

文部科学省次世代IT基盤構築のための研究開発
「イノベーション基盤シミュレーションソフトウェアの研究開発」

CISS フリーソフトウェア

FrontISTR

Ver. 3.4

チュートリアルガイド

本ソフトウェアは文部科学省次世代IT基盤構築のための研究開発「イノベーション基盤シミュレーションソフトウェアの研究開発」プロジェクトによる成果物です。本ソフトウェアを無償でご使用になる場合「CISS フリーソフトウェア使用許諾条件」をご了承頂くことが前提となります。営利目的の場合には別途契約の締結が必要です。これらの契約で明示されていない事項に関して、或いは、これらの契約が存在しない状況においては、本ソフトウェアは著作権法など、関係法令により、保護されています。

お問い合わせ先

(契約窓口)

一般財団法人生産技術研究奨励会

〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1

(ソフトウェア管理元)

東京大学生産技術研究所 革新的シミュレーション研究センター

〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1

Fax : 03-5452-6662

E-mail : software@ciss.iis.u-tokyo.ac.jp

目 次

1. はじめに	1
2. 本公開における利用上の注意事項	1
3. 解析手順	2
3.1 逐次処理による解析	2
3.1.1 実行の流れ	2
3.1.2 準備する入力ファイル	2
3.1.3 実行方法	3
3.1.4 出力ファイルの説明	4
3.2 並列処理による解析	6
3.2.1 実行の流れ	6
3.2.2 準備する入力ファイル	7
3.2.3 実行方法	8
3.2.4 出力ファイルの説明	9
4. 解析例	11
4.1 静解析（弾性）	11
4.1.1 解析対象	11
4.1.2 解析内容	11
4.1.3 解析結果	12
4.2 静解析（弾性、並列）	12
4.3 静解析（超弾性その 1）	13
4.3.1 解析対象	13
4.3.2 解析内容	13
4.3.3 解析結果	14
4.4 静解析（超弾性その 2）	15
4.4.1 解析対象	15
4.4.2 解析内容	15
4.4.3 解析結果	16
4.5 静解析（弾塑性その 1）	17
4.5.1 解析対象	17
4.5.2 解析内容	17
4.5.3 解析結果	18
4.6 静解析（弾塑性その 2）	19
4.6.1 解析対象	19
4.6.2 解析内容	19
4.6.3 解析結果	20
4.7 静解析（粘弾性）	22
4.7.1 解析対象	22

4.7.2	解析内容	22
4.7.3	解析結果	22
4.8	静解析（クリープ）	24
4.8.1	解析対象	24
4.8.2	解析内容	24
4.8.3	解析結果	24
4.9	接触解析（その 1）	26
4.9.1	解析対象	26
4.9.2	解析内容	26
4.9.3	解析結果	27
4.10	接触解析（その 2）	28
4.10.1	解析対象	28
4.10.2	解析内容	28
4.10.3	解析結果	29
4.11	接触解析（その 3）	30
4.11.1	解析対象	30
4.11.2	解析内容	30
4.11.3	解析結果	31
4.12	線形動解析	32
4.12.1	解析対象	32
4.12.2	解析内容	32
4.12.3	解析結果	33
4.13	非線形動解析	34
4.13.1	解析対象	34
4.13.2	解析内容	34
4.13.3	解析結果	34
4.14	非線形接触動解析	35
4.14.1	解析対象	35
4.14.2	解析内容	36
4.14.3	解析結果	37
4.15	固有値解析	38
4.15.1	解析対象	38
4.15.2	解析内容	38
4.15.3	解析結果	38
4.16	熱伝導解析	40
4.16.1	解析対象	40
4.16.2	解析内容	40
4.16.3	解析結果	41
4.17	周波数応答解析	41

4.17.1	解析対象	42
4.17.2	解析内容	42
4.17.3	解析結果	43

1. はじめに

本ガイドでは、大規模有限要素法構造解析プログラム FrontISTR による解析実施要領を、例題をもとに説明します。なお、本例題は FrontISTR Ver.3.4 を対象としています。

2. 本公開における利用上の注意事項

本公開では、FrontISTR のふたつのバージョンが含まれています。

(1) FrontISTR Ver.3.4

HEC-MW Ver.2.5 を用いて構築されたバージョンで、FrontISTR のすべての機能が利用できます。ただし、接触解析機能については、以下の制限があります。

- ・並列処理による解析は、MUMPS をリンクしている場合にプロセス並列の実行が可能です。また、Intel MKL をリンクしている場合は、スレッド並列の実行が可能です。実行に際しては、お使いの計算機環境に合わせた環境変数を設定してください。

(2) FrontISTR Ver.4.2

HEC-MW Ver.4.2 を用いて構築されたバージョンで、FrontISTR の以下の機能が利用できます。

- ・弾性静解析
- ・非線形静解析（接触解析を除く）

それぞれのバージョンの実行コマンドは以下のとおりです。

(1) FrontISTR Ver.3.4 を実行する場合

hecmw_part1、 fistr1、 hecmw_vis1

(2) FrontISTR Ver.4.2 を実行する場合

hecmw_part2、 fistr2、 hecmw_vis2

3. 解析手順

3.1 逐次処理による解析

3.1.1 実行の流れ

FrontISTR を利用した、シングルプロセッサの逐次処理による実行の流れを図 3.1.1 に示します。

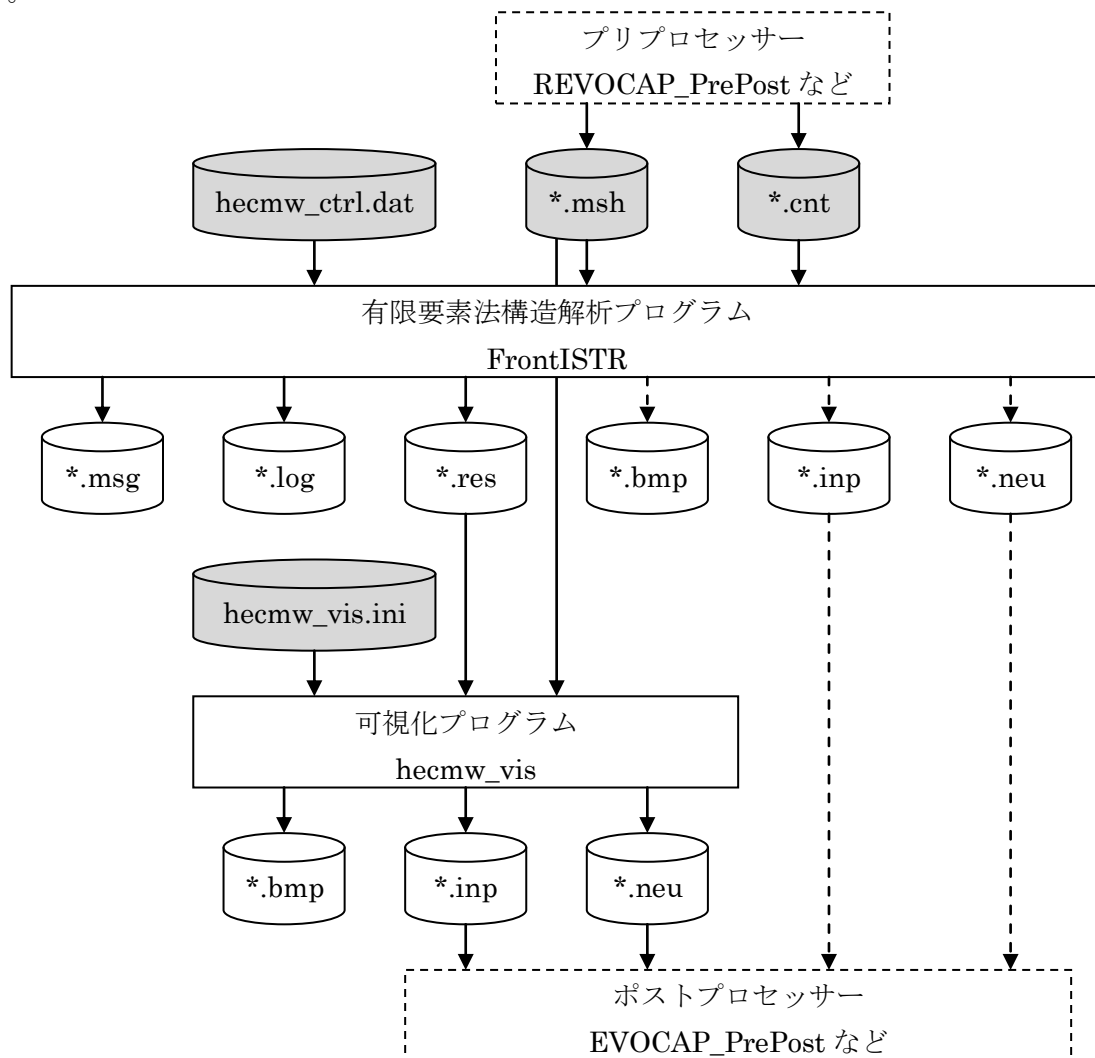


図 3.1.1 逐次処理による実行の流れ

3.1.2 準備する入力ファイル

(1) 全体制御データ（拡張子 dat）

このファイルではメッシュデータと解析制御データの入力ファイルおよび解析結果出力ファイルを指定します。ファイル名は固定の `hecmw_ctrl.dat` です。

全体制御データの例を以下に示します。本例では、`FrontSTR` は単一領域メッシュデータ `model.msh` と解析制御データ `model.cnt` を読み込み、解析結果データ `model.res.0.1` を書き出し

ます。また、`hecmw_vis` は単一領域メッシュデータ `model.msh` と解析結果データ `model.res.0.1` を読み込み、出力指定に対応する `model_vis_psf.0000.(拡張子)` を書き出します。詳細はユーザーマニュアル第 5 章を参照ください。

```
#
# for solver
#
!MESH, NAME=fstrMSH, TYPE=HECMW-ENTIRE
model.msh
!CONTROL, NAME=fstrCNT
model.cnt
!RESULT, NAME=fstrRES, IO=OUT
model.res
!RESULT, NAME=vis_out, IO=OUT
model_vis
```

(2) 単一領域メッシュデータ (拡張子 `msh`)

このファイルでは、解析対象の全体メッシュ構成、材料データ、解析制御データで使用するグループデータなどを定義します。詳細はユーザーマニュアル第 6 章を参照ください。

(3) 解析制御データ (拡張子 `cnt`)

このファイルでは、解析種別、変位境界条件、荷重境界条件などを定義します。また、ソルバーの制御データやビジュアライザーの制御データも指定します。3 章で解析制御データの例を示します。詳細はユーザーマニュアル第 7 章を参照ください。

(4) 可視化制御データ (拡張子 `ini`)

このファイルでは、`hecmw_vis` の制御データを指定します。デフォルトのファイル名は `hecmw_vis.ini` です。可視化制御データの例を以下に示します。本例では、MicroAVS 用の非構造格子型データ (拡張子 `inp`) を出力します。詳細はユーザーマニュアル 7.3.3 節および 7.4.7 節を参照ください。

```
!VISUAL, method=PSR, visual_start_step=1, visual_interval_step=1, visual_end_step=1
!surface_num = 1
!surface 1
!output_type = complete_avs
```

3.1.3 実行方法

FrontISTR は、入力ファイルがあるディレクトリにおいて以下のコマンドラインで実行します。

```
$ fistr1
```

可視化はふたつの方法で実行することができます。ひとつは、FrontISTR の後処理として実行する場合で、解析制御データに

```
!WRITE, VISUAL
```

を指定することにより、自動的に実行されます。この場合、可視化制御データを解析制御データに含めて記述することが必要です。

FrontISTR の実行終了後に可視化を行う場合は、まず解析制御データに

!WRITE, RESULT

を指定し、FrontISTR を実行します。

FrontISTR の実行終了後、入力ファイルと解析結果ファイルがあるディレクトリにおいて以下のコマンドラインで **hecmw_vis** を実行します。

\$ hecmw_vis 1

3.1.4 出力ファイルの説明

(1) 解析結果メッセージファイル (拡張子 msg)

本ファイルには、FrontISTR の解析進行過程などのメッセージが出力されます。1 回の実行でひとつのファイルが作成され、ファイル名は固定の **FSTR.msg** です。

(2) 解析結果ログファイル (拡張子 log)

本ファイルには、FrontISTR の節点ごとおよび要素ごとの物理量の解析結果が出力されます。また、物理量の最大/最小値や固有値解析結果も出力されます。動解析の場合、すべてのステップの解析結果が本ファイルに出力されます。1 回の実行でひとつのファイルが作成され、ファイル名は固定の **0.log** です。

(3) 解析結果ファイル (拡張子なし)

本ファイルは、**!WRITE, RESULT** オプションを指定した場合に出力されます。

本ファイルには、FrontISTR の節点ごとおよび要素ごとの物理量の解析結果が出力されます。ステップごとにファイルが生成され、ファイル名は全体制御データで指定したファイルヘッダーを用いて、以下のように命名されます。

命名則: (**!RESULT** で指定したファイルヘッダー).0.(ステップ番号)

例: **model.res.0.1**

(4) 解析結果ビットマップファイル (拡張子 bmp)

本ファイルは、可視化制御データで指定した場合に出力されます。

本ファイルには、可視化処理を行ったビットマップデータが出力されます。ファイル名は全体制御データで指定したファイルヘッダーを用いて命名されます。命名則の詳細は、**hecmw1** のドキュメント (**0803_001f_hecmw_PC_cluster_201_vis.pdf**) を参照ください。

(5) 解析結果非構造格子型データファイル (拡張子 inp)

本ファイルは、可視化制御データで指定した場合に出力されます。

本ファイルを用いて、**REVOCAP_PrePost** や **MicroAVS** などでもポスト処理が可能です。ファイル名は全体制御データで指定したファイルヘッダーを用いて、以下のように命名されます。

命名則：(!RESULT で指定したファイルヘッダー)_psf.(ステップ番号).inp

例：model_vis_psf.0000.inp

(6) 解析結果ニュートラルファイル（拡張子 neu）

本ファイルは、可視化制御データで指定した場合に出力されます。

本ファイルを用いて、Femap でポスト処理が可能です。ファイル名は全体制御データで指定したファイルヘッダーを用いて、以下のように命名されます。

命名則：(!RESULT で指定したファイルヘッダー)_psf.(ステップ番号).neu

例：model_vis_psf.0000.neu

注：この他に FSTR.dbg ファイルが出力されますが、デバッグ用ですので通常は参照不要です。

3.2 並列処理による解析

3.2.1 実行の流れ

FrontISTR を利用した、マルチプロセッサの並列処理による実行の流れを図 3.2.1 に示します。

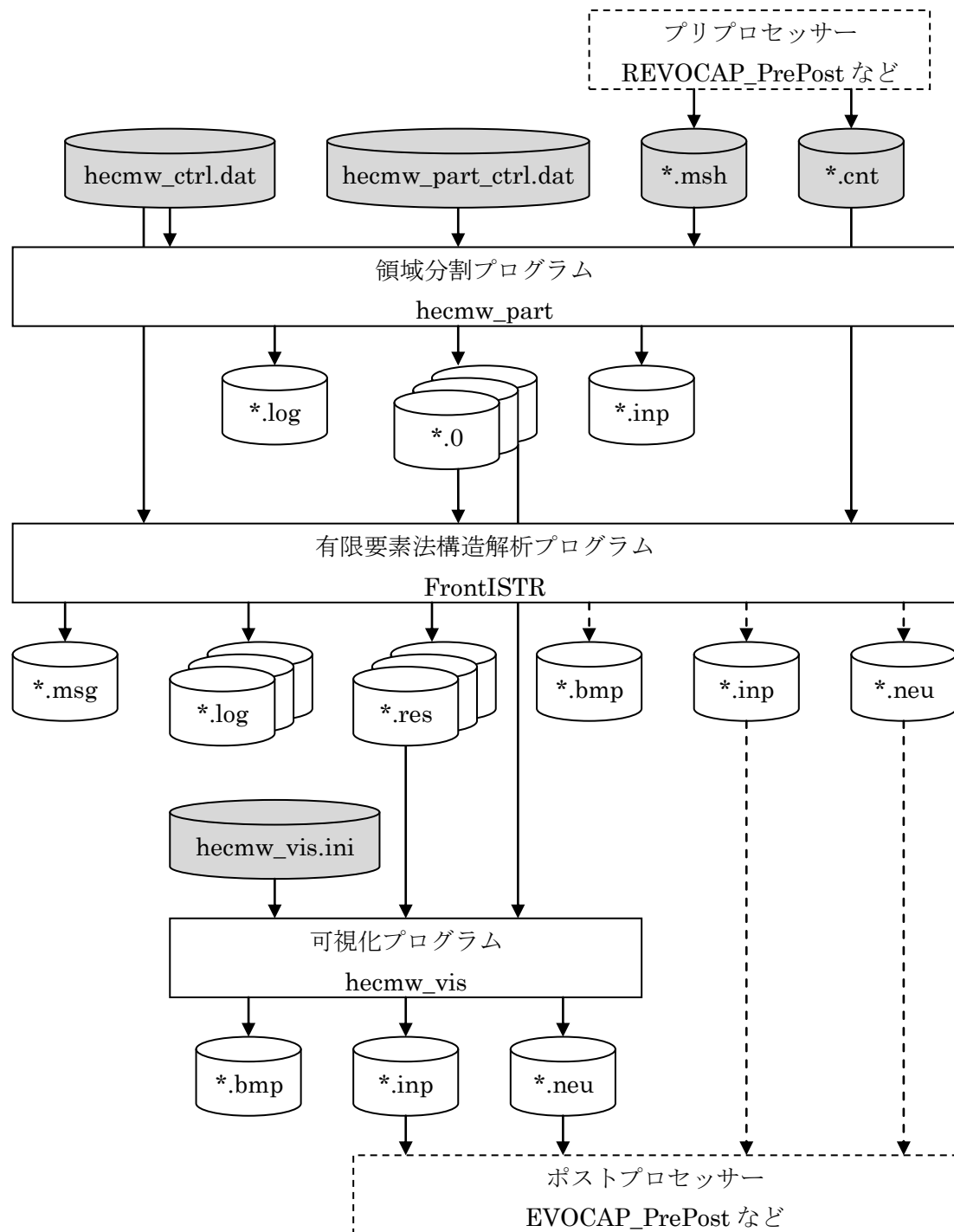


図 3.2.1 並列処理による実行の流れ

3.2.2 準備する入力ファイル

(1) 全体制御データ（拡張子 dat）

このファイルではメッシュデータと解析制御データの入力ファイルおよび解析結果出力ファイルを指定します。ファイル名は固定の `hecmw_ctrl.dat` です。

全体制御データの例を以下に示します。本例ではまず、`hecmw_part` が単一領域メッシュデータ `model.msh` を読み込み、分散領域メッシュデータ `model_8.0~n` を書き出します。`FrontSTR` は分散領域メッシュデータ `model_8.0~n` と解析制御データ `model.cnt` を読み込み、解析結果データ `model.res.0~n.1` を書き出します。また、`hecmw_vis` は分散領域メッシュデータ `model_8.0~n` と解析結果データ `model.res.0~n.1` を読み込み、出力指定に対応する `model_vis_psf.0000`.(拡張子)を書き出します。詳細はユーザーマニュアル第 5 章を参照ください。

```
#
# for partitioner
#
!MESH, NAME=part_in, TYPE=HECMW-ENTIRE
model.msh
!MESH, NAME=part_out, TYPE=HECMW-DIST
model_8
#
# for solver
#
!MESH, NAME=fstrMSH, TYPE=HECMW-DIST
Model_8
!CONTROL, NAME=fstrCNT
model.cnt
!RESULT, NAME=fstrRES, IO=OUT
model.res
!RESULT, NAME=vis_out, IO=OUT
model_vis
```

(2) 単一領域メッシュデータ（拡張子 msh）

このファイルでは、解析対象の全体メッシュ構成、材料データ、解析制御データで使用するグループデータなどを定義します。詳細はユーザーマニュアル第 6 章を参照ください。

(3) 解析制御データ（拡張子 cnt）

このファイルでは、解析種別、変位境界条件、荷重境界条件などを定義します。また、ソルバーの制御データやビジュアライザーの制御データも指定します。3 章で解析制御データの例を示します。詳細はユーザーマニュアル第 7 章を参照ください。

(4) 領域分割ユーティリティ制御データ（拡張子 dat）

このファイルでは、`hecmw_part` の制御データを指定します。ファイル名は固定の `hecmw_part_ctrl.dat` です。領域分割ユーティリティ制御データの例を以下に示します。本例では、領域分割法 PMETIS により、単一領域を 8 分割します。また、領域分割後のメッシュを表示するためのファイル `model_8.inp` を出力します。詳細は `hecmw1` のドキュメント

(0803_001x_hecmw_part_201_users.pdf) を参照ください。

```
!PARTITION,TYPE=NODE-BASED,METHOD=PMETIS,DOMAIN=8,UCD=model_8.inp
```

(5) 可視化制御データ (拡張子 ini)

このファイルでは、`hecmw_vis` の制御データを指定します。デフォルトのファイル名は `hecmw_vis.ini` です。可視化制御データの例を以下に示します。本例では、MicroAVS 用の非構造格子型データ (拡張子 `inp`) を出力します。詳細はユーザーマニュアル 7.3.3 節および 7.4.7 節を参照ください。

```
!VISUAL, method=PSR, visual_start_step=1, visual_interval_step=1, visual_end_step=1
!surface_num = 1
!surface 1
!output_type = complete_avs
```

3.2.3 実行方法

`hecmw_part` は、入力ファイルがあるディレクトリにおいて以下のコマンドラインで実行します。

```
$ hecmw_part1
```

`FrontISTR` は、入力ファイルがあるディレクトリにおいて以下のコマンドラインで実行します。なお、MPI プロセスの実行方法はそれぞれの環境に合わせて、修正が必要です。

```
$ mpirun -np 8 fistr1
```

可視化はふたつの方法で実行することができます。ひとつは、`FrontISTR` の後処理として実行する場合で、解析制御データに

```
!WRITE, VISUAL
```

を指定することにより、自動的に実行されます。この場合、可視化制御データを解析制御データに含めて記述することが必要です。

`FrontISTR` の実行終了後に可視化を行う場合は、まず解析制御データに

```
!WRITE, RESULT
```

を指定し、`FrontISTR` を実行します。

`FrontISTR` の実行終了後、入力ファイルと解析結果ファイルがあるディレクトリにおいて以下のコマンドラインで `hecmw_vis` を実行します。なお、MPI プロセスの実行方法はそれぞれの環境に合わせて、修正が必要です。

```
$ mpirun -np 8 hecmw_vis1
```

3.2.4 出力ファイルの説明

(1) 領域分割ユーティリティログファイル（拡張子 log）

本ファイルには、hecmw_part の解析進行過程などのメッセージが出力されます。ファイル名は固定の hecmw_part.log です。

(2) 分散領域メッシュファイル（拡張子なし）

本ファイルには、領域分割されたメッシュ構成、材料データ、解析制御データで使用するグループデータなどが出力されます。ファイルは分散領域ごとに作成され、ファイル名は全体制御データで指定したファイルヘッダーを用いて、以下のように命名されます。

命名則：(!MESH で指定したファイルヘッダー).(分散領域番号)

例：model_8.0 ～ model_8.7

(3) 領域分割メッシュ表示用ファイル（拡張子 inp）

本ファイルには、領域分割されたメッシュを表示するための非構造格子型データが出力されます。MicroAVSなどで表示できます。

(4) 解析結果メッセージファイル（拡張子 msg）

本ファイルには、FrontISTR の解析進行過程などのメッセージが出力されます。1 回の実行でひとつのファイルが作成され、ファイル名は固定の FSTR.msg です。

(5) 解析結果ログファイル（拡張子 log）

本ファイルには、FrontISTR の節点ごとおよび要素ごとの物理量の解析結果が出力されます。また、物理量の最大/最小値や固有値解析結果も出力されます。動解析の場合、すべてのステップの解析結果が本ファイルに出力されます。ファイルは分散領域ごとに作成され、ファイル名は固定の n.log（n は分散領域番号）です。

(6) 解析結果ファイル（拡張子なし）

本ファイルは、!WRITE, RESULT オプションを指定した場合に出力されます。

本ファイルには、FrontISTR の節点ごとおよび要素ごとの物理量の解析結果が出力されます。分散領域ごとかつステップごとにファイルが生成され、ファイル名は全体制御データで指定したファイルヘッダーを用いて、以下のように命名されます。

命名則：(!RESUT で指定したファイルヘッダー).(分散領域番号).(ステップ番号)

例：model_8.res.0.1 ～ model_8.res.7.1

(7) 解析結果ビットマップファイル（拡張子 bmp）

本ファイルは、可視化制御データで指定した場合に出力されます。

本ファイルには、可視化処理を行ったビットマップデータが出力されます。ファイル名は全体制御データで指定したファイルヘッダーを用いて命名されます。命名則の詳細は、hecmw1 のドキュメント（0803_001f_hecmw_PC_cluster_201_vis.pdf）を参照ください。

(8) 解析結果非構造格子型データファイル (拡張子 inp)

本ファイルは、可視化制御データで指定した場合に出力されます。

本ファイルを用いて、REVOCAP_PrePost や MicroAVS などでもポスト処理が可能です。ファイル名は全体制御データで指定したファイルヘッダーを用いて、以下のように命名されます。

命名則：(!RESULT で指定したファイルヘッダー)_psf.(ステップ番号).inp

例：model_vis_psf.0000.inp

(9) 解析結果ニュートラルファイル (拡張子 neu)

本ファイルは、可視化制御データで指定した場合に出力されます。

本ファイルを用いて、Femap でポスト処理が可能です。ファイル名は全体制御データで指定したファイルヘッダーを用いて、以下のように命名されます。

命名則：(!RESULT で指定したファイルヘッダー)_psf.(ステップ番号).neu

例：model_vis_psf.0000.neu

注：この他に FSTR.dbg.0～n ファイルが出力されますが、デバッグ用ですので通常は参照不要です。

4. 解析例

4.1 静解析（弾性）

本解析の実施には、tutorial/01_elastic_hinge/ のデータを用います。

4.1.1 解析対象

解析対象はヒンジ部品で、形状を図4.1.1に、メッシュデータを図4.1.2に示します。メッシュには四面体2次要素を用い、メッシュ規模は要素数49,871、節点数84,056です。

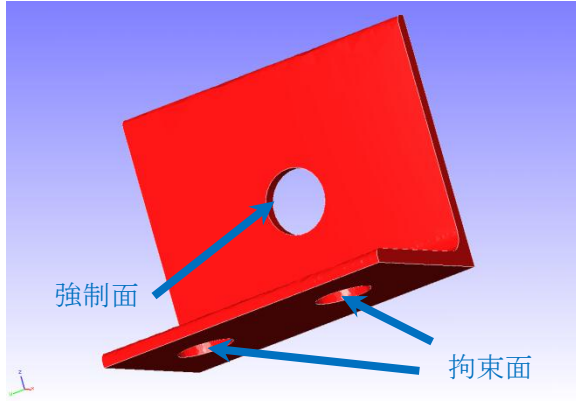


図 4.1.1 ヒンジ部品の形状

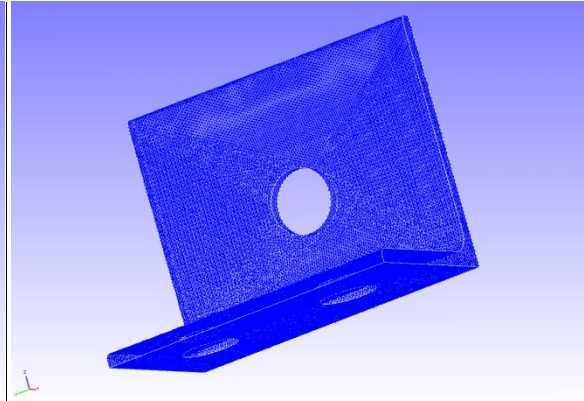


図 4.1.2 ヒンジ部品のメッシュデータ

4.1.2 解析内容

図 4.1.1 に示す拘束面の変位を拘束し、強制面に集中荷重を負荷する応力解析を実施します。解析制御データを以下に示します。

```
# Control File for FISTR
## Analysis Control
!VERSION
3
!SOLUTION, TYPE=STATIC
!WRITE, RESULT
!WRITE, VISUAL
## Solver Control
#### Boundary Conditon
!BOUNDARY
BND0, 1, 3, 0.000000
!BOUNDARY
BND1, 1, 3, 0.000000
!CLOAD
CLO, 1, 1.00000
#### Material
!MATERIAL, NAME=STEEL
!ELASTIC
210000.0, 0.3
!DENSITY
7.85e-6
#### Solver Setting
!SOLVER, METHOD=CG, PRECOND=1, ITERLOG=YES, TIMELOG=YES
10000, 2
1.0e-08, 1.0, 0.0
```

4.1.3 解析結果

ミーゼス応力のコンター図を REVOCAP_PrePost で作成して図 4.1.3 に示します。また、解析結果の数値データとして、解析結果ログファイルの一部を以下に示します。

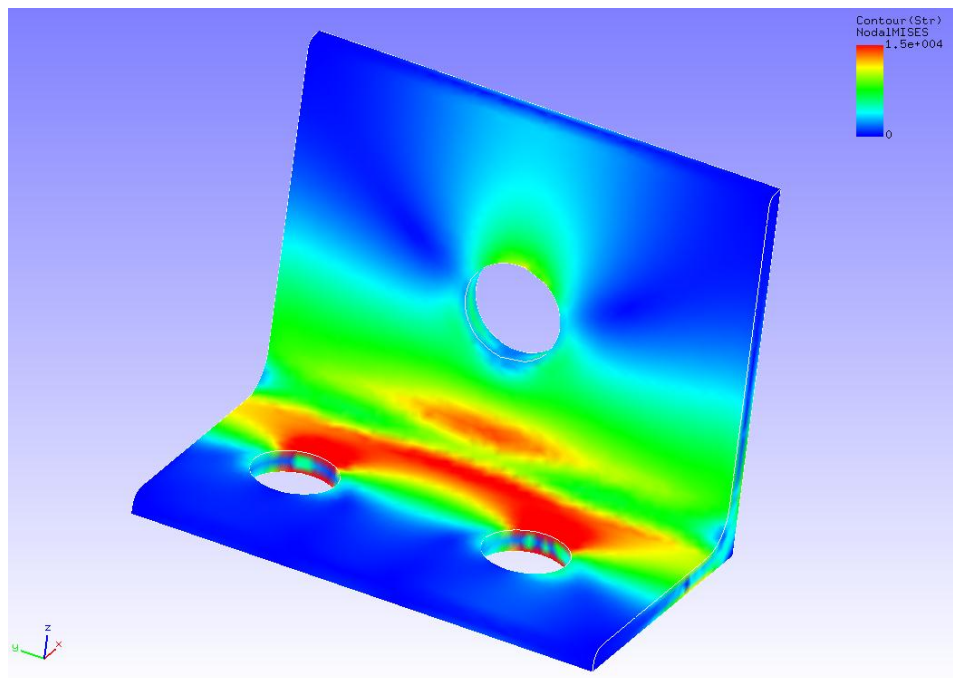


図 4.1.3 ミーゼス応力の解析結果

```
#### Result step=      1
##### Local Summary :Max/IdMax/Min/IdMin####
//U1  3.9115E+00      82452 -7.1083E-02      65233
//U2  7.4504E-03       354 -5.8813E-02       696
//U3  5.9493E-02       84 -5.8751E-01      61080
//E11  1.3777E-01      130 -1.3653E-01      77625
//E22  4.9199E-02       61 -5.4370E-02       102
//E33  6.8634E-02     51036 -6.1176E-02     30070
//E12  7.1556E-02     27808 -6.8093E-02     27863
//E23  5.3666E-02       56 -5.4347E-02        82
//E13  7.2396E-02     36168 -9.6621E-02       130
//S11  3.8626E+04       130 -3.6387E+04     28580
//S22  1.6628E+04       130 -1.5743E+04     28580
//S33  1.6502E+04     30033 -1.5643E+04     28580
//S12  5.7795E+03     27808 -5.4998E+03     27863
//S23  4.3345E+03        56 -4.3896E+03        82
//S13  5.8474E+03     36168 -7.8040E+03       130
//SMS  2.8195E+04     77625  1.2755E+00     75112
```

4.2 静解析（弾性、並列）

4.1 節の解析を 4 並列で実施するには、tutorial/02_elastic_hinge_parallel/ のデータを用います。

4.3 静解析（超弾性その１）

本解析の実施には、tutorial/ 03_hyperelastic_cylinder/ のデータを用います。

4.3.1 解析対象

解析対象は丸棒の1/8モデルで、形状を図4.3.1に、メッシュデータを図4.3.2に示します。メッシュには六面体1次要素を用い、メッシュ規模は要素数432、節点数629です。

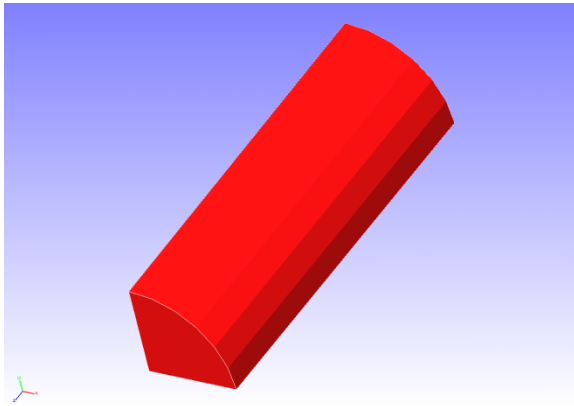


図 4.3.1 丸棒(1/8 モデル)の形状

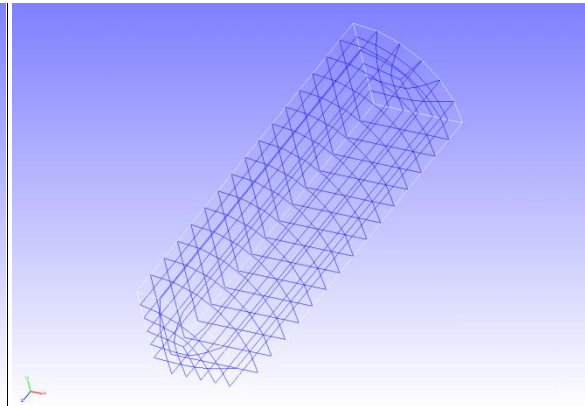


図 4.3.2 丸棒(1/8 モデル)のメッシュデータ

4.3.2 解析内容

丸棒に軸方向の引張変位を与える応力解析を実施します。超弾性の材料構成式には Mooney-Rivlin モデルを用います。解析制御データを以下に示します。

```
# Control File for FISTR
## Analysis Control
!VERSION
3
!SOLUTION, TYPE=NLSTATIC
!WRITE, RESULT
!WRITE, VISUAL
## Solver Control
### Boundary Conditon
!BOUNDARY, GRPID=1
LOADS, 3, 3, -7.0
FIX, 3, 3, 0.0
XSYMM, 1, 1, 0.0
YSYMM, 2, 2, 0.0
### STEP
!STEP, SUBSTEPS=5, CONVERG=1.0e-5
BOUNDARY, 1
### Material
!MATERIAL, NAME=MAT1
!HYPERELASTIC, TYPE=MOONEY-RIVLIN
0.1486, 0.4849, 0.0789
### Solver Setting
!SOLVER, METHOD=CG, PRECOND=1, ITERLOG=YES, TIMELOG=YES
10000, 2
1.0e-8, 1.0, 0.0
```

4.3.3 解析結果

5 サブステップ目の解析結果について、ミーゼス応力のコンターを付加した変形図を REVOCAP_PrePost で作成して図 4.3.3 に示します。また、解析結果の数値データとして、解析結果ログファイルの一部を以下に示します。

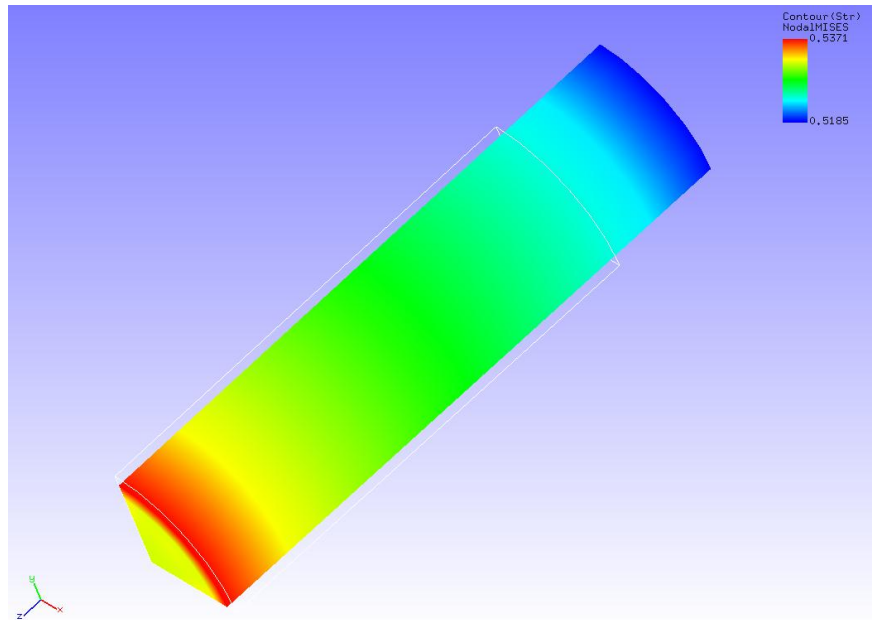


図 4.3.3 変形およびミーゼス応力の解析結果

```
#### Result step=      5
##### Local Summary :Max/IdMax/Min/IdMin####
//U1  0.0000E+00        1 -6.7543E-01        7
//U2  0.0000E+00        1 -6.7543E-01       13
//U3  0.0000E+00        1 -7.0000E+00       38
//E11 -9.6960E-02       38 -1.0234E-01        7
//E22 -9.6960E-02       50 -1.0234E-01       13
//E33  3.0653E-01       13  2.8767E-01       38
//E12  6.9417E-04       53 -7.0552E-04       10
//E23  5.8123E-08       39 -3.2652E-03       86
//E13  5.8123E-08       49 -3.2652E-03       93
//S11  5.8544E-03       38 -6.3700E-03        7
//S22  5.8544E-03       50 -6.3701E-03       13
//S33  5.3515E-01       35  5.2022E-01       64
//S12  1.5492E-03       53 -1.6314E-03       10
//S23  1.7965E-07       38 -2.1555E-03       86
//S13  1.7965E-07       50 -2.1555E-03       93
//SMS  5.3711E-01       10  5.1849E-01       53
```

4.4 静解析（超弾性その2）

本解析の実施には、tutorial/ 04_hyperelastic_spring/ のデータを用います。

4.4.1 解析対象

解析対象はスプリングで、形状を図4.4.1に、メッシュデータを図4.4.2に示します。メッシュには四面体2次要素を用い、メッシュ規模は要素数46,454、節点数78,771です。

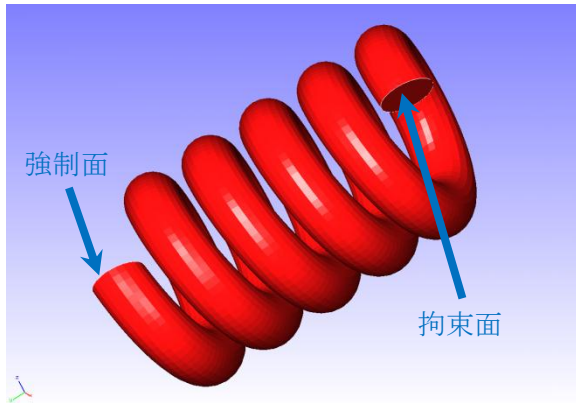


図 4.4.1 スプリングの形状

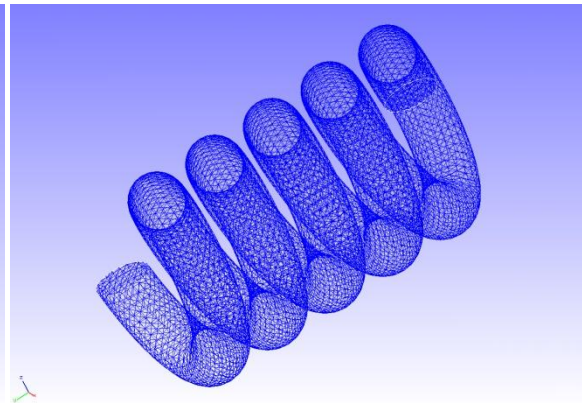


図 4.4.2 スプリングのメッシュデータ

4.4.2 解析内容

図 4.4.1 に示す拘束面の変位を拘束し、強制面に変位を与える応力解析を実施します。超弾性の材料構成式には Arruda-Boyce モデルを用います。解析制御データを以下に示します。

```
# Control File for FISTR
## Analysis Control
!VERSION
3
!SOLUTION, TYPE=NLSTATIC
!WRITE, RESULT
!WRITE, VISUAL
## Solver Control
#### Boundary Conditon
!BOUNDARY, GRPID=1
LOADS, 2, 2, -5.0
FIX, 1, 3, 0.0
#### STEP
!STEP, SUBSTEPS=1, CONVERG=1.0e-5
BOUNDARY, 1
#### Material
!MATERIAL, NAME=MAT1
!HYPERELASTIC, TYPE=ARRUDA-BOYCE
0.71, 1.7029, 0.1408
#### Solver Setting
!SOLVER, METHOD=CG, PRECOND=1, ITERLOG=YES, TIMELOG=YES
10000, 2
1.0e-8, 1.0, 0.0
```

4.4.3 解析結果

変位のコンターを付加した変形図を REVOCAP_PrePost で作成して図 4.4.3 に示します。また、解析結果の数値データとして、解析結果ログファイルの一部を以下に示します。

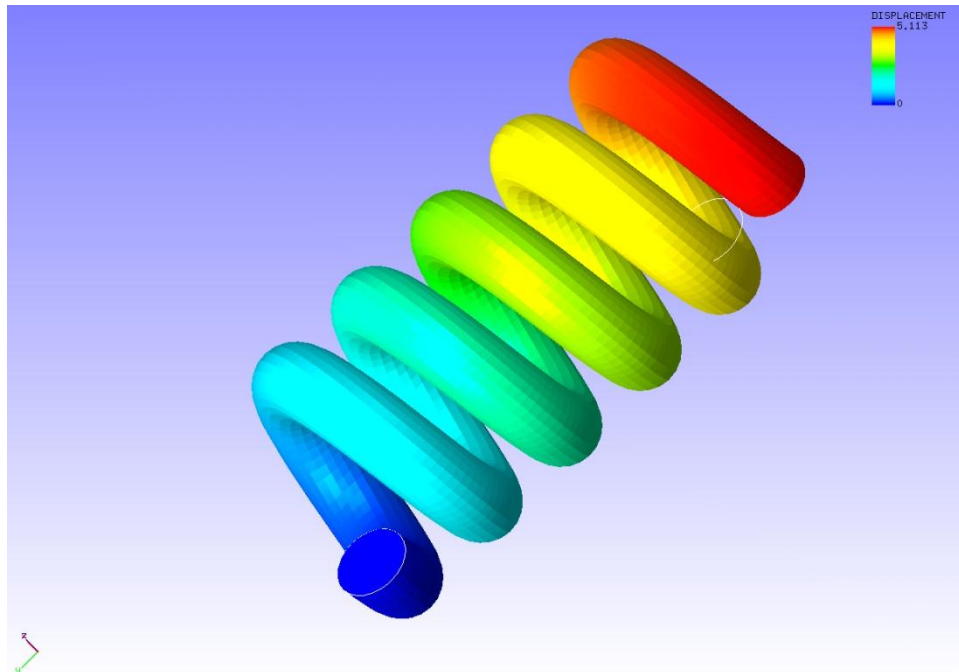


図 4.4.3 変形および変位の解析結果

```
#### Result step=      1
##### Local Summary :Max/IdMax/Min/IdMin####
//U1  2.8588E-01      42179 -2.6512E-01      22274
//U2  2.2657E-02       6381 -5.0291E+00      22825
//U3  7.4573E-02       7058 -9.5095E-01      48324
//E11 4.8291E-03       2851 -4.2788E-03       3429
//E22 2.4161E-03      55960 -1.4539E-03      44761
//E33 5.3256E-03      25260 -4.6858E-03      27938
//E12 1.3574E-02      56003 -1.3081E-02      45120
//E23 2.8679E-02      48353 -1.8970E-02      48322
//E13 1.0897E-02      47938 -9.1054E-03      27344
//S11 5.1605E-02       2814 -5.0895E-03      10408
//S22 5.0635E-02      55965 -3.6174E-03      45307
//S33 4.9662E-02      39836 -5.1017E-03       4949
//S12 1.2059E-02      56003 -1.1865E-02      45120
//S23 2.6123E-02      48353 -1.7281E-02      56868
//S13 1.0133E-02      47938 -8.2330E-03      27344
//SMS 4.9365E-02      48353  3.2148E-04      64553
```

4.5 静解析（弾塑性その１）

本解析の実施には、tutorial/ 05_plastic_cylinder / のデータを用います。

4.5.1 解析対象

解析対象は、4.3 節の静解析（超弾性その１）と同一の丸棒 1/8 モデルです。

4.5.2 解析内容

塑性変形による丸棒の Necking 現象を解析します。降伏関数には **Mises** モデルを用います。解析制御データを以下に示します。

```
# Control File for FISTR
## Analysis Control
!VERSION
3
!SOLUTION, TYPE=NLSTATIC
!WRITE, RESULT, FREQUENCY=10
!WRITE, VISUAL, FREQUENCY=10
## Solver Control
### Boundary Conditon
!BOUNDARY, GRPID=1
LOADS, 3, 3, -7.0
FIX, 3, 3, 0.0
XSYMM, 1, 1, 0.0
YSYMM, 2, 2, 0.0
### STEP
!STEP, SUBSTEPS=40, CONVERG=1.0e-3
BOUNDARY, 1
### Material
!MATERIAL, NAME=MAT1
!ELASTIC
206900.0, 0.29
!PLASTIC, YIELD=MISES, HARDEN=MULTILINEAR
450.0, 0.0
608.0, 0.05
679.0, 0.1
732.0, 0.2
752.0, 0.3
766.0, 0.4
780.0, 0.5
### Output
!OUTPUT_VIS
NSTRAIN, ON
!OUTPUT_RES
ISTRESS, ON
### Solver Setting
!SOLVER, METHOD=CG, PRECOND=1, ITERLOG=NO, TIMELOG=YES
2000, 2
1.0e-8, 1.0, 0.0
```

4.5.3 解析結果

35 サブステップ目の解析結果について、ミーゼス応力のコンターを付加した変形図をREVOCAP_PrePostで作成して図 4.5.1 に示します。また、解析結果の数値データとして、解析結果ログファイルの一部を以下に示します。

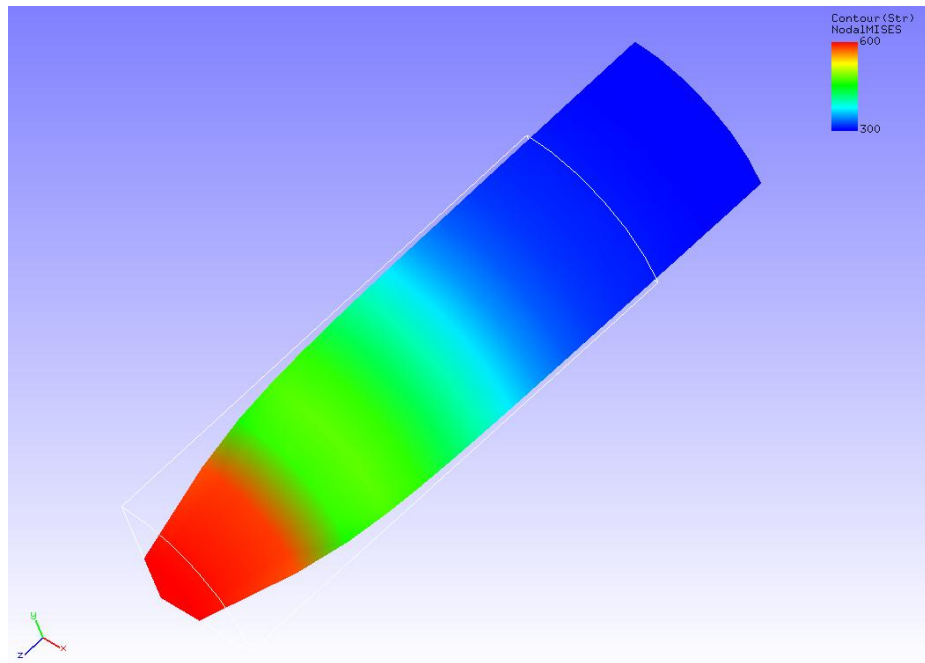


図 4.5.1 変形およびミーゼス応力の解析結果

```
#### Result step= 40
##### Local Summary :Max/IdMax/Min/IdMin####
//U1 0.0000E+00 1 -3.5930E+00 7
//U2 0.0000E+00 1 -3.5930E+00 13
//U3 0.0000E+00 1 -7.0000E+00 38
//E11 -3.9417E-02 38 -6.5298E-01 16
//E22 -3.9417E-02 50 -6.5298E-01 4
//E33 1.3083E+00 1 7.9614E-02 50
//E12 6.9553E-02 10 -1.7556E-02 368
//E23 1.5953E-02 90 -7.1473E-01 13
//E13 1.5954E-02 89 -7.1473E-01 7
//S11 1.9746E+02 86 -3.6807E+02 192
//S22 1.9746E+02 93 -3.6807E+02 192
//S33 9.1649E+02 1 -6.4716E+01 191
//S12 6.3257E-01 53 -1.2521E+02 406
//S23 5.7963E+01 191 -2.0766E+02 89
//S13 5.7963E+01 191 -2.0766E+02 90
//SMS 7.9001E+02 13 2.1264E+02 189
```

4.6 静解析（弾塑性その2）

本解析の実施には、tutorial/ 06_plastic_can / のデータを用います。

4.6.1 解析対象

解析対象は容器の1/2モデルで、形状を図4.6.1に、メッシュデータを図4.6.2に示します。メッシュには四面体2次要素を用い、メッシュ規模は要素数7,236、節点数14,119です。

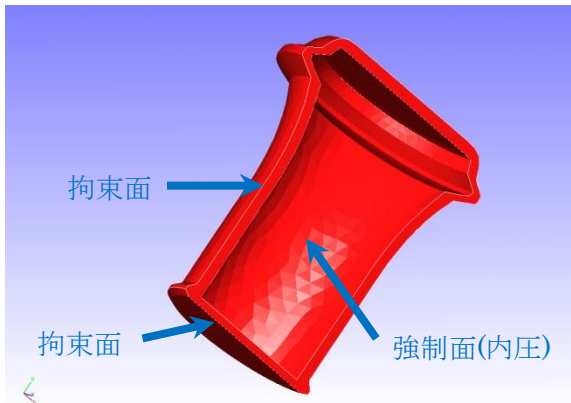


図 4.6.1 容器の形状

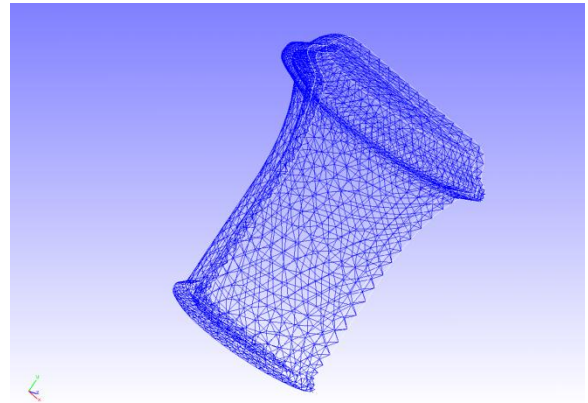


図 4.6.2 容器のメッシュデータ

4.6.2 解析内容

図 4.6.1 に示す拘束面の変位を拘束し、容器内部を強制面とし分布荷重を負荷する応力解析を実施します。降伏関数には Drucker-Prager モデルを用います。解析制御データを以下に示します。

```
# Control File for FISTR
## Analysis Control
!VERSION
  3
!SOLUTION, TYPE=NLSTATIC
## Solver Control
### Boundary Conditon
!BOUNDARY, GRPID=1
  BND0, 3, 3, 0.000000
!BOUNDARY, GRPID=1
  BND1, 1, 1, 0.000000
  BND1, 2, 2, 0.000000
  BND1, 3, 3, 0.000000
!DLOAD, GRPID=1
  DLO, S, 1.0
!DLOAD, GRPID=1
  DL1, S, 1.0
!DLOAD, GRPID=1
  DL2, S, 0.5
### STEP
!STEP, SUBSTEPS=10, CONVERG=1.0e-5
  BOUNDARY, 1
  LOAD, 1
```

```
### Material
!MATERIAL, NAME=M1
!ELASTIC
24000.0, 0.2
!PLASTIC, YIELD = DRUCKER-PRAGER
500.0, 20.0, 0.0
### Solver Setting
!SOLVER, METHOD=CG, PRECOND=1, ITERLOG=NO, TIMELOG=YES
20000, 2
1.0e-8, 1.0, 0.0
```

4.6.3 解析結果

10 サブステップ目の解析結果について、ミーゼス応力のコンターを付加した変形図を REVOCAP_PrePost で作成して図 4.6.3 に示します。変形倍率を 30 としています。また、解析結果の数値データとして、解析結果ログファイルの一部を以下に示します。

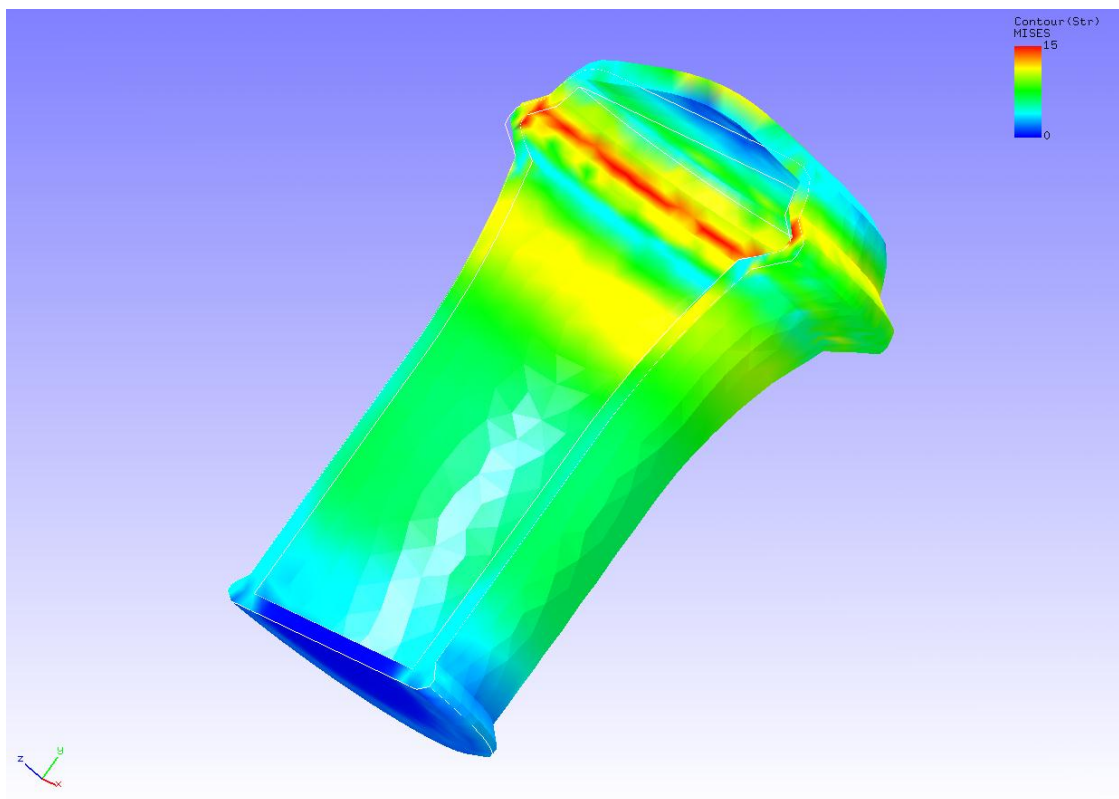


図 4.6.3 変形およびミーゼス応力の解析結果

```

#### Result step= 10
##### Local Summary :Max/IdMax/Min/IdMin#####
//U1 1.6235E+00 1600 -1.6188E+00 11901
//U2 1.9319E+01 6877 -4.5377E-01 7096
//U3 1.6152E+00 7016 -1.5121E+00 6934
//E11 9.9346E-04 11242 -6.5987E-04 1404
//E22 1.5038E-03 13972 -5.4264E-04 2367
//E33 9.8561E-04 6833 -6.4870E-04 7000
//E12 1.6845E-03 2698 -1.7200E-03 11906
//E23 1.7107E-03 6749 -1.4474E-03 13509
//E13 1.2130E-03 12475 -1.1219E-03 11342
//S11 2.7825E+01 1086 -1.9473E+01 2363
//S22 3.7931E+01 13972 -1.4575E+01 2367
//S33 2.7377E+01 1086 -1.9776E+01 13082
//S12 1.6847E+01 2698 -1.7201E+01 11906
//S23 1.7109E+01 6749 -1.4474E+01 13509
//S13 1.2124E+01 12475 -1.1214E+01 11342
//SMS 3.7533E+01 2834 2.7585E-04 7333

```

4.7 静解析（粘弾性）

本解析の実施には、tutorial/ 07_viscoelastic_cylinder / のデータを用います。

4.7.1 解析対象

解析対象は、4.3 節の静解析（超弾性その 1）と同一の丸棒 1/8 モデルです。

4.7.2 解析内容

丸棒に軸方向の引張変位を与え、応力緩和解析を実施します。解析制御データを以下に示します。

```
# Control File for FISTR
## Analysis Control
!VERSION
3
!SOLUTION, TYPE=NLSTATIC
!WRITE, VISUAL
!WRITE, RESULT
## Solver Control
### Boundary Conditon
!BOUNDARY, GRPID=1
LOADS, 3, 3, -7.0
FIX, 3, 3, 0.0
XSMM, 1, 1, 0.0
YSMM, 2, 2, 0.0
### STEP
!STEP, TYPE=VISCO, CONVERG=1.0e-5
0.2, 2.0
BOUNDARY, 1
### Material
!MATERIAL, NAME=MAT1
!ELASTIC
206900.0, 0.29
!VISCOELASTIC
0.5, 1.0
### Solver Setting
!SOLVER, METHOD=CG, PRECOND=1, ITERLOG=YES, TIMELOG=YES
10000, 2
1.0e-8, 1.0, 0.0
```

4.7.3 解析結果

ミーゼス応力のコンターを付加した変形図を REVOCAP_PrePost で作成して図 4.7.1 に示します。2 秒後（10 ステップ目）の解析結果です。また、解析結果の数値データとして、解析結果ログファイルの一部を以下に示します。

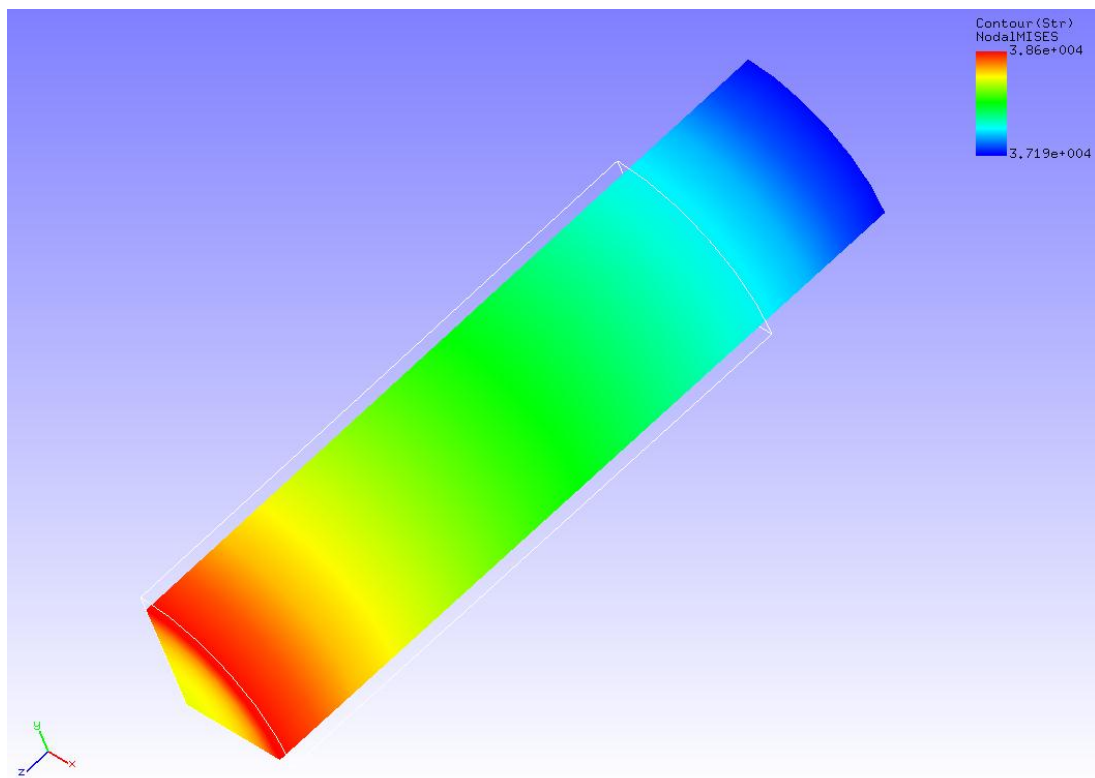


図 4.7.1 変形およびミーゼス応力の解析結果

#### Result step= 10				
##### Local Summary :Max/IdMax/Min/IdMin####				
//U1	0.0000E+00	1	-7.4531E-01	91
//U2	0.0000E+00	1	-7.4531E-01	88
//U3	0.0000E+00	1	-7.0000E+00	38
//E11	-1.0763E-01	38	-1.1244E-01	7
//E22	-1.0763E-01	50	-1.1244E-01	13
//E33	3.0270E-01	13	2.9129E-01	50
//E12	9.8113E-04	53	-9.9997E-04	10
//E23	1.1878E-04	72	-3.2869E-03	84
//E13	1.1878E-04	64	-3.2869E-03	95
//S11	1.4135E+02	13	-1.3699E+02	50
//S22	1.4135E+02	7	-1.3699E+02	38
//S33	3.8691E+04	13	3.7107E+04	50
//S12	4.6701E+01	53	-4.7594E+01	10
//S23	5.2254E+00	72	-1.5313E+02	84
//S13	5.2254E+00	64	-1.5313E+02	95
//SMS	3.8602E+04	13	3.7194E+04	50

4.8 静解析（クリープ）

本解析の実施には、tutorial/ 08_creep_cylinder / のデータを用います。

4.8.1 解析対象

解析対象は、4.3 節の静解析（超弾性その 1）と同一の丸棒 1/8 モデルです。

4.8.2 解析内容

丸棒に軸方向の引張変位を与え、クリープ挙動解析を実施します。解析制御データを以下に示します。

```
# Control File for FISTR
## Analysis Control
!VERSION
  3
!SOLUTION, TYPE=NLSTATIC
!WRITE, RESULT
!WRITE, VISUAL
## Solver Control
### Boundary Conditon
!BOUNDARY, GRPID=1
  LOADS, 3, 3, -7.0
  FIX, 3, 3, 0.0
  XSYMM, 1, 1, 0.0
  YSYMM, 2, 2, 0.0
### STEP
!STEP, SUBSTEPS=5, CONVERG=1.0e-5
  BOUNDARY, 1
### Material
!MATERIAL, NAME=MAT1
!ELASTIC
  206900.0, 0.29
!CREEP, TYPE=NORTON
  1.e-10, 5.0, 0.0
### Solver Setting
!SOLVER, METHOD=CG, PRECOND=1, ITERLOG=YES, TIMELOG=YES
  10000, 2
  1.0e-8, 1.0, 0.0
```

4.8.3 解析結果

5 サブステップ目の解析結果について、ミーゼス応力のコンターを付加した変形図を REVOCAP_PrePost で作成して図 4.8.1 に示します。また、解析結果の数値データとして、解析結果ログファイルの一部を以下に示します。

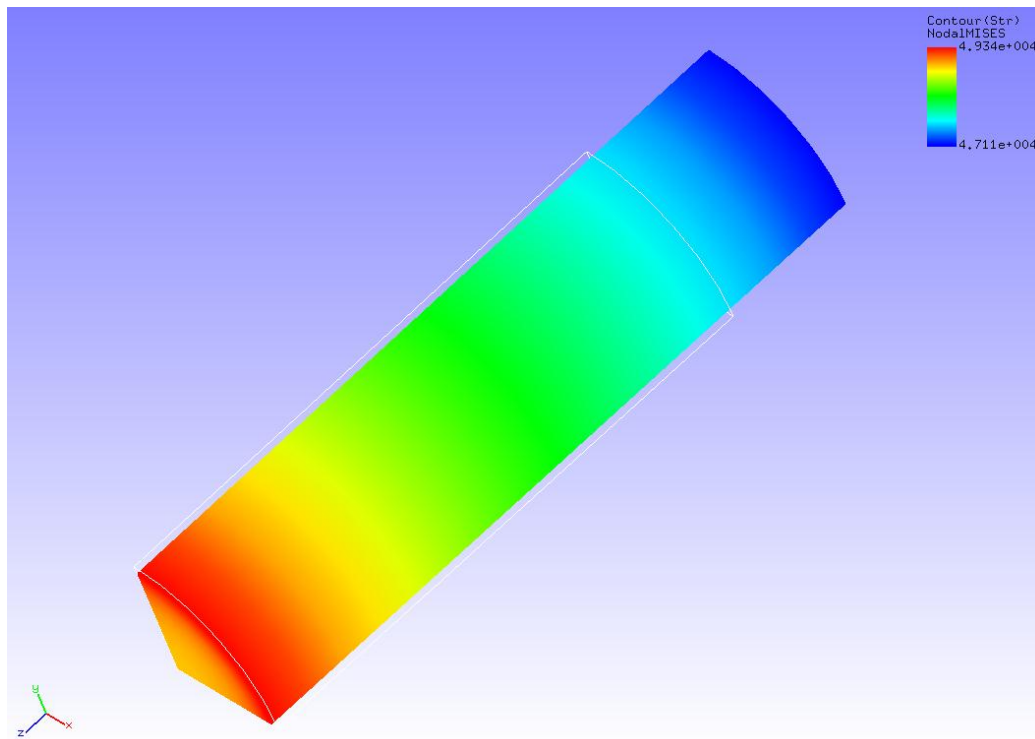


図 4.8.1 変形およびミーゼス応力の解析結果

```

#### Result step=      5
##### Local Summary :Max/IdMax/Min/IdMin####
//U1  0.0000E+00      1 -4.1832E-01      91
//U2  0.0000E+00      1 -4.1832E-01      88
//U3  0.0000E+00      1 -7.0000E+00      38
//E11 -6.5815E-02     38 -6.9387E-02      7
//E22 -6.5815E-02     50 -6.9387E-02     13
//E33  2.3854E-01     13  2.2765E-01     38
//E12  5.4317E-04     53 -5.5746E-04     10
//E23  8.9875E-05     72 -2.2085E-03     84
//E13  8.9875E-05     64 -2.2085E-03     95
//S11  1.1317E+02     14 -1.1102E+02     49
//S22  1.1317E+02      6 -1.1102E+02     39
//S33  4.9374E+04     13  4.7081E+04     38
//S12  4.3566E+01     53 -4.4697E+01     10
//S23  7.6408E+00     72 -1.6768E+02     84
//S13  7.6408E+00     64 -1.6768E+02     95
//SMS  4.9340E+04     13  4.7114E+04     38

```

4.9 接触解析（その1）

本解析の実施には、tutorial/ 09_contact_hertz / のデータを用います。

4.9.1 解析対象

解析はHerz接触問題で、解析対象の形状を図4.9.1に、メッシュデータを図4.9.2に示します。メッシュには六面体1次要素を用い、メッシュ規模は要素数168、節点数408です。

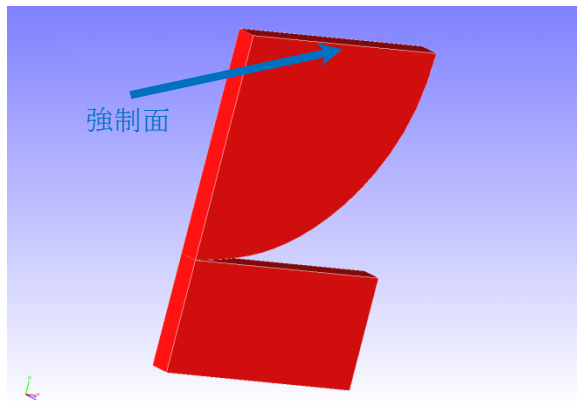


図 4.9.1 解析対象の形状

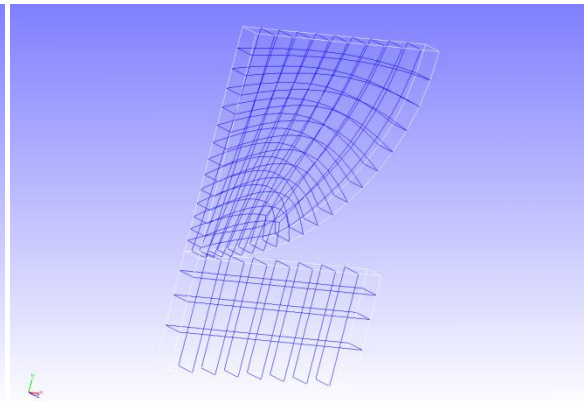


図 4.9.2 解析対象のメッシュデータ

4.9.2 解析内容

円板の 1/4 モデルの上面に圧縮方向の強制変位を与える接触解析を拡張ラグランジュ乗数法で実施します。解析制御データを以下に示します。

```
# Control File for FISTR
## Analysis Control
!VERSION
  3
!SOLUTION, TYPE=NLSTATIC
!WRITE, RESULT
!WRITE, VISUAL
## Solver Control
#### Boundary Conditon
!BOUNDARY, GRPID=1
  ALL, 3, 3, 0.0
  BOTTOM, 2, 2, 0.0
  CENTER, 1, 1, 0.0
  UPPER, 2, 2, -0.306
!CONTACT_ALGO, TYPE=ALAGRANGE
!CONTACT, GRPID=1
  CP1, 0.0
#### STEP
!STEP, SUBSTEPS=5, CONVERG=1.0e-5
  BOUNDARY, 1
  CONTACT, 1
#### Material
!MATERIAL, NAME=MAT1
!ELASTIC
  1100.0, 0.0
```

```

### Solver Setting
!SOLVER, METHOD=CG, PRECOND=1, ITERLOG=YES, TIMELOG=YES
1000, 2
1.0e-10, 1.0, 0.0

```

4.9.3 解析結果

5 サブステップ目の解析結果について、y 方向変位のコンターを付加した変形図を REVOCAP_PrePost で作成して図 4.9.3 に示します。また、解析結果の数値データとして、解析結果ログファイルの一部を以下に示します。

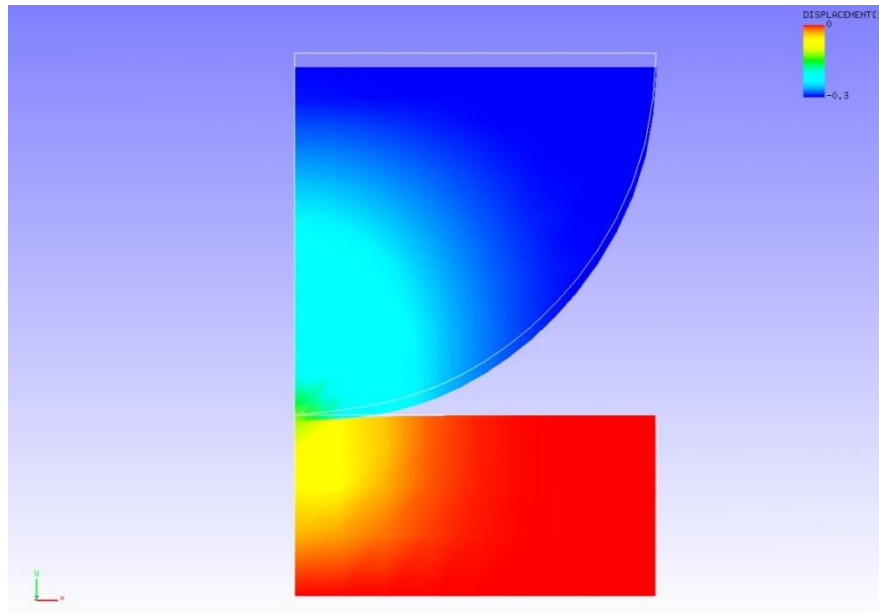


図 4.9.3 変形および y 方向変位の解析結果

```

#### Result step=      5
##### Local Summary :Max/IdMax/Min/IdMin####
//U1  1.1912E-02      70 -3.7167E-02      47
//U2  4.4886E-03     1008 -3.0603E-01     32
//U3  0.0000E+00      1  0.0000E+00      1
//E11 6.4120E-03     1003 -4.1075E-02     50
//E22 1.8765E-03     1012 -5.8752E-02     29
//E33 1.1012E-02     1046 -3.2153E-03     47
//E12 4.9036E-02     1046 -3.9706E-02     30
//E23 1.4957E-15     1047 -8.5554E-15    1000
//E13 7.5696E-15      50 -1.4571E-15    1047
//S11 7.0532E+00     1003 -4.5183E+01     50
//S22 2.0641E+00     1012 -6.4627E+01     29
//S33 1.2113E+01     1046 -3.5369E+00     47
//S12 2.6970E+01     1046 -2.1838E+01     30
//S23 8.2263E-13     1047 -4.7055E-12    1000
//S13 4.1633E-12      50 -8.0141E-13    1047
//SMS 7.6836E+01      30  8.8599E-02     69

```

4.10 接触解析（その2）

本解析の実施には、tutorial/ 10_contact_2tubes/ のデータを用います。

4.10.1 解析対象

解析は円筒の押し込み問題で、解析対象の形状を図4.10.1に、メッシュデータを図4.10.2に示します。メッシュには六面体1次要素を用い、メッシュ規模は要素数2,888、節点数4,000です。

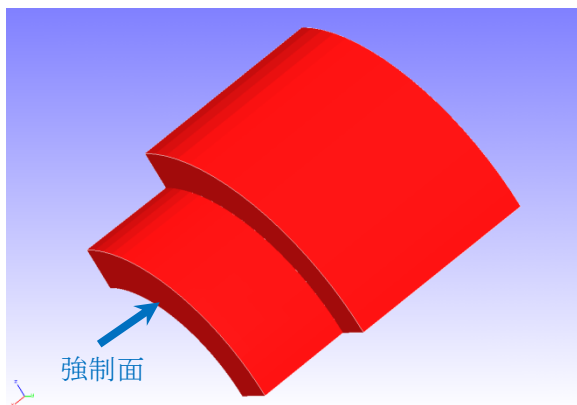


図 4.10.1 解析対象の形状

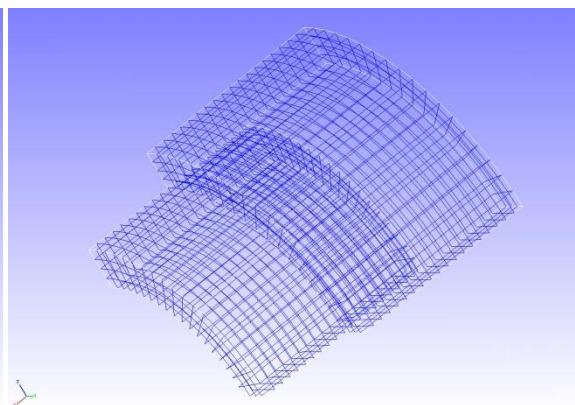


図 4.10.2 解析対象のメッシュデータ

4.10.2 解析内容

図 4.10.1 に示す強制面に押し込み方向の強制変位を与える接触解析をラグランジュ乗数法で実施します。解析制御データを以下に示します。

```
# Control File for FISTR
## Analysis Control
!VERSION
3
!SOLUTION, TYPE=NLSTATIC
!WRITE, RESULT
!WRITE, VISUAL
## Solver Control
### Boundary Conditon
!BOUNDARY, GRPID=1
X0, 1, 3, 0.0
Y0, 2, 2, 0.0
Z0, 3, 3, 0.0
!BOUNDARY, GRPID=2
X1, 1, 1, 0.0
!BOUNDARY, GRPID=3
X1, 1, 1, -1.0
!CONTACT_ALGO, TYPE=SLAGRANGE
!CONTACT, GRPID=1, INTERACTION=FSLID, NPENALTY=1.0e+2
CP1, 0.0, 1.0e+5
### STEP
!STEP, SUBSTEPS=4, CONVERG=1.0e-5
BOUNDARY, 1
BOUNDARY, 3
CONTACT, 1
```

```

### Material
!MATERIAL, NAME=M1
!ELASTIC
  2.1e+5, 0.3
### Solver Setting
!SOLVER, METHOD=DIRECTmkI

```

4.10.3 解析結果

4 サブステップ目の解析結果について、ミーゼス応力のコンターを付加した変形図を REVOCAP_PrePost で作成して図 4.10.3 に示します。また、解析結果の数値データとして、解析結果ログファイルの一部を以下に示します。

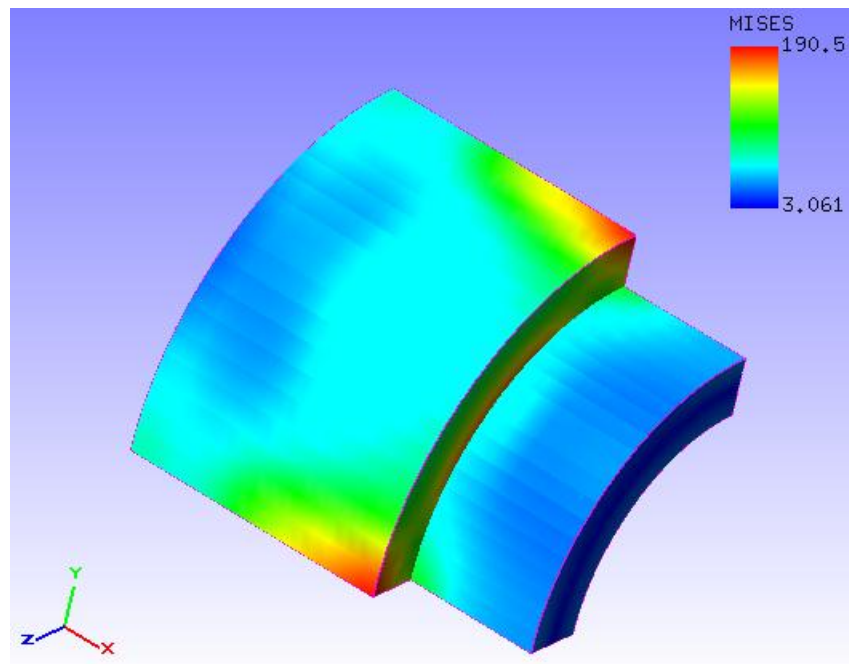


図 4.10.3 変形およびミーゼス応力の解析結果

```

#### Result step=      4
##### Local Summary :Max/IdMax/Min/IdMin####
//U1  8.6939E-04      32 -1.0021E+00      2006
//U2  8.7641E-03     104 -7.0519E-03      2006
//U3  8.7641E-03      4  -7.0519E-03      1901
//E11 7.5301E-04     1901 -4.1253E-04      105
//E22 9.8422E-04      2  -9.2887E-04     2058
//E33 9.8423E-04     102 -9.2880E-04     3843
//E12 5.3508E-04     133 -2.8307E-04      278
//E23 1.2482E-03     1901 -1.4180E-03      4
//E13 5.3519E-04      33 -2.8312E-04     1678
//S11 7.7141E+01     103 -9.0007E+01      101
//S22 2.0117E+02      2  -2.2938E+02     1905
//S33 2.0117E+02     102 -2.2941E+02     2010
//S12 4.3218E+01     133 -2.2863E+01      278
//S23 1.0082E+02     1901 -1.1453E+02      4
//S13 4.3227E+01      33 -2.2867E+01     1678
//SMS 2.9968E+02     1901  3.1610E+00     2454

```

4.11 接触解析（その3）

本解析の実施には、tutorial/ 11_contact_2beam/ のデータを用います。

4.11.1 解析対象

解析はふたつの梁の接触問題で、解析モデルの概要を図4.11.1に示します。メッシュには六面体1次要素を用い、メッシュ規模は要素数80、節点数252です。

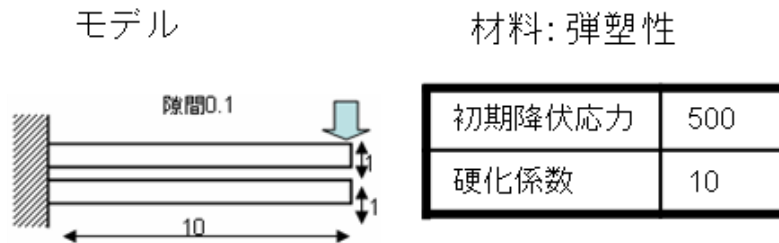


図 4.11.1 解析モデルの概要

4.11.2 解析内容

上側の梁の先端面に強制変位を与える接触解析をラグランジュ乗数法で実施します。解析制御データを以下に示します。

```
!!
!! Control File for FISTR
!!
!VERSION
3
!SOLUTION, TYPE=NLSTATIC
!WRITE, RESULT
!WRITE, VISUAL
!BOUNDARY, GRPID=1
  ng1, 1, 3, 0.0
  ng2, 1, 3, 0.0
  ng3, 3, 3, -3.0
!CONTACT_ALGO, TYPE=SLAGRANGE
!CONTACT, GRPID=1, INTERACTION=FSLID
  CP1, 0.0, 1.0e+5
!STEP, SUBSTEPS=100, CONVERG=1.0e-4
  BOUNDARY, 1
  CONTACT, 1
!MATERIAL, NAME=M1
!ELASTIC
  2.1e+5, 0.3
!PLASTIC, YIELD=MISES
  500.0, 10.0
!SOLVER, METHOD=MUMPS
```

4.11.3 解析結果

100 サブステップ目の解析結果について、ミーゼス応力のコンターを付加した変形図を REVOCAP_PrePost で作成して図 4.11.2 に示します。また、解析結果の数値データとして、解析結果ログファイルの一部を以下に示します。

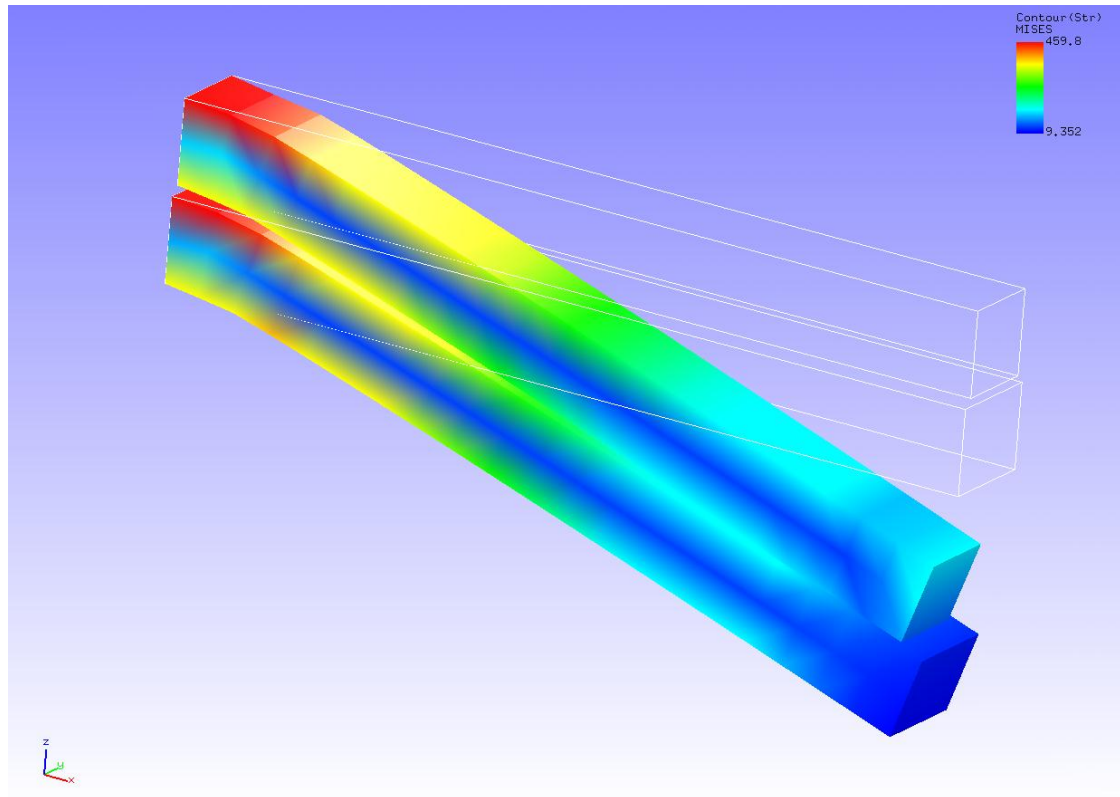


図 4.11.2 変形およびミーゼス応力の解析結果

```
#### Result step= 100
##### Local Summary :Max/IdMax/Min/IdMin####
//U1 1.4102E-01 196 -6.1103E-01 6
//U2 4.5722E-02 11 -4.5722E-02 195
//U3 0.0000E+00 1 -3.0000E+00 8
//E11 1.6030E-01 195 -1.3024E-01 49
//E22 5.9705E-02 49 -7.5459E-02 195
//E33 7.3924E-02 152 -8.7395E-02 30
//E12 8.6186E-02 7 -8.6186E-02 192
//E23 9.9009E-02 11 -9.9009E-02 195
//E13 6.0657E-02 90 -1.2889E-01 192
//S11 5.7685E+02 132 -6.3641E+02 152
//S22 1.2740E+02 3 -1.2727E+02 10
//S33 1.4933E+02 3 -1.4146E+02 127
//S12 1.4676E+02 70 -1.4676E+02 235
//S23 1.7885E+02 109 -1.7885E+02 172
//S13 1.6202E+02 90 -2.4814E+02 194
//SMS 6.2476E+02 89 8.3117E+00 2
```

4.12 線形動解析

本解析の実施には、tutorial/ 12_dynamic_beam/ のデータを用います。

4.12.1 解析対象

解析対象は片持ち梁で、形状を図4.12.1に、メッシュデータを図4.12.2に示します。メッシュには四面体2次要素を用い、メッシュ規模は要素数240、節点数525です。

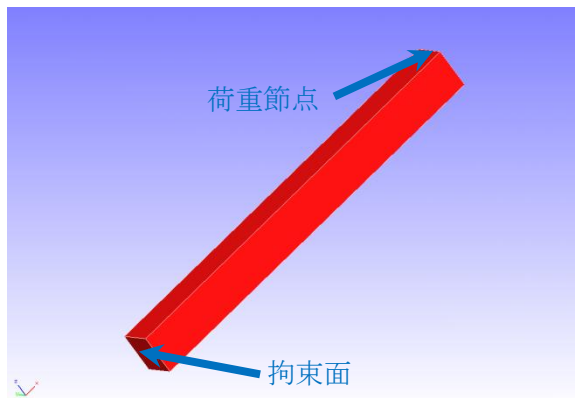


図 4.12.1 片持ち梁の形状

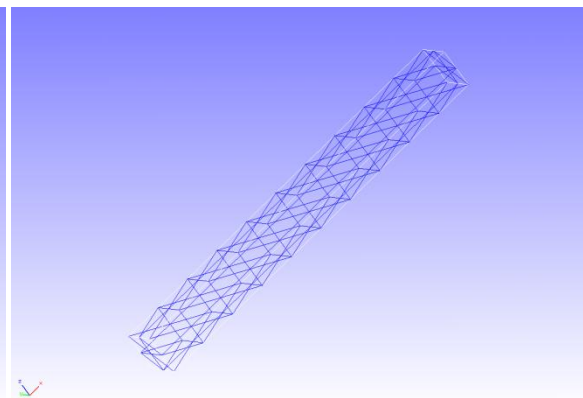


図 4.12.2 片持ち梁のメッシュデータ

4.12.2 解析内容

図 4.12.1 に示す拘束面の変位を拘束し、荷重節点に集中荷重を負荷した後の線形動解析を実施します。解析制御データを以下に示します。

```
# Control File for FISTR
## Analysis Control
!VERSION
3
!WRITE, LOG, FREQUENCY=5000
!WRITE, RESULT, FREQUENCY=5000
!SOLUTION, TYPE=DYNAMIC
!DYNAMIC, TYPE=LINEAR
11, 1
0.0, 1.0, 500000, 1.0000e-8
0.5, 0.25
1, 1, 0.0, 0.0
100000, 3121, 500
1, 1, 1, 1, 1, 1
## Solver Control
#### Boundary Conditon
!BOUNDARY, AMP=AMP1
FIX, 1, 3, 0.0
!CLOAD, AMP=AMP1
CL1, 3, -1.0
#### Material
# define in mesh file
#### Solver Setting
!SOLVER, METHOD=CG, PRECOND=1, ITERLOG=NO, TIMELOG=NO
10000, 2
1.0e-06, 1.0, 0.0
```

4.12.3 解析結果

解析制御データで指定したモニタリング節点（荷重節点、節点番号 3121）の変位の時系列表示を Microsoft Excel で作成して図 4.12.3 に示します。また、解析結果の数値データとして、モニタリング節点の変位出力ファイル（dyna_disp_p1.out）の一部を以下に示します。

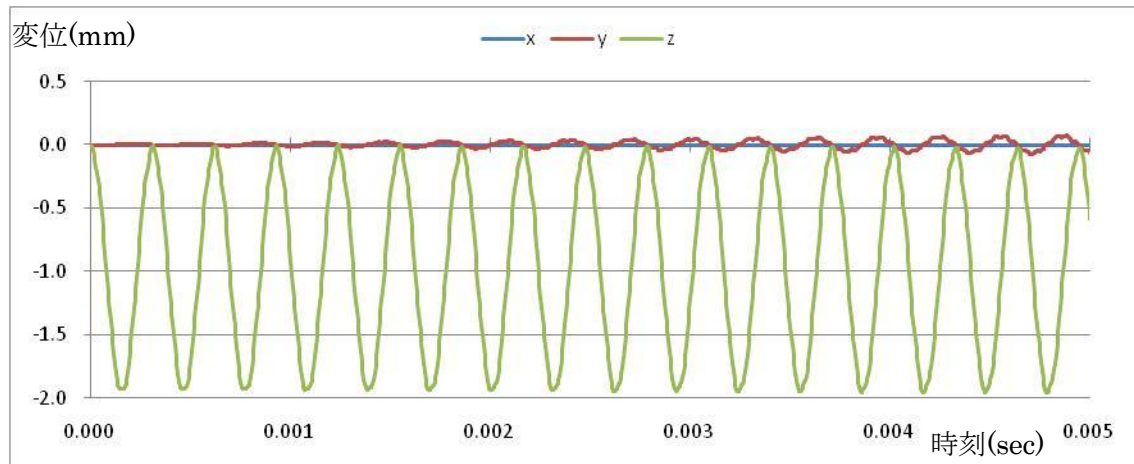


図 4.12.3 モニタリング節点の変位時系列

0	0.0000E+000	3121	0.0000E+000	0.0000E+000	0.0000E+000
500	5.0000E-006	3121	5.5959E-005	-2.0679E-006	-1.5563E-002
1000	1.0000E-005	3121	5.3913E-005	2.0947E-005	-4.3950E-002
1500	1.5000E-005	3121	7.6105E-005	5.8799E-005	-8.0795E-002
2000	2.0000E-005	3121	6.8543E-006	4.0956E-005	-1.2329E-001
2500	2.5000E-005	3121	5.4725E-005	7.0881E-005	-1.7742E-001
3000	3.0000E-005	3121	6.8226E-005	1.7597E-004	-2.2801E-001
3500	3.5000E-005	3121	4.2923E-005	1.1791E-004	-2.7290E-001
4000	4.0000E-005	3121	-1.2087E-005	1.2552E-004	-3.2393E-001
4500	4.5000E-005	3121	3.4969E-005	-3.4512E-005	-3.8844E-001
5000	5.0000E-005	3121	6.1592E-005	1.2820E-004	-4.6425E-001
5500	5.5000E-005	3121	1.3188E-005	1.9002E-005	-5.4590E-001
6000	6.0000E-005	3121	3.1393E-005	-7.4604E-005	-6.4556E-001
6500	6.5000E-005	3121	9.8931E-005	-1.9078E-004	-7.5561E-001
7000	7.0000E-005	3121	4.2308E-005	1.1593E-004	-8.6826E-001
7500	7.5000E-005	3121	-2.7019E-005	3.0277E-004	-9.6826E-001

4.13 非線形動解析

本解析の実施には、tutorial/ 13_dynamic_beam_nonlinear / のデータを用います。

4.13.1 解析対象

解析対象は、4.12 節の線形動解析と同一の片持ち梁です。

4.13.2 解析内容

図 4.12.1 に示す拘束面の変位を拘束し、荷重節点に集中荷重を負荷した後の非線形動解析を実施します。解析制御データを以下に示します。

```
# Control File for FISTR
## Analysis Control
!VERSION
3
!WRITE, RESULT, FREQUENCY=100
!SOLUTION, TYPE=DYNAMIC
!DYNAMIC, TYPE=NONLINEAR
1, 1
0.0, 0.1, 100000, 1.0000e-8
0.5, 0.25
1, 1, 0.0, 0.0
1000, 3121, 100
1, 1, 1, 1, 1, 1
## Solver Control
### Boundary Conditon
!BOUNDARY, GRPID=1, AMP=AMP1
FIX, 1, 3, 0.0
!CLOAD, GRPID=1, AMP=AMP1
CL1, 3, -1.0
### STEP
!STEP, CONVERG=1.0e-3
BOUNDARY, 1
LOAD, 1
### Material
!DENSITY
1.0e-8
!HYPERELASTIC, TYPE=NEOHOOKE
1000.0, 0.00005
### Solver Setting
!SOLVER, METHOD=CG, PRECOND=1, ITERLOG=NO, TIMELOG=NO
10000, 2
1.0e-06, 1.0, 0.0
```

4.13.3 解析結果

解析制御データで指定したモニタリング節点（荷重節点、節点番号 3121）の変位の時系列表示を Microsoft Excel で作成して図 4.13.1 に示します。また、解析結果の数値データとして、モニタリング節点の変位出力ファイル（dyna_disp_p1.out）の一部を以下に示します。

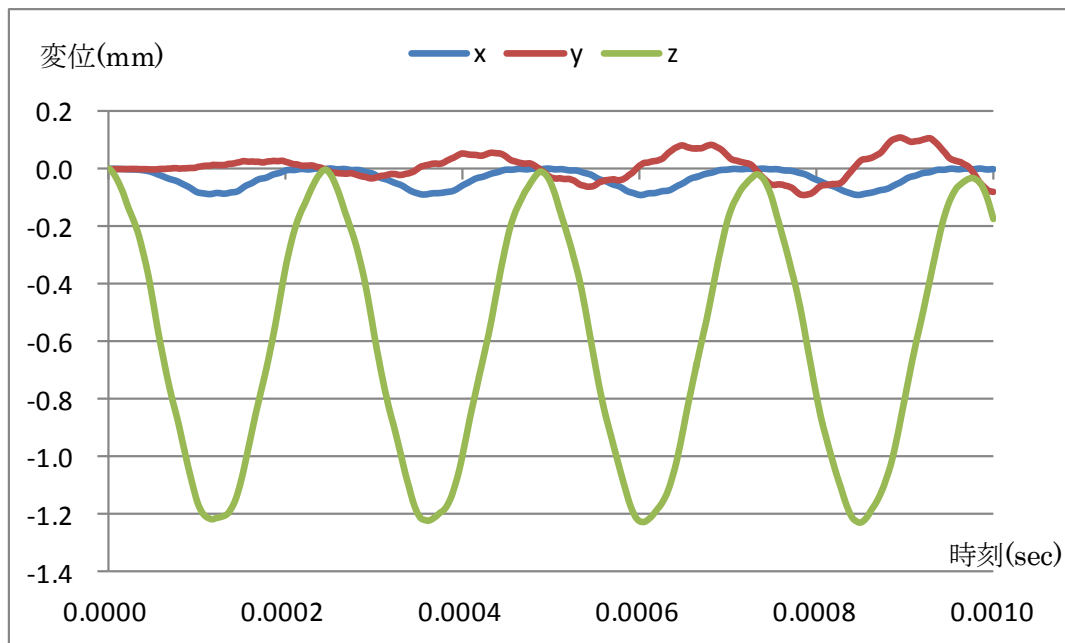


図 4.13.1 モニタリング節点の変位時系列

0	0.0000E+000	3121	0.0000E+000	0.0000E+000	0.0000E+000
100	1.0000E-006	3121	9.6353E-005	-5.1095E-005	-1.3238E-003
200	2.0000E-006	3121	9.0012E-005	-3.6471E-005	-3.6634E-003
300	3.0000E-006	3121	8.9091E-005	-5.9391E-007	-6.5111E-003
400	4.0000E-006	3121	1.8224E-005	1.8912E-006	-1.0037E-002
500	5.0000E-006	3121	5.1827E-005	-2.5069E-005	-1.4121E-002
600	6.0000E-006	3121	3.6671E-005	2.1807E-005	-1.8473E-002
700	7.0000E-006	3121	-1.7546E-005	6.9216E-006	-2.3308E-002
800	8.0000E-006	3121	-5.2440E-005	1.6820E-006	-2.8491E-002
900	9.0000E-006	3121	-8.5845E-005	3.4707E-005	-3.4008E-002
1000	1.0000E-005	3121	-1.4183E-004	3.5653E-005	-3.9828E-002
1100	1.1000E-005	3121	-2.0256E-004	1.7437E-005	-4.5995E-002
1200	1.2000E-005	3121	-2.3574E-004	3.3228E-005	-5.2387E-002
1300	1.3000E-005	3121	-3.3244E-004	2.3837E-005	-5.9080E-002
1400	1.4000E-005	3121	-4.3976E-004	4.6942E-005	-6.6266E-002
1500	1.5000E-005	3121	-5.2678E-004	1.6307E-004	-7.3148E-002
1600	1.6000E-005	3121	-6.5293E-004	8.3457E-005	-7.9989E-002
1700	1.7000E-005	3121	-7.7174E-004	-2.8361E-005	-8.7875E-002
1800	1.8000E-005	3121	-9.0637E-004	-1.1184E-004	-9.6629E-002

4.14 非線形接触動解析

本解析の実施には、tutorial/ 14_dynamic_plate_contact/ のデータを用います。

4.14.1 解析対象

解析対象は床面への角材の落下衝撃解析で、形状を図4.14.1に、メッシュデータを図4.14.2に示します。メッシュには六面体1次要素を用い、メッシュ規模は要素数8,232、節点数10,712です。

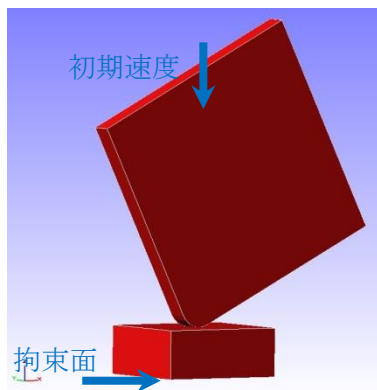


図 4.14.1 床面と角材の形状

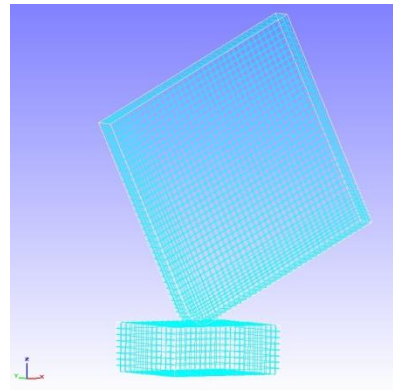


図 4.14.2 床面と角材のメッシュデータ

4.14.2 解析内容

解析対象の角材に初期速度 4427mm/s を設定し、接触動解析を実施します。解析制御データを以下に示します。

```
!! Control File for FISTR
!VERSION
3
!WRITE, LOG, FREQUENCY=20
!WRITE, RESULT, FREQUENCY=20
!SOLUTION, TYPE=DYNAMIC
!DYNAMIC, TYPE=NONLINEAR
1, 1
0.0, 1.0, 200, 1.0000e-8
0.65, 0.330625
1, 1, 0.0, 0.0
20, 2621, 1
1, 1, 1, 1, 1, 1
!BOUNDARY, GRPID = 1
bottom, 1, 3, 0.0
!VELOCITY, TYPE = INITIAL
plate, 3, 3, -4427.0
!CONTACT_ALGO, TYPE=SLAGRANGE
!CONTACT, GRPID=1, INTERACTION=FSLID
CP1, 0.0, 1.0e+5
!STEP, CONVERG=1.0e-8, ITMAX=100
BOUNDARY, 1
CONTACT, 1
!MATERIAL, NAME = M1
!ELASTIC
2.00000e+5, 0.3
!PLASTIC
1.0e+8, 0.0
!MATERIAL, NAME = M2
!ELASTIC
1.16992e+5, 0.3
!PLASTIC
70.0, 0.0
!SOLVER, METHOD=MUMPS
```

4.14.3 解析結果

落下衝撃時のミーゼス応力のコンター図を図 4.14.3 に示します。また、解析結果の数値データとして、モニタリング節点のエネルギー出力ファイル (dyna_energy.txt) の一部を以下に示します。

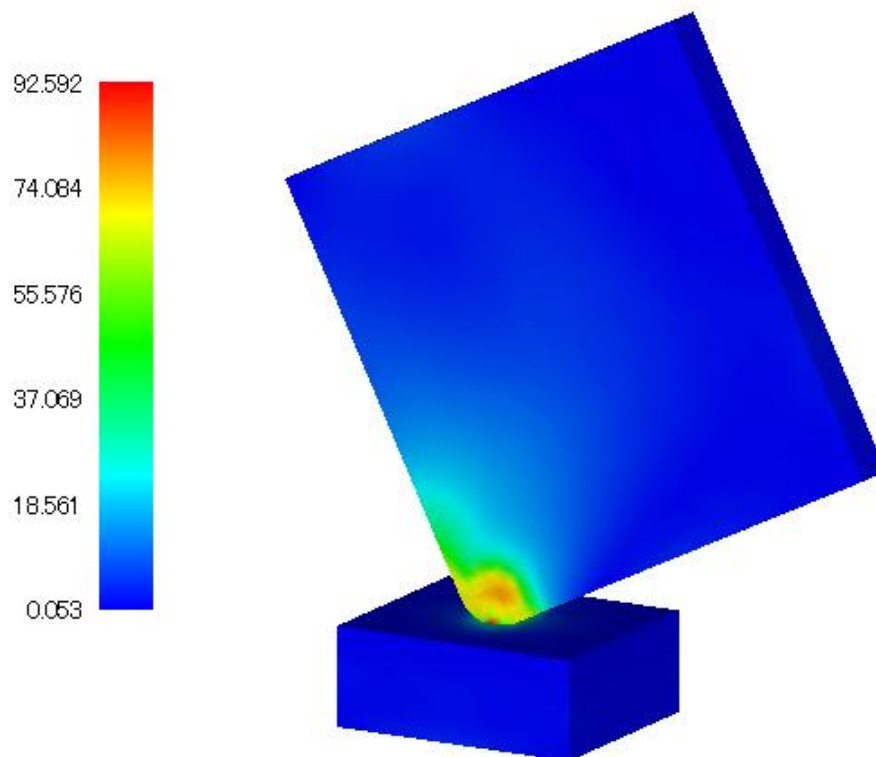


図 4.14.3 落下衝撃時のミーゼス応力

time step	time	kinetic energy	strain energy	total energy
0	0.0000E+000	9.7816E-003	0.0000E+000	9.7816E-003
1	1.0000E-008	9.7756E-003	4.9520E-006	9.7806E-003
2	2.0000E-008	9.7653E-003	1.4640E-005	9.7800E-003
3	3.0000E-008	9.7535E-003	2.5204E-005	9.7787E-003
4	4.0000E-008	9.7408E-003	3.7426E-005	9.7782E-003
5	5.0000E-008	9.7278E-003	5.0061E-005	9.7779E-003
6	6.0000E-008	9.7147E-003	6.2937E-005	9.7776E-003
7	7.0000E-008	9.7015E-003	7.5913E-005	9.7774E-003
8	8.0000E-008	9.6883E-003	8.8933E-005	9.7772E-003
9	9.0000E-008	9.6751E-003	1.0199E-004	9.7771E-003
10	1.0000E-007	9.6619E-003	1.1508E-004	9.7769E-003
11	1.1000E-007	9.6486E-003	1.2823E-004	9.7768E-003
12	1.2000E-007	9.6353E-003	1.4139E-004	9.7767E-003

4.15 固有値解析

本解析の実施には、tutorial/ 15_eigen_spring/ のデータを用います。

4.15.1 解析対象

解析対象は、4.4 節の静解析（超弾性その 2）と同一のスプリングです。

4.15.2 解析内容

図 4.4.1 に示す拘束面の変位を拘束し、5 次までの固有値解析を実施します。解析制御データを以下に示します。

```
# Control File for FISTR
## Analysis Control
!VERSION
3
!SOLUTION, TYPE=EIGEN
!EIGEN
5, 1.0E-8, 60
!WRITE, RESULT
!WRITE, VISUAL
## Solver Control
### Boundary Conditon
!BOUNDARY
XFIX, 1, 1, 0.0
YFIX, 2, 2, 0.0
ZFIX, 3, 3, 0.0
### Material
# define in mesh file
### Solver Setting
!SOLVER, METHOD=DIRECT
```

4.15.3 解析結果

解析結果データファイル spring.res.0.3 を用いて、3 次の振動モード（スプリングの y 方向圧縮伸長）を REVOCAP_PrePost で作成して図 4.15.1 に示します。変形倍率を 1000 としています。また、解析結果の数値データとして、解析結果ログファイルに出力された固有振動数リストを以下に示します。

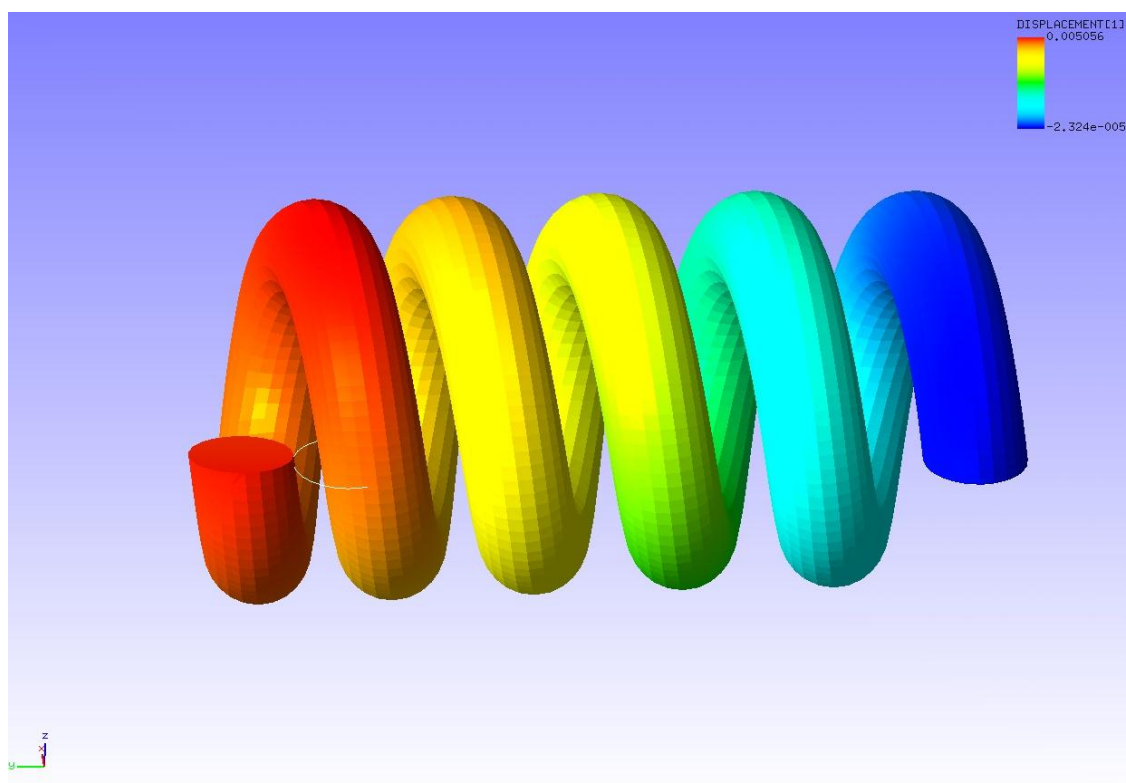


図 4.15.1 スプリングの 3 次振動モード

 RESULT OF EIGEN VALUE ANALYSIS

NUMBER OF ITERATIONS = 26

NO.	EIGENVALUE	ANGL. FREQUENCY	FREQUENCY (HZ)
1	0. 783085E+07	0. 279837E+04	0. 445374E+03
2	0. 787176E+07	0. 280567E+04	0. 446536E+03
3	0. 326006E+08	0. 570969E+04	0. 908726E+03
4	0. 383712E+08	0. 619445E+04	0. 985877E+03
5	0. 129322E+09	0. 113720E+05	0. 180991E+04

4.16 熱伝導解析

本解析の実施には、tutorial/ 16_heat_block/ のデータを用います。

4.16.1 解析対象

解析対象は穴あきブロックで、形状を図4.16.1に、メッシュデータを図4.16.2に示します。メッシュには六面体1次要素を用い、メッシュ規模は要素数32,160、節点数37,386です。

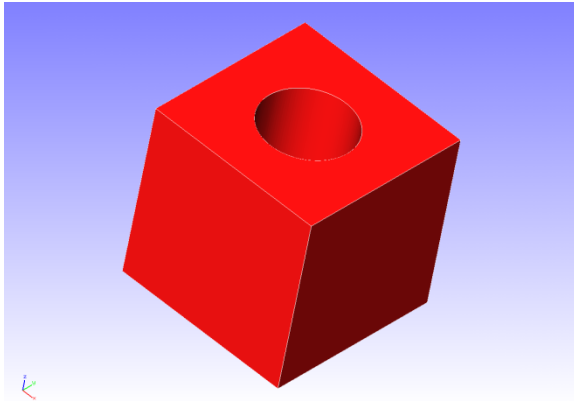


図 4.16.1 穴あきブロックの形状

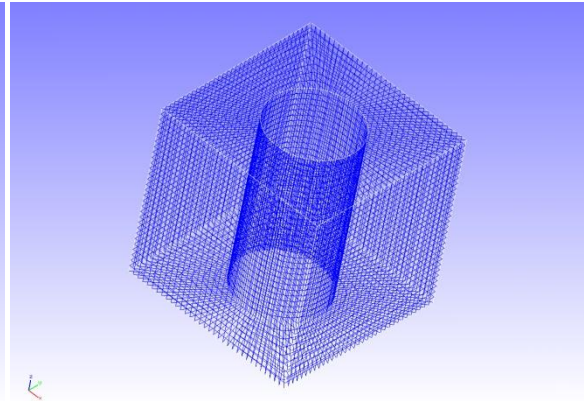


図 4.16.2 穴あきブロックのメッシュデータ

4.16.2 解析内容

解析対象の円筒状内面に熱源を与える定常熱伝導解析を実施します。解析制御データを以下に示します。

```
# Control File for FISTR
## Analysis Control
!VERSION
3
!SOLUTION, TYPE=HEAT
!HEAT
0.0
!WRITE, RESULT
!WRITE, VISUAL
## Solver Control
### Boundary Conditon
!FIXTEMP
FTMPC, 100.0
FTMPS1, 20.0
FTMPS2, 20.0
FTMPS3, 20.0
FTMPS4, 20.0
### Material
# define in mesh file
### Solver Setting
!SOLVER, METHOD=CG, PRECOND=2, ITERLOG=YES, TIMELOG=YES
100, 2
1.0e-8, 1.0, 0.0
```

4.16.3 解析結果

温度のコンター図を REVOCAP_PrePost で作成して図 4.16.3 に示します。また、解析結果の数値データとして、解析結果ログファイルの一部を以下に示します。

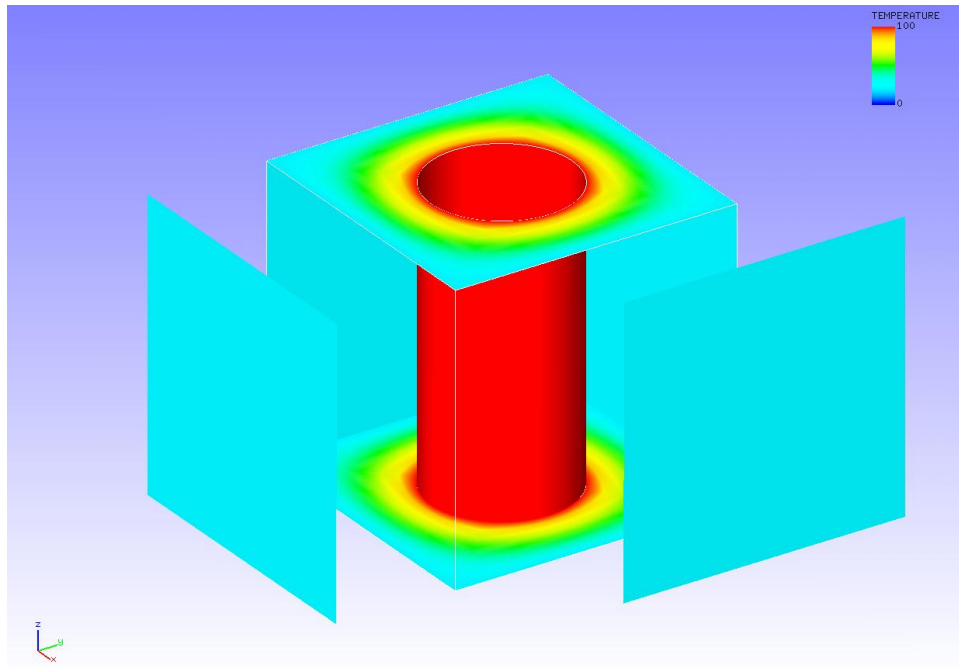


図 4.16.3 温度の解析結果

ISTEP =	1
Time =	0.000
Maximum Temperature :	100.000
Maximum Node No. :	9
Minimum Temperature :	20.000
Minimum Node No. :	85

4.17 周波数応答解析

本解析の実施には、tutorial/ 17_freq_beam/ のデータを用います。解析手順として、まず固有値解析用の全体制御データ hecmw_ctrl_eigen.dat を hecmw_ctrl.dat と変更し固有値解析を行い、周波数応答解析用の全体制御データ hecmw_ctrl_freq.dat を hecmw_ctrl.dat、固有値解析の解析結果ログファイル 0.log を eigen_0.log (周波数応答解析用の解析制御データ内で指定されている) と変更し、周波数応答解析を行います。

4.17.1 解析対象

解析対象は片持ち梁で、形状を図4.17.1に、メッシュデータを図4.17.2に示します。メッシュには四面体1次要素を用い、メッシュ規模は要素数126、節点数55です。

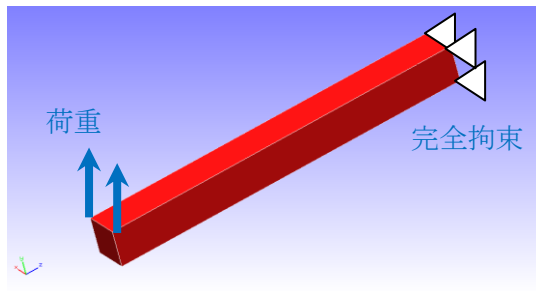


図 4.17.1 片持ち梁の形状

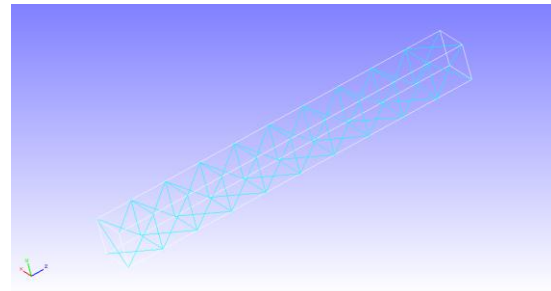


図 4.17.2 片持ち梁のメッシュデータ

4.17.2 解析内容

解析対象の片持ち梁の端部を完全拘束し、反対側の端部の2節点に集中荷重を加えた周波数応答解析を実施します。手順として同じ境界条件での10次までの固有値解析を実施した後、5次までの固有値、固有ベクトルを使い解析を実施します。周波数応答解析用の解析制御データを以下に示します。

```
# Control File for FISTR
!VERSION
3
!WRITE, RESULT
!WRITE, VISUAL
!SOLUTION, TYPE=DYNAMIC
!DYNAMIC
11, 2
14000, 16000, 20, 15000.0
0.0, 6.6e-5
1, 1, 0.0, 7.2E-7
10, 2, 1
1, 1, 1, 1, 1, 1
!EIGENREAD
eigen_0.log
1, 5
!BOUNDARY
_PickedSet4, 1, 3, 0.0
!FLOAD, LOAD CASE=2
_PickedSet5, 2, 1.
!FLOAD, LOAD CASE=2
_PickedSet6, 2, 1.
!SOLVER, METHOD=CG, PRECOND=1, ITERLOG=NO, TIMELOG=YES
10000, 2
1.0e-8, 1.0, 0.0
```

4.17.3 解析結果

解析制御データで指定したモニタリング節点（節点番号 1）の周波数と変位振幅の関係を Microsoft Excel で作成して図 4.17.3 に示します。また、解析結果の数値データとして、解析結果ログファイルの一部を以下に示します。

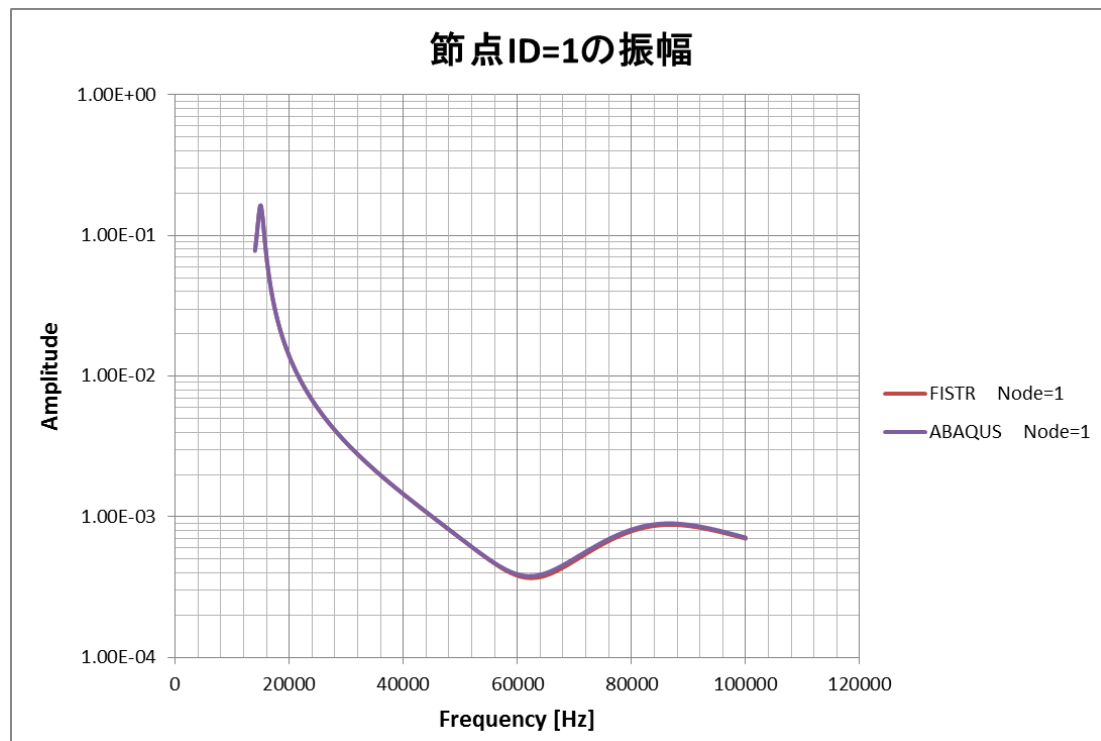


図 4.17.3 モニタリング節点の周波数と変位振幅の関係

```
Rayleigh alpha: 0.000000000000000E+000
Rayleigh beta: 7.200000000000000E-007
read from=eigen_0.log
start mode=      1
end mode=      5
start frequency: 14000.0000000000
end frequency: 16000.0000000000
number of the sampling points      20
monitor nodeid=      1
14100.0000000000 [Hz] : 8.395286141741409E-002
14100.0000000000 [Hz] : 1.res
14200.0000000000 [Hz] : 9.123156781733653E-002
14200.0000000000 [Hz] : 2.res
14300.0000000000 [Hz] : 9.960390920903195E-002
14300.0000000000 [Hz] : 3.res
```

以 上