

理想化陽解法FEMによる大規模構造の弾性固有ひずみ解析

大阪府立大学大学院 工学研究科 航空宇宙海洋系専攻 柴原研究室 南 雄介

研究の背景

造船における溶接

溶接変形による工作精度の低下
性能・強度の低下の原因となるためその手直しに多大な時間とコストを要する
よって、溶接変形を事前に把握することは重要
事前に溶接時の変形量が推定できれば溶接施工方法の改善、コスト削減につながる

本研究の目的

理想化陽解法FEMにより、大型構造物の解析を可能にする

陰解法FEMによる弾性固有ひずみ解析法¹⁾

- 弾性解析なので熱弾塑性解析と比べて**解析時間は短い**
- 連立方程式を解く必要があるためメモリ制約上**数十万要素の解析は困難**
- 船体ブロックなどの大規模かつ複雑構造の解析は困難

大型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が必要

理想化陽解法FEMによる固有ひずみ解析法の開発

固有ひずみ解析法

主な数値シミュレーション手法との違い

熱弾塑性解析

熱履歴を忠実に再現し、変形解析を行うもので、**解析時間が膨大**になるため大型構造物の解析には不向き

固有ひずみ解析

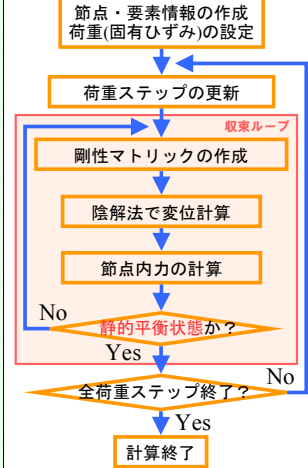
固有ひずみの導出²⁾

入熱量(J/mm)に対して
縦収縮の固有ひずみ量: ε_{zs}
横収縮の固有ひずみ量: ε_{xs}
角変形の固有ひずみ量: θ_y^s
縦曲りの固有ひずみ量: θ_z^s
それぞれについて算出

実験や熱弾塑性解析による方法

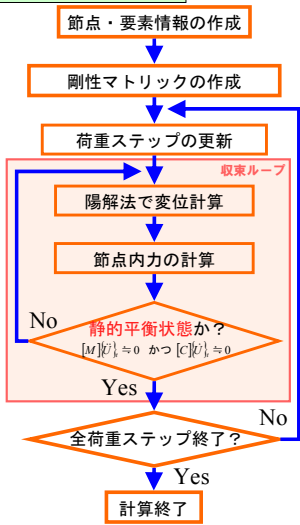
固有ひずみを用いた弾性解析

陰解法FEMの流れ



理想化陽解法FEM

開発手法の流れ



従来手法と比べて...

- スカラー方程式を解くだけなので
- ・1回の計算が**速い**
- ・剛性マトリックスを記憶する**メモリが不要**

一般的な陽解法の基礎理論

平衡方程式 $[M]\{\ddot{U}\} + [C]\{\dot{U}\} + [B]\{\sigma\}dV = \{F\}_i$
速度・加速度を中心差分で離散化した陽解法の平衡方程式
$$\left(\frac{1}{\Delta t^2}[M] + \frac{1}{2\Delta t}[C]\right)\{U\}_{i+\Delta t} = \left(\frac{1}{\Delta t^2}[M] - \frac{1}{2\Delta t}[C]\right)\{U\}_{i-\Delta t} + \{F\}_i - \int [B]\{\sigma\}_i dV - \frac{2}{\Delta t^2}[M]\{U\}_i - \frac{1}{\Delta t}[C]\{\dot{U}\}_i$$

時間での変位 $\{U\}_{i+\Delta t}$ 時間での変位 $\{U\}_{i-\Delta t}$
時間での変位 $\{U\}_i$
時間での変位 $\{\dot{U}\}_i$
[M], [C]の対角成分のみ非零
連立方程式を構築する必要がない
省メモリ化

質量マトリックス・減衰マトリックスの最適化

一次元振動方程式と臨界減衰
$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = F$$

 $c = 2\sqrt{mk}$ で臨界減衰 (最も速く変位が一定値に収束)
 $m \equiv ak$ のとき静的解に速く収束

陽解法FEMの基礎方程式に適用すると...

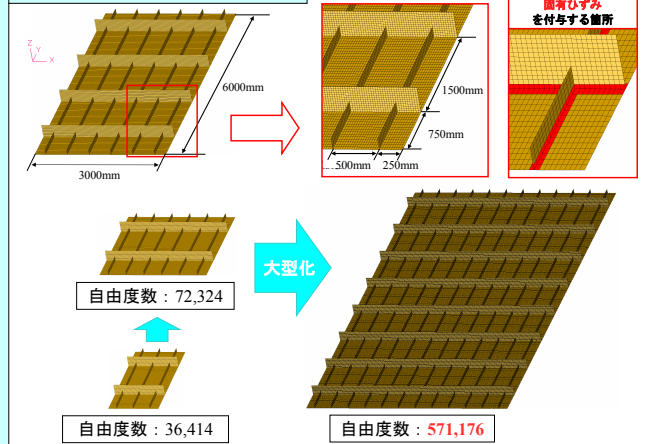
[M], [C]の決定法
 k_{ij} : 剛性マトリックスの対角成分
[M] = $\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$
[C] = $\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$
Sym. Sym.

静的解に最も速く収束させることが可能

解析諸条件

四角形シェル要素を用いて要素分割

解析モデル: 薄板防焼構造

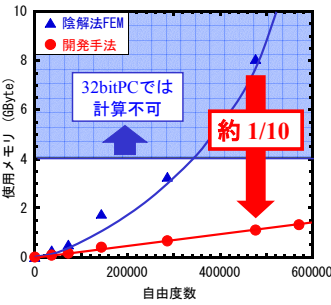


材料定数と各種パラメータ	ポアソン比	$\nu = 0.3$
入熱量 $Q=623(\text{J/mm})$	板厚 (ウェブ)	$t_w=9(\text{mm})$
境界条件 剛体回転のみ固定	(x 方向フランジ)	$t_f=9(\text{mm})$
ヤング率 $E=210(\text{GPa})$	(y 方向フランジ)	$t_{fs}=7(\text{mm})$

開発手法の性能

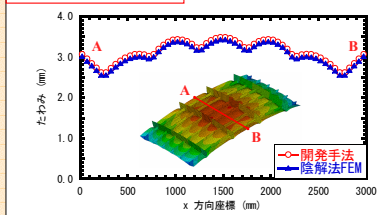
解析モデル: 自由度数143748を使用

メモリ消費量

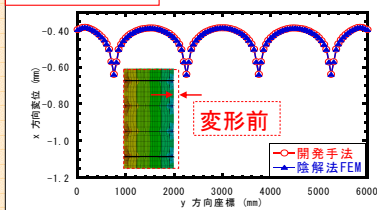


陰解法FEMと比べてメモリ消費量を10分の1に削減

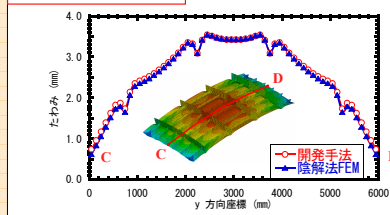
z方向たわみ分布



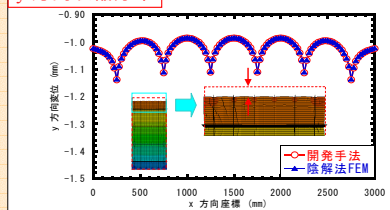
x方向収縮分布



z方向たわみ分布



y方向収縮分布



理想化陽解法FEMと陰解法FEMの解析結果がほぼ一致

開発手法の特徴

- ・従来手法(陰解法FEM)と比べてメモリ消費量が**非常に少ない**
- ・従来手法(陰解法FEM)と比較しても解析精度を**実用上十分に保つ**ことが可能
- ・従来手法(陰解法FEM)と比べて大規模構造ほど**省メモリ**なので将来性に期待できる

まとめ・今後の展望

- ・自由度数が57万を超えるような**大規模な構造物の溶接解析**に関して、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**静的陰解法FEMと同等の解析精度を有する**ことを確認した。

今後の展望

今後、船体ブロックどうしを接合する際に発生する溶接変形予測、あるいはブロック全体の座屈強度解析へと発展させる予定である。