

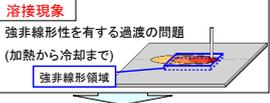
# 陽解法 FEMに基づく大規模溶接構造物の 高速解析手法の開発

大阪府立大学大学院 工学研究科 航空宇宙海洋系専攻 構造系研究室 M1 生島 一樹

## 研究背景

**造船における溶接構造シミュレーション**

- 現状ではメモリや計算時間の制約から継手程度の規模のシミュレーションのみに限定
- 溶接現象の強非線形性および移動非線形性により計算時間が多大



船体ブロックなどの大規模解析は事実上不可能

## 本研究

陰解法と陽解法の特徴を活用した高速かつ省メモリな溶接構造解析手法の開発

大規模構造物の溶接シミュレーションを実施するには省メモリ化・高速化が必要<sup>1)</sup>

**陽解法FEMの可能性<sup>2), 3)</sup>**

- 省メモリかつ高速(要素数に比例)
- 主に衝撃解析(数秒程度の現象)等に利用されている

ただし…  
Courant条件と呼ばれる時間増分の制約により溶接問題のような時間スケールの大きい問題は解析不可

## 解析理論

一般的な陽解法の基礎理論

平衡方程式

$$[M]\{\dot{U}\}_t + [C]\{\dot{U}\}_t + \int [B]^T \sigma dV = \{F\}_t$$

[M]: 質量マトリクス

[C]: 減衰マトリクス

速度・加速度を  
中心差分で離散化

離散化された陽解法の平衡方程式

$$\left(\frac{1}{\Delta t^2}[M] + \frac{1}{2\Delta t}[C]\right)\{U\}_{t+\Delta t} - \left(\frac{1}{\Delta t^2}[M] - \frac{1}{2\Delta t}[C]\right)\{U\}_{t-\Delta t} = \{F\}_t - \int [B]^T \sigma dV - \frac{2}{\Delta t^2}[M]\{U\}_t - \frac{1}{\Delta t}[C]\{U\}_t$$

[M]と[C]が対角成分のみ非零

連立方程式を構築・求解する必要がない

計算時間の短縮・省メモリ化

## 本研究

一般的な陽解法では…

溶接問題は時間スケールが大きいため解析が困難

本研究では…  
溶接問題の時間スケールでも解析可能な手法を構築する

1次元振動方程式における考察

$$\alpha = m/k \text{ と定義}$$

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = F$$

$c = 2\sqrt{mk}$ で臨界減衰

無次元化

$$m = \alpha k \quad c = 2\sqrt{\alpha k}$$

陽解法FEMの基礎方程式に適用

[M], [C]の決定法

$k_{ij}$ : 剛性マトリクスの対角成分

$$[M] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ \alpha k_1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Sym.

$$[C] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2\sqrt{\alpha k_1} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

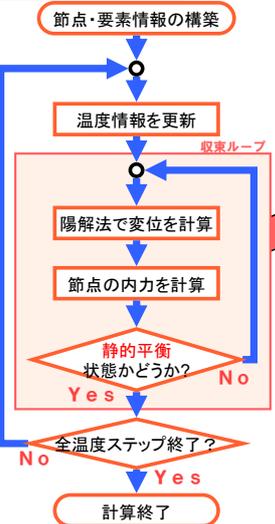
Sym.

解析対象がほぼ静的な現象

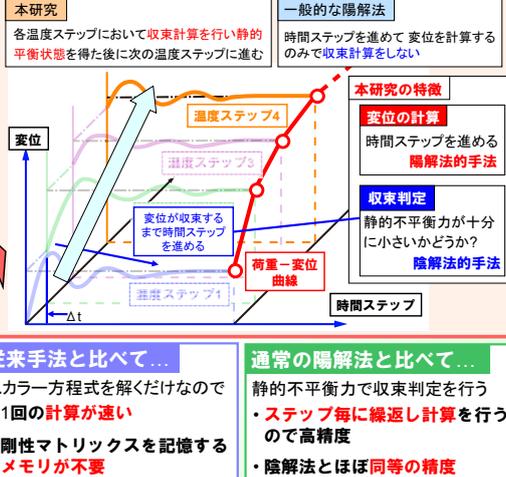
現象の時間スケールに依存しない解析が可能

## 開発手法

### 開発手法の流れ



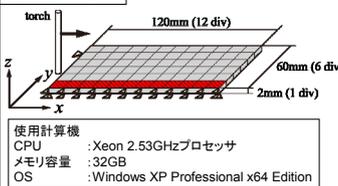
### 開発手法の収束計算方法



本手法を用いた陽解法熱弾塑性FEM解析プログラムを独自に開発

## 開発手法の性能

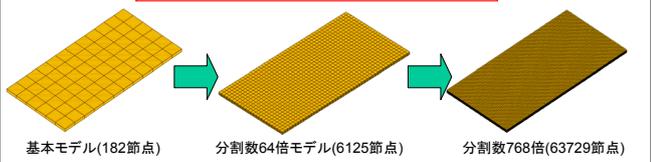
### 解析モデル



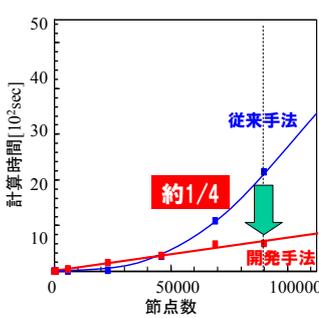
比較条件

- スカイライン法を用いた陰解法と開発手法の計算時間及び使用メモリ量を比較
- 要素分割数は等倍、8倍、64倍、256倍、512倍、768倍、1000倍の7通り
- 計算時間: 最初の1温度ステップの解が収束するまでに要したCPU時間

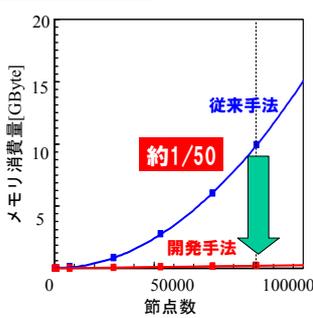
### 6面体ソリッド要素を用いて要素分割



### 計算時間



### メモリ消費量

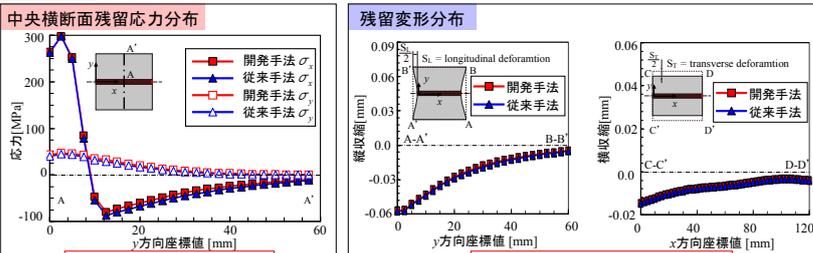


## 開発手法

- 従来手法(陰解法)と比べてメモリ消費量が非常に少ない
- 従来手法と比べて高速
- 大規模構造ほど高速・省メモリなので将来性に期待できる

## 開発手法の解析精度

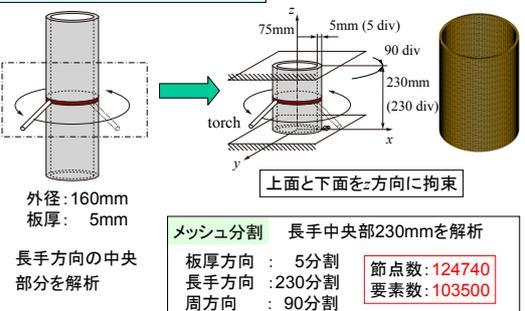
溶接変形 解析モデル: 性能検証の分割数64倍(4608要素)モデルを使用



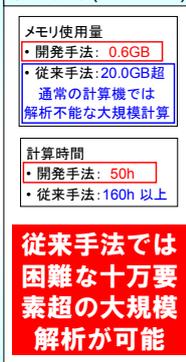
開発手法と従来手法の解析結果がほぼ一致

## 大規模溶接構造物の解析事例

### パイプ構造の円周溶接モデル



### 解析結果(残留応力)



## まとめ・今後の展望

本研究では陽解法FEMに基づく溶接構造解析プログラムを独自に開発し、基礎的な溶接問題に応用した結果、以下の知見を得た。

- 要素数が4万を超えるような大規模構造物の溶接解析に関して、計算時間・メモリ消費量の点において開発手法の有効性を確認した。
- 開発手法は従来手法と同等の解析精度を有することを確認した。
- 今後は実際の造船現場における大規模構造の溶接問題に対して開発手法を適用し、ブロック全体の変形予測を行いたい。