

Salome-Meca活用研究会 非線形分科会報告

前田 研吾

CAE懇話会

Salome-Meca活用研究会

「非線形分科会」活動主旨

- ◆ 目的：Salome-Meca(Code_Aster)の非線形解析に関する情報を広く得ること

- ◆ 内容：
 - 解析手法の調査
 - 解析の実施，商用ソフトとの結果比較

- ◆ 方針：
 - 各自、自分のやりたいテーマをあげて取り組む

「非線形分科会」の活動報告

1. ゴム材料を使ったテストモデルの解析

◆ テストモデルの解析、商用(MARC)との比較

- 面外荷重条件、強制変位(中空円板曲げ)
- 面外荷重条件、接触(中空円板曲げ)

2. X-FEMによる疲労亀裂進展の解析

◆ 概要

◆ テストモデルの解析、結果の比較

- 橋の横桁の亀裂進展

材料モデルの同定

◆ Code_Asterで使えるゴム材料モデル

■ Mooney

- ◆ Neo-Hookean C10
- ◆ Mooney-Rivlin C10、C01
- ◆ Signorini C10、C01、C20

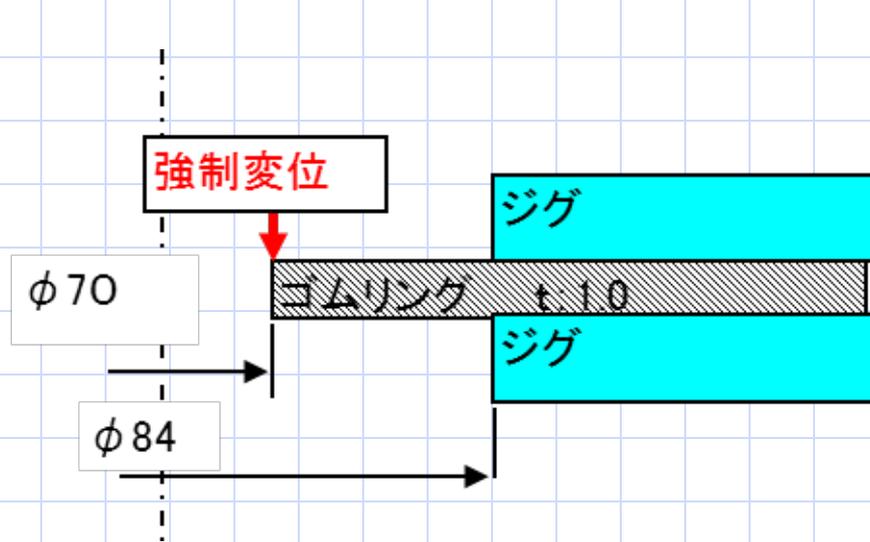
- 他のゴム材料モデル[Ogden、Arruda-Boyce、Gent] などには入っていないようだ。

*今回のテストではMooney-Rivlin C10、C01 を使用することにした。

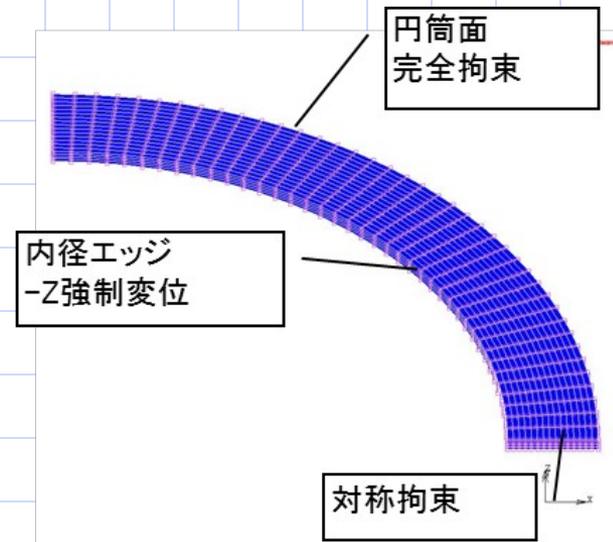
テストモデルの解析、商用(MARC)との比較

◆ 面外荷重条件 (強制変位)

■ サンプルと解析モデル



ゴム中空円板



1/4モデル

テストモデルの解析、商用(MARC)との比較

◆面外荷重条件(強制変位)

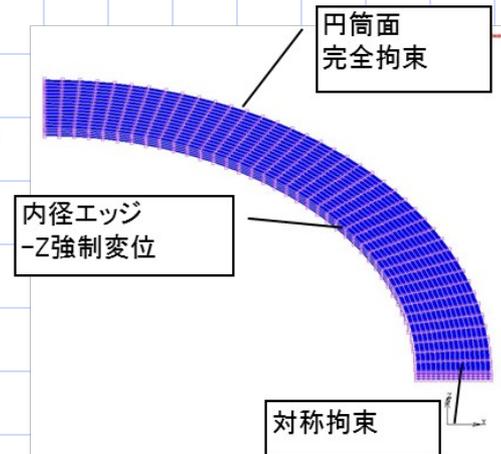
- 形状モデル : ゴム中空円板周方向1/4をモデル化
- メッシュ : 6面体 2400要素

全積分 : 1次、2次

低減積分 : 2次

MARCはハーマン要素

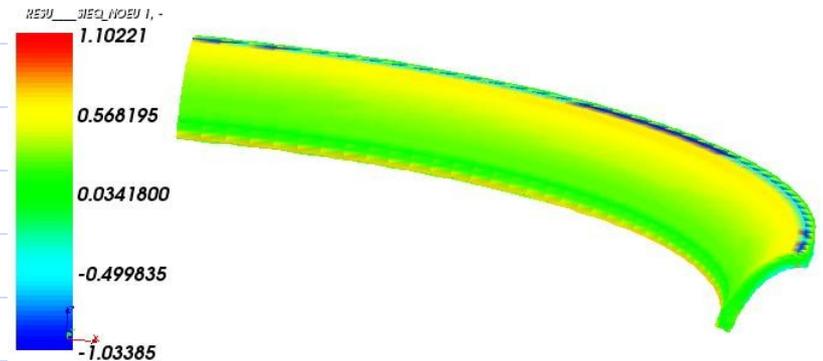
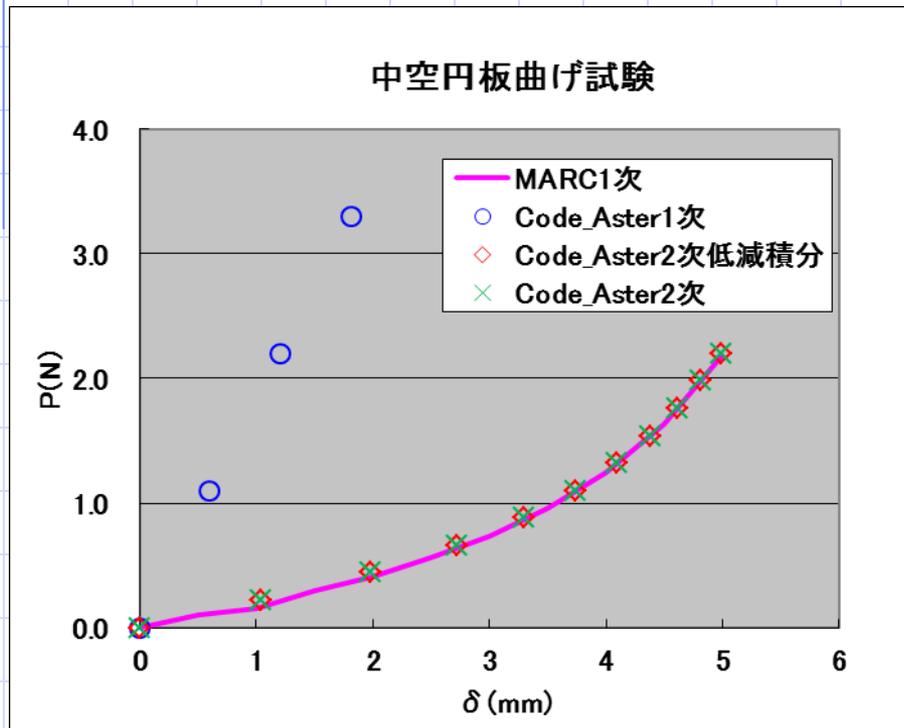
- 強制変位 : 内径エッジを軸方向へ5(mm)
- 解法 : Total Lagrange
- 収束判定 : 残差 / 反力 ≤ 0.05



テストモデルの解析、商用(MARC)との比較

◆ 面外荷重条件 (強制変位)

■ 解析結果 P- δ 線図



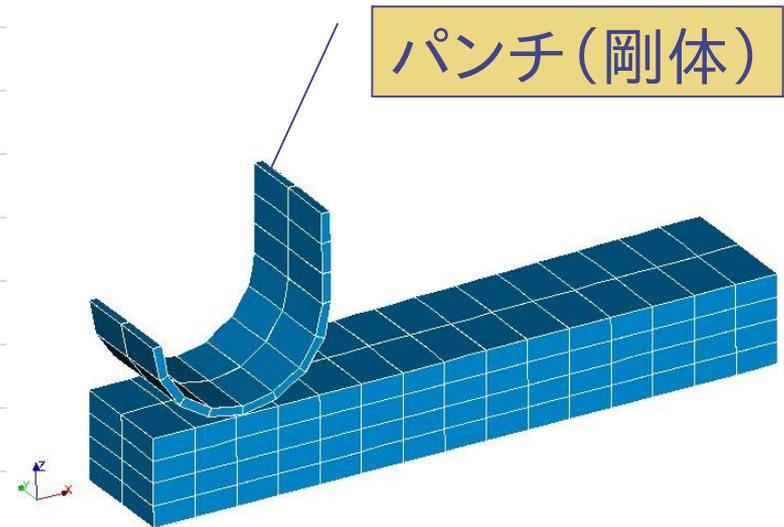
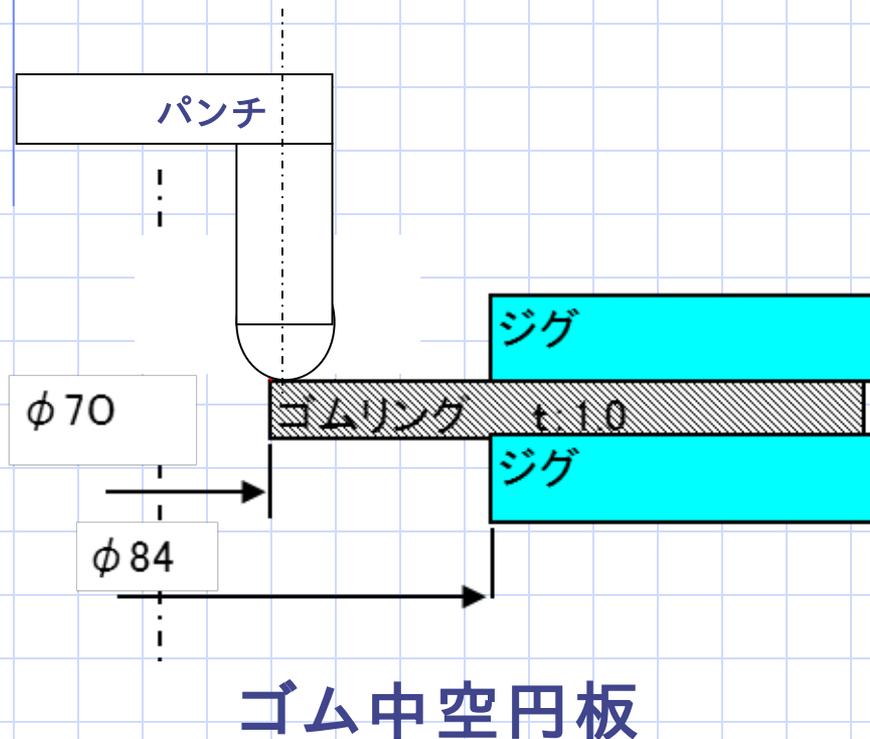
相当応力

- ・ 1次要素はロッキング発生。
- ・ 2次要素、2次低減積分要素はMARCと一致。

テストモデルの解析、商用(MARC)との比較

◆面外荷重条件(接触)

■ サンプルと解析モデル



周方向2°モデル

テストモデルの解析、商用(MARC)との比較

◆ 面外荷重条件 (接触解析)

- 形状モデル : ゴム中空円板周方向2°分をモデル化
- メッシュ : 6面体 120要素

全積分 : 2次

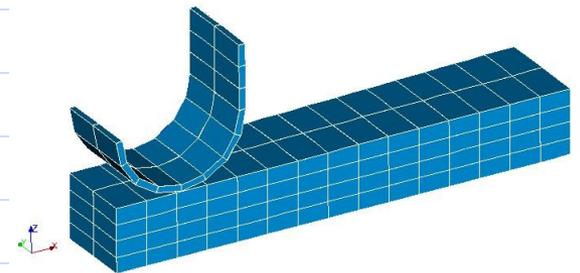
低減積分 : 2次

MARCはハーマン要素1次

4面体 643要素

低減積分 : 2次

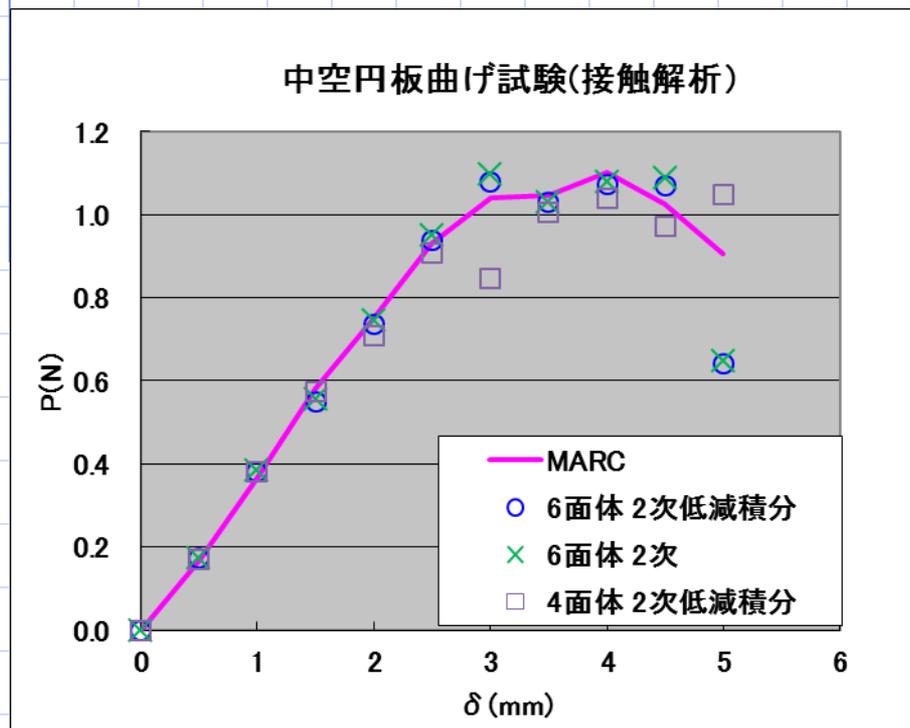
- 強制変位 : 剛体パンチで軸方向へ5(mm)押し込む
- 摩擦モデル : PENALISATION
Bilinear(MARC)
- 摩擦係数 : 0.2
- 解法 : Total Lagrange
- 収束判定 : 残差 $\leq 1E-4$



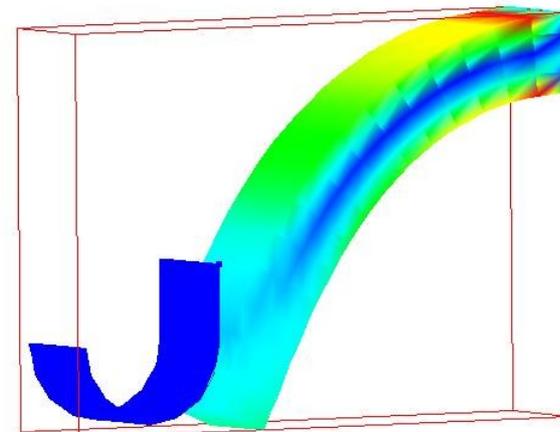
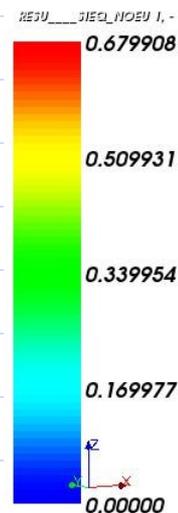
テストモデルの解析、商用(MARC)との比較

◆ 面外荷重条件 (接触解析)

■ 解析結果 P- δ 線図



Position: (34.9787; -1.01572e-18; -5.12232)
Size: (7.02132; 1.46678; 5.12232)



相当応力

- ・ 荷重最大点までは一致。
- ・ 低減積分、全積分で差はなし。

ゴム材料、接触 まとめ

- ・面外変形解析において1次要素ではロッキングが発生したが2次要素を使うことで回避可能。
- ・今回のテストにおいては2次全積分、2次低減積分で結果に差はなし。
(計算時間は全積分の約60%)
- ・接触についてはパラメータスタディをして理解を深める。
- ・今回実施のテストモデルにおいては商用と同等の結果が得られた。

「非線形分科会」の活動報告 2

X-FEMによる疲労亀裂進展の解析

◆概要

◆テストモデルの解析、結果の比較

- 橋の横桁の亀裂進展

◆まとめ

Code_Asterの亀裂進展 概要

◆対象要素

- 3D : 3次元要素
- C-PLAN : 平面応力要素
- D-PLAN : 平面ひずみ要素
- AXIS : 軸対象要素

*シェル要素などに対応していない

◆亀裂進展則

- 進展長さ: パリス則
- 進展方向: Erdogan-Sihの混合モードクライテリオン

◆亀裂先端のメッシュリファインメントも可能

比較対象の文献

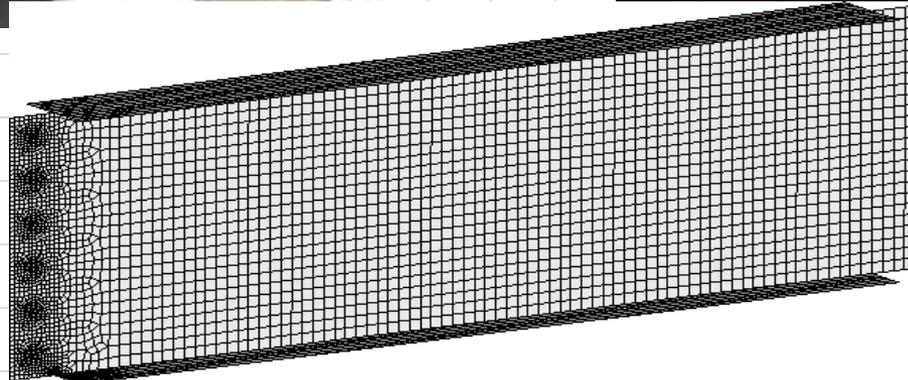
◆鋼橋の疲労亀裂進展シミュレーション手法の開発とその維持管理への応用に関する研究

4.XFEM による亀裂進展シミュレーション

- 関西大学 環境都市工学部 教授 坂野 昌弘
- (社)日本橋梁建設協会
- (財)海洋架橋・橋梁調査会
- 阪神高速道路(株)
- 関西大学環境都市工学部都市システム工学科
- 京都大学大学院工学研究科 准教授 宇都宮 智昭
- 国土交通省 近畿地方整備局

比較対象の文献

◆4.XFEM による亀裂進展シミュレーション ABAQUSを改造して機能を組み込んでいる

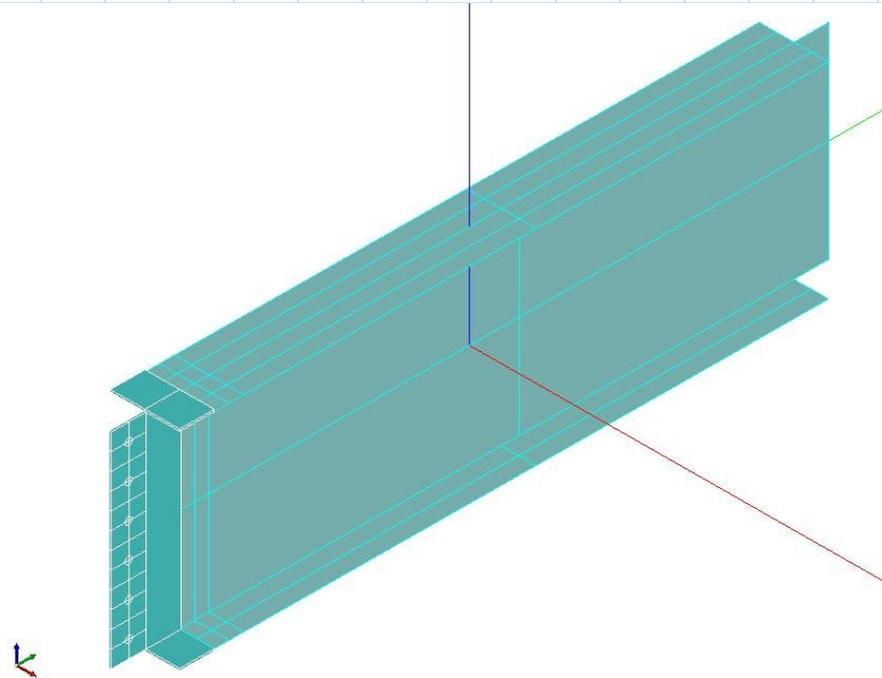


Code_Asterでのモデル化

◆使用した要素

- 亀裂周辺 : 3D
- それ以外 : シェル要素

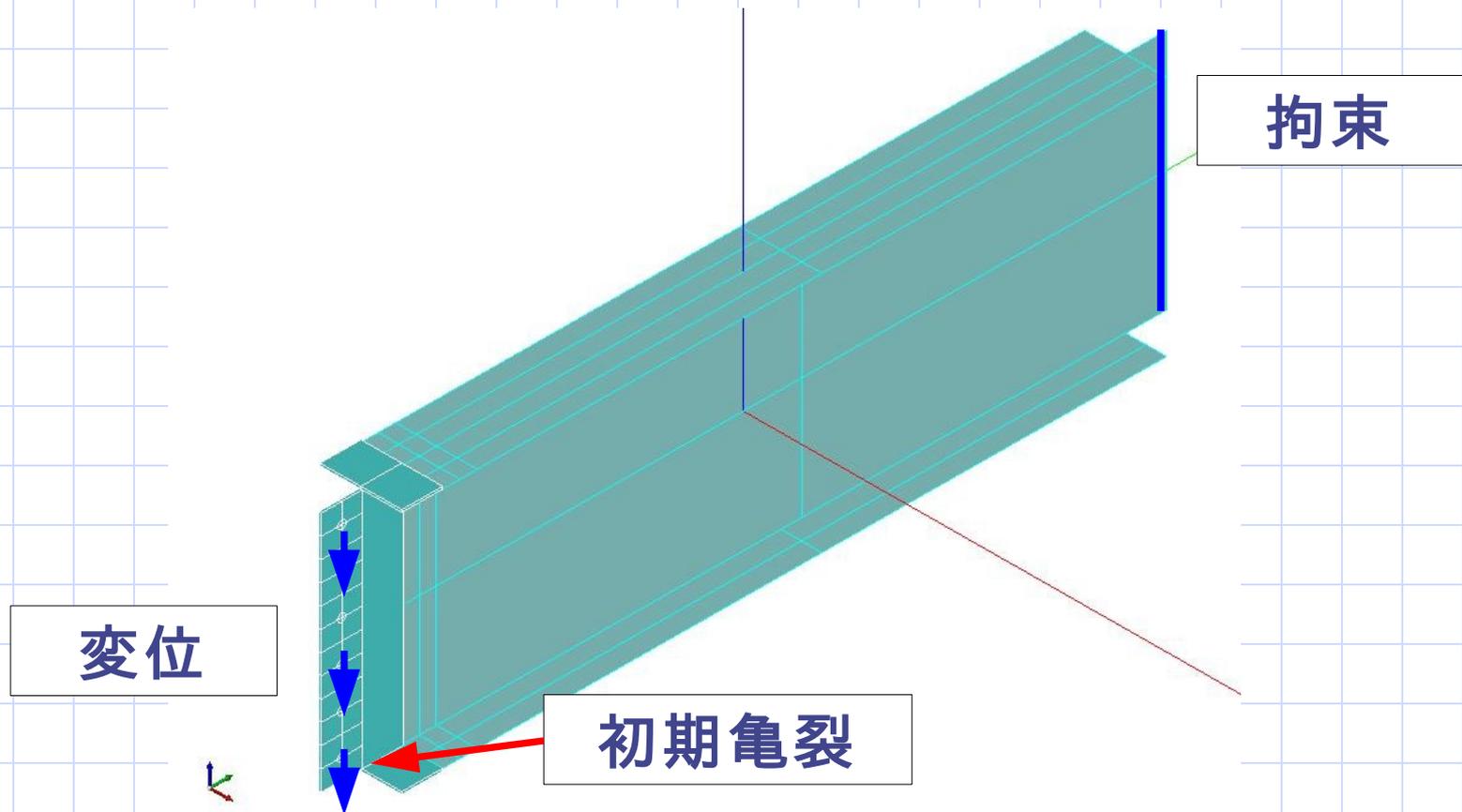
Code_Asterではシェル要素はX-FEMに対応してないので、亀裂周辺のみ3D要素とした



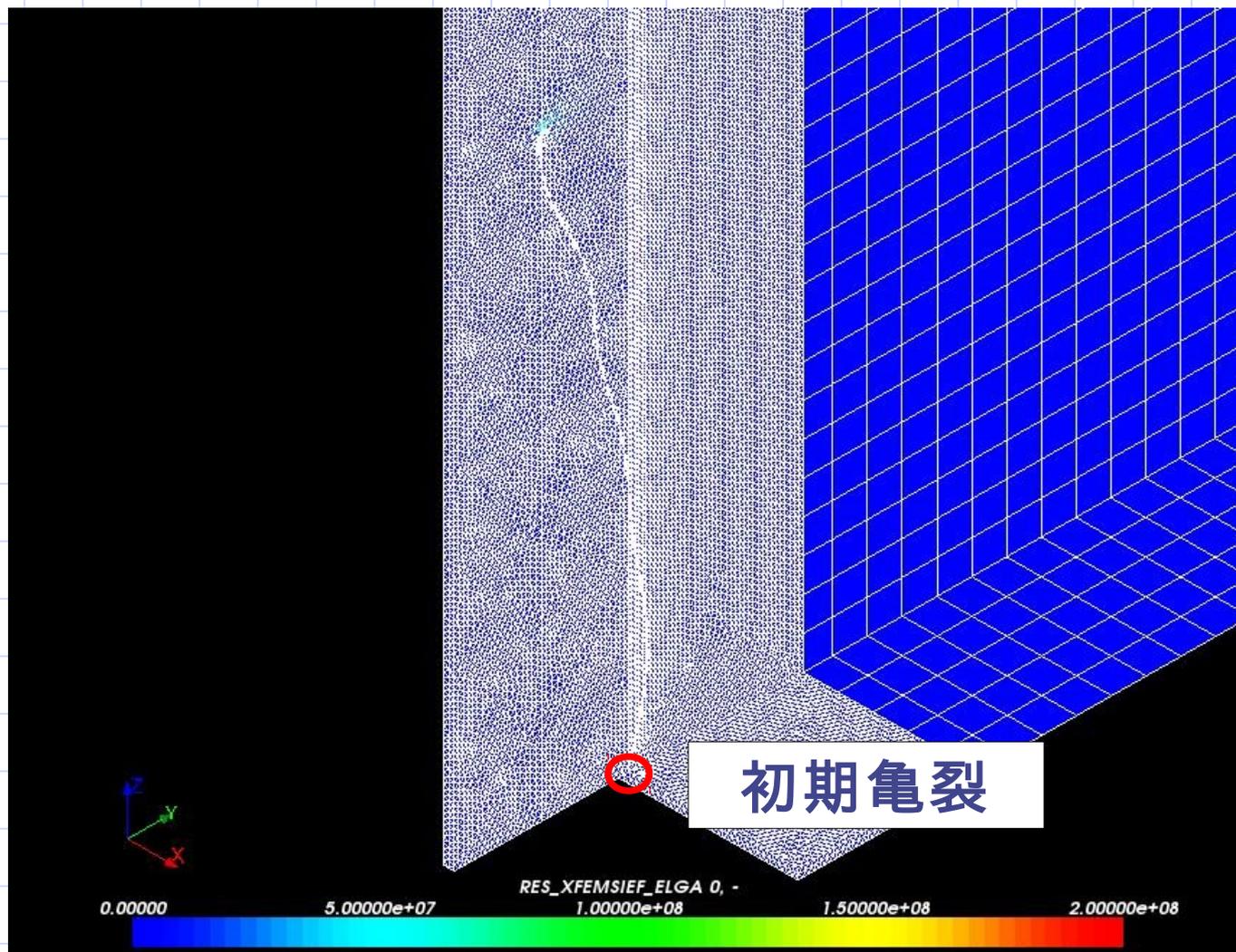
モデル化

◆境界条件

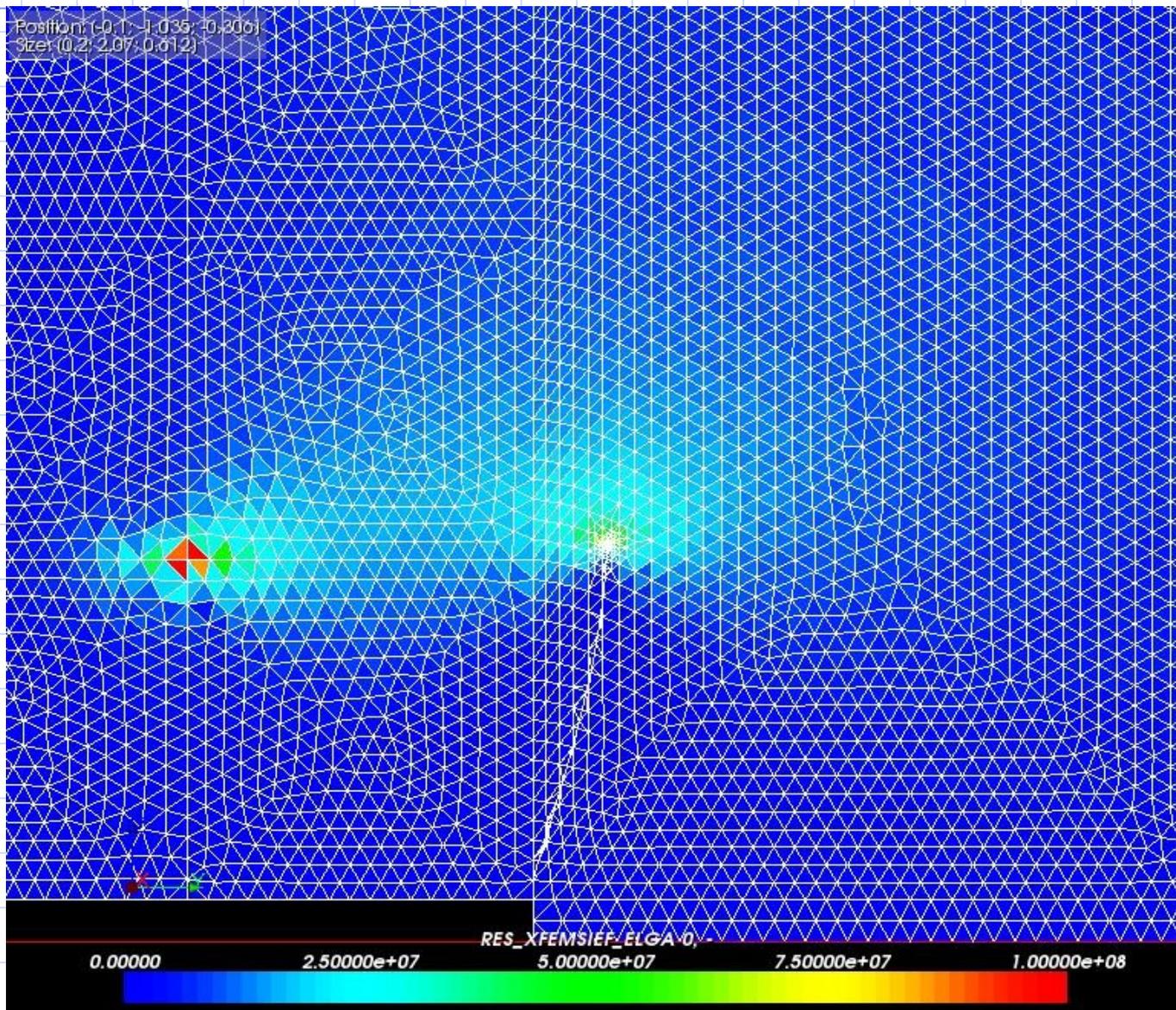
- 端を拘束して、反対の端にあるボルト×6個の位置にZ方向:-1mmの変位を与える



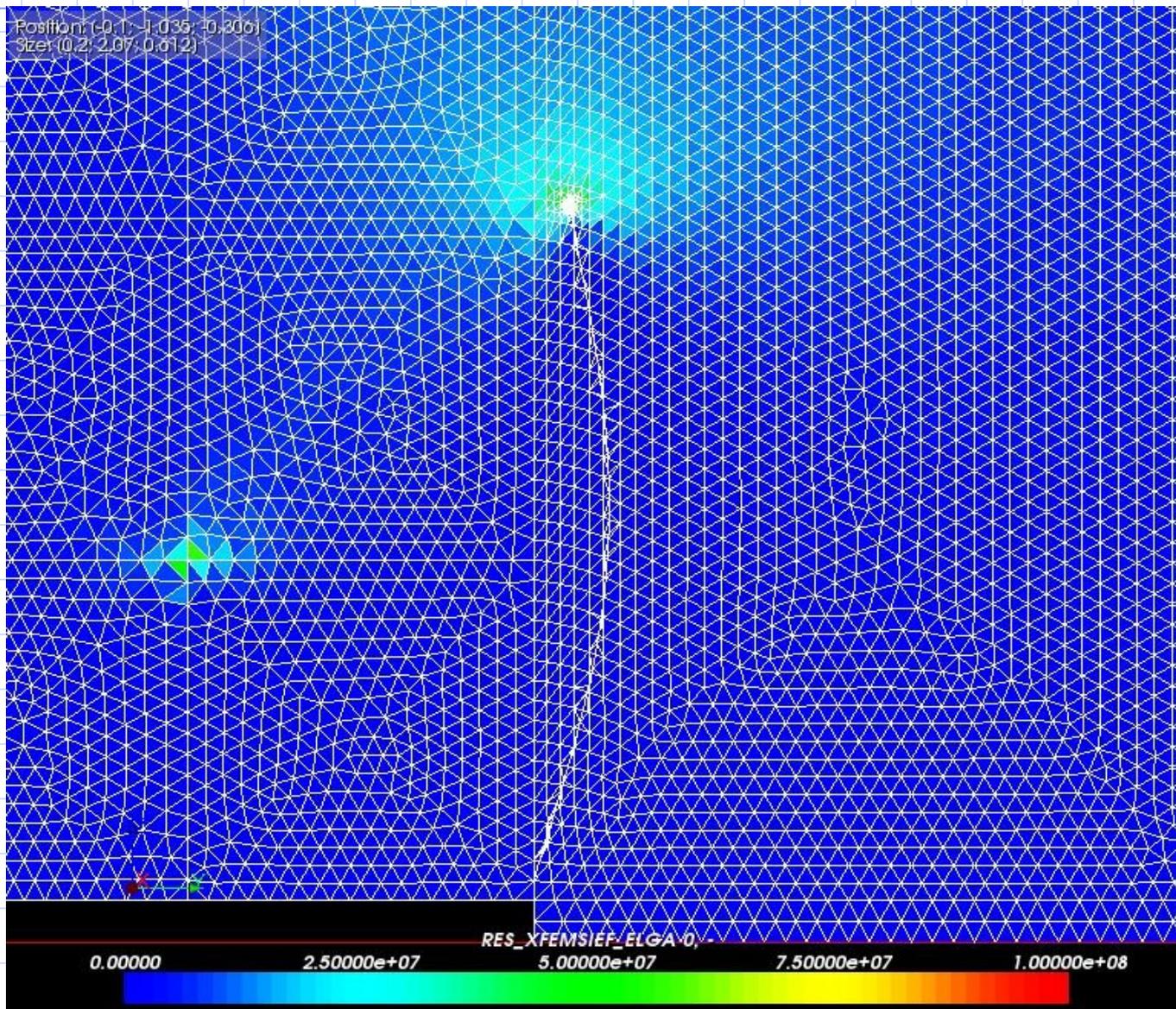
計算結果



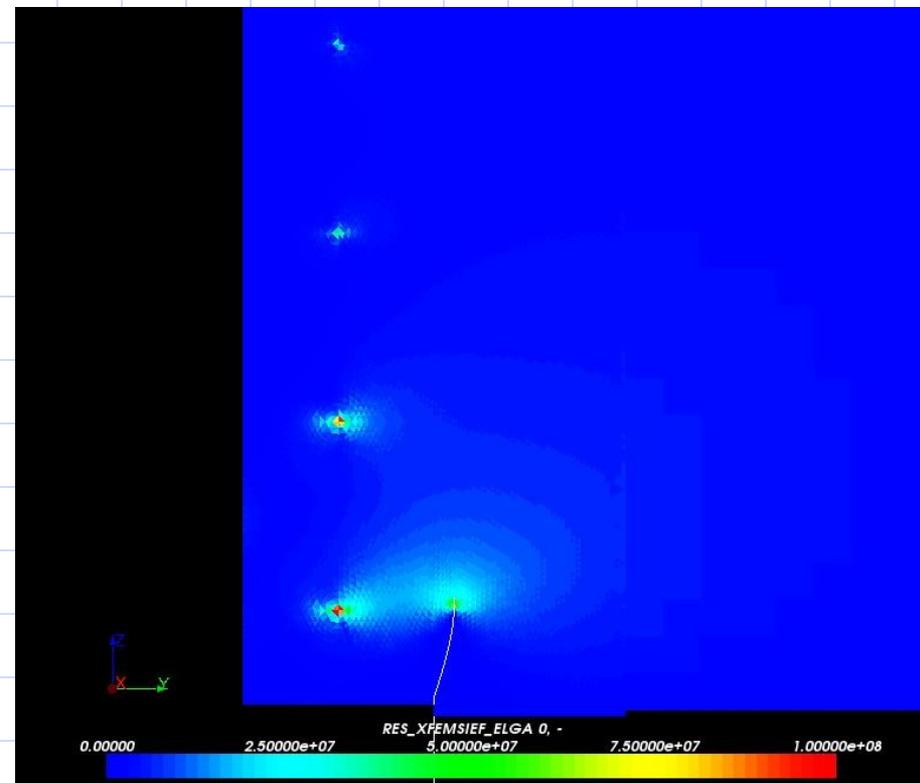
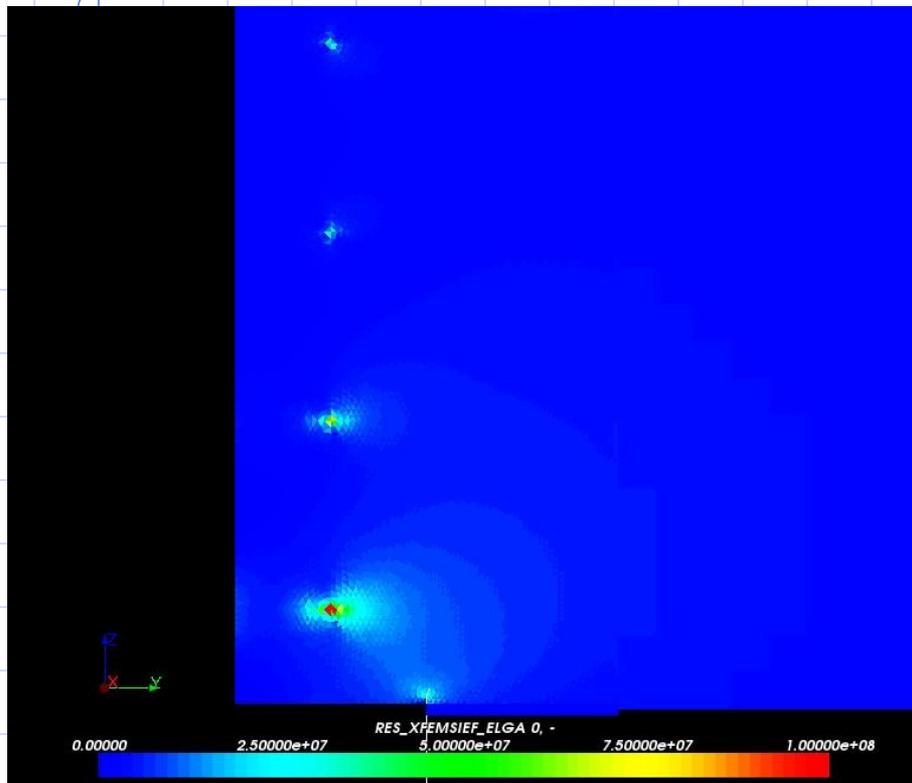
計算結果



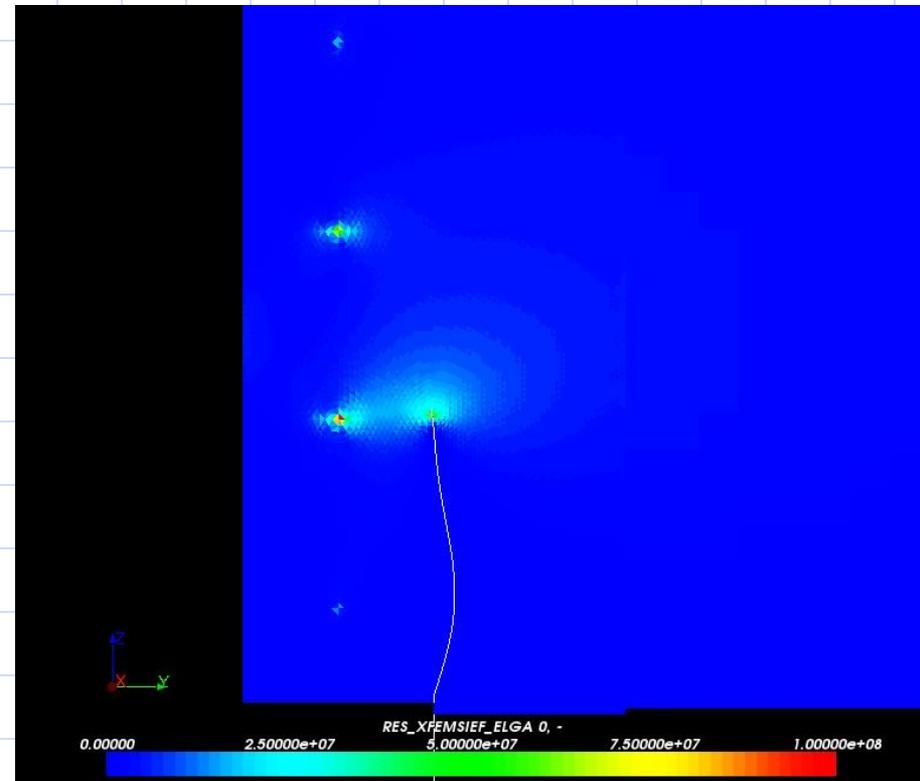
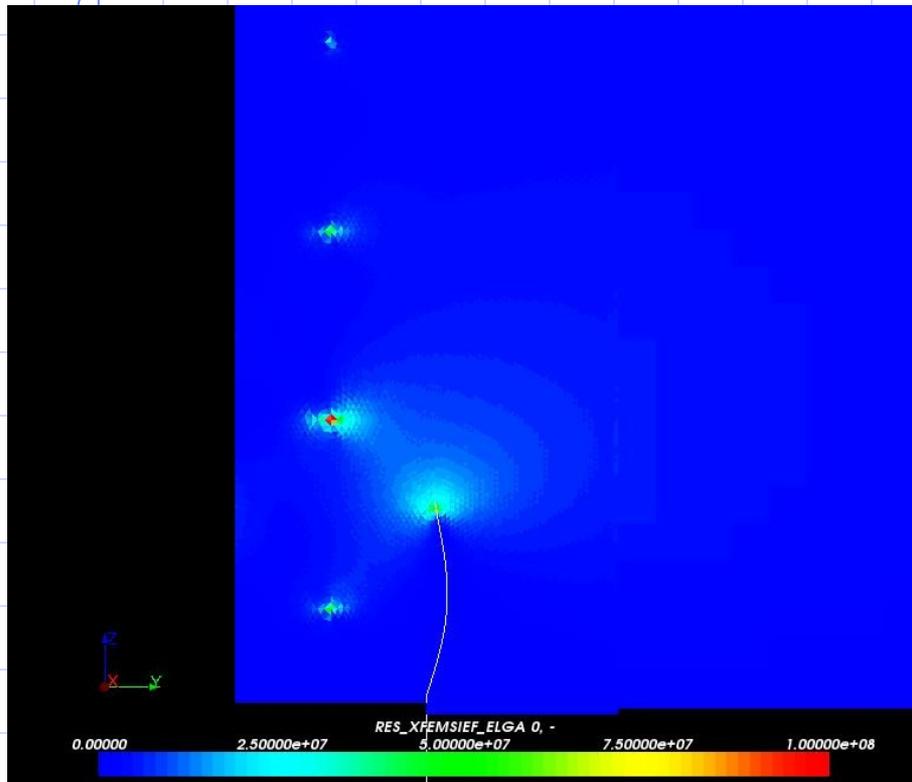
計算結果



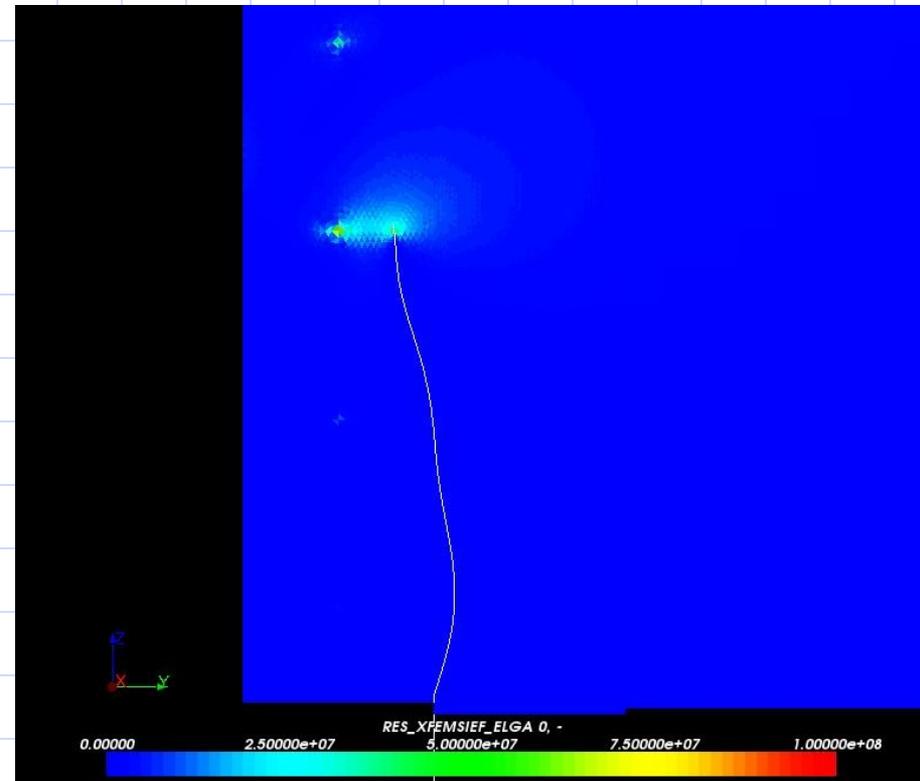
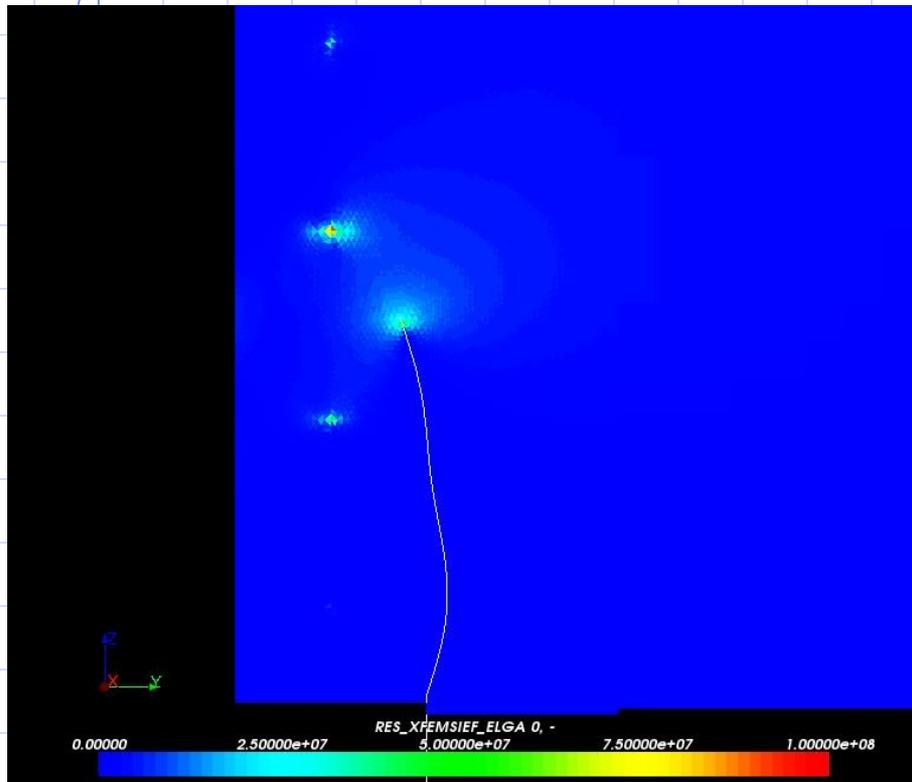
計算結果



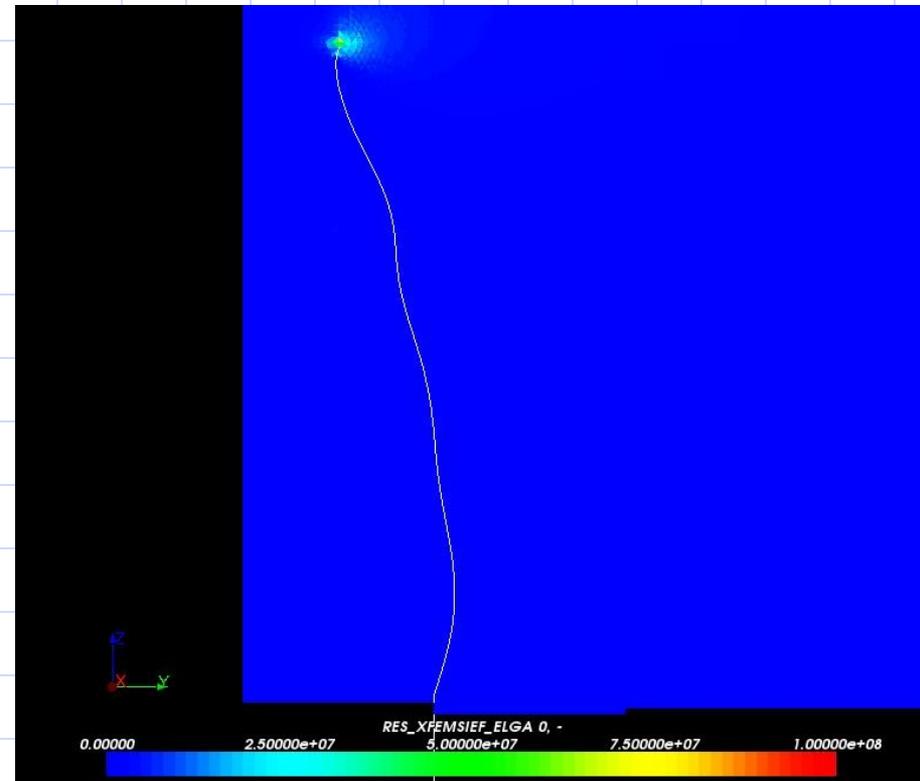
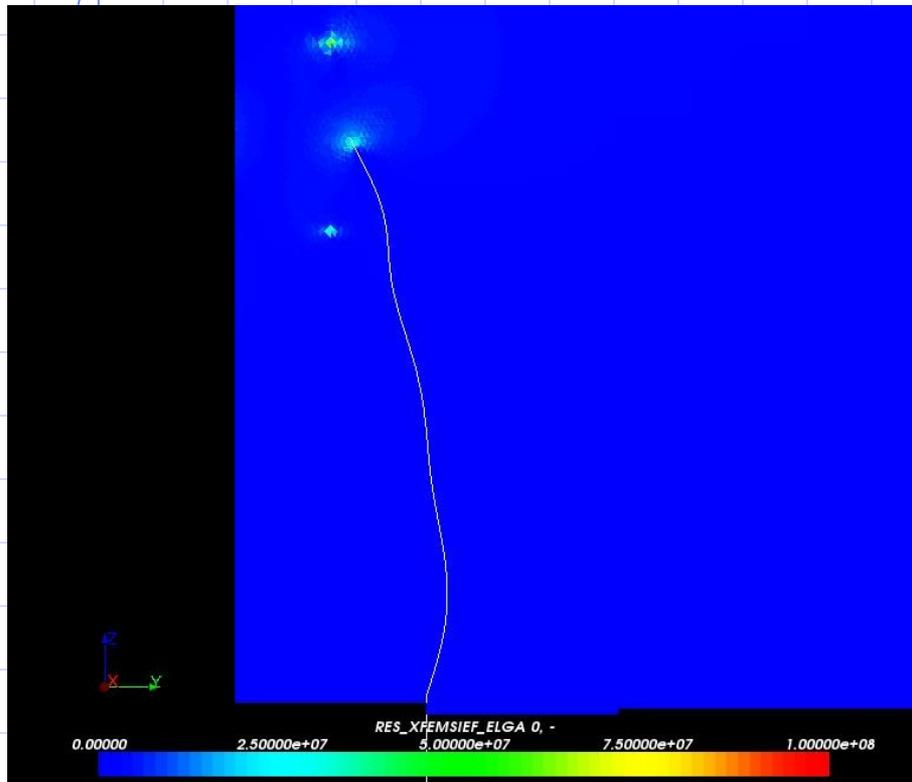
計算結果



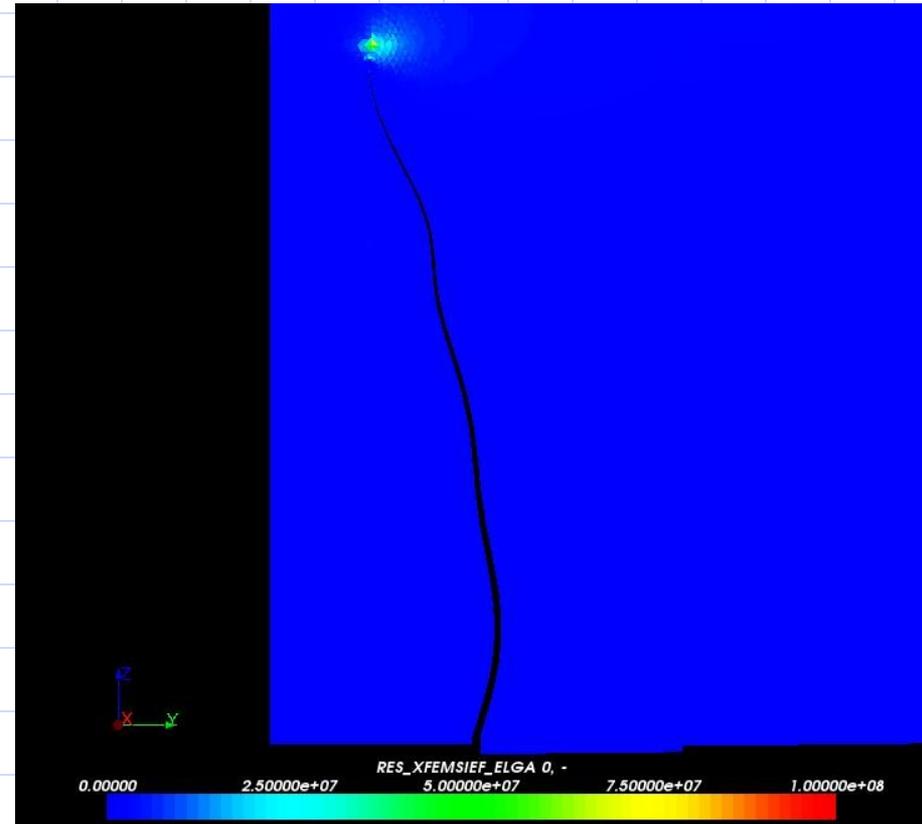
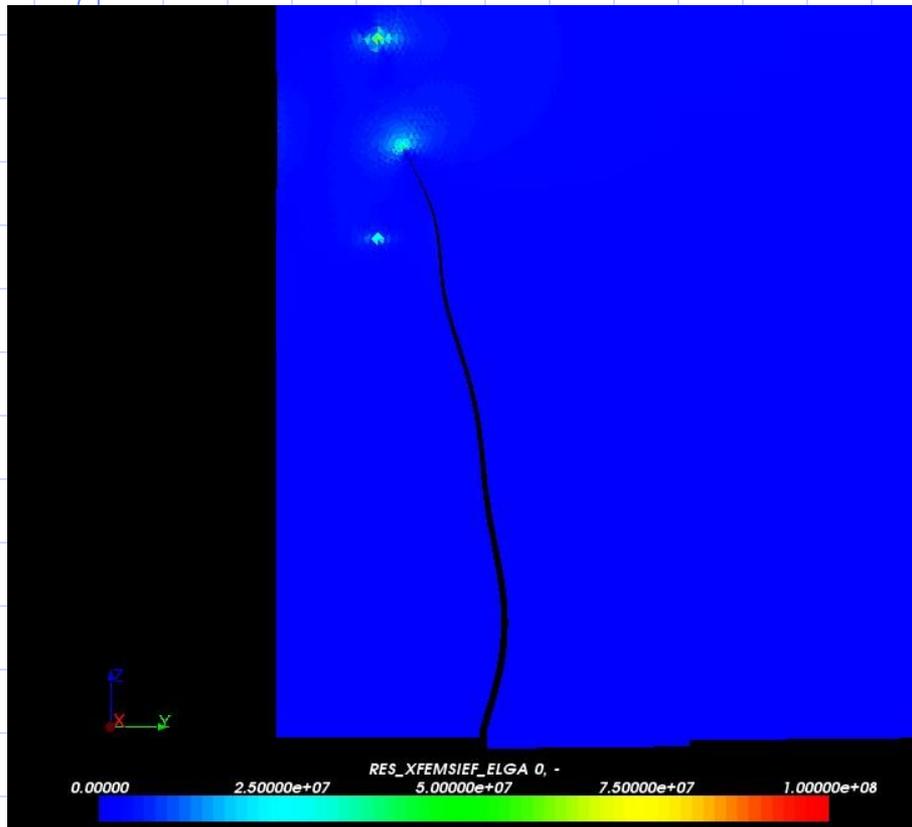
計算結果



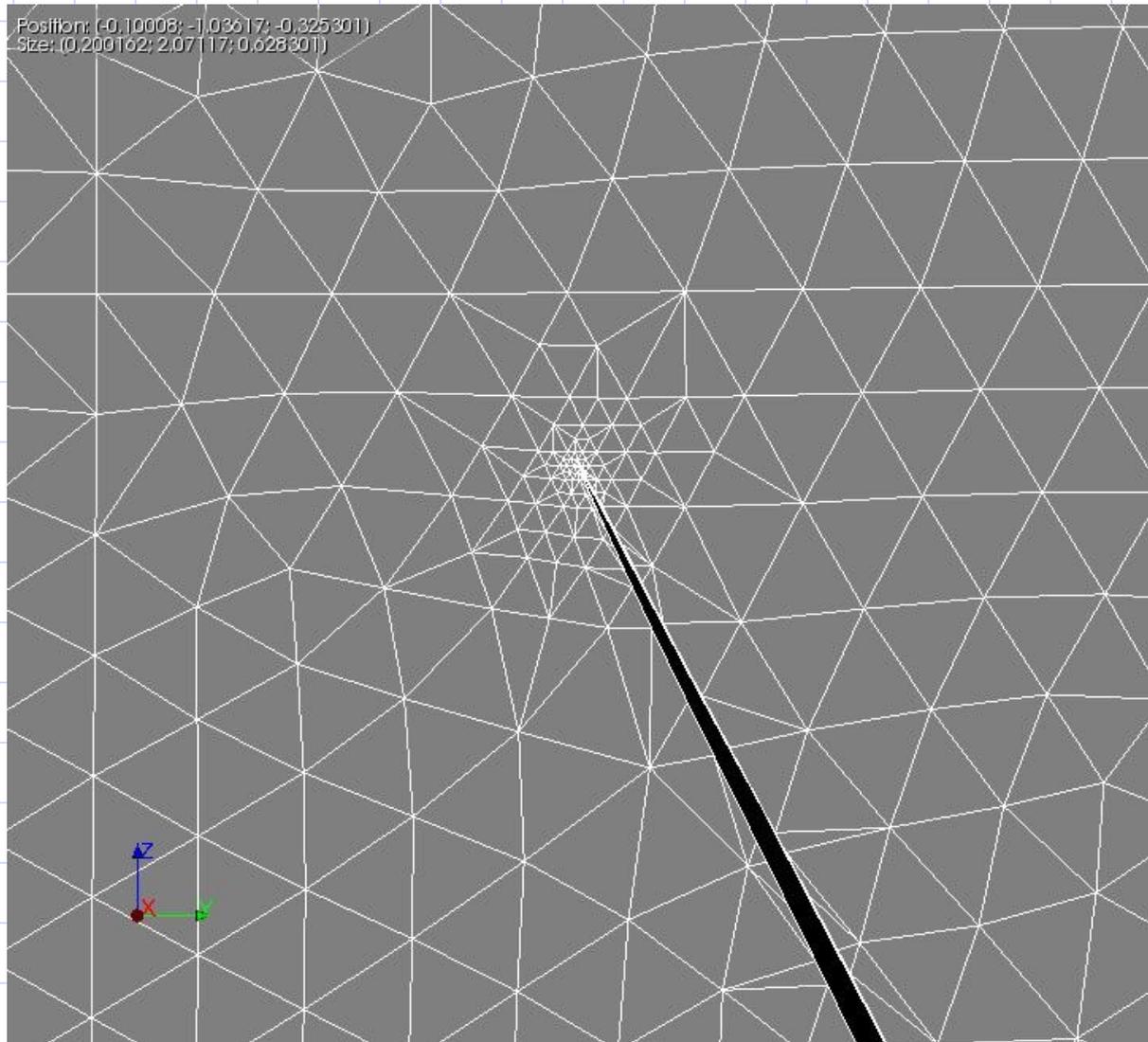
計算結果



計算結果

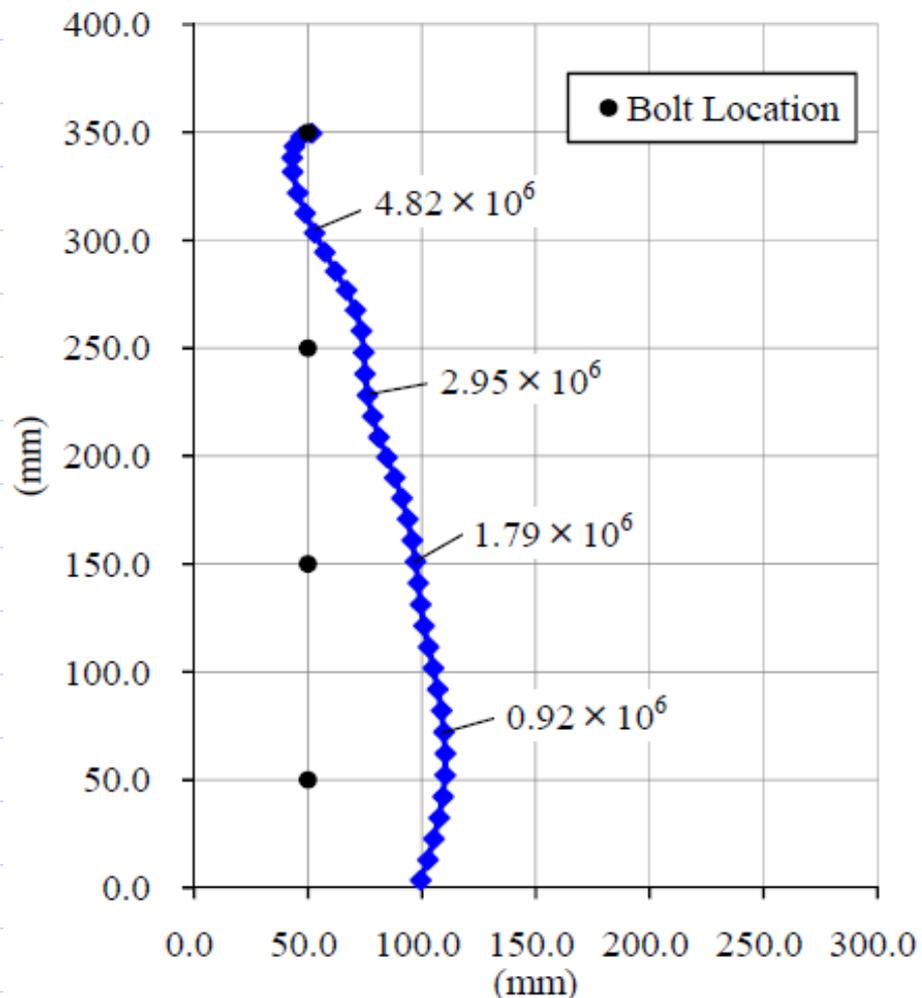


計算結果

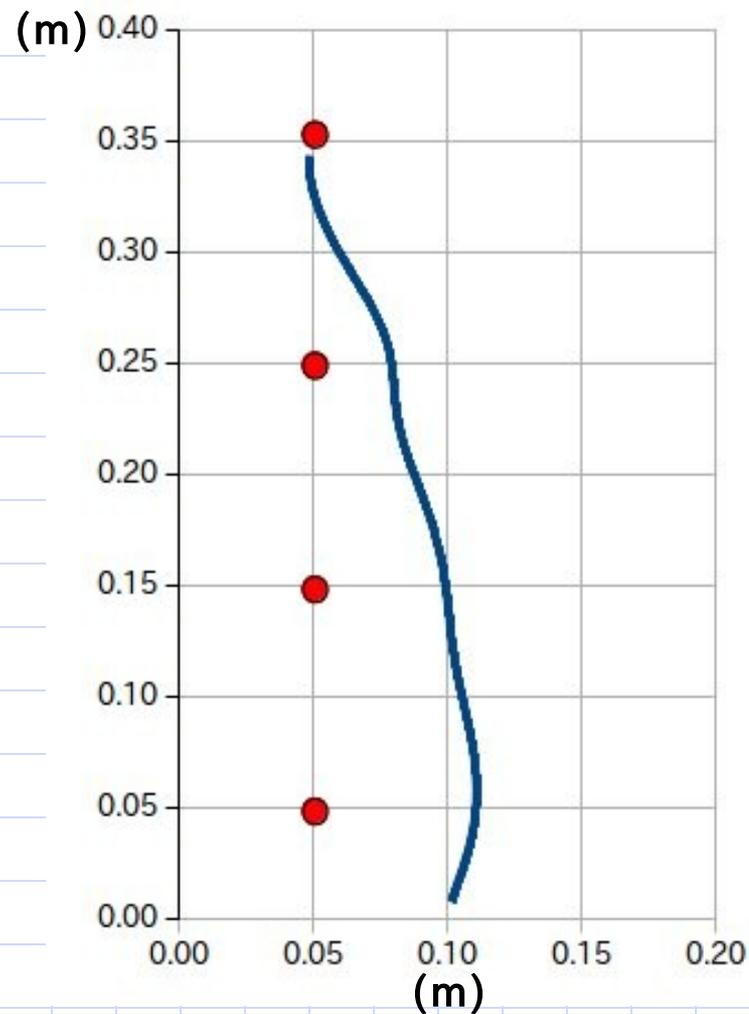


結果比較（亀裂の軌跡）

亀裂の進展方向は、ほぼ一致している



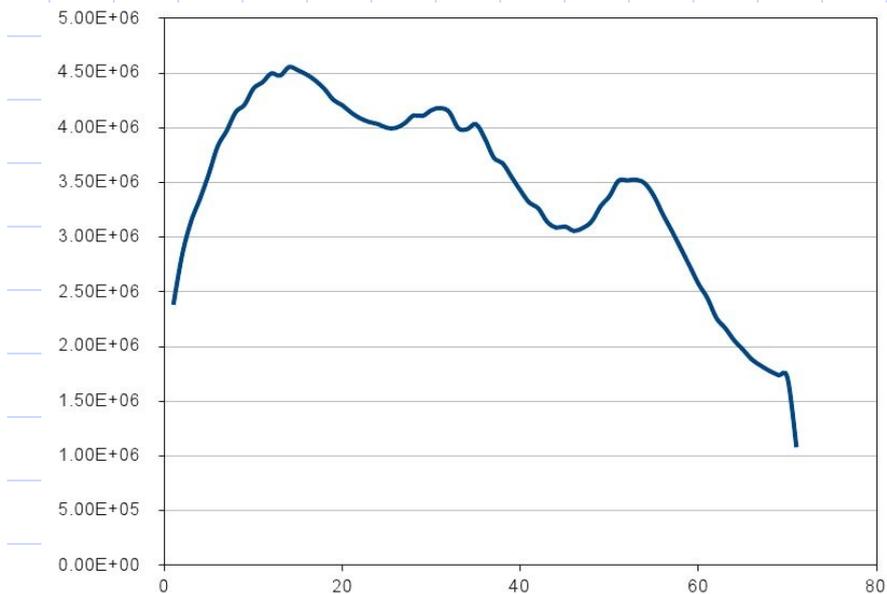
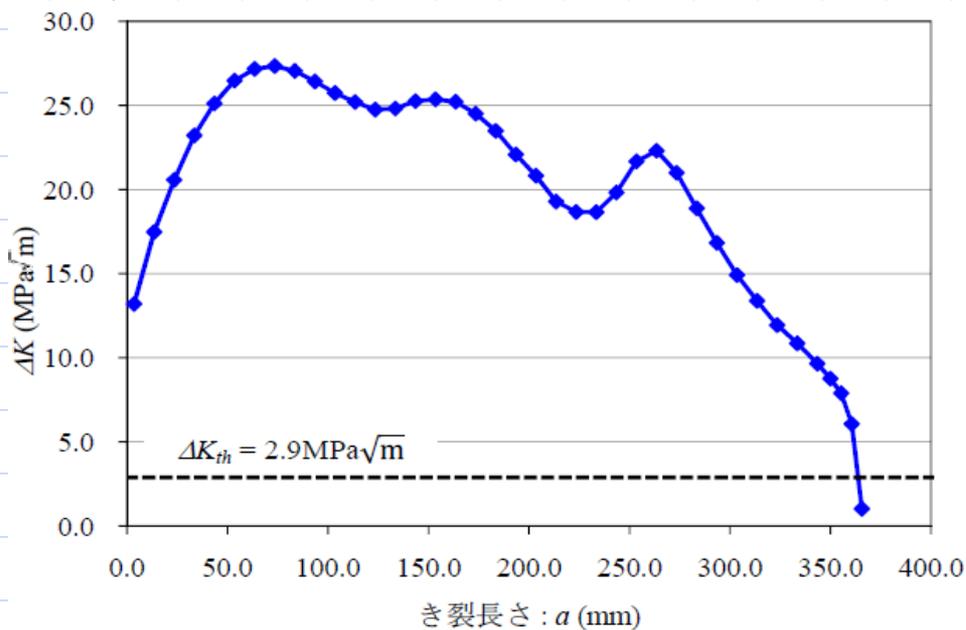
引用文献



Code_Aster

結果比較 (ΔK)

絶対値は違うものの、傾向は一致している



引用文献

Code_Aster

X-FEM 亀裂進展 まとめ

- ・亀裂進展部分を3D、それ以外をシェル要素で解析することができた
- ・亀裂進展の軌跡は引用文献と一致したが、 ΔK は傾向のみが一致した
- ・今回は単純な境界条件であったが、通常の計算で使える条件も使えるようだ