

ADVENTURE_Shape

Nonparametric shape optimization based on traction method

Topology optimization based on density approach

Version : 0.11 (beta)

プログラム使用マニュアル

March 1,2002

ADVENTURE Project

目次

1	概要	2
2	解析機能	4
2.1	形状最適化	4
2.2	位相最適化	4
3	動作環境	5
4	インストール方法	5
4.1	コンパイル	5
4.2	インストール	5
5	形状最適化	6
5.1	入力データ	6
5.2	実行方法	7
5.3	入出力データ指定オプション	7
5.4	出力データ	8
5.5	解析例	9
5.5.1	メッシュの表面の抽出	9
5.5.2	一体型 FEM 解析モデルの作成	9
5.5.3	一体型形状拘束モデルの作成	11
5.5.4	ADVENTURE_Metis 用のシェルスクリプトの作成	13
5.5.5	ADVENTURE 実行スクリプト advsolid 用の設定ファイルの作成	14
5.5.6	advshape 用の設定ファイルの作成	14
5.5.7	実行	14
5.5.8	解析結果	14
6	位相最適化	17
6.1	入力データ	17
6.2	実行方法	17
6.3	入出力データ指定オプション	18
6.4	topo_tool	18
6.5	出力データ	19
6.6	解析例	20
6.6.1	一体型 FEM 解析モデルの作成	20
6.6.2	ADVENTURE_Metis 用のシェルスクリプトの作成	20
6.6.3	ADVENTURE 実行スクリプト advsolid 用の設定ファイルの作成	20
6.6.4	advtopology 用の設定ファイルの作成	20
6.6.5	実行	20
6.6.6	topo_tool の実行	21
6.6.7	ADVENTURE_Metis の実行	21
6.6.8	解析結果	21
	参考文献	23

1 概要

このドキュメントは、ADVENTUREプロジェクト [1] が備えている ADVENTURE_Shape の使用マニュアルです。ADVENTURE_Shape にはノンパラメトリック形状最適化と位相最適化モジュールが含まれており、以下のような特徴を持っています。

- 最適化の種類は、形状最適化と位相最適化
- 有限要素法解析に、ADVENTURE_Metis と ADVENTURE_Solid を使用 (弾性解析の機能のみを使用)
- 4 面体、6 面体のそれぞれ 1 次、2 次ソリッド要素に対応 (要素の混在には対応していません)
- 対応プラットフォームは UNIX、Linux

ADVENTURE システムにおいて、ADVENTURE_Shape およびその前後における処理の流れは図 1 のようになります。

(1) メッシュデータの作成 (ADVENTURE_TetMesh)

ADVENTURE_TetMesh を用いて、解析対象に対してメッシュ分割を行います。

(2) 解析モデルの作成 (ADVENTURE_BCtool)

ADVENTURE_BCtool を用いて、解析対象のメッシュに対して境界条件を付加し一体型の FEM 解析モデルを作成します。形状最適化では、FEM 解析モデルに加えて、一体型の形状拘束モデルを作成します。位相最適化においては、形状拘束モデルは作成しません。形状拘束モデルについての説明は、5.1 節と 5.5.3 節を参照して下さい。

(3) 最適化 (ADVENTURE_Shape)

- 形状最適化
- 位相最適化

最適化過程では、ADVENTURE_Metis と ADVENTURE_Solid を実行しています (図 1 参照)。

(4) ポストシステム (ADVENTURE_Visual)

ADVENTURE_Visual を用いて、解析結果 (最適形状、最適位相、変位や応力など) を可視化します。

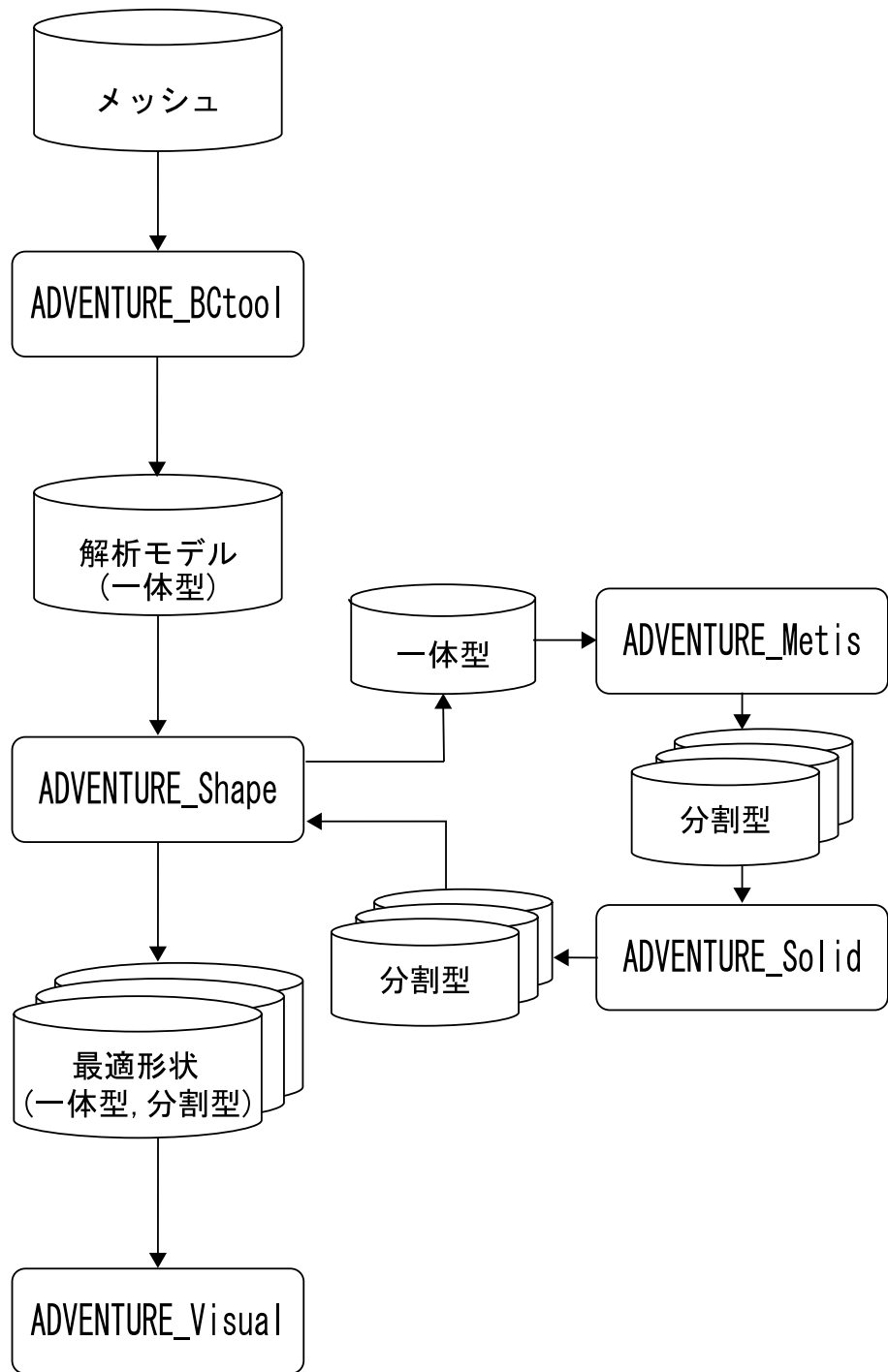


図 1: 全体の流れ図

2 解析機能

ADVENTURE_Shapeでは、形状最適化と位相最適化の2つの機能を備えています。形状最適化は物体の表面を変化させて最適な形状を得ようとするもので、位相最適化は物体内部に穴を空けて軽量化を行うものです。ADVENTURE_Shapeでは両モジュールの名前について、形状最適化をadvshape、位相最適化をadvtopologyと呼ぶことにします。両モジュールとも、ADVENTURE_MetisとADVENTURE_Solidと連携して計算を行います。

2.1 形状最適化

形状最適化では、与えられた外力に対して平均コンプライアンスを制約した下で、線形弾性体の体積を最小化する問題を解くことができます。形状変更は力法 (Traction method)[2, 3, 4]によって行われます。この方法では、境界上の形状勾配を評価し、形状勾配の負値に比例した境界力を作用させたときの变形で境界を移動していきます。この方法の利点は、境界を変動させても境界の滑らかさが保持されることです。

2.2 位相最適化

位相最適化では、与えられた外力に対して質量制約条件下で、平均コンプライアンスの最小化を行い、最適なトポロジー (位相) を解析します。ここでは、位相最適化の手法の一つである密度法 (Density approach)[5]を使用しています。密度法は、材料の弾性剛性が密度のべき乗に比例すると仮定し、各有限要素の密度比を設計変数として最適位相を求める方法です [5]。したがって、位相は密度比の分布として得られます (密度比は0以上1以下の値を取る)。

3 動作環境

OS : UNIX, Linux
コンパイラ : GNU gcc 2.95.3 以上
ライブラリ : ADVENTURE_IO
モジュール : ADVENTURE_Metis, ADVENTURE_Solid

4 インストール方法

4.1 コンパイル

コンパイルに必要なものは、C コンパイラと ADVENTURE_IO モジュールです。ADVENTURE_Metis と ADVENTURE_Solid はコンパイルには必要ありませんが、ADVENTURE_Shape のモジュールの実行には必須のモジュールです。ADVENTURE_IO は事前にコンパイルしておく必要があります。まず、アーカイブ AdvShape-0.11b.tar.gz を展開します。例えば、以下のようなコマンドで展開します。

```
% tar -zxvf AdvShape-0.11b.tar.gz
```

次のように AdvShape-0.11b ディレクトリに移動します。

```
% cd AdvShape-0.11b
```

ここで、Makefile を編集します。

```
ADVSYSYSDIR = $(HOME)/ADVENTURE/bin
```

ADVSYSYSDIR には、ADVENTURE_IO のスクリプト advsys-config がインストールされているトップディレクトリを絶対パスで指定します。ADVENTURE_IO をデフォルトのままインストールした場合は、上記のように \$(HOME)/ADVENTURE/bin となっているはずですが、編集前のパスと異なる環境であれば、自分の環境に合わせて書き直して下さい。

次に、CC に C コンパイラを指定します。

```
## gcc ##
```

```
CC = gcc
```

デフォルトでは、C コンパイラには gcc を使用しています。環境によっては CC に cc を指定する必要があります。Makefile の修正が済みましたら、make コマンドを実行します。

```
% make
```

コンパイルが成功すれば、src ディレクトリに実行モジュール advshape、advtopology、topo_tool が作成されます。コンパイルが成功しない場合には、Makefile 中の CC、LIBS、CFLAGS のマクロ定義を環境に合わせて定義し直して下さい。CC は C コンパイラ、CFLAGS は C コンパイラに対するオプション、LIBS は共通のライブラリを指定します。

4.2 インストール

```
% make install
```

実行モジュール及びドキュメントは、

```
$(HOME)/ADVENTURE/bin、$(HOME)/ADVENTURE/doc/AdvShape
```

以下にインストールされる (デフォルトの場合)。

インストール先を変更したい場合は次のようにする。

```
% make install prefix=install_dir
```

install_dir には、インストール先を絶対パスで指定する。実行モジュール及びドキュメントは、*install_dir* 以下にインストールされる。また、ADVENTURE_Shape のモジュールは内部で ADVENTURE_Metis と ADVENTURE_Solid を実行しているため、両モジュールが実行できるようにパスを通しておいて下さい。

5 形状最適化

5.1 入力データ

advshape を実行するために、以下の 5 つの入力ファイルを用意します。

(1) 一体型 FEM 解析モデルファイル (拡張子 adv)

形状最適化を行うための一体型の FEM 解析モデルファイル (拡張子 adv) のことです。一体型 FEM 解析モデルファイルの作成についての詳細は、ADVENTURE_BCtool のマニュアルを参照して下さい。このモデルに対しての解析結果から感度 (形状勾配) を計算します。この感度は、次の形状拘束モデルを解析 (詳しくは、速度場解析といいます) するために使用されます。

(2) 一体型形状拘束モデルファイル (拡張子 adv)

この一体型形状拘束モデルは、感度の負値に比例した境界力を作用させたときの変位場 (速度場) を求めるために使用されます。このモジュールでは、この変位場を使用して形状の更新を行っています。一体型形状拘束モデルに与える変位境界条件には、最適化過程において形状が変更してほしくない条件を設定します。そして、一体型 FEM 解析モデルで変位境界条件、荷重境界条件を与えた同じ節点や面に対して、その法線方向の変位を拘束しなければなりません。このように設定しないと、理論的に最適解に到達しないからです。また、剛体運動が起こらないように変位境界条件を設定する必要があります。この変位場を求めるためにも、ADVENTURE_Solid を使用します。このファイルも同様、拡張子が adv の一体型です。このファイルは、一体型 FEM 解析モデルファイルとほとんど同様の方法で作成できます。両ファイルの相異点は、ADVENTURE_BCtool で行う境界条件の設定にあります。荷重境界条件は、一体型 FEM 解析モデルの計算で得られた感度の負値に比例した境界力を用いるため、ADVENTURE_BCtool では設定しません。

(3) ADVENTURE_Metis 用のシェルスクリプト (拡張子 sh)

advshape から ADVENTURE_Metis を実行するために、本モジュールではシェルスクリプトを使用します。このファイルの作成方法は、5.5.4 節を参照して下さい。

(4) ADVENTURE 実行スクリプト advsolid 用の設定ファイル (拡張子 conf)

advshape から ADVENTURE_Solid で線形弾性解析を実行するために、ADVENTURE 実行スクリプト advsolid 用の設定ファイルを使用します。コマンド advsolid には、パスを通しておいて下さい。advshape、advtopology とも有限要素法解析で得られる節点変位を使用して最適化を行います。そのため、必ず advsolid の出力データ指定オプションには "-- disp" を入力して下さい。この設定ファイルは、FEM 解析モデルと形状拘束モデルの解析を通して同一のものを使用しています。この設定ファイルの詳細は、ADVENTURE_Solid のマニュアルや 5.5.5 節を参考にして下さい。

(5) advshape 用の設定ファイル (拡張子 conf)

advshape の計算に必要なパラメータを設定するためのファイルです。書式は図 2 のようになります。力法 (Traction method)[2, 3, 4] では、形状更新に伴って内部節点も適当に移動するために、メッシュの歪みが少ないというメリットがあります。しかし、形状更新の繰り返しによりメッシュに歪みが蓄積される可能性があり、メッシュの歪みを抑える目的で、形状更新時の最大歪みが設定値 MAX_STR を越えないように形状更新量を決定しています。平均コンプライアンスの制約値 SUBJ_RATIO とは、初期形状における何パーセントの平均コンプライアンスで最適形状を求めるかを指定します。SUBJ_RATIO=1.0 の場合には、形状更新を通して平均コンプライアンスが一定になるように計算されます。

IT_MAX	30	←	最適化計算の最大繰り返し数
MAX_STR	0.3	←	形状更新時の最大歪み
SUBJ_RATIO	1.0	←	平均コンプライアンスの制約値
SUBJ_REL_ERROR	1.0E-4	←	制約値の許容相対誤差
OBJ_REL_ERROR	1.0E-4	←	体積の相対収束判定用

図 2: advshape 用の設定ファイルフォーマット

5.2 実行方法

```
% advshape [option] advmetis_sh advsolid_conf advshape_conf fem_model
rest_model data_dir
```

[*options*]

- advmetis_sh* : ADVENTURE_Metis 用のシェルスクリプトのファイル名
- advsolid_conf* : ADVENTURE 実行スクリプト *advsolid* 用の設定ファイル名
- advshape_conf* : ADVENTURE_Shape 用の設定ファイル名
- fem_model* : 一体型 FEM 解析モデルファイル名
- rest_model* : 一体型形状拘束モデルファイル名
- data_dir* : ADVENTURE_Solid 実行時の入出力データファイルのあるトップディレクトリ

5.3 入出力データ指定オプション

実行時に可能な入出力データ指定オプションは以下の通りです。"- model-file"、"- model-dir"、"result-file"、"result-dir" オプションは、ADVENTURE_Solid での入出力ファイル名の変更オプションと同じものです。ADVENTURE_Solid でのデフォルト値を使用しない場合には、advshape のオプションでも対応するオプション値を設定して下さい。このオプションを設定する場合には、ADVENTURE_Metis 用のシェルスクリプトのファイル、ADVENTURE_Solid 用の設定ファイルと advshape のオプションで異なるものを与えないように注意して下さい。

- - model-file *file*
- - model-dir *dir*
- - result-file *file*
- - result-dir *dir*
- - log *logfile*

画面出力される実行ログをファイル *logfile.log* に出力します。ここでいう実行ログとは、advshape のみが画面出力する最適化の各ステップにおいて体積と平均コンプライアンスを出力したものです。拡張子 *log* は自動的に *logfile* の後に追加されます。

- - output-shape *file* [*suboption*]

最適形状を一体型のファイル *file.F.adv* に出力します。*F* には最適計算が終了した時点での繰り返し数が入り、拡張子 *adv* は自動的に追加されます。この"- output-shape" オプションには、サブオプション"- interval"を指定することができます。ここで出力されるファイルは一体型のファイルですので、ADVENTURE_Visual で形状を確認するためには ADVENTURE_Metis を実行し

なければなりません。さらに、ADVENTURE_Solidを実行すれば有限要素法解析解が得られます。オプション”-output-shape”を指定しない場合は、デフォルトでadv_shape_*F*.advに形状が出力されます。*F*には最適計算が終了した時点での繰り返し数が入ります。

- --interval *num*

上記の”-output-shape”オプションのサブオプションです。これを指定すれば、最適化計算の*num*回おきに形状がファイル*file_N*.advに出力されます。*N*はファイルが出力される時点での繰り返し数が入ります。この”--interval”オプションは、”-output-shape”オプションの直後に指定しなければなりません。このオプションを指定した場合でも、最適形状に収束した場合または収束せず最適化計算の最大繰り返し数IT_MAXに達した場合には必ず形状が出力されます。

5.4 出力データ

出力されるデータは以下の3つです。

- 実行ログ (拡張子 log)

最適化の各ステップにおいて、体積と平均コンプライアンスを出力したものです。このオプションを指定しなければ、標準出力に対してのみ実行ログを出力します。

- 平均コンプライアンスを制約した下で線形弾性体の体積を最小化した形状 (一体型, 分割型)

最適化された形状は、一体型のファイルと分割型のファイルとして出力されます。

一体型のファイルは、デフォルトでadv_shape_*F*.advに出力されます。*F*には最適計算が終了した時点での繰り返し数が入ります。入出力データ指定オプションの-output-shape オプションでファイル名を指定した場合は、そのファイル名で出力されます。

分割型のファイルは、デフォルトではdata_dir/model/advhddm_in_*P*.advに出力されます。ここで、*P*は部分番号を示しています。これは分割型のファイルですので、ADVENTURE_Visualで確認できます。

- 最適形状における変位や応力などの解析結果 (分割型)

ADVENTURE 実行スクリプト advsolid 用の設定ファイル内で、出力データ指定オプションで設定した物理量が得られます。デフォルトではdata_dir/result/advhddm_out_*P*.advに出力されます。ここで、*P*は部分番号を示しています。これも、ADVENTURE_Visualで確認できます。

5.5 解析例

ここでは簡単な解析の実行例を示していきます。図3のような長方形形状のモデルを使用します。左端を完全固定し、右端の面に対して-1の分布荷重を負荷します。モデルの対称性より、図3の半分の $40 \times 20 \times 10$ のモデルを解析対象とします。

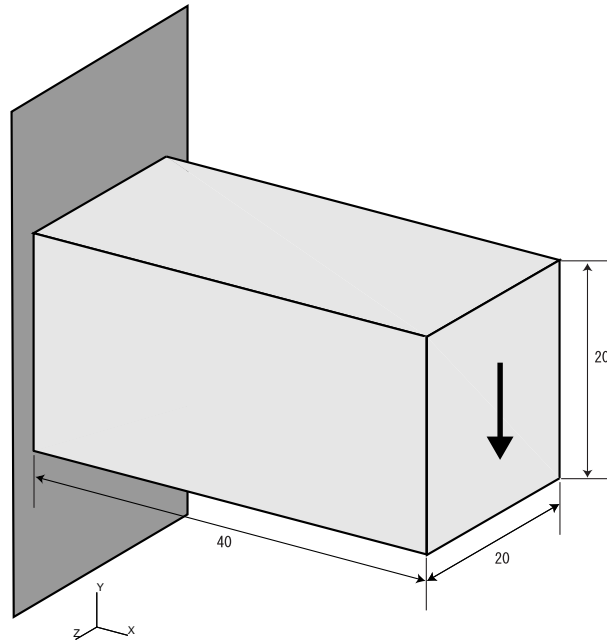


図 3: 長方形形状モデル

5.5.1 メッシュの表面の抽出

まず、テスト用のディレクトリを作成して下さい。以下の例題は全てこのディレクトリより行います。メッシュデータファイルを既に作成していますので、以下の場所にあるファイルをコピーします。

AdvShape-0.11b/sample_data の下にある
sample1.msh ... メッシュデータファイル

続いてメッシュ表面の抽出を行い、以下の4つのファイルを作成します。

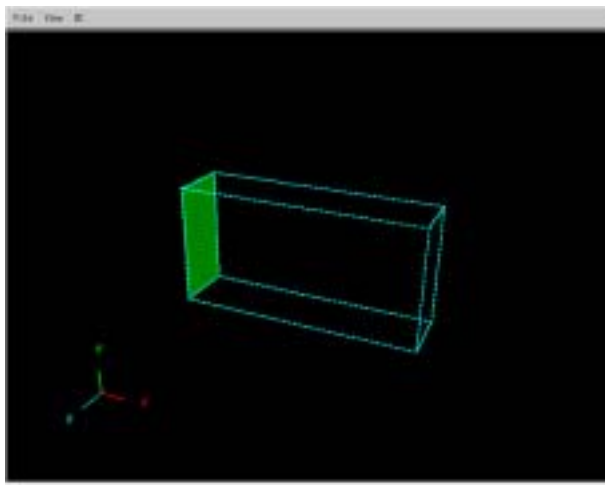
```
%msh2pch sample1.msh 3  
(2番目の引数"3"は、2面狭角が60度の場合です)  
出力ファイル  
sample1_3.fgr ... メッシュ表面データファイル  
sample1_3.pch ... メッシュ表面パッチファイル  
sample1_3.pcg ... 表面パッチグループデータファイル  
sample1_3.trn ... グローバルインデックスファイル
```

5.5.2 一体型 FEM 解析モデルの作成

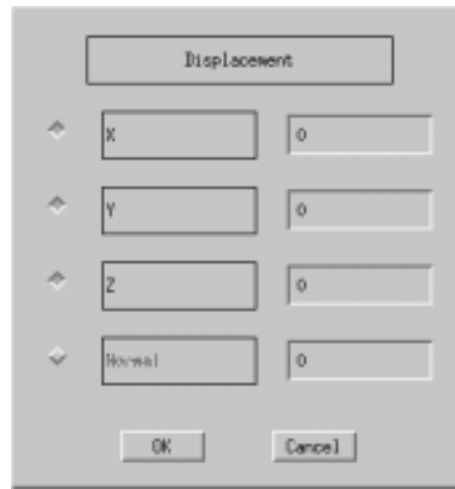
以下のように実行して GUI を起動します。

```
%bcGUI sample1_3.pch sample1_3.pcg
```

一体型 FEM 解析モデルの変位境界条件は、図4、5のように設定します。まず、図4(a)のように左端の面を選択し、図4(b)の設定ダイアログのように X、Y、Z 方向ともに変位を零に拘束 (完全固定) します。



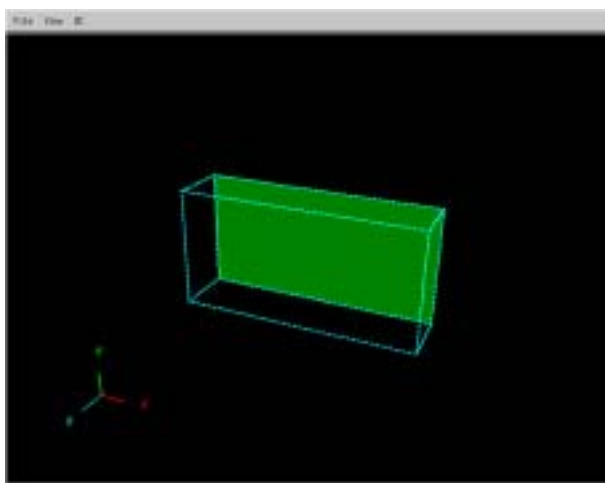
(a) 面の選択



(b) 設定ダイアログ

図 4: 変位境界条件の設定 (1)

図 3 の半分のモデルを解析対象としますので、図 5(a) で選択した面に対して、Z 方向の変位を拘束します。



(a) 面の選択



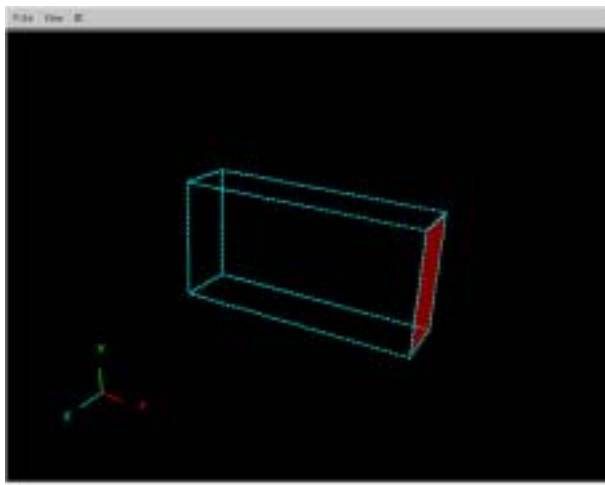
(b) 設定ダイアログ

図 5: 変位境界条件の設定 (2)

荷重境界条件は、図 6(a) で選択した面の Y 方向に対して -1 の分布荷重を与えます。
 以上のように境界条件を設定したらメニューより、File | Save Condition を選択しファイルに保存します。

出力ファイル

fem_model.cnd ... 一体型 FEM 解析モデル用の境界条件ファイル
 (ここではファイル名を fem_model.cnd とします)



(a) 面の選択



(b) 設定ダイアログ

図 6: 荷重境界条件の設定

```
fem_model.cnd
gravity 0 0 0
boundary 5
loadOnFaceGroup 3 0 1 -1
dispOnFaceGroup 0 0 2 0
dispOnFaceGroup 1 0 0 0
dispOnFaceGroup 1 0 1 0
dispOnFaceGroup 1 0 2 0
```

図 7: 境界条件ファイル

作成された境界条件ファイルは図7のようになります。

次に、一体型 FEM 解析モデルファイルを作成します。物性値ファイル material.dat が AdvShape-0.11b/sample_data の下にあるのでカレントディレクトリにコピーします。以下の通り実行すると1つのファイルが作成されます。

```
%makefem sample1.msh sample1_3.fgr fem_model.cnd material.dat fem_model.adv -t
sample1_3.trn
```

出力ファイル

fem_model.adv ... 一体型 FEM 解析モデルファイル

(5 番目の引数で指定したものです。ここではファイル名を fem_model.adv とします)

5.5.3 一体型形状拘束モデルの作成

一体型 FEM 解析モデルファイル作成同様、以下のように実行して GUI を起動します。

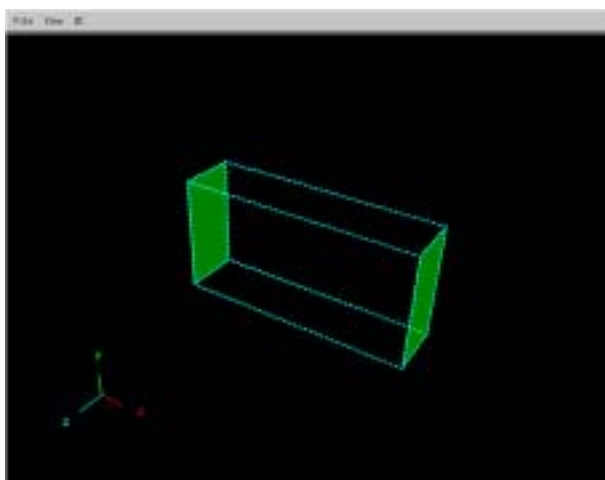
```
%bcGUI sample1_3.pch sample1_3.pcg
```

まず図 8 に示すように、左端と右端の面に対して垂直な X 方向の変位を拘束します。

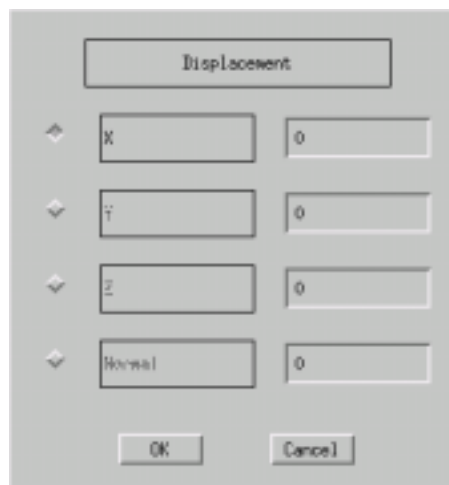
次に図 9 に示すように、上端と下端の面に対して垂直な Y 方向の変位を拘束します。

剛体運動を拘束するために、図 10 で選択した面に対して Z 方向の変位を拘束します。

以上のように境界条件を設定しメニューより、File | Save Condition を選択しファイルに保存します。

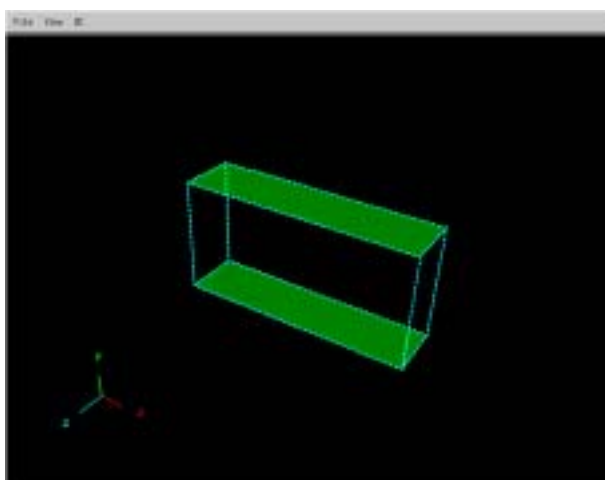


(a) 選択する面

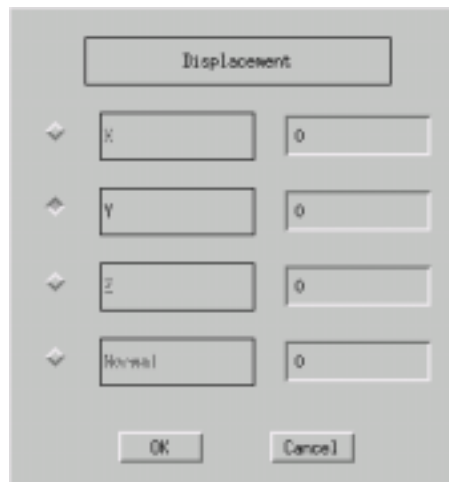


(b) 設定ダイアログ

図 8: 変位境界条件の設定 (1)

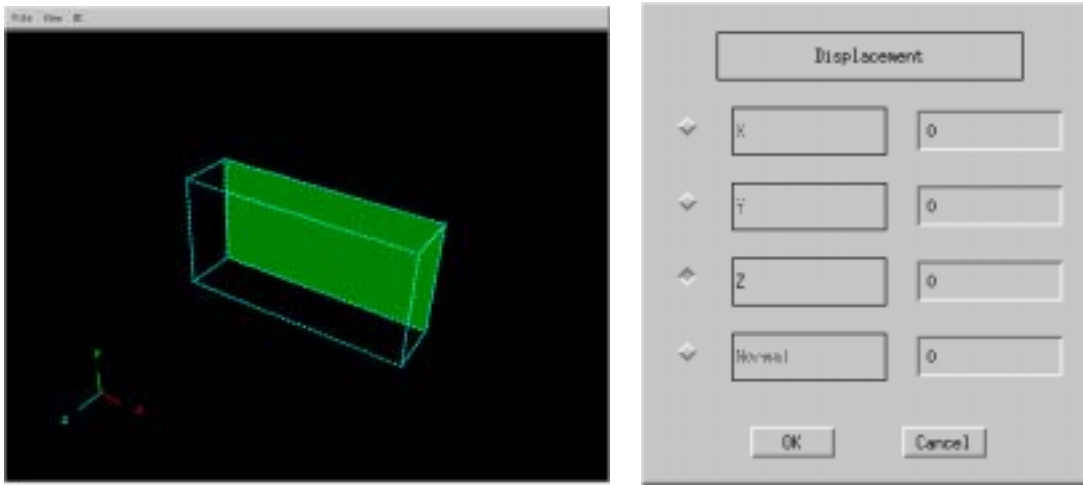


(a) 選択する面



(b) 設定ダイアログ

図 9: 変位境界条件の設定 (2)



(a) 選択する面

(b) 設定ダイアログ

図 10: 変位境界条件の設定 (3)

出力ファイル

rest_model.cnd ... 一体型形状拘束モデル用の境界条件ファイル
(ここではファイル名を rest_model.cnd とします)

```

gravity 0 0 0
boundary 5
dispOnFaceGroup 0 0 2 0
dispOnFaceGroup 1 0 0 0
dispOnFaceGroup 2 0 1 0
dispOnFaceGroup 3 0 0 0
dispOnFaceGroup 4 0 1 0
rest_model.cnd

```

図 11: 境界条件ファイル

作成された境界条件ファイルは図 11 のようになります。

次に、一体型形状拘束モデルファイルを作成します。以下の通り実行すると 1 つのファイルが作成されます。

```
%makefem sample1.msh sample1_3.fgr rest_model.cnd material.dat rest_model.adv -t
sample1_3.trn
```

出力ファイル

rest_model.adv ... 一体型形状拘束モデルファイル
(5 番目の引数で指定したものです。ここではファイル名を rest_model.adv とします)

5.5.4 ADVENTURE_Metis 用のシェルスクリプトの作成

シェルスクリプトの例を図 12 に示します (ここではファイル名は、advmetis.sh とします)。適時、御自分の環境に合わせて読み替えて下さい。このファイルの形式は、テキスト形式で構いません。このプログラムの内部では、/bin/sh を介してシェルスクリプトを実行しています。

8番目の引数の一体型解析モデルには、adventure_shape_temp_file.adv と設定しなければなりません。なぜなら、図 1 に示したように ADVENTURE_Shape では、最適化過程の各ステップで一体型 (拡張子 adv) のファイルを出力しており、そのファイル名を adventure_shape_temp_file.adv と固定しているためです。

複数行にわたる場合には、行末にバックスラッシュを書いて改行し、次の行に書き続けてください。

```
advmetis.sh  
mpirun -np 12 -machinefile machine /usr/local/Adventure/bin/adventure_metis \  
-ls metis.log adventure_shape_temp_file.adv . 12
```

図 12: ADVENTURE_Metis 用のシェルスクリプト

5.5.5 ADVENTURE 実行スクリプト advsolid 用の設定ファイルの作成

設定ファイルの例を図 13 に示します (ここではファイル名は、advsolid.conf とします)。適時、御自分の環境に合わせて読み替えて下さい。詳しい作成方法は、ADVENTURE_Solid のマニュアルをご覧ください。

5.5.6 advshape 用の設定ファイルの作成

設定ファイルの例を図 14 に示します (ここではファイル名は、advshape.conf とします)。ここでは、平均コンプライアンスの制約値は一定 (SUBJ_RATIO 1.0) に設定します。

5.5.7 実行

```
%advshape advmetis.sh advsolid.conf advshape.conf fem_model.adv rest_model.adv .
```

5.5.8 解析結果

初期形状と最適形状における節点相当応力分布図を図 15、16 に示します。図 16 の形状が、平均コンプライアンスを一定にしたときの体積を最小化したものです。最適化後の体積は、初期形状に比べて約 22%減少しました。初期解析モデルでは中立軸からの距離に比例して曲げ応力が増加するので、最適形状は応力分布を均一化するような I 型の形状となります (図 16(a) 参照)。また、荷重が負荷された右端付近は曲げ応力よりせん断応力が支配的になるので、最適形状は樽のような形状となります (図 16(b) 参照)。両者の節点相当応力分布を比較するとわかるように、最適形状における応力分布は全体に均一化されます。

```
#####
# Copyright (C) 2000, 2001, 2002 Shinobu Yoshimura, University of Tokyo, #
# the Japan Society for the Promotion of Science (JSPS) #
# All Rights Reserved #
#####
#
# Example of config file for the script "advsolid" to run solver
# Run like
# % advsolid -conf advsolid.conf

##### set parallel mode #####
# MODE=single
# MODE=parahddm
  MODE=para

##### program name of mpirun #####
MPIRUN=/usr/local/bin/mpirun

##### options for mpirun #####
MPIOPTS="-np 12 -machinefile machine"

##### set if you want save log to file #####
LOGFILE="run.log"

##### Options for AdvSolid #####
PROGOPTS="-solver bdd -result --disp --estr-n -no-result --estr"

##### Data directory to be analyzed #####
DATADIR=.
```

図 13: ADVENTURE 実行スクリプト advsolid 用の設定ファイル

```
IT_MAX      30
MAX_STR     0.3
SUBJ_RATIO  1.0
SUBJ_REL_ERROR 1.0E-4
OBJ_REL_ERROR 1.0E-4
```

図 14: advshape 用の設定ファイル

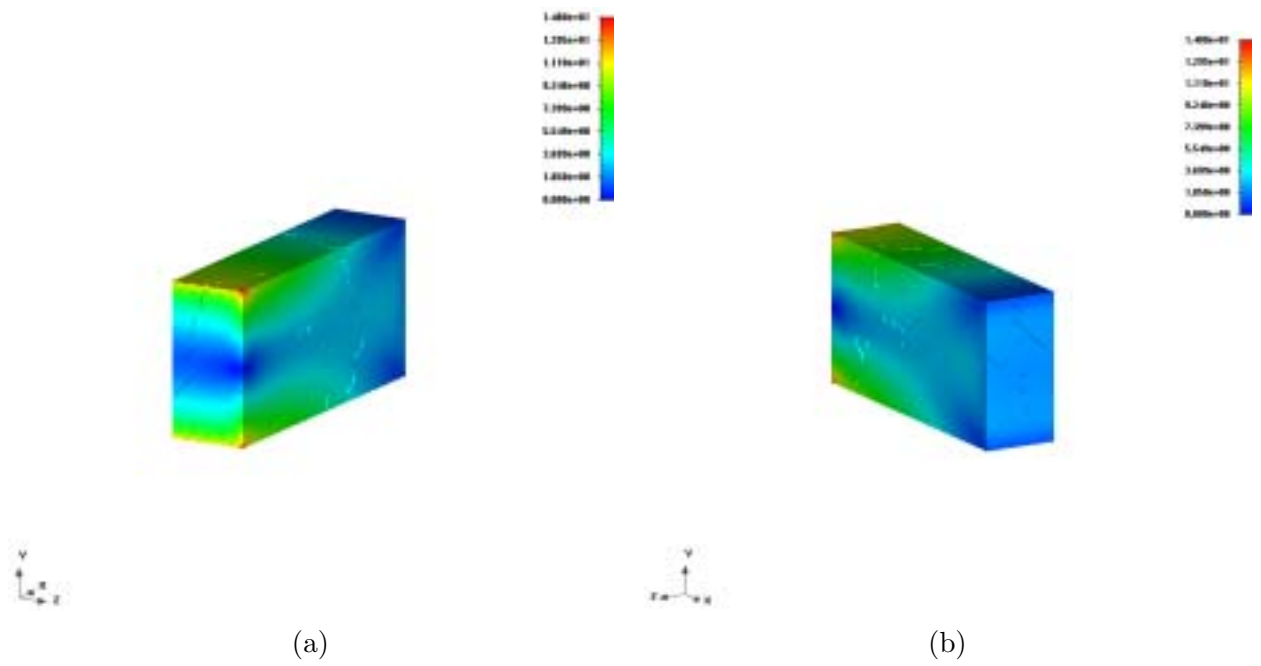


図 15: 初期形状における節点相当応力分布図

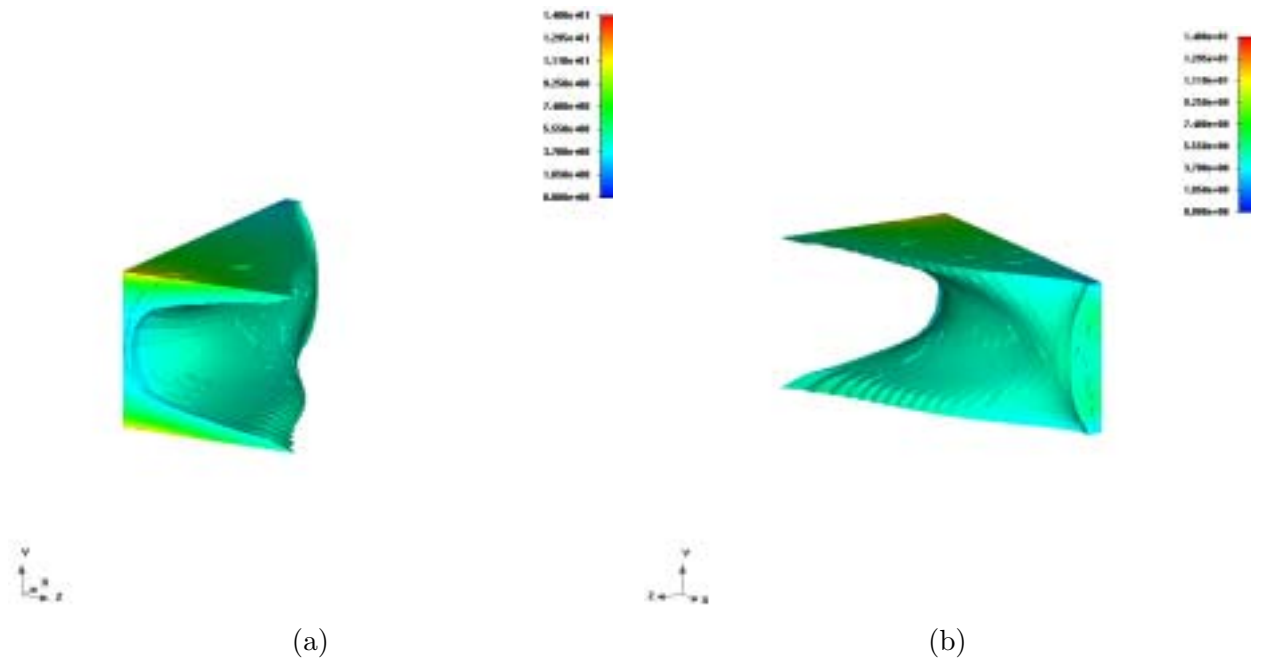


図 16: 最適形状における節点相当応力分布図

6 位相最適化

6.1 入力データ

advtopology を実行するために、以下の 4 つの入力ファイルを用意します。

- (1) 一体型 FEM 解析モデルファイル (拡張子 adv)
位相最適化を行うための一体型の FEM 解析モデルファイル (拡張子 adv) のことです。一体型 FEM 解析モデルファイルの作成については、ADVENTURE_BCtool のマニュアルを参照して下さい。
- (2) ADVENTURE_Metis 用のシェルスクリプト (拡張子 sh)
5.1 節と同様です。
- (3) ADVENTURE 実行スクリプト advsolid 用の設定ファイル (拡張子 conf)
5.1 節と同様です。
- (4) advtopology 用の設定ファイル (拡張子 conf)
advtopology の計算に必要なパラメータを設定するためのファイルです。書式は図 17 のようになります。

IT_MAX	25	←	最適化計算の最大繰り返し数
MOVE_LT	0.3	←	最適化計算における設計変数の変動幅
MASS	0.375	←	質量制約
SUBJ_REL_ERROR	1.0E-4	←	質量 (制約値) の許容相対誤差
OBJ_REL_ERROR	1.0E-4	←	平均コンプライアンスの相対収束判定用

図 17: advtopology 用の設定ファイルフォーマット

”MOVE_LIMIT”は、最適化過程における設計変数 (密度比) の変動幅です。 ($0 < \text{MOVE_LIMIT} \leq 1$) の範囲内で値を入力して下さい。通常は 0.3 を入力するようにして下さい。 ”MASS”は、質量の制約であり初期の設計領域の何パーセント質量で位相を求めらるかを入力します。 ($0 < \text{MASS} \leq 1$) の範囲内で値を入力して下さい。最適化の過程では、 ”MASS”で与えられた質量を相対誤差 ”SUBJ_REL_ERROR”の精度で一定に保つように計算されます。 ”OBJ_REL_ERROR”は平均コンプライアンスの収束判定に使用される相対誤差値です。

6.2 実行方法

```
% advtopology [options] advmetis_sh advsolid_conf advtopology_conf fem_model data_dir
```

[options] : advtopology に対する入出力データ指定オプション
advmetis_sh : ADVENTURE_Metis 用のシェルスクリプトのファイル名
advsolid_conf : ADVENTURE 実行スクリプト advsolid 用の設定ファイル名
advtopology_conf : advtopology 用の設定ファイル名
fem_model : 一体型 FEM 解析モデルファイル名
data_dir : ADVENTURE_Solid 実行時の入出力データファイルのある
トップディレクトリ

6.3 入出力データ指定オプション

実行時に可能な入出力データ指定オプションは以下の通りです。”- model-file”、”- model-dir”、”result-file”、”result-dir”オプションは、ADVENTURE_Solid での入出力ファイル名の変更オプションと同じものです。ADVENTURE_Solid でのデフォルト値を使用しない場合には、advshape のオプションでも対応するオプション値を設定して下さい。このオプションを設定する場合には、ADVENTURE_Metis 用のシェルスクリプトのファイル、ADVENTURE_Solid 用の設定ファイルと advshape のオプションで異なるものを与えないように注意して下さい。

- - model-file *file*
- - model-dir *dir*
- - result-file *file*
- - result-dir *dir*
- - log *logfile*

画面出力される実行ログをファイル *logfile.log* に出力します。ここでいう実行ログとは、adv-topology のみが画面出力する最適化の各ステップにおいて平均コンプライアンスと質量を出力したものです。拡張子 log は自動的に *logfile* の後に追加されます。

- - output-topology *file* [*suboption*]

最適位相を一体型のファイル *file.F.adv* に出力します。*F* には最適計算が終了した時点での繰り返し数が入り、拡張子 *adv* は自動的に追加されます。この”- output-topology”オプションには、サブオプション”-- interval”を指定することができます。ここで出力されたファイルを、topo_tool で実行した後さらに ADVENTURE_Metis を実行してはじめて ADVENTURE_Visual で位相を確認することができます。topo_tool については、6.4 節を参照して下さい。オプション”- output-topology”を指定しない場合は、デフォルトで *adv_topology.F.adv* に位相が出力されます。*F* には最適計算が終了した時点での繰り返し数が入ります。

- -- interval *num*

上記の”- output-topology”オプションのサブオプションです。これを指定すれば、最適化計算の *num* 回おきに位相がファイル *file.N.adv* に出力されます。*N* はファイルが出力される時点での繰り返し数が入ります。この”-- interval”オプションは、”- output-topology”オプションの直後に指定しなければなりません。このオプションをしても、最適位相に収束した場合または収束せず最適化計算の最大繰り返し数 *IT_MAX* に達した場合には必ず位相が出力されます。

6.4 topo_tool

topo_tool は、ある閾値以下の密度比を有する要素を消去するためのツールです。閾値には、 $[0 < threshold_value < 1]$ の値を入力し、入出力ファイルには、拡張子 *adv* を付けて入力して下さい。出力ファイル *output_data* に対して ADVENTURE_Metis を実行するとにより、ADVENTURE_Visual で位相を確認することができます。実行方法は以下の通りです。

```
% topo_tool    input_data output_data threshold_value
input_data     入力ファイル名 (拡張子 adv)
output_data    出力ファイル名 (拡張子 adv)
threshold_value  閾値
```

6.5 出力データ

出力できるデータは以下の2つです。

- 実行ログ (拡張子 log)
最適化の各ステップにおける、平均コンプライアンスと質量を出力したものです。このオプションを指定しなければ、標準出力に対してのみ実行ログを出力します。
- 質量一定の制約の下での平均コンプライアンスを最小化した位相 (一体型)
最適位相は、一体型のファイル (拡張子 adv) として出力されます。-output-topology オプションを使用しなかった場合は、デフォルトのファイル名 `adv_topology_F.adv` として出力されます。*F* には最適計算が終了した時点での繰り返し数が入ります。ここで出力されたファイルを、`topo_tool` で実行した後さらに `ADVENTURE_Metis` を実行してはじめて `ADVENTURE_Visual` で位相を確認することができます。`topo_tool` については、6.4 節を参照して下さい。

6.6 解析例

ここでは、図 18 のようなモデルを使用します。要素は 6 面体 1 次要素を使用し、 $40 \times 25 \times 1$ の 1000 要素で分割しています。設計条件は、図 18 に示すように左端を完全固定し、右端の中央で z 方向に -1 の荷重を負荷しています。

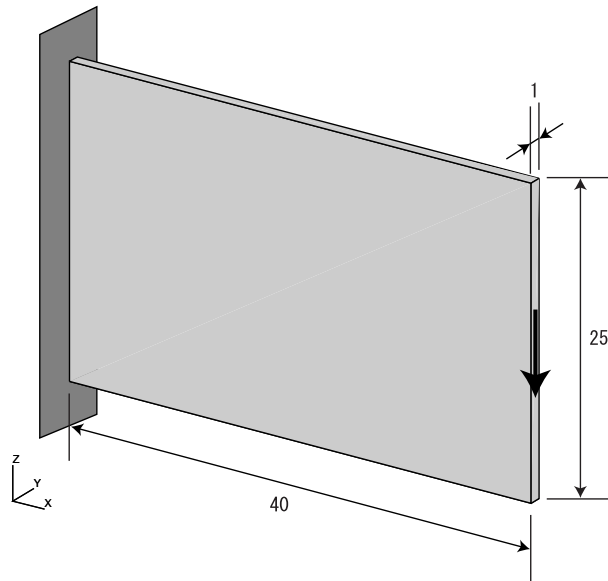


図 18: 設計領域と設計条件

6.6.1 一体型 FEM 解析モデルの作成

既に作成した一体型 FEM 解析モデルがありますので、それを利用して下さい。アーカイブ解凍後にできるトップディレクトリ直下の sample_data ディレクトリにあります (ファイル名は、sample2.adv)。

6.6.2 ADVENTURE_Metis 用のシェルスクリプトの作成

5.5.4 節と同様の要領で作成します。

6.6.3 ADVENTURE 実行スクリプト advsolid 用の設定ファイルの作成

5.5.5 節と同様の要領で作成します。

6.6.4 advtopology 用の設定ファイルの作成

設定ファイルの例を図 19 に示します (ここではファイル名は、advtopology.conf とします)。ここでは、質量制約は 37.5% に設定します。

6.6.5 実行

```
%advtopology advmetis.sh advsolid.conf advtopology.conf sample2.adv .
```

```
IT_MAX          25
MOVE_LT         0.30
MASS            0.375
SUBJ_REL_ERROR  1.0E-4
OBJ_REL_ERROR   1.0E-4
```

図 19: advtopology 用の設定ファイル

6.6.6 topo_tool の実行

ここでは、最適化の繰り返し数が 22 回で収束したものとします。閾値を 0.1、出力ファイルを optimum.adv として、topo_tool を実行します。

```
%topo_tool adv_topology-22.adv optimum.adv 0.1
```

これより、密度比が 0.1 以下の要素を消去したものが optimum.adv に出力されます。

6.6.7 ADVENTURE_Metis の実行

最適位相を ADVENTURE_Visual で表示するために、6.6.6 節で作成した一体型の optimum.adv に対して ADVENTURE_Metis を実行します。

6.6.8 解析結果

ADVENTURE_Visual で位相を出力したものが図 20、21 です。



図 20: 最適位相

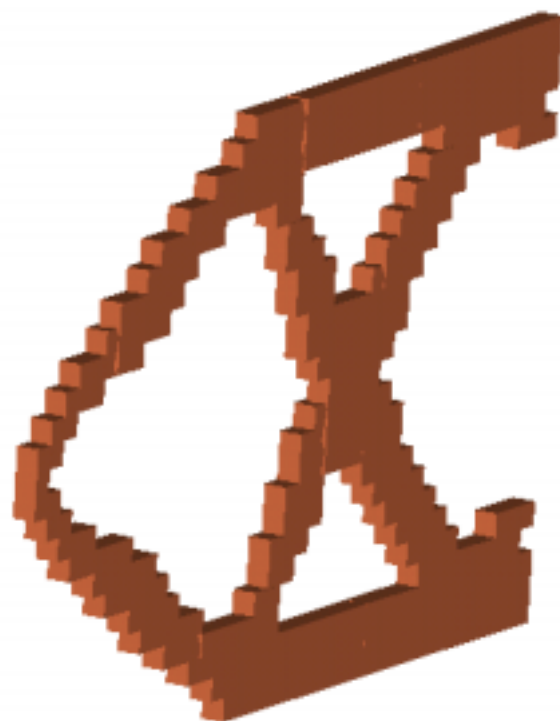
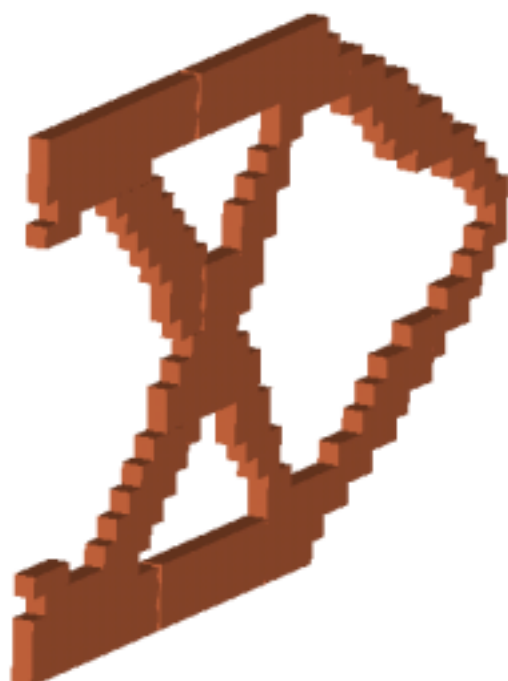


図 21: 視点を変えての表示

参考文献

- [1] ADVENTURE Project Home Page : <http://adventure.q.t.u-tokyo.ac.jp/>
- [2] Azegami, H. (1994), A Solution to Domain Optimization Problems, Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers (JSME), Series A, Vol.60, pp.1479-1486 (in Japanese).
- [3] Azegami, H., Shimoda, M., Katamine, E. and Wu, Z. C. (1995), A Domain Optimization Technique for Elliptic Boundary Value Problems. In Hernandez, S., El-Sayed M. and Brebbia, C. A. editors, Computer Aided Optimization Design of Structures IV, Structural Optimization, Computational Mechanics Publications, Southampton, pp.51-58
- [4] Azegami, H. and WU, Z. C. (1996), Domain Optimization Analysis in Linear Elastic Problems (Approach using traction method), JSME International Journal, Ser.A, Vol.39, pp.272-278.
- [5] Fujii D., Suzuki K. and Ohtsubo H, Topology optimization of structures using the voxel finite element method, Internet Transactions of The Japan Society for Computational Engineering and Science (JSCES), Paper No.20000010 (2000) (in Japanese), <http://homer.shinshu-u.ac.jp/jscs/trans/trans2000/No20000010.pdf>