

ABAQUS 利用の手引

東京工業大学学術国際情報センター
2017.06
version 1.8

目次

ABAQUS 利用の手引き	1
1. はじめに	1
1.1 利用できるバージョン	1
1.2 概要	1
1.3 マニュアル	1
2. TSUBAME での利用方法	2
2.1 ABAQUS の実行	2
(1) TSUBAMEにログイン	2
(2) インタラクティブ実行	2
2.2 PBSによるバッチ投入	3
(1).シングルジョブ	3
(2).MPIジョブ	3
2.3 GPU 計算	4
2.4 ABAQUSの実行オプション	4
2.5 ライセンス使用状況の確認	4
3. ABAQUS の計算の流れ	5
3.1 計算の流れ	5
3.1.1 解析手順概要	5
3.1.2 例題を通して作業手順を確認	5
3.2 ファイル拡張子の規約	8
3.3 ABAQUS/ユーティリティ	8
4. (ABAQUS/Standard) 概要	9
4.1 特徴	9
4.2 解析タイプ	9
4.3 要素ライブラリ	10
4.4 材料ライブラリ	11
4.5 データ上の注意	11
5. (ABAQUS/Standard) 実行	12
5.1 入力データの作成方法	12
5.1.1 データ構成	12
5.1.2 一般的なデータ作成方法	13
5.1.3 リスタートデータの作成方法	21
5.1.4 ユーザサブルーチンの作成方法	22
5.1.5 ABAQUS/Explicitの計算結果取り込み方法	23
5.2 実行方法	23
5.3 データのチェック	24
5.3.1 BATCH/Preによる確認	24
5.3.2 その他のチェック方法	26
5.3.3 使用容量の目安値確認	27
5.4 線形計算例	27

5.4.1 静解析	27
5.5 非線形計算例	29
5.5.1 大変形問題	29
6. (ABAQUS/Explicit) 概要	32
6.1 特徴	32
6.2 解析タイプ	32
6.3 要素ライブラリ	33
6.4 材料ライブラリ	33
6.5 データ上の注意	33
7. (ABAQUS/Explicit) 実行	35
7.1 入力データの作成方法	35
7.1.1 データ構成	35
7.1.2 一般的なデータ作成方法	36
7.1.3 リスタートデータの作成方法	39
7.2 実行方法	39
7.2.1 実行コマンド	39
7.2.2 ABAQUS/Explicit計算結果のファイル・コンバート	40
7.3 データのチェック	41
7.3.1 BATCH/Preによる確認	41
7.3.2 その他のチェック方法	42
7.4 実行例	44
7.4.1 梁の衝撃解析例	44
7.4.2 リスタート例	49
改版履歴	50

ABAQUS 利用の手引き

1. はじめに

本書は、ABAQUS を東京工業大学学術国際情報センターの TSUBAME で利用する方法について説明しています。また、TSUBAME を利用するにあたっては、「TSUBAME利用の手引き」もご覧下さい。利用環境や注意事項などが詳細に記述されております。

ABAQUSの開発・販売元のSIMULIAでは、ABAQUS に関するWebページを公開しています。次のアドレスを参照してください。

http://www.simulia.com/products/abaqus_fea.html

1.1 利用できるバージョン

TSUBAMEで利用可能なバージョンは次の通りです。

アプリケーション名	バージョン
ABAQUS	6.8-4, 6.11-2, 6.12-3, 6.13-3, 6.14-2, 2017

1.2 概要

ABAQUSは構造問題のシミュレーションを可能にする、汎用有限要素法解析プログラムです。開発はSIMULIAにより行われています。

ABAQUSは、自動車、航空宇宙、原子力、造船、鉄道車両、金型加工、精密機械、機械全般、建築・土木、橋梁、電気電子、カン/ボトル製品、樹脂製品、ゴム製品、スポーツ用品などの分野で幅広く使われています。

非線形解析に特化した長年の開発経緯を持ち、接触、材料破壊等の強烈的な非線形性を含む問題まで対応が可能です。また、モデル化のために豊富な要素、材料、解析機能ライブラリが用意されています。演算量が集中するルーチンやI/Oルーチンは、それぞれのシステムに対して最適化されています。

学術国際情報センターのABAQUSは、3つの大きなプログラムといくつかのユーティリティから構成されています。

ABAQUS/Standard

ABAQUS/Standardは、高度な内容の構造解析と伝熱解析を行うことのできる汎用有限要素プログラムです。

ABAQUS/Explicit

ABAQUS/Explicitは、連続体あるいは構造物のきわめて難度の高い非線形解析を行うことのできる有限要素プログラムです。

ABAQUS/CAE

ABAQUS/CAEは、高度なABAQUSの解析を迅速に効率よく作成、編集、モニタ、診断、可視化することができます。従来のABAQUS/ViewerはABAQUS/CAEの解析結果表示機能として提供されています。

ABAQUS/ユーティリティ

上記以外で、ABAQUS実行プロシージャで起動するユーティリティ・プログラムがあります。

また、ABAQUSのプリ/ポスト・プロセッサとしてPatranも使用できます。結果の表示等にはABAQUS/CAEまたはMSC/Patranを使用してください。

ABAQUSは、弾性・弾塑性・塑性・破壊まで幅広く使用できます。ユーザがプログラム (FORTRAN90で記述するユーザサブルーチン) で荷重や境界条件はもとより、物性値まで定義できます。したがって、ABAQUSのマニュアルやご自分の研究テーマに関連する使用例をよく調べてご利用下さい。

1.3 マニュアル

オンラインドキュメントを用意しています。

[Abaqus Documentation Collection](#) (東工大学内からのみ閲覧可能)

2. TSUBAME での利用方法

備考

[オンラインドキュメントのURLを表示できない場合の対処方法]

プロキシ経由での接続の場合、エラーとなります。この場合は、ABAQUS のドキュメントサーバをプロキシ使用の例外に設定する必要があります。

以下は、Windows 7 の場合の設定例です。

(step-1) [コントロールパネル]→[ネットワークとインターネット]→[インターネットオプション]

(step-2) インターネットのプロパティ画面で、接続タブを選択→「LANの設定」をクリック

(step-3) ローカルネットワークの設定 (LAN) 画面で、「詳細設定」をクリック

(step-4) 「次で始まるアドレスにはプロキシを使用しない」の箇所に入力し、「172.17.230.61」を入力し、「OK」をクリック。

2. TSUBAME での利用方法

2.1 ABAQUS の実行

(1) TSUBAMEにログイン

次のコマンドを入力し、TSUBAMEにログインします。

```
$ ssh login-t2.g.gsic.titech.ac.jp -l USER-ID
```

備考

-l USER-ID の -l は数字の1ではなくアルファベットLの小文字です。

備考

次のエラーメッセージが出力され、ABAQUSのジョブ実行に失敗する場合があります。

```
Abaqus Error:Error checking out Abaqus license.
```

```
Abaqus/Analysis exited with errors
```

このエラーは、新たなジョブ実行に必要なライセンスを確保できなかった場合に出力されます。

また、ジョブ終了後にABAQUSジョブが正常に終了せず、ライセンスを確保し続けている場合があります。この場合の対処方法は、[FAQ: ABAQUSのジョブ解析が始まりません](#) をご参照ください。

(2) インタラクティブ実行

特にバージョンの指定がない場合は、バージョン6.14-2が起動するようになっています。

```
$ abaqus job=<入力ファイル> <Abaqus オプション>
```

○バージョン 2017 を使用する場合

次のように、ABAQUS 2017 のコマンドへのパスを通してください。

```
<bash 系の場合> $ export PATH="/usr/apps.sp3/isv/abaqus/2017/Commands/:${PATH}"  
<csh 系の場合> % setenv PATH "/usr/apps.sp3/isv/abaqus/2017/Commands/:${PATH}"
```

○バージョン 6.14-2 以前のバージョンを使用する場合

2.2 PBSによるバッチ投入

備考

- バージョン 6.13-3 より前のバージョンは、2014年8月のTSUBAMEのOSアップグレード前に導入されたものとなります。2014年8月以降のTSUBAMEの環境では、正常動作しない可能性がありますのでご注意ください。

各バージョンごとにabaqus コマンドを次のコマンドに読み替えてください。

```
$ abq6133 job=<入力ファイル> <Abaqus オプション> (バージョン 6.13-3)
$ /usr/apps/isl/abaqus/Commands/aabq6123 (バージョン 6.12-3)
$ /usr/apps/isl/abaqus/Commands/abq6112 (バージョン 6.11-2)
$ /usr/apps/isl/abaqus/Commands/abq684 (バージョン 6.8-4)
```

2.2 PBSによるバッチ投入

(1).シングルジョブ

(a).投入シェルスクリプト準備(スクリプト名: test_abaqus.sh)

```
#!/bin/sh
cd ${PBS_0_WORKDIR}

abaqus job=<入力ファイル> <Abaqus オプション>
```

(b).実行権限付与

```
$ chmod +x test_abaqus.sh
```

(c).ジョブ投入

```
$ t2sub <グループ, キュー等指定> test_abaqus.sh
```

(2).MPIジョブ

(a).投入シェルスクリプト準備(スクリプト名: test_abaqus.sh)

```
#!/bin/sh
cd ${PBS_0_WORKDIR}

abaqus job=<入力ファイル> cpus=<CPU数> mp_mode=mpi <Abaqus オプション>
```

(注意) U, V キューを投入先とする場合は、スクリプト中の「mp_mode=mpi」部分の指定方法を変更する必要があります。次のようなスクリプトを用意してください。

```
#!/bin/sh
cd ${PBS_0_WORKDIR}

abaqus job=<入力ファイル> cpus=<CPU数> mp_mode=threads <Abaqus オプション>
```

(b).実行権限付与

```
$ chmod +x test_abaqus.sh
```

(c).ジョブ投入

```
$ t2sub -l select=1:ncpus=<CPUS数> <グループ, キュー等指定> test_abaqus.sh
```

備考

ABAQUSのMPIジョブはTSUBAMEではノード内並列のみ対応しています。

2.3 GPU 計算

ABAQUS v6.11-2 以降の Abaqus/Standardの直接スパースソルバは GPU 計算に対応しています。非対称ソルバでは使用できません。GPU 計算の実行方法は次の通りです。

- ABAQUS 6.14-2, 2017 の場合
`abaqus job=<入力ファイル> gpus=n <Abaqus オプション>`
 ※ n は使用する GPU数. 1 ~ 3
- ABAQUS 6.13-3 の場合
`abq6133 job=<入力ファイル> gpus=n <Abaqus オプション>`
 ※ n は使用する GPU数. 1 ~ 3
- ABAQUS 6.12-3 の場合
`/usr/apps/isv/abaqus/Commands/abq6123 job=<入力ファイル> gpu=1 <Abaqus オプション>`
- ABAQUS 6.11-2 の場合
`/usr/apps/isv/abaqus/Commands/abq6112 job=<入力ファイル> gpu=nvidia <Abaqus オプション>`

2.4 ABAQUSの実行オプション

主な実行オプションを以下に示します。

ABAQUS Documentation の閲覧(GUI)

```
$ abaqus doc
```

実行コマンドのヘルプ

```
$ abaqus help
```

リスタート時

```
$ abaqus job=<入力ファイル名> oldjob=<リスタートファイル名>
```

ABAQUS/ExplicitのファイルからABAQUS/Standardのファイルへの変換。

convertでallを指定すると全ファイルが変換されます。all以外にselect, odb, stateが選択できます

```
$ abaqus convert=all job=<入力ファイル名> [args]
```

ABAQUS/Makeの実行

```
$ abaqus make job=<ソースファイル名> [args]
```

ユーザサブルーチンの利用

```
$ abaqus job=<入力ファイル名> user=<サブルーチン名>
```

2.5 ライセンス使用状況の確認

TSUBAME 全体で同時利用できるライセンス数には上限(80まで。ただし、12月～2月は160まで利用可能)があります。次のコマンドにより、ライセンス利用状況を確認できます。

```
$ lutil lmstat -S ABAQUSLM -c 27030@t2zlic01
```

また、GPU計算はTSUBAME全体での使用数上限が1になっており、GPU計算中のジョブが存在すると他のジョブはGPUを使用した計算ができません。

ライセンス消費トークン数は、次表の通り並列数に応じて変化し、GPU計算時は更に消費トークン数が+1されます。

並列数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
消費トークン数	5	6	7	8	9	10	11	12	12	13	13	14

3. ABAQUS の計算の流れ

一人で大量のジョブ投入を行いライセンスを大量消費してしまうと、他のユーザが使用できない状況となります。

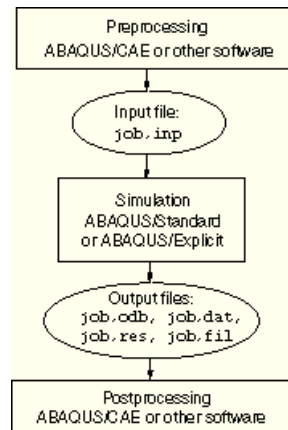
そのため、一人あたりのライセンス消費トークンの合計を14 (2013/1/24に12トークンから14トークンまでに変更されました)まで抑えて頂きますよう、ご協力よろしくお願いたします。

3. ABAQUS の計算の流れ

3.1 計算の流れ

3.1.1 解析手順概要

ABAQUSの計算の流れは、下図に示す通りです。



前処理,シミュレーション,後処理の順の流れとなります。

3.1.2 例題を通して作業手順を確認

次に、以下に沿って実際に使ってみます。

本来、解析用の入力ファイルをABAQUS/CAE, Patranなどのソフトウェアを用いるなどして作成する必要がありますが、ここでは既に作成済みの例題ファイルを用います。

1. 例題ファイルの呼び出し

ABAQUSには、豊富な例題が圧縮形式(zip形式)で用意されています。これを、ABAQUS/Fetchコマンドで簡単に呼び出すことができます。実行方法とか、どのようなファイルができるのか確認します。

次の手順でコマンドを実行してください。

```
$ mkdir abaqus          ← 作業用のディレクトリを作成
$ cd abaqus            ← 作成した作業用ディレクトリに移動
$ abaqus fetch job=barrelvault_s8r5_reg44 ← 例題の呼び出し
```

次のメッセージが出力されます。

```
Abaqus FETCH job barrelvault_s8r5_reg44
Archive: /usr/apps/isv/abaqus/6.8-4/samples/job_archive/samples.zip
  inflating: barrelvault_s8r5_reg44.inp
```

barrelvault_s8r5_reg44.inp というファイルが作業ディレクトリの下に作成されていることをlsコマンドで確認して下さい。

```
$ ls -l
```

次のメッセージが出力されます。

```
-rw-r--r-- 1 nec nec 880 2009-02-19 18:30 barrelvault_s8r5_reg44.inp
```

これがABAQUS/Standardの入力ファイル(拡張子が.inp)です。

ABAQUS/Fetchコマンドで呼び出した時下記のように、readパーミッションのみ許可されているものが時々あります。これでは書き込みができません。

3. ABAQUS の計算の流れ

```
-r----- 1 nec nec 375 Ju1 3 2000 301020e.inp
```

書き込みができない場合, chmodコマンドでパーミッションを変更します(ユーザに対して書き込み許可を与える).

```
$ chmod u+w 301020e.inp
```

再度lsコマンドで確認して下さい.

```
-rw----- 1 nec nec 375 Ju1 3 2000 301020e.inp
```

2. 例題ファイルの確認

では, cat コマンドでファイルの内容を確認してみましょう.

```
$ cat barrelvault_s8r5_reg44.inp
```

次の内容が表示されます.

```
1 *HEADING // ← データの開始
2 BARREL VAULT 4 X 4 MESH S8R5
// ↑ 2行目のカードがタイトルとして, プリンターに出力されます.
// ↓ 3行目から32行目までがモデルを定義する為のデータです.
3 *PREPRINT, ECHO=YES, MODEL=NO, HISTORY=NO
4 *NODE, SYSTEM=C, NSET=CORNER
5 1, 300., 0., 0.,
6 9, 300., , 300.
7 81, 300., 40.,
8 89, 300., 40., 300.
9 *NGEN, LINE=C, NSET=WALL
10 1, 81, 10
11 *NGEN, LINE=C, NSET=SYMM
12 9, 89, 10, , , 300.
13 *NFILL
14 WALL, SYMM, 8, 1
15 *NSET, NSET=APEX, GENERATE
16 1, 9, 1
17 *ELEMENT, TYPE=S8R5, ELSET=ROOF // ← シェル要素
18 1, 1, 21, 23, 3, 11, 22, 13, 2
19 *ELGEN, ELSET=ROOF
20 1, 4, 20, 4, 4, 2, 1
21 *ELSET, ELSET=FEW
22 1, 2, 3, 4 :
23 *MATERIAL, NAME=STEEL
24 *ELASTIC
25 3. E6
26 *BOUNDARY
27 APEX, YSYMM
28 SYMM, ZSYMM
29 WALL, 1, 2
30 *SHELL SECTION , ELSET=ROOF, MATERIAL=STEEL
31 3. 0, 3
32 *RESTART, WRITE, FREQUENCY=999
// ↓ 33行目から58行目までが履歴を定義する為のデータです.
33 *STEP // ← 履歴データの開始
34 SELF-WEIGHT
35 *STATIC // ← 静的解析
36 *DLOAD
37 ROOF, BX, -0. 20833
38 *ENERGY PRINT
39 *EL PRINT, ELSET=FEW
40 S,
41 SINV,
42 SF,
```

3. ABAQUS の計算の流れ

```
43 E,  
44 ENER,  
45 *EL PRINT, POSITION=AVERAGED AT NODES  
46 S,E  
47 *EL FILE,ELSET=ROOF1  
48 S,  
49 SINV,  
50 E,  
51 *EL FILE,POSITION=AVERAGED AT NODES,ELSET=ROOF1  
52 S,  
53 E,  
54 *NODE FILE,NSET=CORNER  
55 U,  
56 CF,  
57 *ENERGY FILE  
58 *END STEP // ← 履歴データの終了
```

ここでは、詳しいデータ説明は避けます。ABAQUS/Standardの入力データは、モデルを定義する為のデータと履歴を定義する為のデータから構成されていることを理解して下さい。

2. 例題ファイルを用いて計算実行

次に、この入力ファイルを使って、ABAQUS/Standardを実行します。

```
$ abaqus job=barrelvault_s8r5_reg44
```

と実行してみてください。

「barrelvault_s8r5_reg44.log」というファイルが作成されます。下記内容がそのファイルに出力され、「Abaqus JOB barrelvault_s8r5_reg44 COMPLETED」というメッセージが出力されたら、計算が正常終了したことになります。この入力ファイルの場合、5秒程度で計算が終了します。

```
Abaqus JOB barrelvault_s8r5_reg44  
Abaqus Version 6.8-4  
Begin Analysis Input File Processor  
Thu 21 Oct 2010 08:18:17 AM JST  
Run pre.exe  
Abaqus License Manager checked out the following licenses:  
Abaqus/Standard checked out 5 tokens.  
<36 out of 80 licenses remain available>.  
Thu 21 Oct 2010 08:18:23 AM JST  
End Analysis Input File Processor  
Begin Abaqus/Standard Analysis  
Thu 21 Oct 2010 08:18:23 AM JST  
Run standard.exe  
Abaqus License Manager checked out the following licenses:  
Abaqus/Standard checked out 5 tokens.  
<36 out of 80 licenses remain available>.  
Thu 21 Oct 2010 08:18:28 AM JST  
End Abaqus/Standard Analysis  
Abaqus JOB barrelvault_s8r5_reg44 COMPLETED
```

実行したディレクトリの下にファイルが作成されます。これらがABAQUS/Standardの結果と実行経過の記録です。 .fil, .mdl, .obd, .res, .stt以外はテキストファイルです。

```
$ ls -al  
total 1504  
drwxr-xr-x  2 nec nec   4096 2010-10-21 08:18 .  
drwx----- 61 nec nec   4096 2010-10-18 08:20 ..  
-rwxr--r--  1 nec nec   1589 2010-10-21 08:18 barrelvault_s8r5_reg44.com  
-rw-r--r--  1 nec nec  41990 2010-10-21 08:18 barrelvault_s8r5_reg44.dat  
-rw-r--r--  1 nec nec 20520 2010-10-21 08:18 barrelvault_s8r5_reg44.fil  
-rw-r--r--  1 nec nec   880 2009-02-19 18:30 barrelvault_s8r5_reg44.inp  
-rw-r--r--  1 nec nec   784 2010-10-21 08:18 barrelvault_s8r5_reg44.log
```

3.2 ファイル拡張子の規約

```
-rw-r--r-- 1 nec nec 320964 2010-10-21 08:18 barrelvault_s8r5_reg44.mdl
-rw-r--r-- 1 nec nec 8802 2010-10-21 08:18 barrelvault_s8r5_reg44.msg
-rw-r--r-- 1 nec nec 276704 2010-10-21 08:18 barrelvault_s8r5_reg44.odb
-rw-r--r-- 1 nec nec 1441 2010-10-21 08:18 barrelvault_s8r5_reg44.prt
-rw-r--r-- 1 nec nec 65536 2010-10-21 08:18 barrelvault_s8r5_reg44.res
-rw-r--r-- 1 nec nec 444 2010-10-21 08:18 barrelvault_s8r5_reg44.sta
-rw-r--r-- 1 nec nec 741968 2010-10-21 08:18 barrelvault_s8r5_reg44.stt
```

barrelvault_s8r5_reg44.datに計算結果が出力されているので内容を見てみましょう。

```
$ less barrelvault_s8r5_reg44.dat
/WARN          ← WARNINGメッセージがないことを確認して下さい。
/**ERROR      ← ERRORメッセージがないことを確認して下さい。
/NODE         ← "NODE"を検索する。変位結果が出力されています。
/ELEM        ← "ELEM"を検索する。応力結果が出力されています。
```

以上がABAQUSに用意されている例題を呼び出して実行する方法です。さらに、Examples Problems Manual, Verification Manualに記載されている例題も、ABAQUS/Fetchコマンドで呼び出して実行することができます。ABAQUS/Fetchコマンドで呼び出すときには、バージョンに応じたマニュアルで例題名を確認してください。

計算結果のグラフィックス表示(変形図・等応力線図やいろいろなX-Yプロット、動画表示 など)は ABAQUS/CAEまたはMSC C/Patranで行うことができます。

3.2 ファイル拡張子の規約

ABAQUSで、主に使用される拡張子について述べます。

拡張子	説明
.inp	入力ファイル
.dat	計算結果出力ファイル(Standard. Explicitでは計算結果は出力されません)
.msg	メッセージファイル
.sta	ステータスファイル
.fil	結果ファイル(Standard)
.res	リスタートファイル
.sel	選択結果ファイル(Explicit)
.abq	ステートファイル(リスタート情報を含みます。Explicit)
.odb	データベースファイル

3.3 ABAQUS/ユーティリティ

ABAQUS/ユーティリティについて述べます。

項目	説明
ABAQUS/help	実行コマンドの構文サマリを出力します。
ABAQUS/information	ジョブに影響を与える環境とインストールに関する情報をプリントします。
ABAQUS/Ascfil	結果ファイル(.fil)をASCIIフォーマットに変換します。
ABAQUS/Append	2つの結果ファイルを1つの結果ファイルに結合します。
ABAQUS/Fetch	圧縮されたアーカイブファイルから個々のサンプル入力ファイルを抽出します。
ABAQUS/Make	ユーザの作成した後処理プログラムをコンパイルし、ABAQUSのサブルーチン・ライブラリとリンクします。

4. (ABAQUS/Standard) 概要

ABAQUS/doc	ABAQUS/Standard及びABAQUS/Explicitのドキュメントを表示します。
ABAQUS/findkeyword	指定したABAQUSのオプションの組合せを使用している例題や検証問題のリストアップリストを表示します。
ABAQUS/convert	ABAQUS/ExplicitのファイルをABAQUS/Standardの形式のファイルに変換します。

4. (ABAQUS/Standard) 概要

本章は、ABAQUS/Standardについて記述していますが、ABAQUS/Explicitも 基本的な入力の規約は同じですので参考にしてください。

Abaqus/Standard は、幅広い種類の線形と非線形の問題を解くことができる汎用解析プロダクトで、構成部品の静的、動的、熱、電気の応答を求めることができます。

Abaqus/Standard は、各計算"インクリメント"で連立方程式を陰的に解きます。一方、Abaqus/Explicit は、各インクリメントで、連立方程式を解かずに（あるいは全体剛性マトリックスの作成さえせずに）、小さい時間増分で解を時間方向に前進させます。

4.1 特徴

- 異なったプロシージャ、要素タイプ、材料を組み合わせることにより、いろいろなモデルを作成できます。
- 線形解析ステップと非線形ステップとは、部分的な違いがあります。
- データフォーマットは、フリーフォーマットで入力します。固定フォーマットは使用できなくなりました。
- データの定義はモデル定義のためのデータと履歴定義のためのデータの2種類に分かれています。
- 直交座標・材料座標系等の、種々の座標系が使用できます。
- 節点もしくは要素で構成される集合 (set) を使用してグループ化することによって、まとめてデータが定義できます。進んで使用することをお勧めします。
- 解析は履歴データに従って進めて行きます。つまり、解析方法の指定は履歴データで行います。
- 要素タイプ、材料の機械的構成挙動をユーザが独自に定義できます。但し、取り扱いには十分留意して下さい。
- 節点と要素に対してのみ、自動作成機能・複写機能などが使用できます。簡単な形状を作成する時には便利です。
- FORTRAN90言語で記述するユーザサブルーチンを使用して、データが定義できます。
- 解析に不必要な節点(どの要素にも用いられていない節点)は、自動的に削除されます。

4.2 解析タイプ

- 静的応力解析
慣性力を無視できる場合に用います。
 - 線形解析
 - 非線形解析
材料非線形(塑性など)
境界非線形(接触問題など)
幾何学的非線形(大変形・初期荷重など)が可能です。
- 熱伝導解析
熱伝導、強制対流、境界輻射、熱伝達および空洞輻射を含む解析に用います。
 - 定常熱伝導解析
 - 非定常熱伝導解析
 - 熱応力解析および熱-応力連成解析

4.3 要素ライブラリ

が可能です。

• 動的解析

運動方程式を直接積分することにより、線形及び非線形現象の時刻歴応答が得られます。

- 線形時刻歴解析
- 非線形時刻歴解析
- 定常調和応答解析

が可能です。

• 固有振動数の抽出

あらゆる初期応力を考慮した構造物の固有値が抽出できます。

• 線形動解析

モード重ね合わせ法(モーダル法)を用いた解析を行います。

- 応答スペクトル解析
- 時刻歴解析
- 定常応答解析
- 不規則応答解析

が可能です。

- 断熱解析: 変形により熱が発生し、かつ現象が短時間で生じる為にこの熱が材料内を加算できないような場合に用います。
- 地圧解析: 地盤の定常平衡問題での初期状態を適切に定義することができます。
- 間隙水の拡散と応力の連成解析: 間隙水の拡散/応力解析問題を不飽和あるいは飽和浸透流を含めた解析が行えます(*SO-LISプロシージャを使用)。
- 質量拡散解析: 金属内の水素拡散のように、ある物質内を別の物質が定常的及び非定常的に拡散する様な問題が扱えます。
- 準静的解析(VISCO解析): 材料挙動が時間に依存する場合(クリープ、スウェリング、粘弾性)の過渡応答ステップを使用して行います。歪み速度の効果は考慮されますが慣性効果は無視されます。
- 座屈固有値の予測: 座屈荷重値を予測する為に用います。
- 温度と電位の連成解析: 電気伝導率が温度に依存する場合の、ジュール発熱をモデル化する為に用います。
- 音響解析および音響-構造連成解析: 微小変形を受ける音響媒体をモデル化する為の要素と、これらの要素を構造モデルに連成する為のインタフェース要素が用意されています。連成解析は、ほとんどの線形解析プロシージャで可能です。
- 電圧解析: 完全に連成した電圧解析は、1次元、2次元、3次元の連続体に対して可能です。
- 定常輸送解析: さらに、解析手法として以下の機能などがあります。
- 領域積分による破壊力学的評価: 亀裂先端回りを評価することができます。Ct積分、J積分が可能です。
- 亀裂進展解析: 初期には固着していたものの解析の進行にともない剥離する(またはしない)様な面の定義が可能です。
- 要素の削除と挿入: 解析の進行にともない、要素の削除と挿入が行えます。
- 部分構造/スーパー要素機能: 線形と非線形問題に用いることができます。
- サブモデリング機能: 初期の全体モデルから得られた解をもとにして、一部分をより細かく分割して詳細な解析をすることができます。
- 陽解法と陰解法の連成解析

4.3 要素ライブラリ

主な要素ライブラリ

4.4 材料ライブラリ

- ソリッド(連続体): 1次元, 2次元, 3次元での1次(線形)要素と2次要素
 - シェル: 軸対称と一般のシェル形状の両方を含みます。
 - 膜: 膜としての強度は持っているが, 曲げ剛性は持っていない空間中の薄い膜を表す為に使用します。
 - 梁(はり): 曲げと伸びの両方を考慮し, 3次元の梁は断面のそりを考慮します。
 - 特殊な要素: 集中質量・回転慣性・スプリング・ダッシュポット・制御鎖エルボ・管支持・ラインスプリング・フレキシブルジョイント・静水圧流体・燃料集合体などが扱えます。
 - ユーザー定義要素: ユーザルーチンを使用して定義することができます。
 - 特殊な接触要素: "contactpair"の手法では取り扱えない接触問題に使用します。
- また, 要素によって解かれる場の方程式は,

- 変位(応力): 典型的な力学変形問題の解析
- 温度: 単独あるいは変位場との完全連成解析
- 音圧: 単独あるいは内部振動と水中衝撃(USA)を含んだ構造物との安全連成解析
- 間隙流体と変位の連成: 地盤あるいは浸潤の解析
- 圧電: 電位と変位の連成解析
- ジュール発熱: 熱と電気(温度と変位)の連成解析

4.4 材料ライブラリ

主な材料ライブラリ

- 一般的な特性: 減衰・密度・熱膨張係数
- 熱的特性: 熱伝導率・潜熱・比熱
- 間隙流特性: 透水率・多孔質媒体の特性(固体と流体の体積弾性率)
- 弾性モデル: 線形弾性・多孔質弾性・歪弾性・超弾性・超弾性フォーム・無圧縮または無引張弾性・粘弾性
- 塑性モデル: 拡張Drucker-Pragerモデル・Drucker-Prager/Capモデル・金属塑性・極限(粘土)塑性モデル・可壊発泡塑性・多孔質塑性・ジョイント材料モデル・速度依存性降伏・粘塑性(クリープおよびスエリング)・異方性降伏・ORNLモデル・コンクリートモデル・全塑性モデル
- 他の力学的特性: 音響媒体・圧電挙動
- ユーザー定義材料: ユーザサブルーチンを用いて定義することができます
- 面特性: 接触面特性・摩擦・連成場のインタフェース

4.5 データ上の注意

- .datは出力結果ファイルです(NASTRANと混同しないで下さい)。入力ファイルの拡張子は, .inpとなります。
- 座標系について
ABAQUSの全体座標系は, 右手系の直交デカルト座標系です。しかし, 以下の場合には, 別の座標系が使用できます。
 - 入力座標系: 節点座標の入力時(*NODEあるいは*SYSTEMオプション)に使用できます。
 - 変位座標系: 節点変数(変位, 速度等)の出力時, 要素変数(応力, 歪み), 集中荷重あるいは境界条件の指定時(*TRANSFORMオプション)に使用できます。
 - 材料座標系: 材料あるいはジョイントの指定時(*ORIENTATIONオプション)に使用できます。
- 単位系について
ABAQUSには, 固有の単位系はありません。整合がとれた単位系を用いる必要があります。
- 要素について
 - デフォルトの要素座標系は, 全体座標系です。

5. (ABAQUS/Standard) 実行

- 各要素 (例えば、梁要素) でも、解析目的・構成節点・定式化等でさまざまな 要素タイプがあるので、要素タイプの選択は十分に検討して下さい。
- 伝熱解析と熱応力解析を行う時は、伝熱解析用要素と応力解析用要素が別々に用意されています。
- 1/4節点法 (Barsoum の特異要素: J積分、亀裂進展問題などに使用) を使用する方は、使用可能な要素を選択する必要がありますのでモデル化も合わせて十分注意して下さい。
- 自由度の番号や荷重の与え方は、使用する要素タイプ毎に異なりますので、要素ライブラリを良く読んで下さい。
- 要素内は数値積分されるので、出力は積分点で出力されます。また、積分点の座標も出力することができます。
- 出力要求 (プリント出力、リスタート結果ファイルおよび結果ファイル) について
 - プリント出力ファイル (.dat) と結果ファイル (.fil) とリスタートファイル (.res) およびデータベースファイル (.odb) に出力 することができ、それぞれ指定オプションが異なります。
 - *RESTART WRITE オプションを指定するとリスタートファイルに出力されます。
 - FILE オプション (例えば *EL FILE) を指定すると、結果ファイル (.fil) へ出力されます。指定がないと、何も出力されません。
 - PRINT オプションを指定すると、プリント出力ファイル (.dat) へデフォルト以外の内容を 出力することができます。集合名と FREQ パラメータを使用することで、出力量を制限することができます (例えば、*EL PRINT, FREQ=0, *NO DE PRINT, FREQ=0)。
 - 計算ステップが進むと、リスタートファイルは膨大になるので十分注意して下さい (*RESTART オプションで出力制御できます)。プリント出力ファイルや結果ファイルも同様です。
- データベースファイル出力要求
 - データベースファイルは、ABAQUS/CAE (Viewer) を使用する時に必要になります。
 - *OUTPUT, FIELD もしくは *OUTPUT, HISTORY が指定された場合出力されます。指定がないとなにも出力されません。
 - 計算ステップが進むと、ファイルサイズが膨大になるので、出力は制御して下さい。
- ABAQUS では、線形解析のプロシージャと非線形解析のプロシージャで、荷重の定義方法が異なり、時間の測度が異なり、結果の解釈方法が異なります。
- ABAQUS では、ステップ (step) 時間と全 (total) 時間の2種類の時間を使用しています。
- 非線形性の強い問題を扱う時は、Analysis User's Manual の「Analysis Solution and Control」は必ず読んで下さい。
- ABAQUS のデフォルト・ソルバーは、高速スパース法です。テーマによってはウェーブフロント法の方が効率的な場合があるので、Analysis User's Manual を読んでソルバーを選択するようにして下さい。

5. (ABAQUS/Standard) 実行

5.1 入力データの作成方法

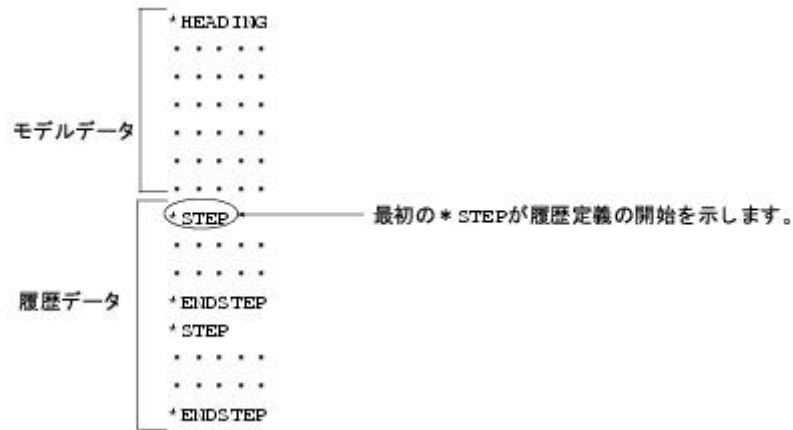
5.1.1 データ構成

ABAQUS/Standard の構成を示します (ABAQUS/Explicit も構成は同じです)。

1. データの全体構成

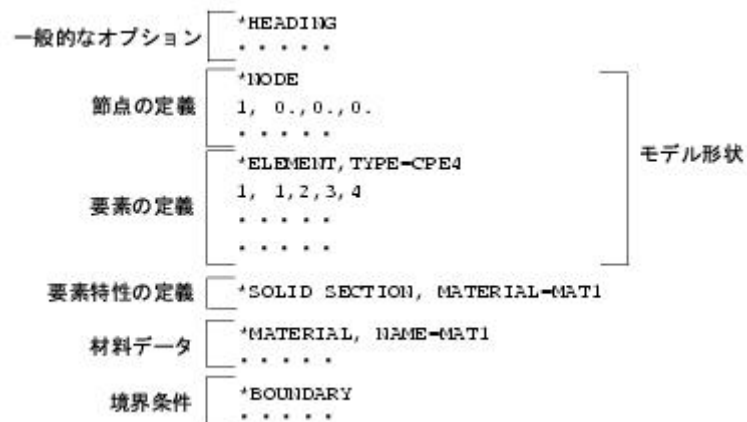
ABAQUS の入力データは、モデルデータと履歴データから構成されています。

5.1.2 一般的なデータ作成方法



2. モデル定義データのアウトライン

モデル定義データの一時的なアウトラインを以下に示します。



3. 履歴定義データのアウトライン

履歴定義データの一時的なアウトラインを以下に示します。



5.1.2 一般的なデータ作成方法

一般規約

- 節点番号/要素番号は、単なるラベルなので、連続している必要はありません。
- データは、いくつかのオプションを指定することで定義します。
- オプションを指定するためにキーワードが必要になります。

5.1.2 一般的なデータ作成方法

- オプションを指定するのに、キーワード入力行のみの場合と、キーワード入力行とデータ入力行が必要な場合があります。
- キーワード入力行には、そこで与えるデータの属性を指定するパラメータを含むものが多く、必須なパラメータと、オプションなパラメータがあります。
- キーワード入力行

例えば、

```
*ELEMENT
*EL PRINT
*INITIAL CONDITION
```

- 1カラム目は“*”で始まります。
- 正確につづる必要があります。
- 大文字でも小文字でも使用できます。
- 空白は無視されます。
- キーワードの後には、通常パラメータがつづきます。

例えば、

```
*ELEMENT, TYPE=CPE8R, ELSET=TOP
*SHELL SECTION, COMPOSITE
```

- パラメータはカンマ(,)で区切られた語または語句で、空白は無視されます。
- パラメータに値を持つ時は、(=)で指定します。
- パラメータの与える順番は自由です。
- パラメータは大文字でも小文字でも使用できます。但し、ファイル名は文字の大小に関係します。
- データ入力行

キーワード行の次に続きます。

例えば、

```
NODE
200, 1.3, 2.7, 8.4
```

- キーワードに関連して、数字または、英数字を含みます。
- 現行のABAQUSではフリーフォーマットでの入力のみになります。

フリーフォーマットの主な規則は、

1. 要素データのフォーマットは特殊です。
- 要素を構成する節点を定義するのに、任意行のデータ行が使用できます。
- カンマで行が終る場合は、継続行としてみなされます。
- 整数データは、10桁まで使用できます。
- データの最後には、カンマ(,)をつけてはいけません。
2. 1行に定義できるデータ数は、固定フォーマットと同じです。
3. データの最後には、カンマ(,)をつけてはいけません。
4. 整数データは、10桁まで使用可能です。
5. 実数データは、20カラムまで使用可能です。
6. 文字データは、8文字まで使用可能です。
7. 1行にデータが1つしかない時は、データの最後にカンマ(,)をつけます。

- 集合(set)について

1. 集合とは、節点もしくは要素から構成された名前のついたグループです。

5.1.2 一般的なデータ作成方法

2. 指定方法は、以下の2通りの方法があります。

キーワードで指定する方法

```
*NSET, NSET=PART1
1, 0.0, 0.0, 0.0
2, 10.0, 0.0, 0.0
3, 20.0, 0.0, 0.0
```

パラメータおよびデータ行で指定する方法

```
*ELEMENT, TYPE=B21, ELSET=BEAM1
1, 101, 103
または
*DLOAD
INSIZE, P, 200
```

とがあります。

3. 節点や要素の属性を相互参照することができます。

- ・材料特性
- ・要素断面特性
- ・荷重および境界条件

4. 節点/要素をグループ化することにより、出力を制御できます。

(使用例)

```
*NSET, NSET=EDGE, GENERATE
122, 138, 2
200, 203, 1
*NODE PRINT, NSET=EDGE
U
```

5. 集合はいかなる形式で入れ子になっていても許されます。

(使用例)

```
*ELEMENT, TYPE=B21, ELSET=BEAM
1, 1, 2
3, 101, 102
4, 203, 501

*ELSET, ELSET=BEAM1
BEAM, 5, 6, 7
```

6. 集合名の制約

- ・最大8文字まで許されます。
- ・文字(A-Z)で始まる必要があります。
- ・NSETとELSETは、独立して参照されますので、名前が重複しても許されます。

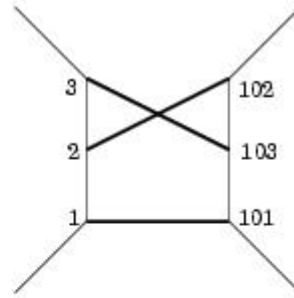
7. 注意事項

集合内のメンバーはソートされるので注意して下さい。

5.1.2 一般的なデータ作成方法

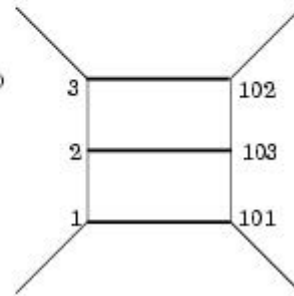
```
*NSET,NSET=SIDE1
1, 2, 3
*NSET,NSET=SIDE2
101, 103, 102
*MPC
LINK,SIDE1,SIDE2
```

ソートされた節点集合の
節点番号順に定義された
意図しないリンクの定義
(SIDE2はMPCの指定に
使用される前にソートさ
れる)



```
*NSET,NSET=SIDE1
1, 2, 3
*NSET,NSET=SIDE2,UNSORTED
101, 103, 102
*MPC
LINK,SIDE1,SIDE2
```

意図したリンク
(UNSORTEDパラメータを使用)



モデル定義データ作成方法

モデルデータは、一時的なオプションと節点の定義・要素の定義で表す幾何学的形状と要素特性の定義・接触と表面のデータ・材料データで表す特性データで構成されます。その他のモデルデータとして必要に応じて、境界条件、初期条件の定義（初期応力、初期温度、初期速度など）、ユーザサブルーチンの定義を指定する必要があります。これらで良く使われるキーワードについて記します。ABAQUS Keywords Reference Manualに詳しく書かれています。なお、バージョンによって細かい記述が変わることがあるので、自分が使用するバージョンのマニュアルで再確認する習慣をつけてください。

beam-s.inp (1)

```
1 *HEADING :タイトル
2 CANTILEVER BEAM
3 *NODE, NSET=ENDS :節点の定義
4 1, 0.
5 6, 100.
6 *NGEN
7 1, 6
8 *ELEMENT, TYPE=B21 :要素の定義
9 1, 1, 2
10 *ELGEN, ELSET=BEAM
11 1, 5
12 *BEAM SECTION, SECTION=RECTANGULAR, ELSET=BEAM, MATERIAL=STEEL :要素特性の定義
13 1, .2.
14 *MATERIAL, NAME=STEEL :材料データ
15 *ELASTIC
16 30, E6
17 *BOUNDARY :境界条件
18 6, ENCASTRE
```

1. 一時的なオプション(1~2行目)

- データの先頭は、必ず*HEADINGで始まる必要があります。次に、任意の枚数のデータカードを入れることができます。これらは、コメントカードとして出力されます。

- **は、コメントカードです。任意の行に挿入することができますが、リストには出力されません。

- *PREPRINTは、プリプロセッサ(BATCH/Pre)からのプリント出力が選択できます(大規模な解析や、繰り返し実行する時に出力を制限すると有効です)。

また、BATCH/Preは、データをチェックする機能しかありません(入力データを作成するプリプロセッサではありません)。

以下に、主なデータを示します。

5.1.2 一般的なデータ作成方法

*HEADING	表題の出力指定
*PHYSICAL CONSTANTS	物理定数の指定
*PREPRINT	プリプロセッサからの出力選択

2. 節点の定義

・節点データを定義するには、全節点の番号と座標を指定する方法(*NODE)と、節点生成機能(例えば*NGEN)を使って定義する方法があります。

・複雑な形状を作成する時などにデータ作成機能を持ったプリプロセッサ(ABAQUS/Pre)があります。形状データだけでなく、ABAQUS/StandardおよびABAQUS/Explicitの荷重条件や境界条件などの入力データも作成することができます。また、自分でプログラムを作成して作ることもできます。

・ABAQUS/StandardのExample Problems Manual, Benchmarks Manual, Theory Manualで使用されている例題は、節点生成機能が使用されています。

例えば、

(全節点を定義)	(節点作成機能)
*NODE, NSET=ENDS	*NODE, NSET=ENDS
1, 0.	1, 0.
2, 20.	6, 100.
3, 40.	*NGEN
4, 60.	1, 6 << 要素生成機能で分割します。
5, 80.	
6, 100.	

は同じ意味です。節点を集合(set)で定義しておくとし、他のデータを作成する時には楽に、かつ分かりやすいデータになります。

- ・全体座標系以外に節点入力座標系・節点変位座標系・材料座標系があります。
- ・節点入力座標系
 - ・*NODE, SYSTEM=のみ、あるいは、*SYSTEMとペアで定義します。
 - ・直交座標、円筒座標、球座標が使用できます。
 - ・入力データはただちに(内部で)、全体座標系に変換されます。
 - ・変位などの結果には使用されません。
 - ・節点座標の定義を容易にするためだけの座標系です。
- ・節点変位座標系
 - ・*TRANSFORMオプションを使用して行います。
 - ・境界条件、集中荷重を与える時などに使用できます。
 - ・変位、反力等も変換されます(全体座標系での出力も可能です)。

以下に、節点定義で使用される主なデータを示します。

*MCOPI	複写による節点の作成
*NFILL	領域内の節点作成
*NGEN	増分形式の節点作成
*NMAP	他の座標系への節点のマッピング
*NODE	節点座標の指定
*NORMAL	法線方向の定義
*NSET	節点集合の定義
*SYSTEM	節点を定義する時の局所座標系の指定
*TRANSFORM	節点における局所系の指定

3. 要素の定義

以下に、主なデータを示します。

*ELCOPI	複写による要素の作成
*ELEMENT	要素とその構成節点の定義
*ELGEN	増分形式の要素作成

5.1.2 一般的なデータ作成方法

*ELSET	要素集合の定義
*REBAR	コンクリート内の鉄筋など要素内のリバー（補強材）の定義

*ELEMENTに続く要素タイプは、連続体要素・構造要素・特殊な要素・接触/インターフェース要素に分かれています。以下に幾つかの例を示します。

B21	2節点，線形，平面はり
CPE8	8節点，2次，平面ひずみ
CPS8	8節点，2次，平面応用
SPRING1	指示点と節点の間で一定方向に働く1節点バネ

4. 要素特性の定義 (12~13行目)

要素の定義は、要素集合 (BEAM) を材料定義 (STEEL) に結びつけます。

```

*ELGEN,ELSET=BEAM
1,5
*BEAM SECTION,SECTION=RECT,ELSET=BEAM,MATERIAL=STEEL
1,2.
*MATERIAL,NAME=STEEL
30.E6
  
```

以下に、主なデータを示します。

*BEAM GENERAL SECTION	梁の断面挙動の直接指定
*BEAM SECTION	梁断面の指定
*MASS	集中質量の指定
*SHELL GENERAL SECTION	一時的な弾性シェル断面の定義
*SHELL SECTION	シェル断面の指定
*SOLID SECTION	固体要素の特性指定
*SPRING	ばね挙動の定義
*GAP	GAPタイプの要素の間隙量と方向の指定

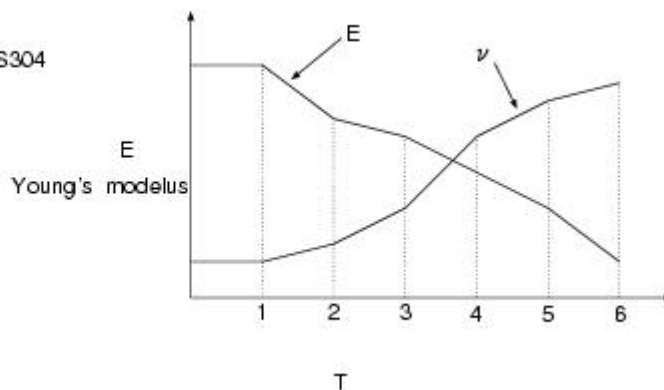
5. 材料データ (14~16行目)

必ず*MATERIALで始まり、材料データ以外のキーワード (例えば16行目の*BOUNDARY) までを材料データであると認識します。以下に使用例を3つ示します。

a) 温度依存する弾性特性例

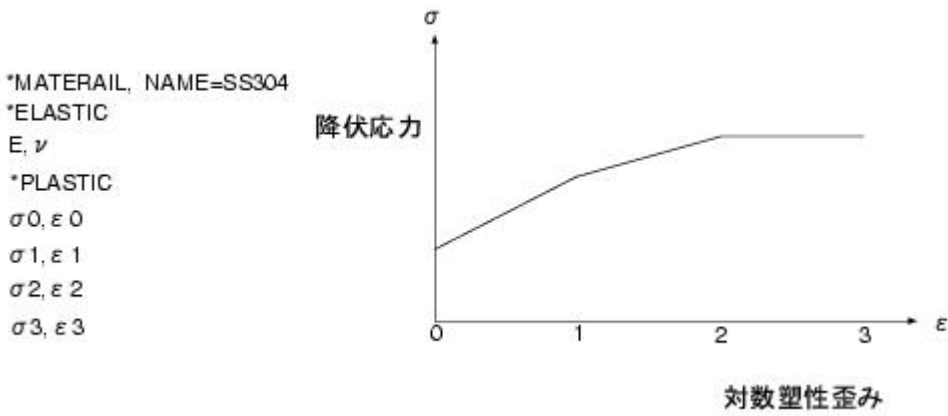
```

*MATERIAL,NAME=SS304
E1,ν1,T1
E2,ν2,T2
E3,ν3,T3
E4,ν4,T4
E5,ν5,T5
E6,ν6,T6
  
```

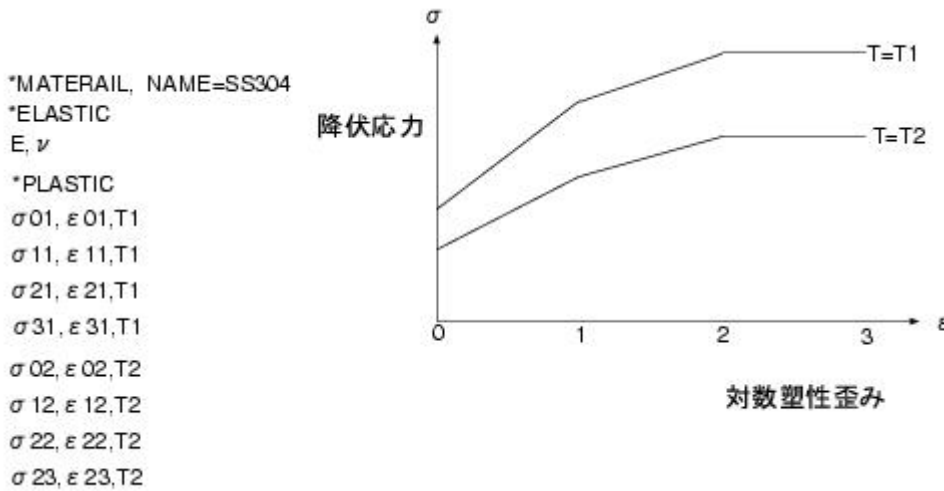


b) 塑性の定義例硬化挙動を定義するには、全ひずみではなく塑性歪みを用いるので (弾性歪みの分を差し引いて下さい) 注意して下さい。

5.1.2 一般的なデータ作成方法



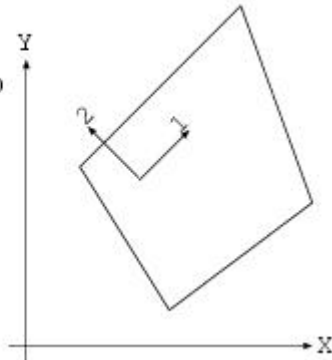
c) 温度に依存する塑性の定義例



材料座標系

*ORIENTATIONを使用して定義します。
(使用例)

```
*ORIENTATION, NAME=ORI, SYSTEM=R
0.866, 0.5, 0.0, -0.5, 0.866, 0.0
*SOLID SECTION, ORIENTATION=ORI
```



- 材料の異方性軸を定義できます。
 - 応力および歪みの出力方向が定義できます。
 - 大変形解析の場合、*ORIENTATIONは材料とともに回転します。
- 以下に、主なデータを示します。

*MATERIAL	材料定義の開始
*CONCRETE	弾性域を越えるコンクリート特性の定義
*CONDUCTIVITY	熱伝導率の指定
*CR, EEP	クリープ則の定義
*DAMPING	材料減衰の指定
*DENSITY	質量密度の指定
*ELASTIC	弾性材料の指定

5.1.2 一般的なデータ作成方法

*EXPANSION	熱膨張係数の指定
*ORNL	Oak Ridge国立研究所開発の構成式の指定
*PLASTIC	塑性モデルの定義
*SPECIFIC HEAT	比熱の定義
*ORIENTATION	材料またh要素特性の定義に用いる局所系の指定

6. 境界条件 (17~18行目) 以下に、主なデータを示します。

*BOUNDARY	境界条件の指定
*EQUATION	線形多点拘束の定義
*MPC	多点拘束の定義

*BOUNDARYでは、境界条件の値がゼロの場合のみ指定できます。ゼロ以外の値は履歴定義データで与えます。

また、上記例のbeam-sでは使用していませんが、使用頻度の高いコマンドを以下に記述します。

7. 接触表面の定義 接触表面を定義することもできます。以下に、主なデータを示します。

*CONTACT NODE SET	接触節点集合の定義
*CONTACT PAIR	接触対による接触の定義
*RIGID SURFACE	解析的に表現される剛表面の定義
*SURFACE DEFINITION	接触または空洞輻射のための表面の定義

8. その他のモデルデータ 以下に、主なデータを示します。

*IMPORT	ABAQUS/Explicitからの解析結果の転送
*INITIAL CONDITIONS	モデルに対する初期条件の定義
*AMPLITUDE	時間変化の指定
*RESTART	解析結果の保存と再使用
*SPECTRUM	応答スペクトルの定義
*USER SUBROUTINES	FORTRANユーザーサブルーチンの入力
*WAVEFRONT MINIMIZATION	ウェーブフロントの最小化

なお、*AMPLITUDEを使用すると時間変化曲線で荷重を定義できるので便利です。

履歴定義データの作成方法

履歴データは、*STEPと*END STEPで区切られています。各STEP毎に、解析プロシージャと荷重の定義と出力の定義に分かれています。*STEPオプションの次に、必ず解析プロシージャを指定する必要があります。

beam-s.inp (2)

```
19 *STEP, PERTURBATION           :ステップの開始
20 *STATIC                       :解析プロシージャの定義
21 *CLOAD                         :荷重の定義
22 1, 2, -20000.
23 *EL PRINT, POSITION=AVERAGED AT NODES, SUMMARY=YES :出力の定義
24 S11, E11
25 SF
26 *NODE FILE, NSET=ENDS
27 U, CF, RF
28 *RESTART, WRITE
29 *END STEP                       :ステップの終了
```

1. 履歴定義のオプション (19.29行目)

*STEP	ステップの開始
*END STEP	ステップの終了

*STEPでPERTURBATIONオプションが指定されている場合は、線形摂動計算を行います。また、PERTURBATIONがない場合は、なんらかの非線形解析を行うものとABAQUSは認識します。

2. 解析プロシージャの定義 (20行目)

5.1.3 リスタートデータの作成方法

以下のプロシージャは、常に線形摂動となるプロシージャです。

*BUCKLE	坐屈固有値の計算
*FREQUENCY	固有振動数と固有モード抽出
*MODAL DYNAMIC	モード重ね合わせ法による時刻歴応答解析
*RANDOM RESPONSE	不規則応答の計算
*RESPONSE SPECTRUM	応答スペクトル解析
*STEADY STATE DYNAMICS	調和加振に対する定常応答
*DYNAMIC	直接積分による動的応力/変位解析
*HEAT TRANSFER	連成を考慮しない定常および非定常の伝熱解析
*STATIC	静的応力/変位解析
*VISCO	時間依存性の含まれる材料 (クリープ, スウェリング, 粘弾性) に対する非定常の静的応力/変位解析

3. 荷重の定義(21~22行目) 以下に、主なデータを示します。

*CLOAD	集中力とモーメントの指定
*DLOAD	分布荷重の指定
*FILM	熱伝達係数と雰囲気温度の指定
*TEMPERATURE	既定の場としての温度の指定
*BOUNDARY	境界条件の指定

なお、*BOUNDARYで、強制変位を与えることができます。

4. 出力の定義(23~27行目) 以下に、主なデータを示します。

*CONTACT PRINT	接触変数に対するプリント要求
*EL PRINT	要素変数のプリント要求
*ENERGY PRINT	前エネルギーのまとめのプリント
*MONITOR	モニタする自由度の指定
*NODE PRINT	節点変数に対するプリント要求
*PRINT	メッセージファイルの出力の要求あるいは制御
*CONTACT FILE	接触変数に対する結果ファイル要求
*EL FILE	要素変数に対する結果ファイル要求
*ENERGY FILE	結果ファイルへのエネルギー出力
*NODE FILE	節点変数に対する結果ファイル要求
*ELEMENT MATRIX OUTPUT	要素剛性マトリックスと質量マトリックスのファイルへの出力
*POST OUTPUT	リスタートファイルを用いた後処理

5. 解析の制御 以下に、主なデータを示します。

*CONTROLS	解析の制御法の設定
-----------	-----------

5.1.3 リスタートデータの作成方法

リスタートデータの作成方法について、説明します。

以下に、サンプルを示します。

framesponsespect_freq.inp

```
1 *HEADING
2 RESPONSE SPECTRUM FOR 3-D BUILDING 3-1-16-2
3 *RESTART, READ, STEP=1, INC=1, WRITE, FREQUENCY=0
4 *ELSET, ELSET=SMALL
5 1, 9, 104, 112, 116, 148, 152, 160, 172, 176
6 ** INPUT FILE SPECTRUM.ACC IS GENERATED BY THE PROGRAM 3-1-16-A
7 *SPECTRUM, TYPE=ACCELERATION, INPUT=SPECTRUM.ACC, NAME=SPEC
8 *STEP
9 *RESPONSE SPECTRUM, SUM=ABS, COMP=ALGEBRAIC
10 SPEC, 1., 0., 0., 1.
11 *MODAL DAMPING, MODAL=DIRECT
```


5.1.4 ユーザサブルーチンの作成方法

12 1, 30, 0.02
(以下 省略)

- 1行目の*HEADINGは、如何なる時も必須です。リスタートデータなので、モデルを定義するためのデータは不要です。
 - 3行目の*RESTART,READオプションを指定することで、リスタート・ファイルを読み込みます。但し、ユーザルーチンはリスタートファイルには書き込まれませんので、毎回定義する必要があります。
 - あとは、8行目からの履歴を定義するためのデータを作成すれば良いことになります。
 - リスタートファイルのルールについて
1. リスタートファイルに新しい情報を付加することはできません。
 - ABAQUSは常に古いリスタートファイルから読みこみ、新しいファイルに書き込みます。
 - 複数のリスタートから成る解析では、リスタートファイルが複数存在します。
 - 結果ファイルは、リスタート時に新しい情報が付加されます(デフォルト)
 - (2) 未完了のランからリスタートする場合、ABAQUSは新しいステップを実行する前に 元のランを終了させようとしています。
 - 前の解析をストップさせる為にはEND STEPパラメータを使用します。
 - インクリメント数不足でステップがストップした場合も、解析を続行する為にはEND STEPパラメータが必要になります。
 3. 完了したステップの最終点からリスタートする時は、END STEPパラメータは不要です。
 4. 前のランで定義された出力要求や荷重条件は、修正されない限り新しいステップでも有効です。

5.1.4 ユーザサブルーチンの作成方法

ユーザサブルーチンは、FORTRANのサブルーチンを記述した ソースファイルを実行コマンドで指定して、モデルに組み込みます。

注意点としては、

- (1) 全てのユーザサブルーチンでは、4行目にあるINCLUDE文を引数のリストの 直後に使用することに注意して下さい。
2. COMMONブロックの名前は、ABAQUSが使用していない'K'で始まる名前を使用するとよいでしょう。
3. ユーザサブルーチン内でファイルを使用する場合は、ABAQUSで使用していない機番を使用して下さい。

ユーザサブルーチン(先頭)

```
1 *USER SUBROUTINES
2   SUBROUTNE MPC(UE, A, JDOF, MDOF, N, JTYPE, X, U, UINIT, MAXDOF, LMPC,
3     1           KSTEP, KINC, TIME, NT, NF, TEMP, FIELD, LTRAN, TRAN)
4   INCLUDE 'ABA_PARAM.INC'      << この位置に入力して下さい。
5   DIMENSION UE(MDOF), A(MDOF, MDOF, N), JDOF(MDOF, N), X(6, N),
6     1           U(MAXDOF, N), UINIT(MAXDOF, N), TIME(2), TEMP(NT, N),
7     2           FIELD(NF, NT, N), LTRAN(N), TRAN(3, 3, N)
8   PARAMETER( NTRIAL = 12, TOLU 臨 1.D-10, TOLF = TOLU )
9 C
10      IF ( JTYPE .EQ. 1 ) THEN
11 C
12 C          INITIAL BEAM AXIS DIRECTORS ==> MUST BE RESET FOR DIFFERENT
13 C          INITIAL SECTION ORIENTATIONS.
14 C          FOR 4-2-1-2
15 C
```

主なユーザルーチンを以下に示します。 ::

CREEP	時間依存の粘性挙動の定義 (クリープとスウェリング)
DLOAD	応力解析における非一様分布荷重の指定
FILM	伝熱解析における非一様な熱伝達係数および雰囲気温度の指定
MPC	多点拘束の定義
ORIENT	異方性材料のための局所座標系の定義

使用できるユーザサブルーチン及び詳細は、Analysis User's Manual を読んで下さい。

なお、V6.1-1から*USER SUBROUTINEというキーワードは廃止になりました。そのため、ユーザルーチンを入力ファイル(.inp)の中に設定することはできなくなりました。ABAQUSの実行プロシージャでユーザルーチンのソースファイルを指定する必要があります。

5.1.5 ABAQUS/Explicitの計算結果取り込み方法

ABAQUS/ExplicitからABAQUS/Standard解析への結果を転送する機能には、制限が存在します。Analysis User's Manualを読んでから使用して下さい。

データは、3行目、5行目にある*IMPORTオプションを使用することで取り込み可能になります(詳細は、Analysis User'sを読んで下さい。)

deepdrawbox_exp_form.inp(先頭)

```

1 *HEADING
2 SHEET METAL FORMING WITH ANNEALING : import model
3 *IMPORT, STEP=1, INT=2, STATE=YES
4 BLANK,
5 *IMPORT NSET
6 B1, B4
7 ** Define material properties for STEEL
8 **
9 *MATERIAL, NAME=STEEL
10 *DENSITY
11 7800.
12 *ELASTIC
13 2.1E11, 0.3
14 *PLASTIC

```

5.2 実行方法

よく使用するコマンドを下記に示します。

1. 通常の実行コマンド

通常のabaqusコマンドは、analysisオプションがデフォルトで設定されているので、指定する必要はありません。

```
$ abaqus job=入力ファイル名 [args]
```

2. リスタート時の実行コマンド

```
$ abaqus job=入力ファイル名 [args] oldjob=リスタートファイル名 [args]
```

ABAQUS/Explicitの結果を使用して、ABAQUS/Standardを実行する時も上記コマンドで実行します。その時、入力ファイルは、ABAQUS/Standardの入力ファイルとなり、リスタートファイル名は、ABAQUS/Explicitのリスタートファイル名となります。

3. データチェックのみの実行コマンド

```
$ abaqus datacheck job=入力ファイル名 [args]
```

datacheckオプションを指定している時は、analysisオプションの指定はできません。

4. 解析の継続実行コマンド

```
$ abaqus continue job=入力ファイル名 [args]
```

continueオプションを指定している時は、analysisオプションの指定はできません。

5. ウェーブフロント法の指定コマンド

```
$ abaqus job=入力ファイル名 [args] solver=wavefront
```

6. 旧バージョンの入力データを現行バージョン用に変換するコマンド

```
$ abaqus upgrade job=入力ファイル名 [args]
```

7. ABAQUSの例題の入力ファイルを取り出すコマンド

5.3 データのチェック

```
$ abaqus fetch job=入力ファイル名 [args]
```

8. 解析実行時に使用できるオプション

• user

解析に使用するユーザサブルーチンの FORTRAN ソースファイルまたは オブジェクトファイルの名前を指定して使います。ファイル拡張子がない場合FORTRAN ソースファイルが仮定されます。

• oldjob

リスタートや後処理のジョブで読み込む実行済みファイル名をインポートしたいときに、ファイル名を指定して使います。パスやファイルの拡張子は指定してはいけなくなっています。

• memory

入力ファイルの前処理段階と Abaqus/Standard 解析過程で割り当て可能な 物理メモリの最大メモリ量または最大比率です。例えば、次のように指定します。

```
$ abaqus job=Job-name memory="1gb"
```

他にもいろいろあります。詳しい使用例が、ABAQUS Analysis User's Manual に記載されているので、よく読んで下さい。また「abaqus help」コマンドを実行することで、abaqusコマンドの使用法が出力されます。

5.3 データのチェック

ABAQUSには、データチェックのみを行える機能が用意されています。解析実行前にデータチェックを行うことができ、作成されたデータベースファイルを使用してABAQUS/CAEを起動して、形状や境界条件を画面上で確認することもできます。

プリプロセッサを使用せずにデータを作成または修正した時、大規模モデルの解析をする時などには、是非使用することをお勧めします。

5.3.1 BATCH/Preによる確認

1. 実行方法

/usr/apps/isv/samples/abaqus/beam-s-error.inpをbeam-s.inpとしてコピーして下さい。abaqusにdatacheckのオプションをつけて実行します(analysisは実行されません)。

```
$ cp /usr/apps/isv/samples/abaqus/beam-s-error.inp ./beam-s.inp  
$ abaqus datacheck job=beam-s memory=1gb
```

この場合は、「beam-s.log」というファイルが生成され、開くと次のようになっています。

```
Abaqus JOB beam-s  
Abaqus Version 6.8-4  
Begin Analysis Input File Processor  
Thu 25 Mar 2010 11:16:52 AM JST  
Run pre.exe << (a)  
Abaqus License Manager checked out the following licenses:  
Abaqus/Foundation checked out 3 tokens.  
<100 out of 128 licenses remain available>.  
Thu 25 Mar 2010 11:16:53 AM JST  
Abaqus Error: Analysis Input File Processor exited with an error. << (b)  
Abaqus/Analysis exited with errors
```

2. エラーの確認

5.3.1の枠線内の(a)でpre.exeが起動していることが分かります。これが、ABAQUS/Standardの前に起動するデータ・チェックプログラム(BATCH/Pre)です。その枠内の(b)で入力にエラーがあるのがわかります。結果ファイル(.dat)を見てみましょう。

最後の方に、下記のメッセージが出力されます。

```
THE PROGRAM HAS DISCOVERED      8 FATAL ERRORS  
  
** EXECUTION IS TERMINATED **
```

```
END OF USER INPUT PROCESSING
```

```
JOB TIME SUMMARY
```

```
USER TIME (SEC)      = 0.15000
SYSTEM TIME (SEC)   = 8.00000E-02
TOTAL CPU TIME (SEC) = 0.23000
WALLCLOCK TIME (SEC) =          1
```

これは、FATAL ERRORが8個あることを示しています。次に、実際の”***ERROR”を検索します。

```
OPTIONS BEING PROCESSED
```

```
*****
```

```
*HEADING
```

```
  CANTILEVER BEAM
```

```
*NODE, NSET=ENDS
```

```
*NGEN
```

```
*ELEMENT, TYPE=B21
```

```
*ELGEN, ELSET=BEAM
```

```
*MATERIAL, NAME=STEEL
```

```
*ELASTIC
```

```
*BOUNDARY
```

```
*BEAM SECTION, SECTION=RECTANGULAR, ELSET=BEAM
```

```
***ERROR: PARAMETER MATERIAL IS REQUIRED << (c)
```

```
LINE IMAGE: *BEAM SECTION, SECTION=RECTANGULAR, ELSET=BEAM
```

```
***ERROR: ELEMENT 1 IS MISSING A BEAM SECTION DEFINITION; CHECK ELEMENT SET
AND ELEMENT DEFINITIONS
```

```
***ERROR: ELEMENT 2 IS MISSING A BEAM SECTION DEFINITION; CHECK ELEMENT SET
AND ELEMENT DEFINITIONS
```

```
***ERROR: ELEMENT 3 IS MISSING A BEAM SECTION DEFINITION; CHECK ELEMENT SET
AND ELEMENT DEFINITIONS
```

```
***ERROR: ELEMENT 4 IS MISSING A BEAM SECTION DEFINITION; CHECK ELEMENT SET
AND ELEMENT DEFINITIONS
```

```
***ERROR: ELEMENT 5 IS MISSING A BEAM SECTION DEFINITION; CHECK ELEMENT SET
AND ELEMENT DEFINITIONS
```

```
***ERROR: 5 elements have missing property definitions. The elements have been
identified in element set ErrElemMissingSection.
```

```
*STEP, PERTURBATION
```

```
*STEP, PERTURBATION
```

```
*STEP, PERTURBATION
```

```
*STATIC
```

```
*EL PRINT, POSITION=AVERAGED AT NODES, SUMMARY=YES
```

```
***WARNING: OUTPUT REQUEST S11 IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE B21
```

```
***WARNING: OUTPUT REQUEST E11 IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE B21
```

5.3.2 その他のチェック方法

(c)にあるように*BEAMセクションにパラメータMATERIALが定義されていないためのエラーである事が分かります。以下の修正を行います。

```
(修正前)
*BEAM SECTION, SECTION=RECTANGULAR, ELSET=BEAM

(修正後)
*BEAM SECTION, SECTION=RECTANGULAR, ELSET=BEAM, MATERIAL=STEEL
```

修正して「abaqus datacheck job=beam-s」を再度実行します。今度は、エラーメッセージがなくなります。

3. 継続実行方法

もう一度、abaqusコマンドで最初から実行する方法もありますが、ここでは、BATCH/Preで作成されたリスタート・ファイルが作成されているので、それを使用して、ABAQUS/Standardの計算を継続させる方法について説明します。abaqusにcontinueのオプションをつけて実行します。

```
$ abaqus continue job=beam-s memory=1gb
```

「beam-s.log」というファイルが生成され、開くと次のようになっています。

```
Abaqus JOB beam-s
Abaqus Version 6.8-4
Begin Abaqus/Standard Analysis
Thu 25 Mar 2010 11:21:31 AM JST
Run standard.exe << (d)
Abaqus License Manager checked out the following licenses:
Abaqus/Foundation checked out 3 tokens.
<105 out of 128 licenses remain available>.
Thu 25 Mar 2010 11:21:33 AM JST
End Abaqus/Standard Analysis
Abaqus JOB beam-s COMPLETED
```

(d)にあるようにstandard.exeから処理が再開されます。

5.3.2 その他のチェック方法

1. ポストプロセッサによる形状チェック

- ABAQUS/CAEによる形状チェック

BATCH/Preが終了すると、データベースファイルが作成されます。

このデータベースファイルを使用してABAQUS/CAE(Viewer)を実行すれば、形状データをグラフィックスに表示させることができます。

- Patranによる形状チェック

PatranでABAQUSのインプットデータ(.inpファイル)をインポートしてデータを読み込み、

グラフィックス表示ができます。このときABAQUS特有の特殊なデータの中には対応していないものもありますが、ほとんどの形状データが取り扱えます。また、実行時に後処理ファイル(.filファイル)ができていれば、PatranのResults機能で.filファイルを読み込み、形状が表示できます。

2. .msgファイルの確認

.msgファイルには、以下の情報が書き出されます。

- 全ての収束制御情報
 - *CONTROLSで修正した場合は、その情報が出力されます。
- 収束計算の詳細
- ソルバーからのメッセージ
 - 数値上の特異性 (numrical singularities)
 - 零ピボット (zeropivots)
 - 負の固有値数

5.3.3 使用容量の目安値確認

・トラブルを解決する為に有用な情報 - 最大残差が生じた位置 - 過大な変形が生じた位置 - 接触状態が変化した位置
.msgファイルの最後の方にメッセージが出力されます。メッセージの要約情報が表示されます。ワーニングメッセージやエラーメッセージの要約情報が表示されます。

```
ANALYSIS SUMMARY:  
TOTAL OF      1  INCREMENTS  
              0  CUTBACKS IN AUTOMATIC INCREMENTATION  
              1  ITERATIONS INCLUDING CONTACT ITERATIONS IF PRESENT  
              1  PASSES THROUGH THE EQUATION SOLVER OF WHICH  
              1  INVOLVE MATRIX DECOMPOSITION, INCLUDING  
              0  DECOMPOSITION(S) OF THE MASS MATRIX  
              1  REORDERING OF EQUATIONS TO MINIMIZE WAVEFRONT  
              0  ADDITIONAL RESIDUAL EVALUATIONS FOR LINE SEARCHES  
              0  ADDITIONAL OPERATOR EVALUATIONS FOR LINE SEARCHES  
              0  WARNING MESSAGES DURING USER INPUT PROCESSING  
              0  WARNING MESSAGES DURING ANALYSIS  
              0  ANALYSIS WARNINGS ARE NUMERICAL PROBLEM MESSAGES  
              0  ANALYSIS WARNINGS ARE NEGATIVE EIGENVALUE MESSAGES  
              0  ERROR MESSAGES
```

5.3.3 使用容量の目安値確認

BATCH/Preを実行した後に作成される*.datで、もう少し内容を見てみましょう。出力の最後の方に、ABAQUS/Standardで使用されるディスクやメモリの目安が表示されます。

M E M O R Y E S T I M A T E			
PROCESS	FLOATING PT OPERATIONS PER ITERATION	MINIMUM MEMORY REQUIRED (MBYTES)	MEMORY TO MINIMIZE I/O (MBYTES)
1	6.33E+02	8	8

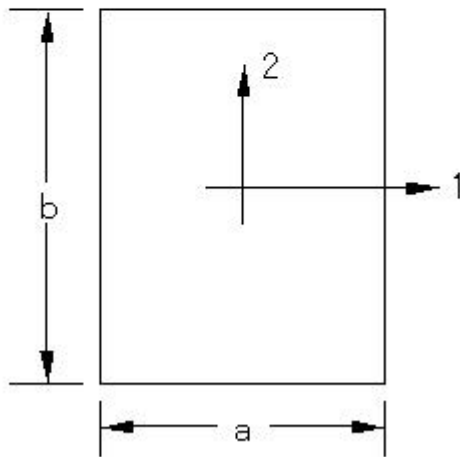
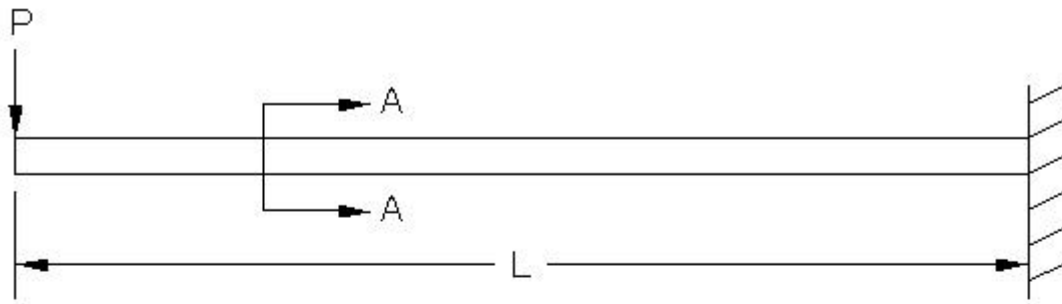
この数値を基に、自分のディスク容量に余裕があるか確認して下さい。

5.4 線形計算例

5.4.1 静解析

単純な例として片持ち梁(cantilever beam)の例題を考えます。

5.3.3 使用容量の目安値確認



断面 A-A

基本データ:

$L = 2.54 \text{ m (100.0 in)}$

$a = 25.4 \text{ mm (1.0 in)}$

$b = 50.8 \text{ mm (2.0 in)}$

線形弾性

Young率 = 207 GPa

($30.0 \times 10^6 \text{ lb/in}^2$)

Poisson比 = 0.0

$P = 89000 \text{ N (2000 lb)}$

入力ファイルは/usr/apps/ismv/samples/abaqus/beam-s.inpにあるので、自分のディレクトリにコピーしてご利用下さい。

beam-s.inp

```

1 *HEADING
2 CANTILEVER BEAM
3 *NODE, NSET=ENDS
4 1, 0.
5 6, 100.
6 *NGEN
7 1, 6
8 *ELEMENT, TYPE=B21
9 1, 1, 2
10 *ELGEN, ELSET=BEAM
11 1, 5
12 *BEAM SECTION, SECTION=RECTANGULAR, ELSET=BEAM, MATERIAL=STEEL
13 1., 2.
14 *MATERIAL, NAME=STEEL
15 *ELASTIC
16 30. E6
17 *BOUNDARY
18 6, ENCASTRE
19 *STEP, PERTURBATION
20 *STATIC
21 *LOAD
22 1, 2, -20000.
23 *EL PRINT, POSITION=AVERAGED AT NODES, SUMMARY=YES
24 S11, E11
25 SF
    
```

5.5 非線形計算例

```
26 *NODE FILE, NSET=ENDS
27 U, CF, RF
28 *RESTART, WRITE
29 *END STEP
```

実行方法を以下に示します。

```
$ abaqus job=beam-s memory=1gb
```

ジョブが終了したら、beam-s.datやbeam-s.msgファイルにエラーやワーニングメッセージがないか確認して下さい。自分のディレクトリにbeam-s.staというステータス・ファイルができています。エディタ(vi等)でファイルをみて下さい。

```
Abaqus/Standard Version 6.8-4                      DATE 25-Mar-2010 TIME 11:39:12
SUMMARY OF JOB INFORMATION:
STEP  INC  ATT  SEVERE  EQUIL  TOTAL  TOTAL  STEP  INC OF  DOF  IF
          DISCON  ITERS  ITERS  TIME/  TIME/LPF  TIME/LPF  MONITOR  RIKS
          ITERS  ITERS  TIME/
          ITERS  ITERS  FREQ
  1      1    1    0      1      1  0.00    2.22e-16  2.220e-16

THE ANALYSIS HAS COMPLETED SUCCESSFULLY
```

PERTURBATIONオプションを指定しているため、STEPもINCも1です。

5.5 非線形計算例

5.5.1 大変形問題

入力ファイルはインタラクティブノードの/usr/apps/isv/samples/abaqus/beam-n.inpにあるので、自分のディレクトリにコピーしてご利用下さい。

beam-n.inp

```
1 *HEADING
2 CANTILEVER BEAM
3 *NODE, NSET=ENDS
4 1, 0.
5 6, 100.
6 *NGEN
7 1, 6
8 *ELEMENT, TYPE=B21
9 1, 1, 2
10 *ELGEN, ELSET=BEAM
11 1, 5
12 *BEAM SECTION, SECTION=RECTANGULAR, ELSET=BEAM, MATERIAL=STEEL
13 1., 2.
14 *MATERIAL, NAME=STEEL
15 *ELASTIC
16 30. E6
17 *BOUNDARY
18 6, ENCASTRE
19 *STEP, NLGEOM, INC=30
20 *STATIC
21 0.05, 1., 0.01, 0.2
22 *CLOAD
23 1, 2, -20000.
24 *EL PRINT, POSITION=AVERAGED AT NODES, SUMMARY=YES
25 S11, E11
26 SF
27 *NODE FILE, NSET=ENDS
28 U, CF, RF
29 *RESTART, WRITE
30 *MONITOR, NODE=1, DOF=2
```


31 *END STEP

大変形解析を行うために、19行目の*STEPオプションにNLGEOMパラメータを追加し、ステップ内をいくつかのインクリメント(インクリメント数の上限値:30)に分けるために21行目*STATICオプションに、インクリメント開始時の試行時間増分(0.0.5)、ステップの時間幅(1.0)、最小時間増分(0.0.1)、最大時間増分(0.2)を与えています。幾何学非線形性を考慮した片持ち梁の入力データは、これらの値を除いて、線形問題で上述したものと同一になります。

実行方法を以下に示します。

```
$ abaqus job=beam-n memory=1gb
```

計算終了後、「beam-n.log」を確認すると次のようになっています。

```
Abaqus JOB beam-n
Abaqus Version 6.8-4
Begin Analysis Input File Processor
Thu 25 Mar 2010 11:41:25 AM JST
Run pre.exe
Abaqus License Manager checked out the following licenses:
Abaqus/Standard checked out 5 tokens.
<98 out of 128 licenses remain available>.
Thu 25 Mar 2010 11:41:26 AM JST
End Analysis Input File Processor
Begin Abaqus/Standard Analysis
Thu 25 Mar 2010 11:41:26 AM JST
Run standard.exe
Abaqus License Manager checked out the following licenses:
Abaqus/Standard checked out 5 tokens.
<98 out of 128 licenses remain available>.
Thu 25 Mar 2010 11:41:29 AM JST
End Abaqus/Standard Analysis
Abaqus JOB beam-n COMPLETED
```

ジョブが終了したら、beam-n.datやbeam-n.msgファイルにエラーやワーニングメッセージがないか確認して下さい。

次頁に、beam-n.staの内容を示します。

```
Abaqus/Standard Version 6.8-4 DATE 25-Mar-2010 TIME 11:41:27
SUMMARY OF JOB INFORMATION:
MONITOR NODE: 1 DOF: 2
STEP INC ATT SEVERE EQUIL TOTAL TOTAL STEP INC OF DOF IF
DISCON ITERS ITERS TIME/ TIME/LPF TIME/LPF MONITOR RIKS
ITERS FREQ
1 1 1 0 5 5 0.0500 0.0500 0.05000 -16.2
1 2 1 0 7 7 0.100 0.100 0.05000 -30.1
1 3 1 0 8 8 0.150 0.150 0.05000 -41.0
1 4 1 0 7 7 0.200 0.200 0.05000 -49.3
1 5 1 0 3 3 0.250 0.250 0.05000 -55.6
1 6 1 0 3 3 0.300 0.300 0.05000 -60.4
1 7 1 0 3 3 0.375 0.375 0.07500 -65.7
1 8 1 0 4 4 0.488 0.488 0.1125 -71.1
1 9 1 0 4 4 0.656 0.656 0.1688 -76.0
1 10 1 0 4 4 0.856 0.856 0.2000 -79.6
1 11 1 0 3 3 1.00 1.00 0.1438 -81.3

THE ANALYSIS HAS COMPLETED SUCCESSFULLY
```

- 解析がどのように進行したかが簡単に出力されます。
- 増分計算がうまくいった後に1行出力されます。
- *MONITORコマンドで指定された変数を出力することができます。

上記例では、節点番号1の自由度番号2の指定 (beam-n.inpの30行目参照)以下に、*.msgファイルの内容を示します。

STEP 1 STATIC ANALYSIS

AUTOMATIC TIME CONTROL WITH -
 A SUGGESTED INITIAL TIME INCREMENT OF 5.000E-02
 AND A TOTAL TIME PERIOD OF 1.00
 THE MINIMUM TIME INCREMENT ALLOWED IS 1.000E-02
 THE MAXIMUM TIME INCREMENT ALLOWED IS 0.200

LINEAR EQUATION SOLVER TYPE DIRECT SPARSE

CONVERGENCE TOLERANCE PARAMETERS FOR FORCE

CRITERION FOR RESIDUAL FORCE FOR A NONLINEAR PROBLEM 5.000E-03
 CRITERION FOR DISP. CORRECTION IN A NONLINEAR PROBLEM 1.000E-02
 INITIAL VALUE OF TIME AVERAGE FORCE 1.000E-02
 AVERAGE FORCE IS TIME AVERAGE FORCE
 ALTERNATE CRIT. FOR RESIDUAL FORCE FOR A NONLINEAR PROBLEM 2.000E-02
 CRITERION FOR ZERO FORCE RELATIVE TO TIME AVRG. FORCE 1.000E-05
 CRITERION FOR RESIDUAL FORCE WHEN THERE IS ZERO FLUX 1.000E-05
 CRITERION FOR DISP. CORRECTION WHEN THERE IS ZERO FLUX 1.000E-03
 CRITERION FOR RESIDUAL FORCE FOR A LINEAR INCREMENT 1.000E-08
 FIELD CONVERSION RATIO 1.00
 CRITERION FOR ZERO FORCE REL. TO TIME AVRG. MAX. FORCE 1.000E-05
 CRITERION FOR ZERO DISP. RELATIVE TO CHARACTERISTIC LENGTH 1.000E-08

CONVERGENCE TOLERANCE PARAMETERS FOR MOMENT

CRITERION FOR RESIDUAL MOMENT FOR A NONLINEAR PROBLEM 5.000E-03
 CRITERION FOR ROTATION CORRECTION IN A NONLINEAR PROBLEM 1.000E-02
 INITIAL VALUE OF TIME AVERAGE MOMENT 1.000E-02
 AVERAGE MOMENT IS TIME AVERAGE MOMENT
 ALTERNATE CRIT. FOR RESIDUAL MOMENT FOR A NONLINEAR PROBLEM 2.000E-02
 CRITERION FOR ZERO MOMENT RELATIVE TO TIME AVRG. MOMENT 1.000E-05
 CRITERION FOR RESIDUAL MOMENT WHEN THERE IS ZERO FLUX 1.000E-05
 CRITERION FOR ROTATION CORRECTION WHEN THERE IS ZERO FLUX 1.000E-03
 CRITERION FOR RESIDUAL MOMENT FOR A LINEAR INCREMENT 1.000E-08
 FIELD CONVERSION RATIO 1.00
 CRITERION FOR ZERO MOMENT REL. TO TIME AVRG. MAX. MOMENT 1.000E-05

VOLUMETRIC STRAIN COMPATIBILITY TOLERANCE FOR HYBRID SOLIDS 1.000E-05
 AXIAL STRAIN COMPATIBILITY TOLERANCE FOR HYBRID BEAMS 1.000E-05
 TRANS. SHEAR STRAIN COMPATIBILITY TOLERANCE FOR HYBRID BEAMS 1.000E-05
 SOFT CONTACT CONSTRAINT COMPATIBILITY TOLERANCE FOR $P > P_0$ 5.000E-03
 SOFT CONTACT CONSTRAINT COMPATIBILITY TOLERANCE FOR $P = 0.0$ 0.100
 CONTACT FORCE ERROR TOLERANCE FOR CONVERT SDI=YES 1.00
 DISPLACEMENT COMPATIBILITY TOLERANCE FOR DCOUP ELEMENTS 1.000E-05
 ROTATION COMPATIBILITY TOLERANCE FOR DCOUP ELEMENTS 1.000E-05

EQUILIBRIUM WILL BE CHECKED FOR SEVERE DISCONTINUITY ITERATIONS

TIME INCREMENTATION CONTROL PARAMETERS:

FIRST EQUILIBRIUM ITERATION FOR CONSECUTIVE DIVERGENCE CHECK 4
 EQUILIBRIUM ITERATION AT WHICH LOG. CONVERGENCE RATE CHECK BEGINS 8
 EQUILIBRIUM ITERATION AFTER WHICH ALTERNATE RESIDUAL IS USED 9
 MAXIMUM EQUILIBRIUM ITERATIONS ALLOWED 16
 EQUILIBRIUM ITERATION COUNT FOR CUT-BACK IN NEXT INCREMENT 10
 MAXIMUM EQUILIB. ITERS IN TWO INCREMENTS FOR TIME INCREMENT INCREASE 4
 MAXIMUM ITERATIONS FOR SEVERE DISCONTINUITIES 50
 MAXIMUM CUT-BACKS ALLOWED IN AN INCREMENT 5

6. (ABAQUS/Explicit) 概要

```
MAXIMUM DISCON. ITERS IN TWO INCREMENTS FOR TIME INCREMENT INCREASE      50
MAXIMUM CONTACT AUGMENTATIONS FOR *SURFACE BEHAVIOR, AUGMENTED LAGRANGE    6
CUT-BACK FACTOR AFTER DIVERGENCE                                           0.2500
CUT-BACK FACTOR FOR TOO SLOW CONVERGENCE                                   0.5000
CUT-BACK FACTOR AFTER TOO MANY EQUILIBRIUM ITERATIONS                       0.7500
CUT-BACK FACTOR AFTER TOO MANY SEVERE DISCONTINUITY ITERATIONS             0.2500
CUT-BACK FACTOR AFTER PROBLEMS IN ELEMENT ASSEMBLY                         0.2500
INCREASE FACTOR AFTER TWO INCREMENTS THAT CONVERGE QUICKLY                 1.500
MAX. TIME INCREMENT INCREASE FACTOR ALLOWED                                1.500
MAX. TIME INCREMENT INCREASE FACTOR ALLOWED (DYNAMICS)                     1.250
MAX. TIME INCREMENT INCREASE FACTOR ALLOWED (DIFFUSION)                   2.000
MINIMUM TIME INCREMENT RATIO FOR EXTRAPOLATION TO OCCUR                    0.1000
MAX. RATIO OF TIME INCREMENT TO STABILITY LIMIT                            1.000
FRACTION OF STABILITY LIMIT FOR NEW TIME INCREMENT                        0.9500
TIME INCREMENT INCREASE FACTOR BEFORE A TIME POINT                        1.000
AUTOMATIC TOLERANCES FOR OVERCLOSURE AND SEPARATION
PRESSURE ARE SUPPRESSED
GLOBAL STABILIZATION CONTROL IS NOT USED
FRICTION IS INCLUDED IN INCREMENT THAT THE CONTACT POINT CLOSES
```

自動増分機能を使用すると、 $\Delta t_{\text{new}}=1.5\Delta t_{\text{old}}$ になっていくので注意して下さい。

6. (ABAQUS/Explicit) 概要

ABAQUS/Explicitは、有限要素法による陽解法動解析プログラムです。

陽解法は、動解析の手法で、もともとは自動車の衝突問題に代表される様な、高速衝突問題をモデル化する為に開発されたものです。特に接触/摩擦が多く存在する不連続な問題の解析にすぐれています。また、準静解析(速度の遅い問題として取り扱う)も行なうことができますが、工学的判断が必要となります。ABAQUS/Standard(陰解法)とは異なり、小さな時間増分を数多く用いて解析します。マニュアルを精読して理論について良く調べておく必要があります。また、研究に関連する文献なども良く調べて利用して下さい。

入力のシンタックスと規則はABAQUS/Standardと同じです。本書もそれを踏まえて、ABAQUS/Standardと重複する箇所は省略して記述しています。ABAQUS/Explicitは、ABAQUS/Standardと違って計算結果はプリント・ファイルには書き出されません。ABAQUS/CAEのViewer機能を使用してグラフィカルに見るか、自分で結果ファイルから数値を取り出すプログラムを作成する必要があります。本章及び次章では、これらについてふれますが、ABAQUS/Explicitのファイルの流れを良く理解しておく必要があります。

6.1 特徴

- 有限要素法による陽解法動解析プログラムです。
- 入力データのシンタックスと規則はABAQUS/Standardと同じです。
- 陽解法による動解析プロシージャは、大規模なモデルや非常に不連続な現象の解析に対して効率的です。
- 全ての解析に対して、整合のとれた大変形理論を用いています。
- 非常に一般的な接触条件を定義することができます。
- 解析実行中でもポスト処理が行なえます。

6.2 解析タイプ

以下に示す2つのプロシージャがあります。

1. 陽解法による動解析

時刻歴応答を得る為に、運動方程式に対して陽的時間積分を用います。

2. 焼き戻し(almeal)

全ての応力、歪み、状態変数、それに速度を零に再設定するプロシージャです。

6.3 要素ライブラリ

主な要素ライブラリ

- ソリッド(連続体): 2次元, 軸対称, 3次元での1次(線形)補間要素が使用できます。
- シェル: 軸対称と一般のシェル形状の両方を含みます。
- 膜: 膜としての強度は持っているが, 曲げ剛性は持っていない空間中の薄い膜を表す為に使用します。
- 梁(はり): 曲げと伸びの両方を考慮します。
- トラス: 2次元, 3次元において, 軸力のみを伝達します。
- 特殊な要素: 集中質量・回転慣性・スプリング・ダッシュポット・静水圧流体が扱えます。
- 剛体要素: 2次元, 3次元において, 剛体をモデル化する為に使用します。

6.4 材料ライブラリ

主な材料ライブラリ

- 一般的な特性: 減衰・密度
- 熱的特性: 比熱
- 弾性モデル: 線形弾性・超弾性・超弾性フォーム・粘弾性
- 塑性モデル: 金属塑性・多孔質塑性モデル・拡張Drucker-Pragerモデル・Drucker-Prager/Capモデル・可壊発泡塑性・速度依存性降伏・異方性降伏
- ユーザ定義材料: ユーザサブルーチンを用いて定義することができます。

6.5 データ上の注意

1. ABAQUS/Explicitのファイルについて

- a. ファイルの内容がABAQUS/Standardとは異なります。
- b. (.dat)ファイルには, 計算結果は書き込まれません。
- c. 結果ファイルおよび選択結果ファイルについて
 - *FILEオプションおよび*HISTORYオプションを指定して, 出力したい変数を指定すると, 選択結果ファイル(.sel)に書き込まれます。
 - *HISTORYオプションで指定した変数は, 結果ファイルにはコンバートできません。
 - *FILE OUTPUT, *HISTORY OUTPUTオプションは, 1つのステップで1回だけしか指定できません。
 - ステータス・ファイル(.sta)とは違うので注意して下さい。
- d. データベースファイルについて
 - データベースファイルは, ABAQUS/CAEのViewer機能を使用する時に必要になります。
 - *OUTPUT, FIELDおよび*OUTPUT, HISTORYが指定された場合出力されます。指定がないと, 何も出力されません。
 - 計算ステップが進むと, ファイルサイズが膨大になるので, 出力は制御して下さい。
- (e) 計算ステップが進むと, ファイルが膨大になりますので必要な出力項目を注意して選ばないと, ファイルが非常に大きくなる可能性があります。
- (f) 結果の出力は, 出力時刻に到達したインクリメントの最終時点で行なわれるので, 出力間隔は必ずしも同じにはなりません。
- (g) 正確な時間間隔で出力したい場合には, *FILE OUTPUTオプション, *HISTORY OUTPUT オプション, *RESTARTオプションなどで, TIMEMARKS=YESを指定して下さい。

2. Δt と要素寸法について

- a. 時間増分の大きさは, 最小要素の寸法に依存します(要素の寸法が安定時間を決定します)。
- b. モデルのあまり重要でない部分によって決定されないように注意する必要があります。
- c. 極端に要素寸法が小さい場合には, エラーが出力され解析できない場合があります。

3. 時間増分と安定性について

- a. 陽解法では, 安定限界により決められた小さい時間増分を常に用いる必要があります。

6.3 要素ライブラリ

- ・陽解法では、中央差分オペレータが条件付き安定である為に、多数の小さな増分を用いて時間積分を行なっています。これは、時間増分が臨界あるいは安定間増分よりも小さい場合に意味があることを示しています。
- ・安定限界は、系の最高次の固有円振動数 ω_{max} と、このモードに関する臨界減衰比 ξ により与えられます。

$$\Delta t \leq 2 / \omega_{max} (\sqrt{(1 + \xi^2)} - \xi)$$

要素の最高次のモードに対する減衰比は、下式で与えられます。

$$\xi = b_1 - b_2^2 \times L_e / C_d \quad \min(0, \varepsilon_{vol})$$

b_1 (default=0.06), b_2 (default=1.2) : 減衰係数 (材料定数ではない)
 ε_{vol} : 体積歪み速度

b. 減衰は、安定時間増分を減少させます。減衰には、以下の2タイプが使用できます。
 タイプ1. 体積粘性減衰 (Bulk Viscosity Damping) (履歴定義データで指定)1

- ・体積粘性には、線形体積粘性と2次体積粘性の2つがあります。
- ・線形粘性圧力は、全ての要素に含まれていて、下式で表せます。

$$p_1 = b_1 \rho c_d L_e \varepsilon_{vol}$$

1*BULK VISCOSITYオプション ρ : 現時点での材料密度 c_d : 現時点での体積波の速度 L_e : 要素特性長さ

- ・線形体積粘性は、要素の細大周波数での振動 (ringing) を静める為に含まれています。
- ・全ての連続体要素 (平面応力は除く) は、下式のような2次体積粘性圧力を含んでいます。 :: $p_2 = \rho (b_1 L_e)^2 \varepsilon_{vol} | \min(0, \varepsilon_{vol})$
- ・2次体積粘性は、体積歪み速度が圧縮の場合にのみ適用されます。

タイプ2. 材料減衰 (Material Damping) (モデル定義データで指定)2

- ・材料減衰は、粘性によるエネルギーの散逸源を持っていない材料に対して用意されています。
 - ・ABAQUS/Explicitは、質量比例減衰と剛性比例減衰が扱えます。
 - ・レーリー (Rayleigh) 減衰係数 (α_R) は、質量行列に比例する減衰を定義します。
 - ・剛性比例減衰は、減衰応力 (damping stress) σ_d を生成します。下式を参照して下さい。
 - ・低次の振動を減衰させる為には、一般に質量比例減衰を使用します (質量比例減衰は、安定時間増分に対して殆んど影響を与えない)。
- $$\sigma_d = \beta_R D^e \varepsilon_{vol}$$
- β_R : 減衰定数 D^e : 材料の弾性剛性 ε_{vol} : 全歪み速度
- ・剛性比例減衰は、一般に高次の振動を制御する為に使用します。この減衰は、安定時間増分を劇的に減少させる可能性があります。

c. ABAQUS/Explicitは、安定時間増分を決める為に、解析の間じゅう有限要素モデルをモニターしています。

- ・全体アルゴリズムは、モデルの最大周波数を予測します。
- ・予測値は継続的に更新されます。
- ・安定時間増分が急激に減少した場合は、解析を妥当な時間内で完了することができないというエラーメッセージを出力して、解析をストップします。これは、通常、要素が変形しすぎたことを意味します。

d. 安定時間の概念を1次元問題で考えることにします。

- ・安定時間増分は、体積波 (縦波: dilatational wave) がモデルを構成している各要素の中を伝播するのに要する時間の最小値と考えることができます。
- ・体積波の速度 c_d は、下式で表せます。

$$c_d = \sqrt{E / \rho}$$

1次元の場合、 E はヤング率、 ρ は材料密度。

- ・安定時間増分は、下式で表せます。

$$\Delta t = \min(c_d / c_d)$$

L^e は要素長さ。

7. (ABAQUS/Explicit) 実行

・ L_e を小さくするか、あるいは c_d を大きくすると、安定時間増分は小さくなります。

- 要素の寸法を小さくすると、 L_e は小さくなる。
- 材料の剛性を大きくすると、 c_d は大きくなる。
- 材料の圧縮性を減じると、 c_d は大きくなる。
- 材料の密度を小さくすると、 c_d は大きくなる。

安定時間増分は、体積波(縦波:dilatational wave)がモデルを構成している 各要素の中を横切るのに要する時間の最小値と考えることができます。

2*DAMPINGオプション

安定時間増分は、体積波(縦波:dilatational wave)がモデルを構成している 各要素の中を横切るのに要する時間の最小値と考えることができます。

(4) 拘束条件における節点座標系の設定について(*TRANSFORMオプション) 全体座標系を仮定している為、拘束条件(*MPC, *EQUATIONオプション)では、*TRANSFORMオプションは無視されます(ABAQUS/Standardとは異なる)。

5. 準静解析(速度の遅い問題)を行なう時は、特別な考慮が必要になります。

(a)本来の継続時間を用いてプロセスをモデル化するのは、計算の量からいって非現実的です。

(b)目標は、慣性力が影響を及ぼさない最短の解析時間を用いてプロセスをモデル化することです。

(c)解を経済的に得るには、シミュレーションにおけるプロセスの速度を人為的に上げる必要があります。

(d)プロセスの速度を上げると、静的な釣合い状態は、動的な釣合いに移行してしまいます(慣性力がより支配的になる)。

(e)運動エネルギーが大きくなるように注意して下さい(大きくなった場合は、速度を遅くする等)。

6. 陽解法について

(a)陽解法プロシージャは、対角の質量行列を使用します。

(b)陽解法プロシージャは、陰解法(ABAQUS/Standard)のように、材料の接線剛性行列を解かないので、収束計算や誤差の許容値も必要ありません。

(c)陽解法プロシージャは、要素剛性行列は解きません。

7. (ABAQUS/Explicit) 実行

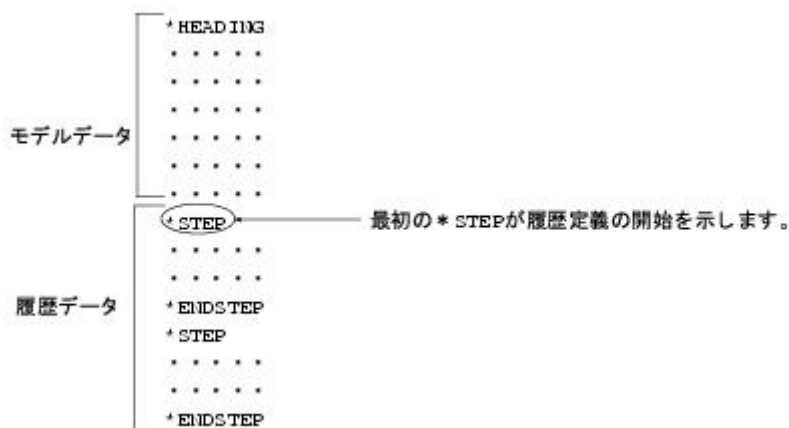
7.1 入力データの作成方法

7.1.1 データ構成

ABAQUS/Explicitのデータ構成を以下に示します(ABAQUS/Standardと構成は同じです)。

1. データの全体構成

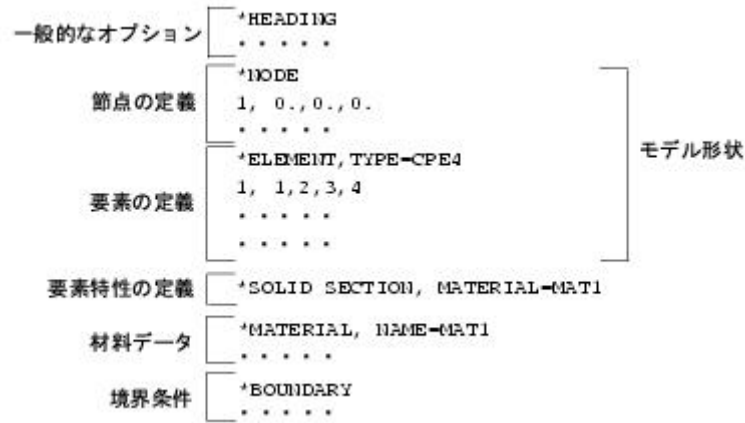
ABAQUSの入力データは、モデルデータと履歴データから構成されています。



2. モデル定義データのアウトライン

モデル定義データの一般的なアウトラインを以下に示します。

7.1.2 一般的なデータ作成方法



3. 履歴定義データのアウトライン

履歴定義データの一般的なアウトラインを以下に示します。



7.1.2 一般的なデータ作成方法

モデル定義データ作成方法

モデル定義データの基本的な構成(*HEADINGから*STEPの前までがモデル定義データ)は、ABAQUS/Standardと同じです。但し、以下の項目には注意して下さい。

1. 要素ライブラリは、ABAQUS/Standardに比べて限られています。
- (2) 接触のデータは、ABAQUS/Standardはモデル定義データで定義しますが、ABAQUS/Explicitは、履歴データで定義します。
3. マスターとスレーブの定義の順番がABAQUS/Standardと異なる場合があります。

beamimpac1.inp(1)

```

1 *HEADING                : タイトル
2 CANTILEVER BEAM MODELED USING SHELL ELEMENTS --- ELASTIC/PLASTIC CASE
3 *NODE                    : 節点の定義
4 1, 0., 0., 0.
5 21, .50, 0., 0.
6 301, 0., .05, 0.
7 321, .50, .05, 0.
8 *NGEN, NSET=FREE
9 1, 21, 1
10 *NGEN, NSET=CENTER
11 301, 321, 1
12 *NFILL, NSET=ALLN
13 FREE, CENTER, 3, 100
14 *NSET, NSET=CLAMP, GEN

```

7.1.2 一般的なデータ作成方法

```
15 1, 301, 100
16 *ELEMENT, TYPE=S4R           : 要素の定義
17 1, 1, 2, 102, 101
18 *ELGEN, ELSET=BEAM
19 1, 20, 1, 1, 3, 100, 20
20 *SHELL SECTION, SECTION INT=SIMP, ELSET=BEAM, MATERIAL=STEEL
    : 要素特性の定義
21 0.0025,
22 *MATERIAL, NAME=STEEL       : 材料データ
23 *DENSITY
24 7800.,
25 *ELASTIC
26 200.E9, .3
27 *PLASTIC
28 250.E6,
29 *BOUNDARY                   : 境界条件
30 CLAMP, 1, 1
31 CLAMP, 3, 6
32 301, 2, 2
33 CENTER, YSYMM
```

履歴定義データの作成方法

履歴定義データは、ABAQUS/Standardと同様に*STEPから*END STEPで区切られたステップの集まりです。

beamimpac1.inp(2)

```
34 *STEP                       : ステップの開始
35 *DYNAMIC, EXPLICIT          : 解析プロシージャの定義
36 , 1.0E-02
37 *DLOAD                       : 荷重の定義
38 BEAM, P, -1.E5
39 **                           : 以下出力の定義
40 ** Output requests for postprocessing
41 **
42 *OUTPUT, FIELD, VAR=PRESELECT : 分布変数出力の指定
43 **
44 ** Output requests for qa testing
45 **
46 *NSET, NSET=QA_TESTNH, GEN
47 21, 321, 100
48 *NSET, NSET=QA_TESTCLAMP
49 CLAMP,
50 *ELSET, ELSET=QA_TESTEL, GEN
51 1, 20, 1
52 *NSET, NSET=QA_TESTN, ELSET=QA_TESTEL
53 *OUTPUT, FIELD, NUM=1       : 分布変数出力の指定
54 *ELEMENT OUTPUT, ELSET=QA_TESTEL
55 PEEQ,
56 *NODE OUTPUT, NSET=QA_TESTN
57 U,
58 *OUTPUT, FIELD, NUM=4, TIMEMARKS=YES : 分布変数出力の指定
59 *NODE OUTPUT, NSET=QA_TESTCLAMP
60 RF,
61 *NODE OUTPUT, NSET=QA_TESTNH
62 U,
63 *OUTPUT, HISTORY, TIME INTERVAL=.0025 : 時刻歴出力の指定
64 *ENERGY OUTPUT, VAR=PRESELECT
65 *END STEP                   : ステップの終了
```

1. 解析プロシージャの定義(36～37行目)

7.1.2 一般的なデータ作成方法

- a. 解析プロシージャの定義で, ABAQUS/StandardかExplicitか自動的に判断します.
- (b) 6行目は, 陽解法の動解析(DYNAMIC, EXPLICIT)プロシージャ指定コマンドです. EXPLICITを必ず指定して下さい.
- c. *DYNAMIC, EXPLICIT, ADIABATICで断熱(ADIABATIC)解析が可能です.
- d. 37行目の第-フィールドはブランクです.
- e. 焼き戻し(ANNEALING)プロシージャも指定できます.

2. 出力の定義

ここでは*OUTPUTキーワードでデータベースファイル(.odbファイル)への出力を指定します. 各解析時刻でのモデル内の場の変数としての分布出力と, 各変数の時刻歴出力の二種類があります. このほかに*FILE OUTPUTキーワードで選択結果ファイル(.sel ファイル)に出力することができます.

(a)変数分布出力について

- *OUTPUT, FIELDオプションで各変数の分布出力が始まります.
- 節点データおよび要素データの出力のデフォルトは全節点, 全要素に対して行なわれます.
- 節点データに対しては, 節点集合NSETパラメータを指定して部分的な出力指定ができます.
- 要素データに対しては, 要素集合ELSETパラメータを指定して部分的な出力指定ができます.
- VAR=PRESELECT指定でその解析プロシージャによって設定されているデフォルトの変数達が出力されます.
- 出力変数を個別に指定することもできます.
- 上の例では, 全体に対してデフォルト変数出力を指定し, さらに, 一部の節点集合, 要素集合に対して変位, 等価塑性歪, 反力などの出力を追加しています.
- おおよその出力間隔を, NUM(ber interval)パラメータで指定しています.
 - 正確な時間間隔で出力するのではなく, 出力時刻に到達したインクリメントの直後に出力します.
 - 正確な時間間隔で出力したい場合には, TIMEMARKS=YESを指定して下さい.
- 時刻歴出力(history output)について(40~44行目)
 - *OUTPUT, HISTORYオプションで各変数の時刻歴出力が始まります.
 - 各種指定の方法は分布出力とほぼ同様です. マニュアルを参照してください.
 - ここでは最後にエネルギー関係の結果を時刻歴出力しています.
- *ENERGY OUTPUTオプションで, モデル全体あるいは指定された要素集合に対して積分されたエネルギー量が出力でき, ABAQUS/CAEのViewer機能を使用して時刻歴プロットが行なえます. 例として主な変数を以下に示します.

- ALLIE: 内部エネルギーEI, ALLIE=ALLSE+ALLPD+ALLCD+ALLAE
- ALLKE: 運動エネルギーEKE1
- ALLVD: 粘性散逸エネルギーEV2
- ALLFD: 摩擦散逸エネルギーEFD
- ALLCD: 粘弾性による散逸エネルギーECD3
- ALLWK: 外力による仕事EW4
- ALLSE: 累積された歪エネルギーEE5
- ALLPD: 非弾性散逸エネルギーEP6
- ALLAE: 人為的歪エネルギーEA7
- ETOTAL: エネルギーバランス: ETOT = EI + EV + EFD + EKE - EW

- エネルギーバランスは理論的には一定ですが, 数値モデルではこれを近似的に満足するだけです.

$$EI+EV+EFD+EKE-EW = \text{一定}$$

- 弾性歪みエネルギーEEの計算には, 応力から弾性歪を求めることができるような応力-歪関係が必要です.

$$EE = \int 1/\rho \sigma \varepsilon dv - E_p$$

- 要素レベルでのエネルギーやエネルギー密度の出力もでき, ABAQUS/CAEのViewer機能で時刻歴プロットができます.

- ELSE: 弾性歪みエネルギー
- ELPD: 塑性散逸エネルギー
- ELCD: クリープ散逸エネルギー
- ELVD: 粘性散逸エネルギー
- ELASE: 人為的エネルギー=シェルの法線廻りの回転エネルギー +アワーグラスエネルギー
- EKEDEN: 要素内の運動エネルギー密度
- ESEDEH: 要素内の弾性歪エネルギー密度
- EPDDEN: 要素内の散逸された塑性エネルギー密度
- EASEDEN: 要素内の人為的歪エネルギー密度
- ECDDEN: 要素内で散逸されるクリープ歪エネルギー密度

7.1.3 リスタートデータの作成方法

- ・EVDDEN: 要素内で散逸される粘性エネルギー密度
 - 1 節点の集中質量と速度(移動と回転)の値から計算される。
 - 2 減衰メカニズムにより散逸されるエネルギーです。各要素の合計。
 - 3 各材料点で計算される。
 - 4 節点反力がする仕事も含まれる。
 - 5 弾性保存歪エネルギーです。各材料点における弾性歪みエネルギーの総和。
 - 6 非弾性プロセスでは、各材料点における非弾性エネルギーの総和として計算される。
 - 7 アワーグラス変形を抑える為に必要な弾性エネルギーが含まれています。EA値が大きい場合には、メッシュを細かくする必要があります。

3. その他

(a)接触について

- ・ABAQUS/Standardとは違ってステップ毎に接触面の付加や削除が行なえます。
- ・ABAQUS/Standardとはデータの入力ที่แตกต่างกันところがあります。

(b)自動時間増分以外の方法

殆どの場合では、安定時間増分の計算に対してデフォルトでも適切ですが、以下のコマンドで時間増分の制御を変更できます。

・*DYNAMIC, EXPLICIT, ELEMENT BY ELEMENT

- 要素に基づいた自動時間増分アルゴリズムで、個々の要素に対する安定増分時間を基にして、モデル全体の安定時間を予測します。

・*DYNAMIC, EXPLICIT, FIXED TIME INCREMENTAION

- 上記の要素に基づいた安定時間増分のステップ開始時での値を用いる固定時間増分アルゴリズムです。

- さらに安全側の値を使用したい場合は、SCALE FACTORパラメータにより係数を掛けることができます。

・*DYNAMIC, EXPLICIT, DIRECT USER CONTROL

- ステップに対して、ユーザにより直接指定された一定時間増分を用います。

7.1.3 リスタートデータの作成方法

pillar_rest.inp

```
1 *HEADING
2 *RESTART, READ, STEP=1, WRITE, NUM=1
3 *STEP
4 *DYNAMIC, EXPLICIT
5 , 1. E-6
6 *END STEP
```

1. RESTART(2行目)

- ・READパラメータが付いた*RESTARTオプションは、*STEPオプションの前に定義する必要があります。
- ・*RESTART, READ, STEP=P, INTERVAL=Q と指定した場合は、ステップPステップのインターバルQが完了した直後から、解析を再開することを指定します。新しいステップが開始される前に、元のランで定義されたステップPと後続の総てのステップが実行されます。
- ・*RESTART, READオプションに加えて、END STEPパラメータを指定した場合は、前の解析の途中から新しいステップを開始することができます。

- END STEPパラメータは、プログラムに対して、現在のステップを終了させるように指示します。

- 解析の継続は、リスタートジョブで与えられた履歴データにより定義されます。

2. 解析を継続するために必要なデータは、リスタートが行なわれるステップの後続のステップを定義するデータのみです。

3. ABAQUS/Explicitでは、接触のデータも定義することができます。

7.2 実行方法

7.2.1 実行コマンド

よく使用するコマンドを下記に示します。

1. 通常の実行コマンド

7.2.2 ABAQUS/Explicit計算結果のファイル・コンバート

通常のabaqusコマンドはanalysisオプションがデフォルトで設定されているので、指定する必要はありません。

```
$ abaqus job=入力ファイル名 [args]
```

2. リスタート時の実行コマンド

```
$ abaqus job=入力ファイル名 [args] oldjob=リスタートファイル名 [args]
```

ABAQUS/Explicitの結果を使用して、ABAQUS/Standardを実行する時も上記コマンドで実行します。その時、入力ファイルは、ABAQUS/Standardの入力ファイルとなり、リスタートファイル名は、ABAQUS/Explicitのファイル名となります。

(3) データチェックのみの実行コマンド

```
$ abaqus datacheck job=入力ファイル名 [args]
```

datacheckオプションを指定している時は、analysisオプションの指定はできません。

(4) 解析の継続実行コマンド

```
$ abaqus continue job=入力ファイル名 [args]
```

continueオプションを指定している時は、analysisオプションの指定はできません。

(5) トラブル時のリカバリー実行コマンド(ABAQUS/Explicitのみ)

CPU時間やディスクスペースが足りなくなるといった予測しなかった原因でストップした場合、*RESTART, READオプションを使用して継続できますが、もっと便利な機能があります。

```
$ abaqus recover job=入力ファイル名 [args]
```

これを使用すると、リスタート・ファイルに保存されている最後のステップにおける、最後の増分での状態を回復した後、元の解析を続行します。

6. 解析実行時に使用できるオプション

• user

解析に使用するユーザサブルーチンの FORTRAN ソースファイルまたは オブジェクトファイルの名前を指定して使います。ファイル拡張子がない場合FORTRAN ソースファイルが仮定されます。

• oldjob

リスタートしたいときに、ファイル名を指定して使います。パスやファイルの拡張子は指定してはいけなくなっています。

• memory

解析入力データ処理に割り当てが可能なメモリの最大量を指定するオプションです。例えば、次のように指定します。

```
$ abaqus job=Job-name memory="1gb"
```

他にも色々あります。

7.2.2 ABAQUS/Explicit計算結果のファイル・コンバート

ABAQUS/Explicitでは結果表示やリスタート処理のために、ファイルをコンバートする必要があります。この処理は通常のABAQUS/Explicitの実行時に行われますが、変換を明示的にABAQUS/Convertで行なうこともできます。

ABAQUS/Convertは、jobオプション(job=)で、ファイル名を指定します。convertオプション(convert=)で、4種類のオプションを選択することができます。

以下に、その説明を示します。

予め、例題の取得および計算を行っておきます。

```
$ abaqus fetch job=tennis
$ abaqus fetch job=tennis_ef1
$ abaqus fetch job=tennis_ef2
$ abaqus fetch job=tennis_ef3

$ abaqus job=tennis
```

1. selectオプションを指定した時

7.3 データのチェック

ABAQUS/Explicitで出力された、選択結果ファイル(.sel)を ABAQUS標準の結果ファイル(.fil)に変換します。インタラクティブで実行します。

```
$ abaqus convert=select job=tennis interactive
```

以下のメッセージが画面上に表示されます。

```
Old fil file exists. Overwrite? (y/n): y          <= すでにファイルが存在する場合、上書き確認されます
Abaqus JOB tennis
BEGIN FILE CONVERSION
Begin Selected Results Translator
Thu 21 Oct 2010 02:52:24 PM JST
Run select.exe
Thu 21 Oct 2010 02:52:25 PM JST
End Selected Results Translator
END FILE CONVERSION
Abaqus JOB tennis COMPLETED
```

lsコマンドで、ファイルを確認して下さい。.filファイルが作成されています。

2. allオプションを指定した時
ABAQUS/Explicitで出力された、状態ファイル、パッケージファイル、選択結果ファイルの全てがコンバートされます。インタラクティブで実行します。

```
$ abaqus convert=all job=tennis interactive
```

以下に示すメッセージが画面上に表示されます。

```
Old fil file exists. Overwrite? (y/n): y
Abaqus JOB tennis
BEGIN FILE CONVERSION
Begin Extrapolator
Thu 21 Oct 2010 02:53:00 PM JST
Run Extrapolator.exe
Thu 21 Oct 2010 02:53:00 PM JST
End Extrapolator
Begin Selected Results Translator
Thu 21 Oct 2010 02:53:00 PM JST
Run select.exe
Thu 21 Oct 2010 02:53:01 PM JST
End Selected Results Translator
END FILE CONVERSION
Abaqus JOB tennis COMPLETED
```

lsコマンドで、ファイルを確認して下さい。.filファイルが作成されています。これはMSC/Patranでポスト処理するときに使います。また、.odbファイルはABAQUS/Viewerでポスト処理するときに使います。

7.3 データのチェック

ABAQUSには、データ・チェックのみを行える機能が用意されています。解析実行前にデータ・チェックを行うことができ、作成されたデータベースファイルを使用して ABAQUS/Viewerを起動して、形状や境界条件を画面上で確認することもできます。

プリプロセッサを使用せずにデータを作成または修正した時、大規模モデルの解析をする時などには、是非使用することをお勧めします。

7.3.1 BATCH/Preによる確認

1. 実行方法

/usr/apps/isv/samples/abaqus/beamimpac1-error.inpをbeamimpac1.inpとしてコピーして下さい。abaqusにdata checkのオプションをつけて実行します(analysisは実行されません)。

```
$ cp /usr/apps/isv/samples/abaqus/beamimpac1-error.inp ./beamimpac1.inp
$ abaqus datacheck job=beamimpac1 interactive
```

インタラクティブで実行すると、logファイルに書き出す内容が画面上に表示されます。

7.3.2 その他のチェック方法

```
Abaqus JOB beamimpac1
Abaqus Version 6.8-4
Begin Analysis Input File Processor
Wed 24 Mar 2010 02:30:38 PM JST
Run pre.exe <--- (a)
Abaqus License Manager checked out the following licenses:
Abaqus/Explicit checked out 5 tokens.
<113 out of 128 licenses remain available>.
Wed 24 Mar 2010 02:30:40 PM JST
Abaqus Error: Analysis Input File Processor exited with an error. <--- (b)
Abaqus/Analysis exited with errors
```

2. エラーの確認

7.3.1の枠中の(a)でpre.exeが起動しています。これが、ABAQUS/Explicitの前に起動するデータ・チェックプログラム(BATCH/Pre)です。その枠中の(b)で入力にエラーがあるのがわかります。結果ファイル(*.dat)を見てみましょう。

最後の方に、下記のメッセージが出力されます。

```
THE PROGRAM HAS DISCOVERED 163 FATAL ERRORS

** EXECUTION IS TERMINATED **

END OF USER INPUT PROCESSING

JOB TIME SUMMARY
USER TIME (SEC)      = 0.20000
SYSTEM TIME (SEC)   = 6.00000E-02
TOTAL CPU TIME (SEC) = 0.26000
WALLCLOCK TIME (SEC) = 2
```

これは、FATAL ERRORが163個あることを示しています。次に、実際の”***ERROR”を検索します。

```
*HEADING
      CANTILEVER BEAM MODELED USING SHELL ELEMENTS --- ELASTIC/PLASTIC CASE

*NODE
*NGEN
*NGEN, NSET=CENTER
*NFILL, NSET=ALLN

***ERROR: NODE SET FREE HAS NOT BEEN DEFINED
*NSET, NSET=CLAMP, GEN
*ELEMENT, TYPE=S4R
*ELGEN, ELSET=BEAM
```

エラーカードの直後に表示されます。節点集合である(FREE)が認識できないと言うメッセージです。これは、*NGENでFREEが未定義のためのエラーです。*NGENを*NGEN, NSET=FREEに変更する必要があります。修正して再度実行します。今度は、エラーメッセージがなくなります。

(3) 継続実行方法

もう一度、abaqusコマンドで最初から実行する方法(実行方法参照)もありますが、ここでは、BATCH/Preで作成されたリスタート・ファイルが作成されているので、それを使用してABAQUS/Explicitの計算を継続させる方法について説明します。abaqusにcontinueのオプションをつけて実行します。

```
$ abaqus continue job=beamimpac1 memory=1gb
```

7.3.2 その他のチェック方法

7.3.2 その他のチェック方法

(1) ポストプロセッサによる形状チェック

- ABAQUS/CAEによる形状チェック

BATCH/Preが終了すると、データベースファイルが作成されます。このデータベースファイルを使用してABAQUS/CAEのViewer機能を実行すれば、形状データをグラフィックスに表示させることができます。

- Patranによる形状チェック

PatranでABAQUSのインプットデータ(.inpファイル)をインポートしてデータを読み込み、グラフィックス表示ができます。このときABAQUS特有の特殊なデータの中にはまだ対応していないものもありますが、ほとんどの形状データが取り扱えます。また、実行時に後処理ファイル(.filファイル)ができていれば、MSC/PatranのResults機能で.filファイルを読み込み、形状が表示できます。

2. .staファイルの確認

.staファイルの最初に、下記のようなメッセージが表示されることがあります。

```
-----  
PREPROCESSOR WARNING MESSAGES  
**WARNING: There are 1 warning messages in the data (.dat) file.  
Please check the data file for possible errors in the input file.  
-----
```

この時は、warning messageが1つ*.datファイルにあるので、*.datファイルをチェックして下さい。*.staファイルの始めの方に、次頁に示すメッセージが表示されます(インタラクティブで実行した場合は、画面上に表示されるので注意して下さい)。

STABLE TIME INCREMENT INFORMATION

```
-----  
The stable time increment for each element is based on  
linearization about the initial state.
```

```
Initial time increment=2.22301E-06
```

```
Statistics for all elements:
```

```
Mean=2.22301E-06
```

```
Standard deviation= 0.00000E+00
```

```
Most critical elements:
```

(rank)	(elementnumber)	(time increment)	(increment ratio)
1	53	2.223008E-06	1.000000E+00
2	58	2.223008E-06	1.000000E+00
3	13	2.223008E-06	9.999999E-01
4	18	2.223008E-06	9.999999E-01
5	33	2.223008E-06	9.999999E-01
6	38	2.223008E-06	9.999999E-01
7	2	2.223009E-06	9.999997E-01
8	4	2.223009E-06	9.999997E-01
9	7	2.223009E-06	9.999997E-01
10	9	2.223009E-06	9.999997E-01

安定時間増分の大きさを制限する可能性の最も大きな10個の要素のリストが表示されます。

3. 変数のモニター

.staファイルの下記(*****)の位置に、特定の変数の値を出力することができます。履歴定義のデータの中で、*MONITORオプションを指定します。

SOLUTION PROGRESS

```
-----  
STEP 1 ORIGIN 0.000E+00
```

```
Total memory used for step 1 is approximately 132.2 kilowords
```

```
Global time estimation algorithm will be used.
```

```
Scaling factor: 1.0000
```

STEP	TOTAL	CPU	STABLE	CRITICAL	KINETIC
------	-------	-----	--------	----------	---------

7.4 実行例

```
INCREMENT   TIME           TIME           TIME   INCREMENT   ELEMENT   ENERGY
      0  0.000E+00  0.000E+00  00:00:00  2.223E-06      53      0.000E+00 *****
```

Results number 0 at increment zero.

7.4 実行例

7.4.1 梁の衝撃解析例

例題beamimpac1はABAQUS/Fetchコマンドで呼び出せます。ここでは、実行手順のみ記述することにします。

```
$ abaqus fetch job=beamimpac1
$ abaqus job=beamimpac1
```

計算終了後、「beamimpac1.sta」を開くと次のようになっています。

```
Abaqus/Explicit Version 6.8-4                      DATE 24-Mar-2010  TIME 14:42:27
```

```
-----
PREPROCESSOR WARNING MESSAGES
-----
```

```
***WARNING: There are 4 warning messages in the data (.dat) file. Please
            check the data file for possible errors in the input file.
```

```
-----
MODEL INFORMATION (IN GLOBAL X-Y COORDINATES)
-----
```

```
Total mass in model = 0.48750
Center of mass of model = ( 2.500000E-01, 2.500001E-02, 0.000000E+00)
```

Moments of Inertia :

	About Center of Mass	About Origin
I(XX)	1.495219E-04	4.542096E-04
I(YY)	1.023251E-02	4.070126E-02
I(ZZ)	1.035663E-02	4.113007E-02
I(XY)	9.313226E-10	-3.046875E-03
I(YZ)	0.000000E+00	0.000000E+00
I(ZX)	0.000000E+00	0.000000E+00

```
-----
STABLE TIME INCREMENT INFORMATION
-----
```

The stable time increment estimate for each element is based on linearization about the initial state.

Initial time increment = 2.74903E-06

Statistics for all elements:

Mean = 2.74903E-06

Standard deviation = 0.0000

Most critical elements:

Element number	Rank	Time increment	Increment ratio
----------------	------	----------------	-----------------

53	1	2.749025E-06	1.000000E+00
58	2	2.749025E-06	1.000000E+00
13	3	2.749025E-06	9.999999E-01
18	4	2.749025E-06	9.999999E-01
33	5	2.749025E-06	9.999999E-01
38	6	2.749025E-06	9.999999E-01
42	7	2.749025E-06	9.999999E-01
44	8	2.749025E-06	9.999999E-01
47	9	2.749025E-06	9.999999E-01
49	10	2.749025E-06	9.999999E-01

Abaqus/Explicit Version 6.8-4

DATE 24-Mar-2010 TIME 14:42:28

The single precision Abaqus/Explicit executable will be used in this analysis.

SOLUTION PROGRESS

STEP 1 ORIGIN 0.0000

Total memory used for step 1 is approximately 418.6 kilobytes.

Global time estimation algorithm will be used.

Scaling factor: 1.0000

Variable mass scaling factor at zero increment: 1.0000

INCREMENT	STEP TIME	TOTAL TIME	CPU TIME	STABLE INCREMENT	CRITICAL ELEMENT	KINETIC ENERGY	TOTAL ENERGY
0	0.000E+00	0.000E+00	00:00:00	2.749E-06	53	0.000E+00	0.000E+00
ODB Field Frame Number 0 of 20 requested intervals at increment zero.							
ODB Field Frame Number 0 of 1 requested intervals at increment zero.							
ODB Field Frame Number 0 of 4 requested intervals at increment zero.							
182	5.003E-04	5.003E-04	00:00:00	2.749E-06	3	1.430E+00	-1.066E-06
ODB Field Frame Number 1 of 20 requested intervals at 5.003232E-04							
364	1.001E-03	1.001E-03	00:00:00	2.749E-06	5	5.451E+00	-1.777E-06
ODB Field Frame Number 2 of 20 requested intervals at 1.000647E-03							
546	1.501E-03	1.501E-03	00:00:00	2.749E-06	6	1.182E+01	-2.302E-07
ODB Field Frame Number 3 of 20 requested intervals at 1.500971E-03							
728	2.001E-03	2.001E-03	00:00:00	2.749E-06	7	2.040E+01	4.862E-06
ODB Field Frame Number 4 of 20 requested intervals at 2.001288E-03							
910	2.500E-03	2.500E-03	00:00:00	2.749E-06	7	3.117E+01	1.163E-05
ODB Field Frame Number 5 of 20 requested intervals at 2.500000E-03							
ODB Field Frame Number 1 of 4 requested intervals at 2.500000E-03							
1093	3.002E-03	3.002E-03	00:00:00	2.749E-06	8	4.413E+01	2.461E-05
ODB Field Frame Number 6 of 20 requested intervals at 3.001744E-03							
1275	3.502E-03	3.502E-03	00:00:00	2.749E-06	2	5.931E+01	6.406E-05
ODB Field Frame Number 7 of 20 requested intervals at 3.502054E-03							
1457	4.002E-03	4.002E-03	00:00:00	2.749E-06	11	7.663E+01	1.161E-04
ODB Field Frame Number 8 of 20 requested intervals at 4.002355E-03							
1639	4.503E-03	4.503E-03	00:00:00	2.749E-06	10	9.570E+01	1.440E-04
ODB Field Frame Number 9 of 20 requested intervals at 4.502636E-03							
1820	5.000E-03	5.000E-03	00:00:00	2.749E-06	7	1.164E+02	2.450E-04
ODB Field Frame Number 10 of 20 requested intervals at 5.000000E-03							
ODB Field Frame Number 2 of 4 requested intervals at 5.000000E-03							
2002	5.500E-03	5.500E-03	00:00:00	2.749E-06	7	1.391E+02	3.482E-04
ODB Field Frame Number 11 of 20 requested intervals at 5.500143E-03							
2184	6.000E-03	6.000E-03	00:00:00	2.749E-06	7	1.637E+02	4.407E-04
ODB Field Frame Number 12 of 20 requested intervals at 6.000424E-03							
2366	6.501E-03	6.501E-03	00:00:00	2.749E-06	6	1.903E+02	4.299E-04

7.4 実行例

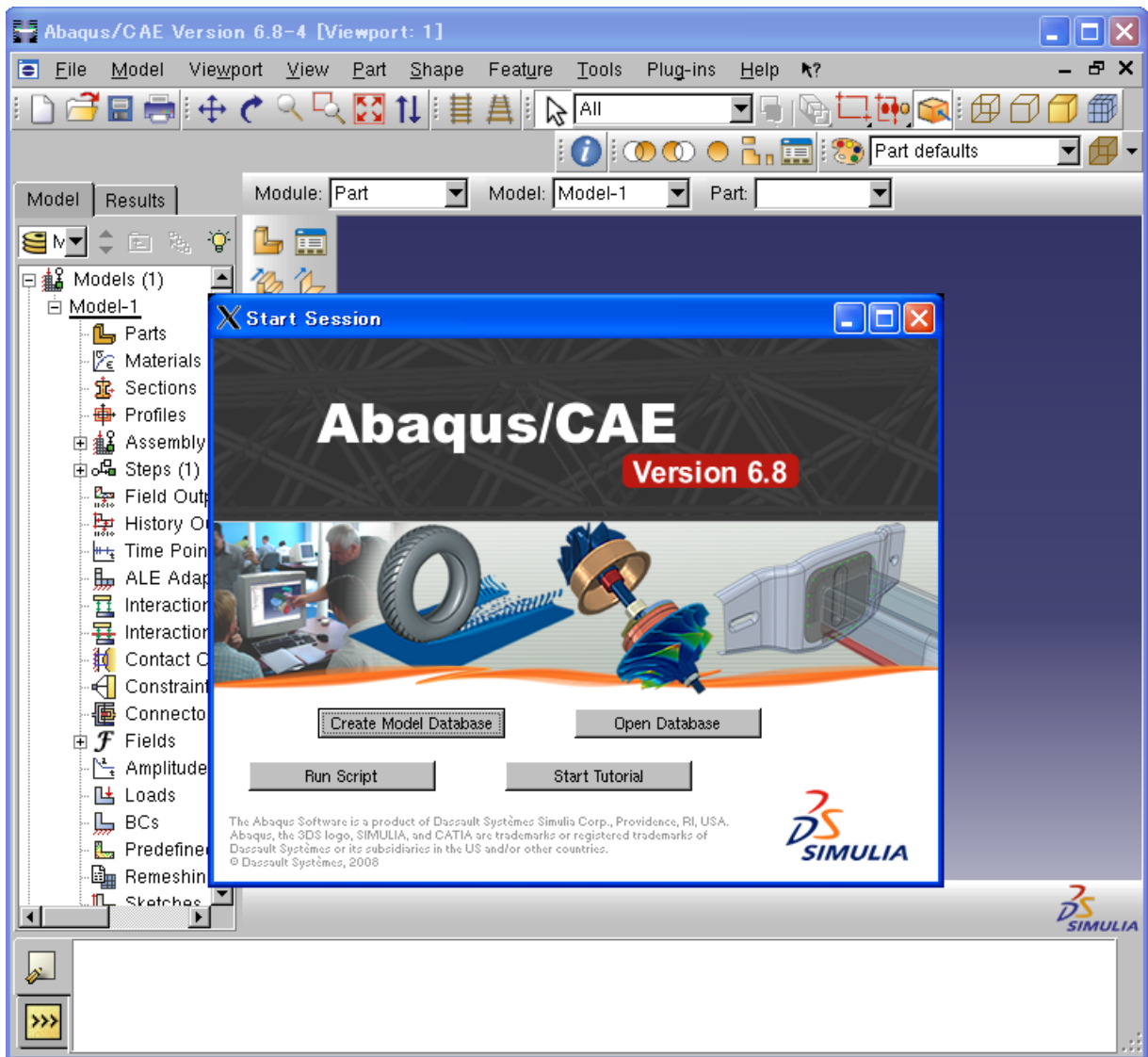
```
ODB Field Frame Number 13 of 20 requested intervals at 6.500706E-03
2548 7.001E-03 7.001E-03 00:00:00 2.749E-06 6 2.186E+02 4.045E-04
ODB Field Frame Number 14 of 20 requested intervals at 7.000987E-03
2730 7.500E-03 7.500E-03 00:00:00 2.749E-06 6 2.488E+02 4.865E-04
ODB Field Frame Number 15 of 20 requested intervals at 7.499999E-03
ODB Field Frame Number 3 of 4 requested intervals at 7.499999E-03
2913 8.002E-03 8.002E-03 00:00:00 2.749E-06 5 2.811E+02 6.707E-04
ODB Field Frame Number 16 of 20 requested intervals at 8.001985E-03
3095 8.502E-03 8.502E-03 00:00:00 2.749E-06 15 3.152E+02 1.015E-03
ODB Field Frame Number 17 of 20 requested intervals at 8.502268E-03
3277 9.002E-03 9.002E-03 00:00:00 2.748E-06 11 3.513E+02 1.018E-03
ODB Field Frame Number 18 of 20 requested intervals at 9.002465E-03
3459 9.503E-03 9.503E-03 00:00:00 2.748E-06 10 3.893E+02 9.206E-04
ODB Field Frame Number 19 of 20 requested intervals at 9.502661E-03
3640 1.000E-02 1.000E-02 00:00:00 2.748E-06 10 4.293E+02 7.389E-04
Restart Number 1 at 1.000000E-02
ODB Field Frame Number 20 of 20 requested intervals at 1.000000E-02
ODB Field Frame Number 1 of 1 requested intervals at 1.000000E-02
ODB Field Frame Number 4 of 4 requested intervals at 1.000000E-02
```

THE ANALYSIS HAS COMPLETED SUCCESSFULLY

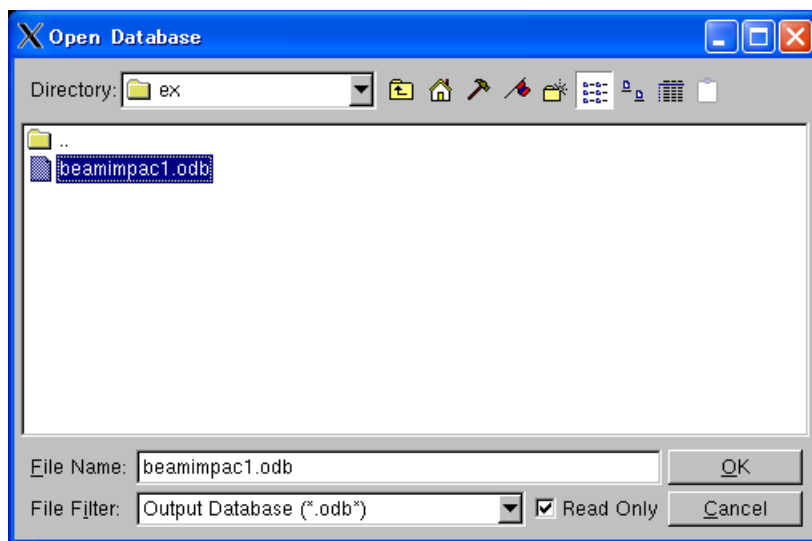
次に、結果を表示するためABAQUS/CAEを起動します。

```
$ abaqus cae
```

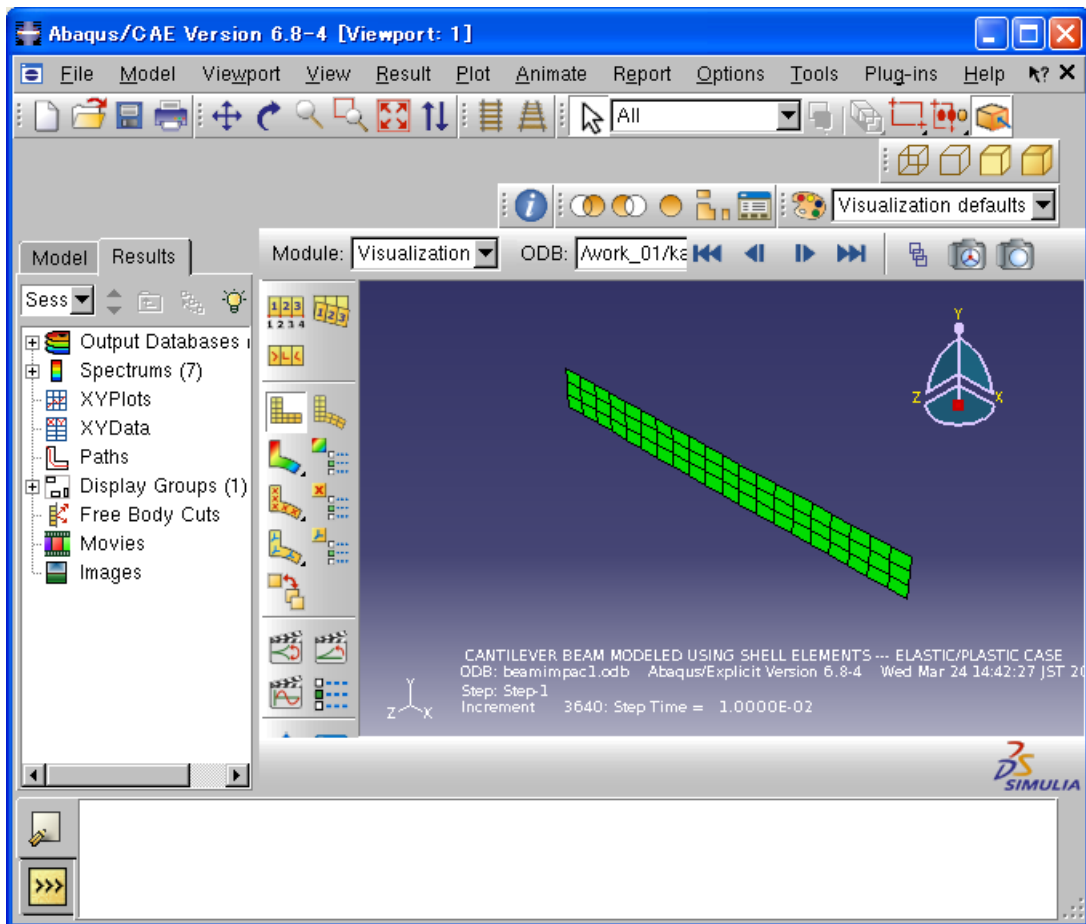
[open database]ボタンをクリックすると実行ディレクトリにある.odbファイルの一覧が表示されます。



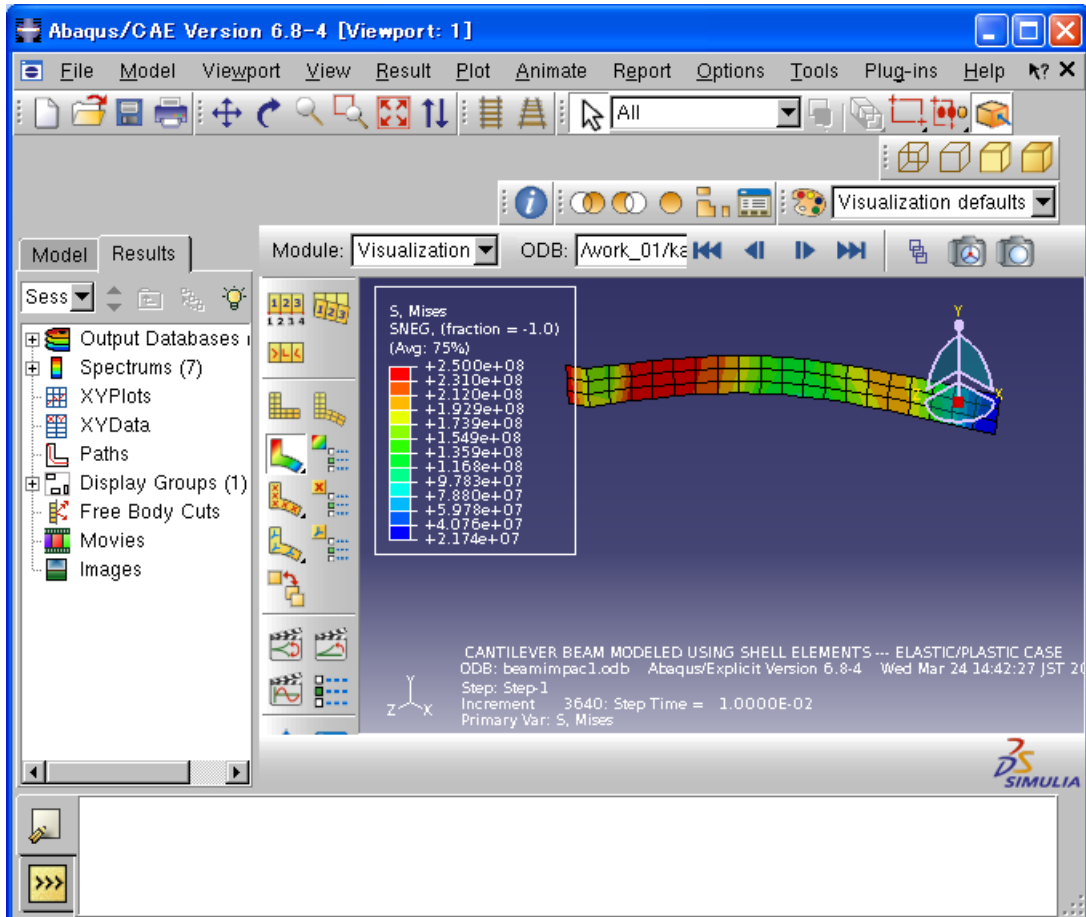
File FilterのプルダウンからOutput Database(.odb)を選択し、[beamimpac1.odb]を反転選択してOKボタンを押すとモデルが表示されます。



ビューポート左側のボタンを押すことでメッシュ図、変形図、コンター図(等高線図)の表示、XYプロット図の表示、変形の動画表示などが行えます。ボタンの上にマウスカーソルをもっていくと内容が表示されます。



[Plot Contours]ボタンを押すと変形図上にMises応力の分布図が表示されます。



7.4.2 リスタート例

左上のFileメニューからExitを選んで終了します。

7.4.2 リスタート例

スポット溶接をした柱の坐屈解析例です。本章では、実行手順のみ記述します。入力データを取得します。

```
$ abaqus fetch job=pillar.inp
$ abaqus fetch job=pillar_rest.inp
```

入力データの一部を以下に示します。

pillar.inp(1)

```
1 *HEADING
2 Buckling of car with spot welds
3 *****
4 **
5 *NODE, NSET=W0
6 101, 0., 0., 0.065
7 105, 0.02, 0., 0.065
8 109, 0.02, 0., 0.045
9 113, 0., 0., 0.045
10 117, 0., 0., 0.02
11 121, 0.02, 0., 0.02
12 125, 0.02, 0., 0.
13 129, 0., 0., 0.
(途中省略)
166 *STEP
167 *DYNAMIC, EXPLICIT
168 , 10. E-3
169 *RESTART, WRITE, NUM=2, TIMEMARKS=NO
(途中省略)
205 *OUTPUT, HISTORY, TIME INTERVAL=2. E-5
206 *NODE OUTPUT, NSET=WELDS
207 U,
208 *CONTACT OUTPUT, NSET=WELDS
209 BONDSTAT, BONDLOAD
210 *NODE OUTPUT, NSET=ROOF
211 RF, U
212 *ENERGY OUTPUT
213 ALLIE, ALLKE, ALLWK, ALLVD, ETOTAL, ALLFD, ALLSE,
214 ALLAE, ALLCD, ALLPD
215 *FILE OUTPUT, TIMEMARKS=YES, NUM=1
216 *NODE FILE, NSET=QA_TEST
217 U,
218 *ENERGY FILE
219 *END STEP
```

実行コマンドを以下に示します。

```
$ abaqus job=pillar
```

lsコマンドでファイルを確認して下さい。リスタート・データ例を以下に示します。

pillar_rest.inp

```
1 *HEADING
2 *RESTART, READ, STEP=1, WRITE, NUM=1
3 *STEP
4 *DYNAMIC, EXPLICIT
5 , 1. E-6
6 *END STEP
```

リスタートジョブの実行コマンドを以下に示します。

\$ abaqus job=pillar_rest old=pillar

改版履歴

版数	日付	項目	内容
version 1.0	2010年 11月 1日	--	初版作成
version 1.1	2011年 12月 8日	2.1	追加: バージョン6.11-2の使用方法
version 1.1	2011年 12月 8日	2.3	追加: "2.3 GPU 計算" を新規作成
version 1.2	2012年 4月 2日	2.1	修正: デフォルトで起動するバージョンの変更を反映(6.8-4→6.11-2)
version 1.3	2013年 1月 24日	2.5	修正: ライセンス token のアカウントごと利用可能上限の変更を反映(12token→14token)
version 1.4	2013年 4月 3日	2.1	追加: バージョン6.12-3の使用方法
version 1.4	2013年 4月 3日	2.1	修正: デフォルトで起動するバージョンの変更を反映(6.11-2→6.12-3)
version 1.5	2014年 4月 1日	2.1	追加: バージョン6.13-3の使用方法
version 1.5	2014年 4月 1日	2.1	修正: デフォルトで起動するバージョンの変更を反映(6.12-3→6.13-3)
version 1.6	2014年 11月 20日	2.1	追加: バージョン6.14-2の使用方法
version 1.7	2015年 4月 3日	2.1	修正: デフォルトで起動するバージョンの変更を反映(6.13-3→6.14-2)
version 1.8	2017年 6月 14日	2.1	追加: バージョン2017の使用方法