



構造解析ソフトウェア
Advance/FrontSTR Ver.3.0
バージョンアップセミナー

基本例題による解析と実行性能

アドバンスソフト株式会社
技術第5部 主事研究員
大家 史

4.

内容一覧

■ 基本例題による解析

– 逐次処理の例題

- 弾性静解析
- 非線形静解析
 - 超弾性解析
 - 弾塑性解析
- 接触解析



基本的な操作方法の紹介



解析制御ファイルの指定方法の説明

– 並列処理の例題

- 弾性静解析



並列解析の手順紹介

■ 実行性能

- Windows環境における実行性能(32bitと64bitの比較)
- 並列化効率(PCクラスタ)



基本例題一覧

チュートリアルガイドの例題

解析種別	モデル名	要素タイプ	要素数	節点数
弾性静解析	ヒンジ	四面体一次	579,772	121,850
超弾性解析	シリンダー	六面体一次	432	629
超弾性解析	スプリング	四面体二次	4,6454	78,771
弾塑性解析	シリンダー	六面体一次	432	629
弾塑性解析	カン	四面体二次	7,236	14,119
接触解析	Hertz	六面体一次	168	408
接触解析	押し込み	六面体一次	2,888	4,000
動解析	片持ち梁	四面体二次	240	525
固有値解析	スプリング	四面体二次	46,454	78,711
熱伝導解析	ブロック	六面体一次	32,160	37,386



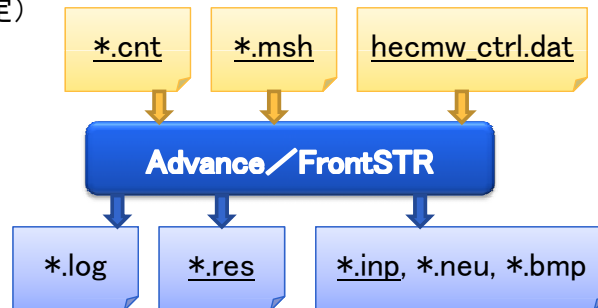
逐次処理による解析

実行の流れ

解析制御データ。解析に関する各種設定(解析タイプ, 境界条件, 材料設定, ソルバ設定)

メッシュデータ

全体制御データ。入出力ファイルを管理する



※下線があるファイルは REVOCAPで操作可能

解析結果のテキスト出力

FrontSTR用可視化ファイル

その他の可視化ファイル

実行コマンド

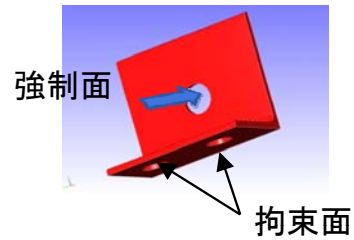
```
> fstr
```



弾性静解析(ヒンジ)1

■ 解析モデル

要素数: 579,772
節点数: 121,850



■ 解析制御ファイル

```
# Control File for FSTR
## Analysis Control
!VERSION
3
!SOLUTION, TYPE=STATIC
!STATIC
!WRITE, RESULT
## Solver Control
#### Boundary Conditon
!BOUNDARY
BND0, 1, 3, 0.000000
!BOUNDARY
BND1, 1, 3, 0.000000
!CLOAD
CLO, 1, 1.00000
```

制御ファイルのバージョン

静解析指定

結果出力

拘束面と強制面
および荷重の指定

解析の種別(TYPE)

- STATIC: 静解析
- HEAT: 熱伝導解析
- EIGEN: 固有値解析
- DYNAMIC: 動解析

境界および荷重条件

- BOUNDARY: 変位境界条件
- CLOAD: 集中荷重
- DLOAD: 分布荷重
- CONTACT: 接触条件



弾性静解析(ヒンジ)2

■ 解析制御ファイル

```
#### Material
!MATERIAL, NAME=ST
!ELASTIC
210000.0, 0.3
!DENSITY
7850.0
#### Solver Setting
!SOLVER, METHOD=CG, PRECOND=1, NS
ET=0, ITERLOG=YES, TIMELOG=YES
```

弾性材料の設定
ヤング係数と密度
(超弾性・弾塑性のちほど)

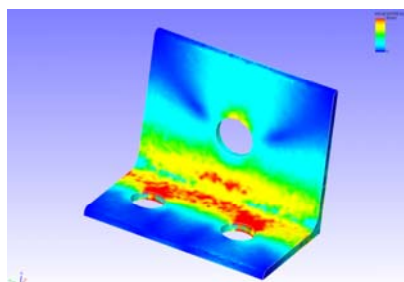
ソルバ設定

- ソルバ選択(METHOD)
 - CG: 共役勾配法
 - DIRECT: 直接法 など
- 前処理手法(PRECOND)
- ソルバ収束履歴出力(ITERLOG)
- ソルバ計算時間出力(TIMELOG)

反復回数 10000, 2

打ち切り誤差 1.0e-06, 1.0, 0.0

■ 解析結果



変形およびミーゼス
応力コンター図



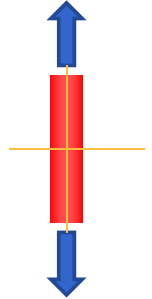
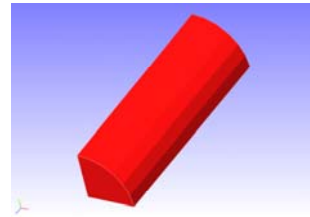
非線形解析(シリンダー)

■ 共通(超弾性解析・弾塑性解析)

- モデル

- 丸棒の1/8モデル

要素数: 432
節点数: 629



- STEP

- 解析ステップを指定する

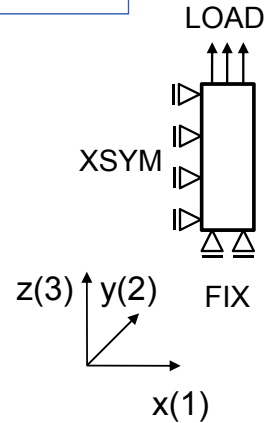
BOUNDARY(境界条件), C(D)LOAD(荷重条件), CONTACTなどはSTEP以下に指定することで解析で利用されるようになる

ステップ数を5にする 各ステップにおける収束判定閾値

```
!STEP, SUBSTEPS=5, CONVERG=1.0e-5
BOUNDARY, 1
```

ステップを適用する対象
BOUNDARYのGRPID=1に適用するという意味。

```
!BOUNDARY, GRPID=1
LOAD, 3, 3, -5.0
FIX, 3, 3, 0.0
XSYM, 1, 1, 0.0
YSYM, 2, 2, 0.0
```



超弾性体モデルの設定

■ 超弾性体モデル

超弾性体 材料モデルの指定

```
!MATERIAL, NAME=MAT1
!HYPERELASTIC, TYPE=NEOHOOKE
3.0984, 0.47542
```

材料定数の設定(モデルにより数が異なる。下式 □ に対応)
W:弾性ポテンシャルエネルギー

Neo-Hookean 指定(NEOHOOKE)

$$W = \square{C_{10}}(\bar{I}_1 - 3) + \frac{1}{\square{D_1}}(J - 1)^2$$

Mooney-Rivlin 指定(MOONEY-RIVLIN)

$$W = \square{C_{10}}(\bar{I}_1 - 3) + \square{C_{01}}(\bar{I}_2 - 3) + \frac{1}{\square{D_1}}(J - 1)^2$$

Arruda Royce 指定(ARRUDA-ROYCE)

$$W = \square{\mu} \left[\frac{1}{2}(\bar{I}_1 - 3) + \frac{1}{20(\lambda_m^2)}(\bar{I}_1^2 - 9) + \frac{11}{1050\lambda_m^2}(\bar{I}_1^3 - 27) + \frac{19}{7000\lambda_m^2}(\bar{I}_1^4 - 81) + \frac{519}{673750\lambda_m^2}(\bar{I}_1^5 - 243) \right] + \frac{1}{\square{D}} \left(\frac{J^2 - 1}{2} - \ln J \right)$$



弾塑性体モデルの設定1

■ 弾塑性体モデル

弾性域の材料設定

```
!MATERIAL, NAME=MAT1      弾塑性体。降伏条件と硬化則  
!ELASTIC                  を指定する  
206.9, 0.325  
!PLASTIC, YIELD = MISES, HARDEN=BILINEAR  
2.0, 1.0
```

材料特性の設定。条件により異なる。

降伏条件と硬化則の組み合わせ

降伏条件	硬化則
Mises(デフォルト)	Bilinear(デフォルト) Multilinear Swift, Ramberg-Osgood, Kinematic, Combined
Mohr-Coulomb	Bilinear(デフォルト)
Drucker-Prager	Multilinear



弾塑性体モデルの設定2

■ 具体例(材料特性の設定)

降伏条件: Mises !PLASTIC, YIELD = MISES, HARDEN=BILINEAR
硬化則: Bilinear 2.0, 1.0
初期降伏応力 硬化係数

降伏条件: Mises !PLASTIC, YIELD = MISES, HARDEN=SWIFT
硬化則: Swift 0.04, 649.0, 0.3
 ϵ_0 D n
これらの係数は次式の係数 $\epsilon = \frac{\sigma}{E} + \epsilon_0 \left(\frac{\sigma}{D}\right)^n$

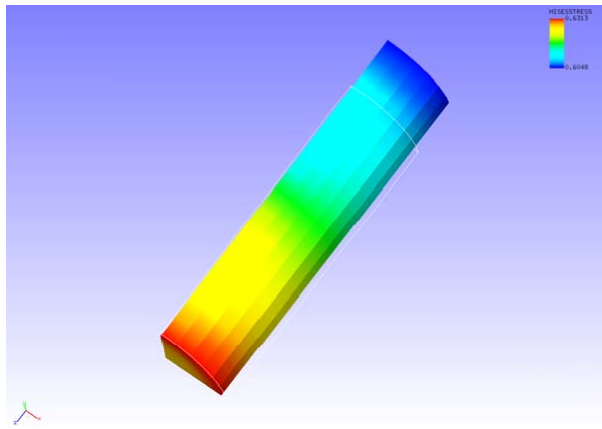
降伏条件: Drucker-Prager !PLASTIC, YIELD = DRUCKER-PRAGER,
硬化則: Bilinear HARDEN=BILINEAR
20.0, 0.7, 1.0
粘着力 内部摩擦角 硬化係数

[Misesの場合と指定方法が異なる](#)

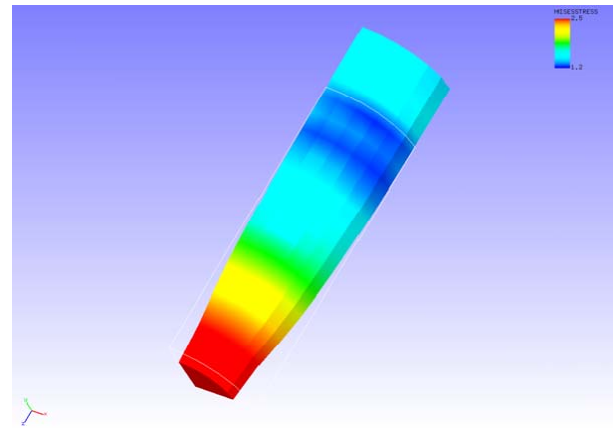


非線形解析結果

■ 変形およびMises応力コンター図



超弾性体: 全体的に変形



弾塑性体: 中央部にくびれ (necking)が生じる



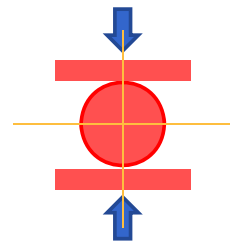
接触解析

■ Hertz接触例題

- モデル

- 1/4モデル

要素数: 168
節点数: 408



■ 接触指定

- 接触設定はメッシュデータおよび制御データ双方で行う必要がある。

メッシュデータの接触設定

```
!SGROUP,SGRP=MASTER  
1000,6  
:  
!NGROUP,NGRP=SLAVE  
1,30,...  
!CONTACT PAIR, NAME=CP1  
SLAVE, MASTER
```

面グループの指定

節点グループの指定

ペアの名前

スレイブ(節点グループ), マスター(面グループ)の順に指定

制御データの接触設定

接触解析指定GRPID=1とする

```
!CONTACT,GRPID=1  
CP1,0.0  
!STEP  
CONTACT, 1
```

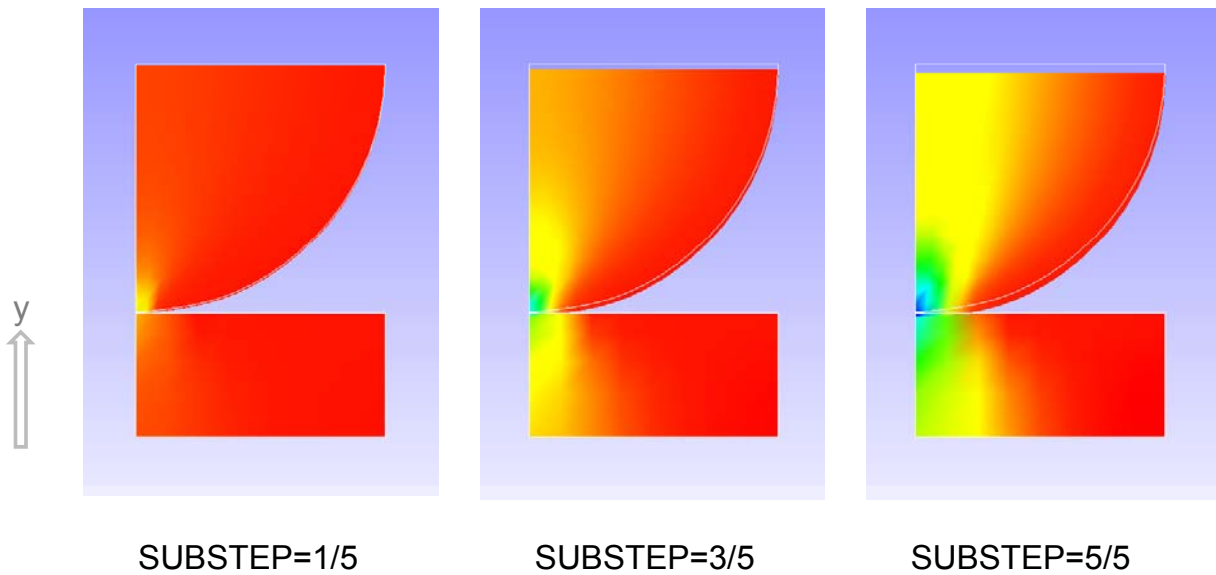
CP1, 摩擦係数は0.0

STEP以下に指定して接触解析を有効化する。



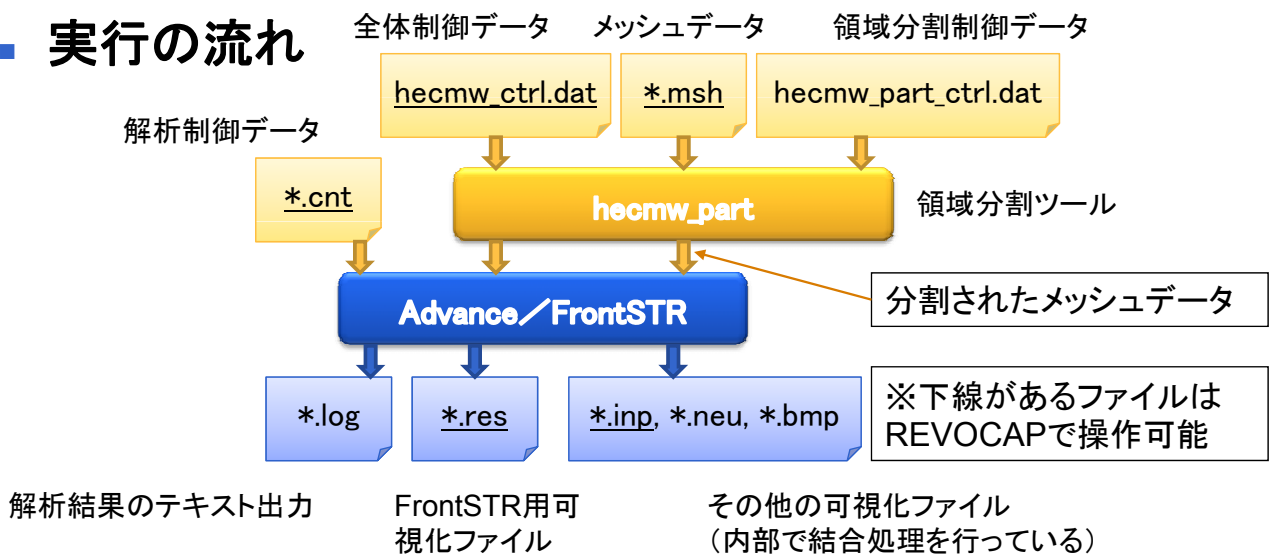
接触解析の結果

■ 変形および σ_y コンター図



並列処理による解析

■ 実行の流れ



■ 実行コマンド

```
> mpirun -np (並列数) fstr
```

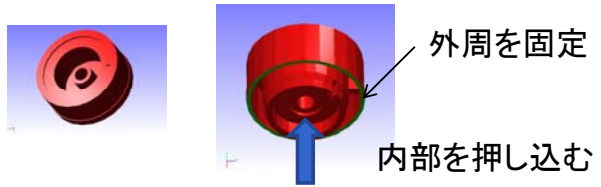


並列処理の解析例

■ 弾性静解析(キャップ)

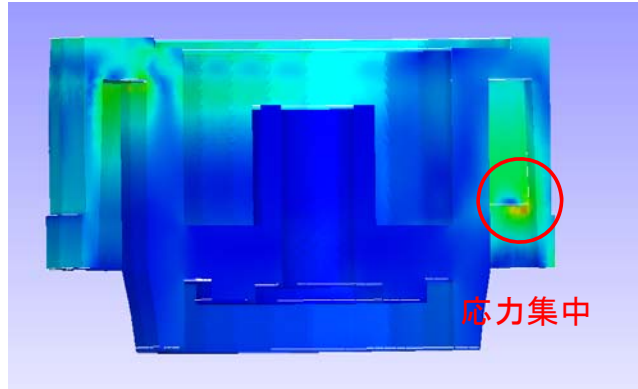
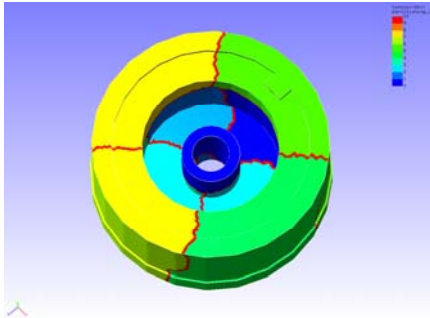
- モデル

要素数: 684807
節点数: 1008911



■ 要素分割と結果

下図のように8分割し並列処理を行った。



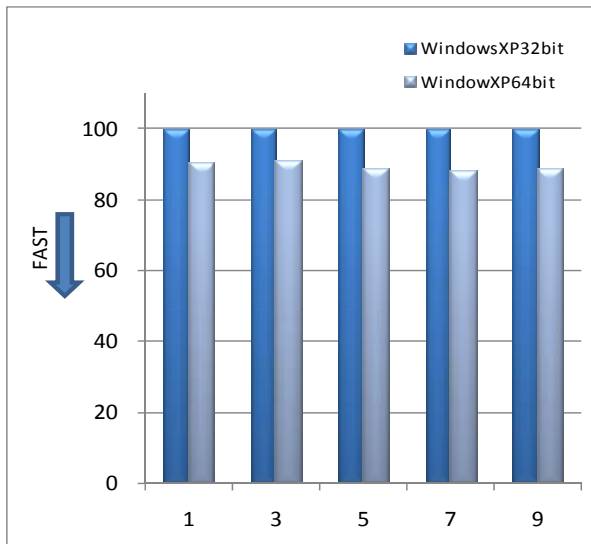
ミーゼス応力コンター図(断面)



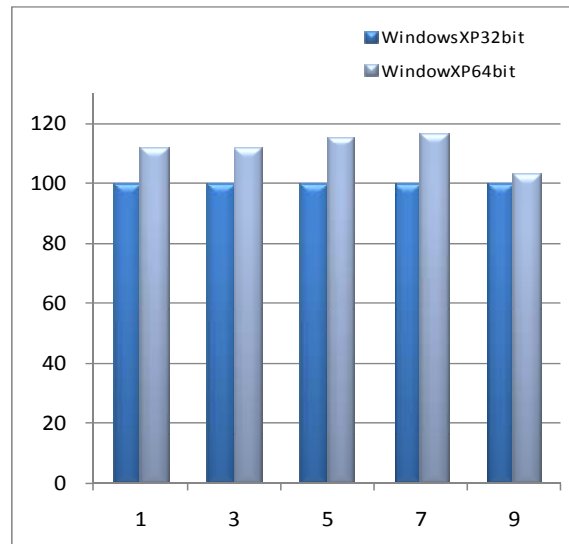
Windows環境における実行性能

■ WindowXP 32bitと64bitの比較

- 64bitはメモリは多く消費するが1割ほど高速(数値レジスタの影響)
- 64bitはメモリ空間が大きいのでより大規模モデルを扱える



32bitの実行速度を100とした時のグラフ

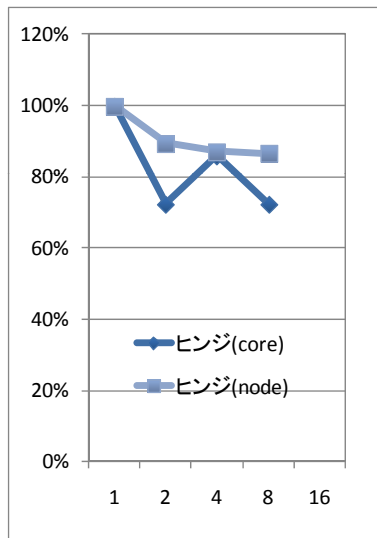


32bitのメモリ使用量を100とした時のグラフ

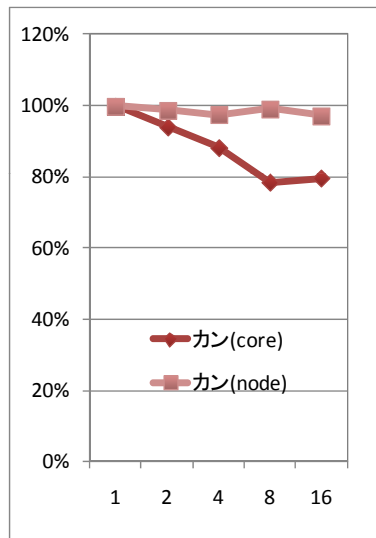


並列化効率 (PCクラスタ)

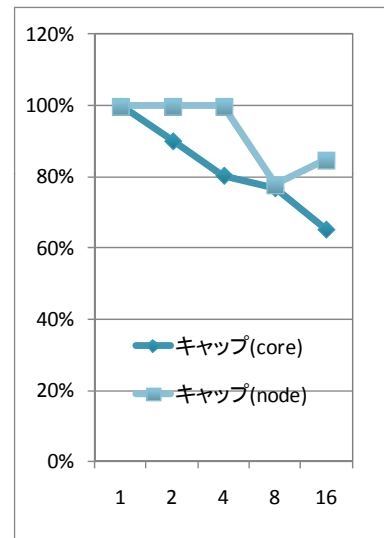
■ Linux(CentOS), AMD Opteron 2.4GBx4コア 16GB 16ノード



節点数
121,850



節点数
14,119



節点数
1008,911



ノード分散した方(node)が、マルチコア(core)で並列化するより高速

17

まとめ

■ 基本例題による解析

- 解析制御データの設定方法 (逐次処理)
 - 全体の構成(弾性静解析)、超弾性・弾塑性解析、接触解析
- 並列処理の方法

■ 実行性能

- Windows32bit, 64bitの比較
 - 64bit環境の方が処理時間が1割程度短い
- 並列化効率(PCクラスタ)
 - ノードを分散した方がパフォーマンスがよい

■ 最後に

- REVOCAPとセットで使うと設定作業の手間が大幅に削減される(デモをご覧ください)



18