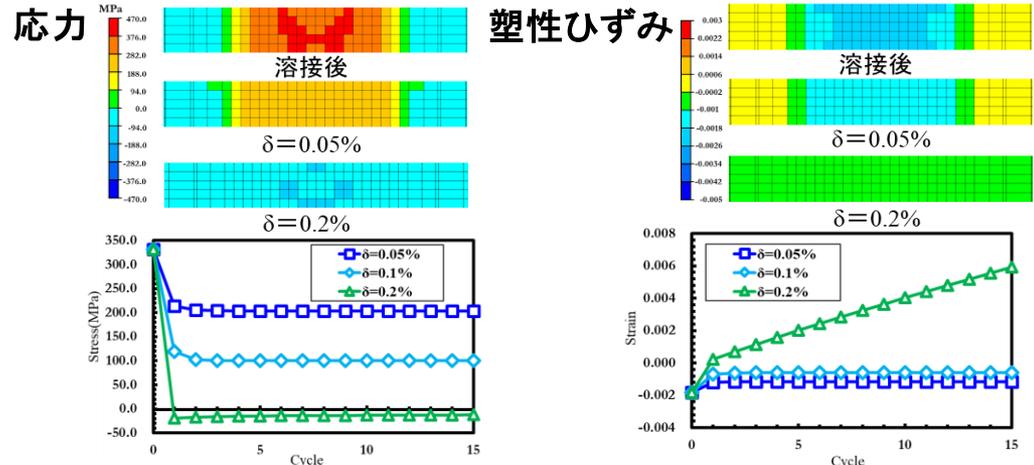


- ・局所的な材料の加熱による膨張・冷却による収縮  
→部材の他の部分から拘束  
→**圧縮塑性ひずみ**が生じる
- ・溶接部近傍には**引張の大きな残留応力**
- ・溶接残留応力の発生原因である溶接による**圧縮塑性ひずみがなくなれば残留応力はなくなる**

## サイクル数増加による残留応力の変化

・1サイクル目に大きく緩和され、2サイクル目以降はあまり変化しない

・加工硬化により、降伏応力の値が変化し、2サイクル目以降は降伏応力の値を荷重を加えた時に越えず、塑性変形が生じなかった

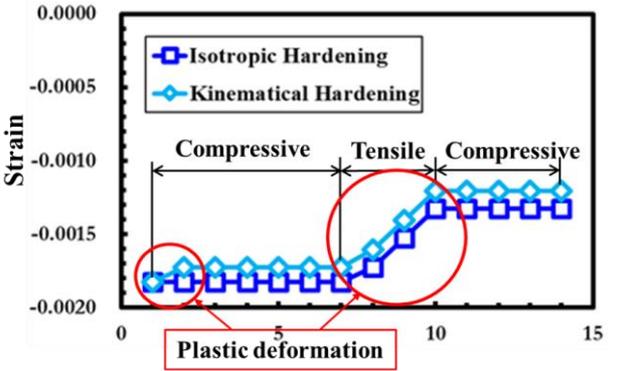
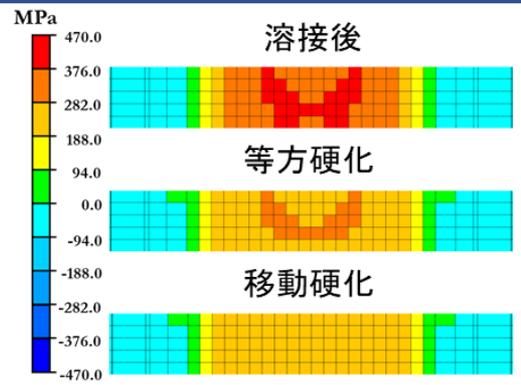


サイクル数を増やしても残留応力が大きく変化するのは1サイクル目のみで2サイクル目以降はわずかに変化するがいずれ変化しなくなる

# 平板の解析結果

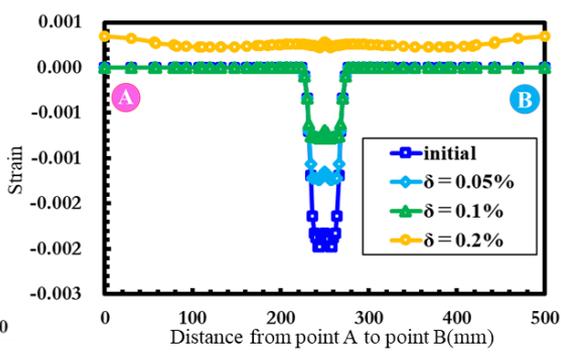
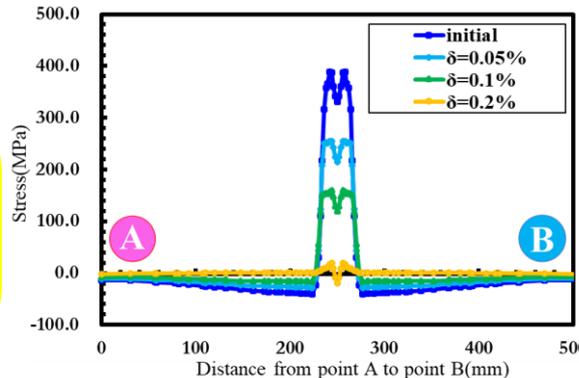
## 硬化モデルの影響

- ・移動硬化モデルでは加工硬化の影響により圧縮時にも塑性変形
- ・移動硬化則モデルの方が残留応力が緩和



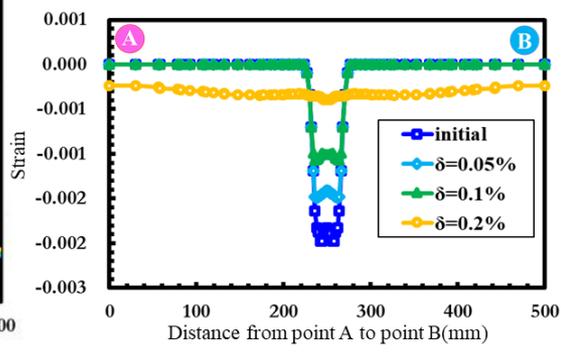
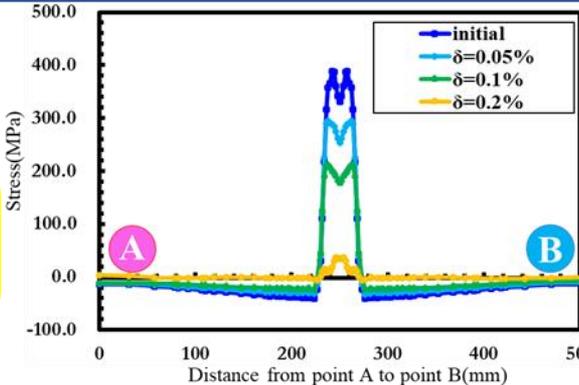
## 変形量の影響

- ・変形量が増加すると塑性変形する量が増加し、溶接の際にできた圧縮塑性ひずみが減少、それとともに残留応力の緩和量も大きくなる



## 荷重方向の影響

- ・荷重方向にかかわらず塑性変形により圧縮塑性ひずみが減少すると残留応力が緩和される

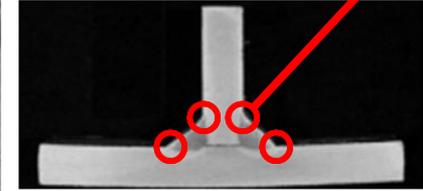
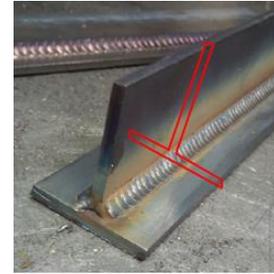


# T継手モデルに関する検討

# T継手モデルの解析内容

## T継手の残留応力の影響

- ・隅肉溶接の止端部に応力集中
- ・継手が繰り返し応力を受けると、止端部に疲労亀裂が発生し、それが進展して破断する
- ・疲労挙動を詳細に検討するために、**隅肉溶接止端部の繰返し荷重の影響を検討**



T継手の断面

## 解析条件

下板

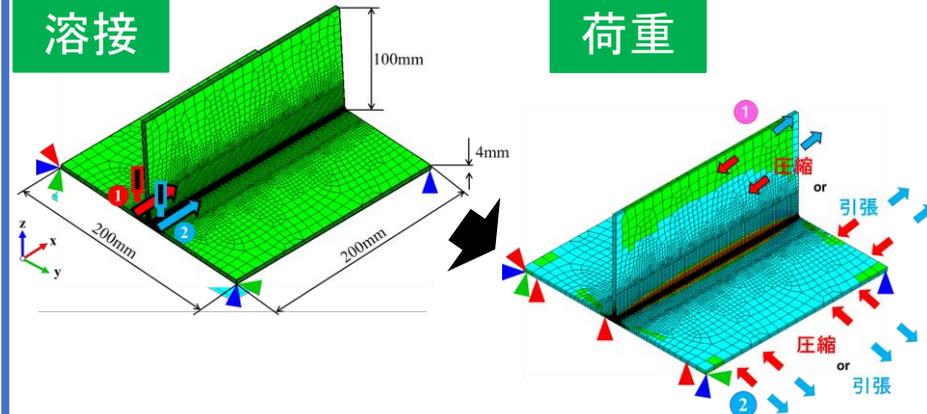
板幅	200mm
板長さ	200mm
板厚	4mm

上板

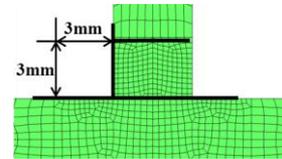
板幅	100mm
板長さ	200mm
板厚	4mm

溶接

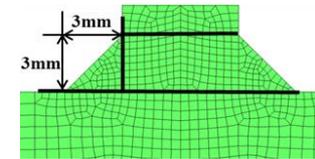
荷重



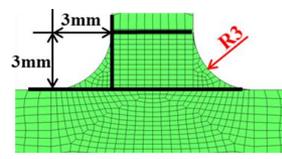
## 使用した隅肉形状



隅肉なし



隅肉1



隅肉2

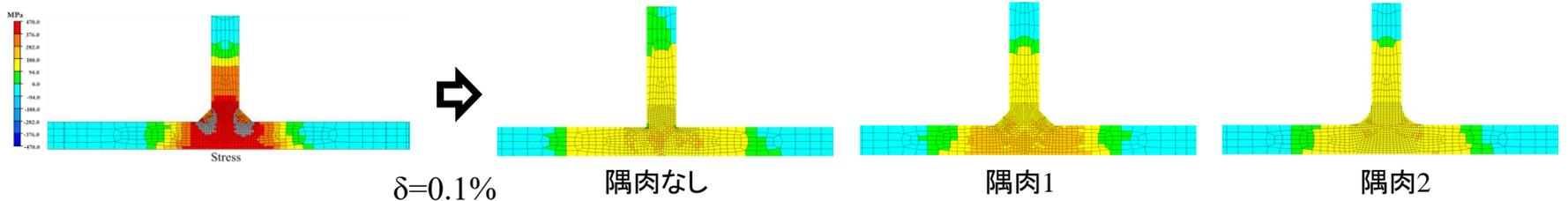
## 解析ケース

X: 溶接線方向, Y: 溶接線に垂直な方向

	0.05%(case1)	0.1%(case2)	0.2%(case3)
隅肉なし (15cycle)	X, Y	X, Y	X, Y
隅肉1 (15cycle)	X, Y	X, Y	X, Y
隅肉2 (15cycle)	X, Y	X, Y	X, Y

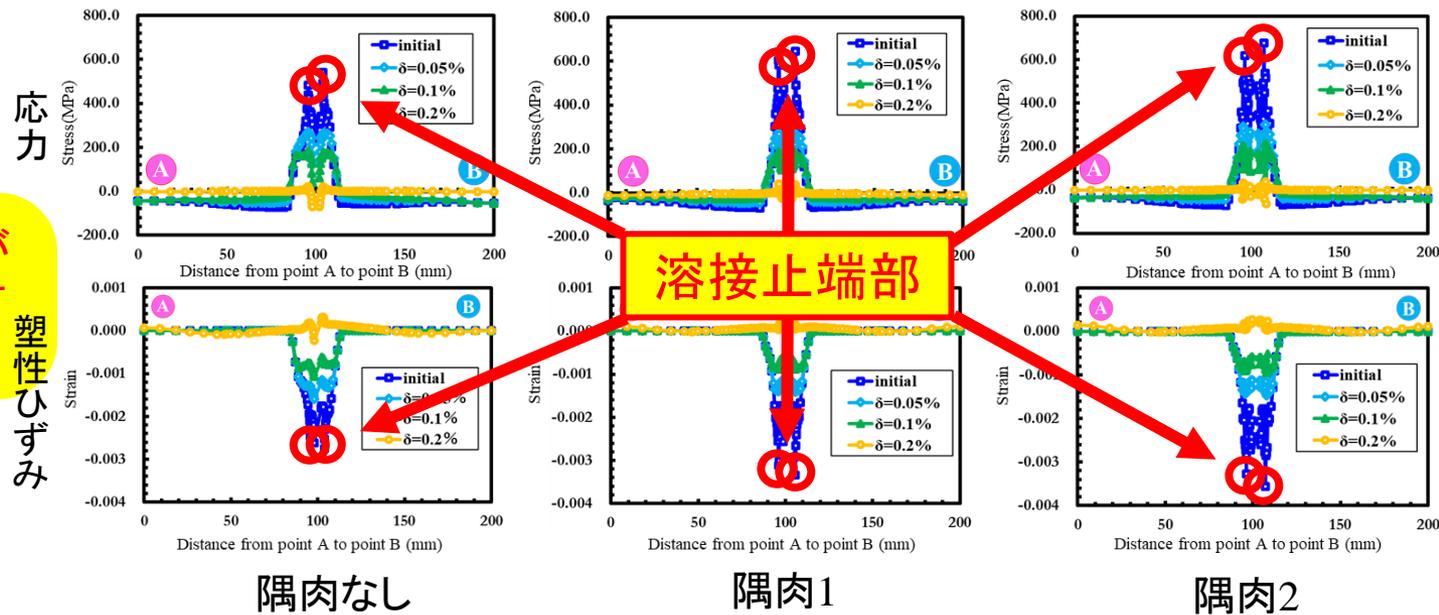
# T継手モデルの解析結果

## T継手の残留応力溶接線方向(x方向)の変化



**残留応力は平板と同様に緩和される**

## 各隅肉の溶接線方向(x方向)の応力分布・塑性ひずみ分布



**溶接止端部には応力が集中するが塑性変形する量も大きい。**

塑性ひずみ

隅肉なし

隅肉1

隅肉2

# パイプモデルに関する検討

# パイプモデルの解析条件

8

## パイプの残留応力の影響

- ・鋼管構造物や配管系の組み立て多用されるパイプは円周溶接により、パイプ内側表面には軸方向および円周方向に大きな引張、外側表面には軸方向に圧縮の残留応力が発生
- ・残留応力は構造物の強度を低下させる
- ・パイプにはねじりの荷重を受ける

パイプに対してねじりの荷重が加わったときの残留応力の変化を検討

## 解析条件

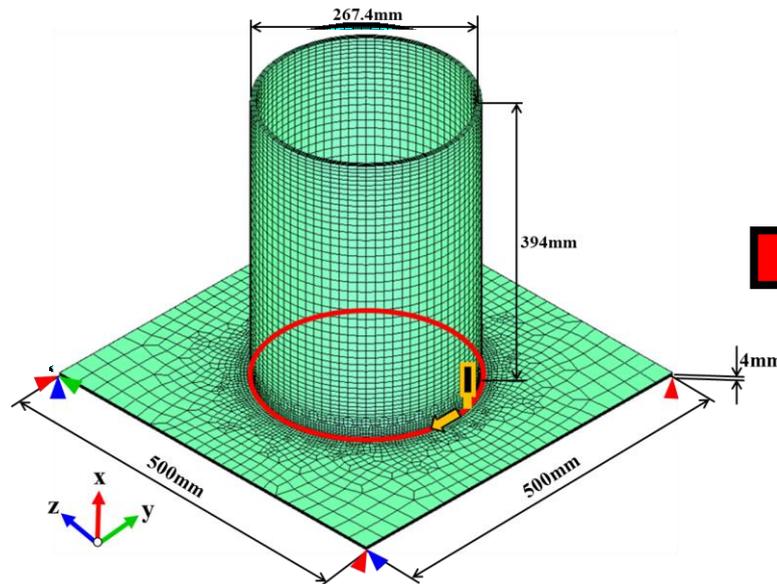
### 平板

板幅	500mm
板長さ	500mm
板厚	4mm

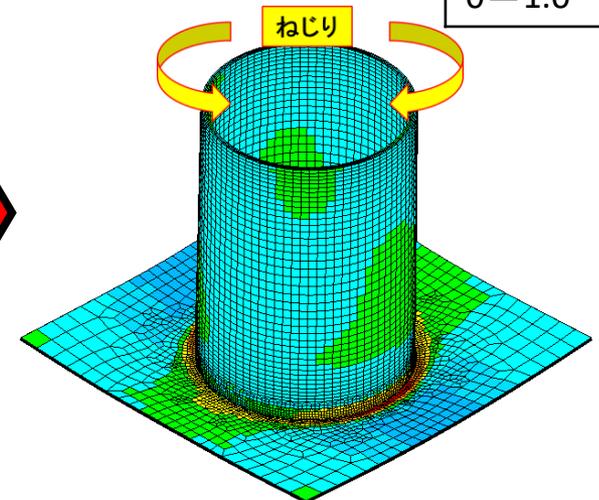
### パイプ

外形	267.4mm
厚さ	6.6mm
長さ	394mm

### 溶接



### ねじり



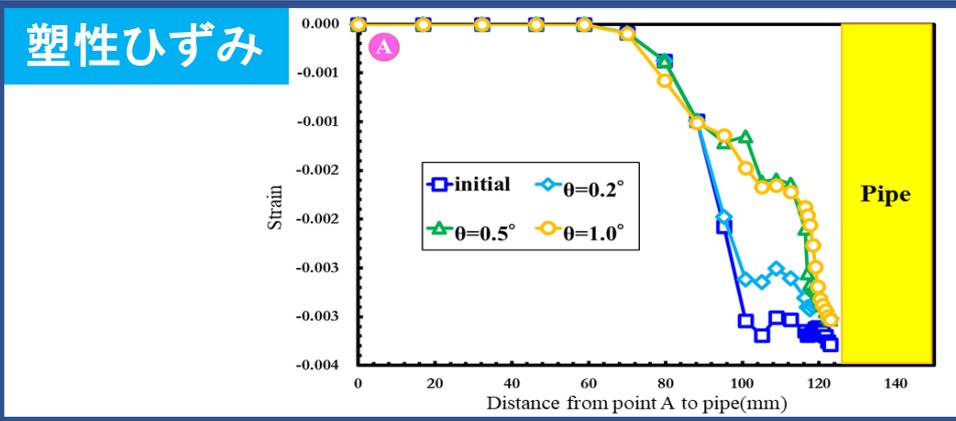
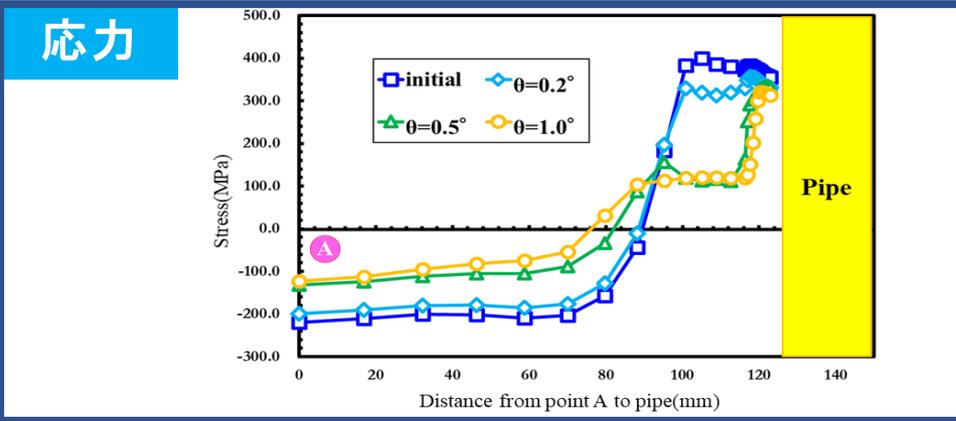
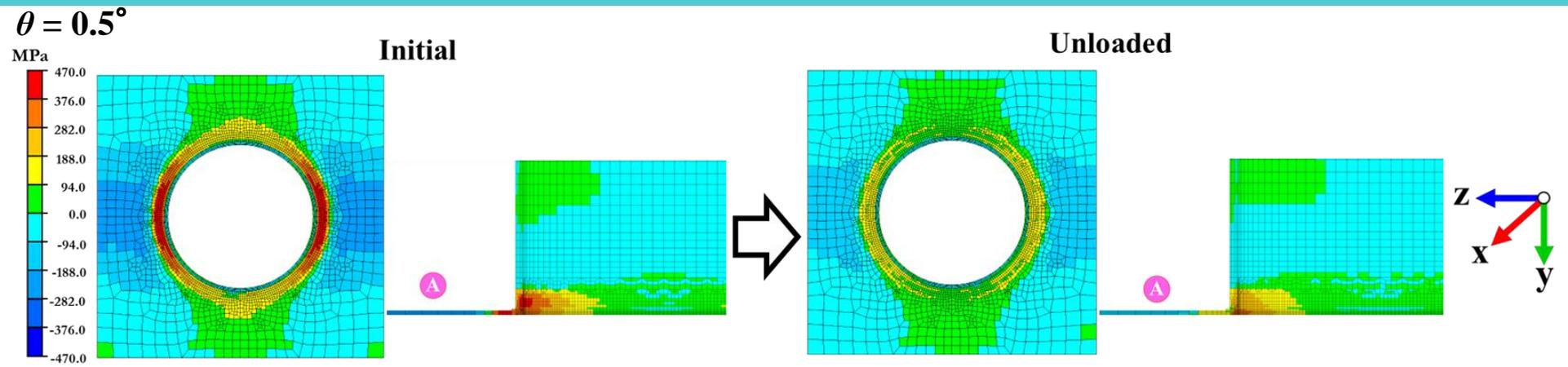
ねじれ角

$\theta = 0.2^\circ$

$\theta = 0.5^\circ$

$\theta = 1.0^\circ$

# パイプの繰返しねじりに関する検討



ねじりが加わった場合でも、溶接部近傍の残留応力が緩和されていることがわかる。ねじれ角が大きくなると残留応力の緩和量が大きくなるが、 $\theta=0.5^\circ$  以上、ねじれ角を大きくしても緩和量に大きな差はうまれないことがわかった。

本研究では、溶接により発生した圧縮塑性ひずみによって、溶接部近傍には引張の大きな残留応力が生じた平板とT継手、パイプと平板の突き合わせモデルを対象とし、各モデルに繰返し荷重が作用したときに残留応力および塑性ひずみが増加するかどうかについて解析を行った結果以下のような知見が得られた。

- 1) **変形量を大きくすると残留応力が大きく緩和される**ことがわかった。これは溶接残留応力の発生原因である溶接による圧縮塑性ひずみが塑性変形によって減少するためだと考えられる。
- 2) **繰返し荷重のサイクル数を増加すると、1サイクル目に残留応力が大きく変化し、2サイクル目以降は大きな変化は見られなかった**。これは、1サイクル目に大きな塑性変形が生じ、その後は塑性変形量が減少することによるものだと考えられる。
- 3) **パイプに繰返しねじりを加えた場合においても残留応力が緩和される**ことがわかった。また、ねじれ角の増加にともなって残留応力の緩和量も増加するがねじれ角 $0.5^\circ$ 以上、ねじれ角を大きくしても緩和量に大きな差はうまれないことがわかった。