

「非線形有限要素法」

小社刊「非線形有限要素法」掲載のプログラムのソースコードが下記の原著出版社のページからダウンロードできます。左側にある“Supplementary Material”の“Click here to access”をクリックすると、ダウンロードページに飛びます。ご使用の OS に対応するソースコードをダウンロード・解凍のうえ、ご使用ください。

ソースコードダウンロードページ:

<http://www.wiley.com/legacy/wileychi/desouzaneto/>

なお、解凍したフォルダ内にある“README.txt”を日本語に訳した、下記のプログラムの解説書もご覧ください。

```
*
*
*   有限要素解析プログラム  H Y P L A S   2.0   解説書
*   -----
*
* HYPLAS は微小/有限ひずみ弾塑性体のための陰解法有限要素解析プログラム
* で、二次元問題と軸対称問題に対応しています。
*
* HYPLAS v2.0 は以下の書籍の内容に基づいて作成されています。
* EA de Souza Neto, D Peric & DRJ Owen. Computational Methods for
* Plasticity: Theory and Applications. Wiley, Chichester, 2008.
* (www.wiley.com/go/desouzaneto)
* <日本語版>
* 寺田賢二郎 (監訳). 非線形有限要素法 -弾塑性解析の理論と実践-.
* 森北出版, 2012.
*
* Copyright (c) 1998-2008 EA de Souza Neto, D Peric, D. R. J. Owen
* -----
* 最終更新日: 2008 年 10 月 18 日
```

```

*                                                                    *
* プログラムは次のディレクトリに設置してください。                *
* ../HYPLAS_v2.0                                                    *
*****
*                                                                    *
*                       重 要                                        *
*                                                                    *
* プログラムをコンパイル, 実行する前に, 以下の 0 節から 3 節を注意深 *
* く読んでください。                                              *
*                                                                    *
* 著者らは, このファイルで述べている使用上の注意が全てのオペレー *
* ション・システムで有効であることを保障しません。 以下の使用上の *
* 注意にしたがってのプログラム実行も, ユーザー自身のリスクの下で *
* 行ってください。                                              *
*                                                                    *
*                                                                    *
* バグレポート: バグを見つけた方は下記のアドレスへ知らせてください。 *
*                                                                    *
*                       hyplas\_v2.0@live.co.uk *
*                                                                    *
* 著者の個人 e メールアドレスへ送っていただいてもお答えしません。 *
*****

```

このファイルは以下のセクションから構成されています:

- 0. 著作権宣言文と免責事項
 - 0. (a) 著作権宣言文
 - 0. (b) 免責事項
 - 0. (c) 使用条件
- 1. イントロダクション
 - 1. (a) 移植について
- 2. HYPLAS のコンパイルと実行
 - 2. (a) メモリー必要量
 - 2. (b) 新しくコンパイルされた実行プログラムのテスト

3. HYPLAS のツリー図
4. ソースコードとテキストの相互関係
5. HYPLAS のエラーメッセージ
6. HYPLAS についての追記事項

0. 著作権宣言文と免責事項

=====

0. (a) 著作権宣言文

本プログラムは個人的な目的のみで使用してください。いかなる事情においても書面による事前の著作権保有者の承諾なしには本プログラム(オリジナル版, および, これに修正を加えたソースコード, 実行ファイル, その他の関連ファイルを含む)の販売は全体・一部を問わず, 許可しません。

0. (b) 免責事項

配布する本プログラム(ソースコード, 実行ファイル, その他の関連ファイルを含む)には, 計算の目的に対する適用性に関する保証に限らず, どのような類いの保証もありません。特に, 本プログラムでエラーが出ないということは全く保証できません。本プログラム(または, 誰かによって修正が加えられたもの)の実行は全て実行者のリスクの下で行ってください。また, 本プログラムによって得られた結果が目的に適していることは全く保証できません。どのような状況においても, 著者や著作権保持者は本プログラムの使用によって発生したいかなる損害や(データの損失や破損, プログラムの故障などによって)プログラムが使用できなくなることに對して一切責任を負いません。

0. (c) 使用条件

以上の免責事項を完全に理解し、同意した上で、本プログラムは使用してください。これらの使用条件に同意できない、もしくは、わずかでも理解できていない場合は使用しないでください。

1. イントロダクション

=====

HYPLAS は微小/有限ひずみの弾塑性問題に対応した有限要素解析コードです。HYPLAS に実装されている多くの手続きは以下の書籍（以下、本書）で詳しく説明されています。

EA de Souza Neto, D Peric & DRJ Owen. Computational Methods for Plasticity: Theory and Applications. Wiley, Chichester, 2008
(www.wiley.com/go/desouzaneto).

<日本語版>

寺田賢二郎 (監訳). 非線形有限要素法 -弾塑性解析の理論と実践-. 森北出版, 2012.

1. (a) 移植について

HYPLAS は標準的な ANSI FORTRAN 77 を用いてコーディングされています。以下では、標準的な ANSI FORTRAN 77 の例外的な使用方法のみを説明します：

以下の構文は、HYPLAS のデータベースファイル (common ブロックとグローバル変数) に含まれる多くのルーチンに用いられています。

```
INCLUDE '<include_file_name>'
```

サブルーチン“ERRPRT” (file ../HYPLAS_v2.0/src/GENERAL/errprt.f) では、以下の構文を使用しています。この構文は環境変数 HYPLASHOME の名前を文字属性の HYPLASHOME に変換します。

```
CALL GETENV('HYPLASHOME',HYPLASHOME)
```

この構文は標準的な ANSI FORTRAN 77 に準じていないものの、現在使用可能なほとんどの FORTRAN 77 で使用できるようです。

2. HYPLAS のコンパイルと実行

=====

HYPLAS のソースコードは(../HYPLAS_v2.0/ をカレントディレクトリとすると)ディレクトリ ../HYPLAS_v2.0/src/ とそのサブディレクトリに保存されます。実行ファイルの作成のために、次の FORTRAN ソースファイルをコンパイルする必要があります：

```
../HYPLAS_v2.0/src/hyplas.f と ../HYPLAS_v2.0/src/*/*.f
```

環境変数 HYPLASHOME が設定されるはずのディレクトリ ../HYPLAS_v2.0/bin に実行可能な HYPLAS を保存することを推奨します。システム環境変数の設定方法は以下を参照してください。

WINDOWS (R) システム

Microsoft Windows(R) システムでは、Microsoft Visual Studio(R) に統合されている Intel Visual Fortran Compiler(R) を用いて、HYPLAS をコンパイルできます。ここでは、以上で述べた全ての FORTRAN ソースファイルと以下の include ファイルを含むプロジェクトを作成する必要があります。

```
.. ¥HYPLAS_v2.0¥src¥*.INC
```

Windows XP システムでは、環境変数 HYPLASHOME は以下のように設定します：

1. ファイルマネージャーを開く。
2. “マイコンピュータ”アイコンを右クリックする。
3. メニュー内の“プロパティ”を選択する。
4. “システムプロパティ”のウィンドウが開くので、“アドバンス”タブを選択する。
5. “アドバンス”タブ上の“環境変数”ボタンをクリックする。
6. “環境変数”のウィンドウが開くので、“システム変数”の項目中の“新規作成”ボタンをクリックする。
7. “新規システム変数”のウィンドウが開くので、“変数名”と“変数値”それぞれに HYPLASHOME とディレクトリ..¥HYPLAS_v2.0¥bin のパス名を追加する。
8. ウィンドウの“OK”を押す。
9. 次にコンピュータを再起動すれば、この変数が現在のパスにセットされる。必要に応じて、HYPLAS はエラーメッセージ ERROR. RUN を出力します。

UNIX/LINUX システム

C シェルを用いた UNIX/LINUX オペレーションシステムでは、たとえば、環境変数 HYPLASHOME は以下のコマンドを用いて設定されます：

```
setenv HYPLASHOME <path>
```

ここで、<path> にはディレクトリ ../HYPLAS_v2.0/bin を記述します。

g77 のような FORTRAN 77 コンパイラを用いてディレクトリ ../HYPLAS_v2.0/src から HYPLAS をコンパイルするために、以下のコマンドを用います：

```
g77 -o ../bin/hyplas hyplas.f */*.f
```

実行ファイル“HYPLAS”は環境変数 HYPLASHOME 内で設定した、ディレクトリ ../HYPLAS_2.0/bin 内に保存されます。

また、HYPLAS の実行ファイル作成のために提供されている Makefile を用いることもできます (必要に応じて修正してください)。

重要: HYPLAS の実行ファイルの作成前に、以下の 2. (a) 節と 2. (b) 節を読んでください。

2. (a) メモリー必要量

HYPLAS のメモリー必要量は以下のファイルで設定する配列のパラメータに依存します:

```
../HYPLAS_v2.0/src/ ELEMENTS. INC  
                    GLDBASE. INC  
                    MATERIAL. INC  
                    MAXDIM. INC
```

ELEMENTS. INC, GLDBASE. INC, MATERIAL. INC には実装されている有限要素や材料に関連するパラメータが含まれています。新しい要素や材料モデル、解析タイプを導入する場合はこれらを変更する必要がありますが、プログラム構造やソースコードを完全に理解していなければ、これらのパラメータは決して修正してはいけません!

一般的なユーザーが安全に変更できるのは以下のファイルだけです。

MAXDIM. INC

このファイルは HYPLAS によって解析される問題の配列の最大許容量に関するパラメータを含みます。これらのパラメータや節点、要素、要素グループなどの最大数を含みます。必要に応じて、HYPLAS をコンパイルする前に、これらのパラメータを問題の規模に適した値に変更してください。

2. (b) 新しくコンパイルされた実行プログラムのテスト

無事に HYPLAS のソースコードをコンパイルし、実行ファイルを作成できたならば、次のステップは HYPLAS が問題なく動作することを確認するためのいくつかのテストを実行しましょう。このプロセスは次のように進めてください：

ディレクトリ `../HYPLAS_v2.0/book_examples/data_files`

に次のような本書内で説明しているベンチマーク問題のデータファイルがあります。

`<name>.dat`

対応するベンチマーク問題の結果ファイルは次のディレクトリにあります。

`../HYPLAS_v2.0/book_examples/result_files`

このディレクトリには次のような検証済みの環境で現行の HYPLAS によって作成された結果ファイルがあります。

`<name>.res`

これらのファイル名は対応する計算例が説明されている本書の節番号で始まっています。たとえば、ファイル `14_9_2_tresca.dat` と `14_9_2_tresca.res` は本書の 14.9.2 節で説明されている問題です。

HYPLAS をコンパイルした後、HYPLAS がお使いの計算機で問題無く動作することを確認するために、これらの計算例の入力ファイルを用いてプログラム HYPLAS を実行し、新たに作成された結果ファイルと結果ファイルディレクトリ中の同じファイル名のベンチマーク結果ファイルと比較してください。計算例の実行には、HYPLAS を実行し、拡張子を含む対応した入力ファイルの名前をキーボードで入力してください。新たに作成された計算結果と対応するベンチマーク結果 `<name>.res` ファイルとの比較には、以下の手続きにしたがってください：

1. MICROSOFT WINDOWS システム - ソフトウェア "ExamDiff" を用いる

と簡単にできます (version 1.8 では, 作業は簡単で“View”とオプション“Show Differences Only”を選択するだけです).

2. UNIX/LINUX システム - シェルウィンドウで“diff”コマンドを使ってください (スペースを無視するオプションを設定してください). シェルスクリプトが全てのベンチマークされた計算例に対して, この作業 (HYPLAS の実行や結果ファイルとの差異確認を含む) を自動的にを行います.

重要:

新たに作成された結果ファイルとこれらのベンチマークされた計算結果ファイルにおいて, 許容できる差異は, 実行ファイルのコンパイルに使用されたメモリー容量に関するパラメータ (これらのパラメータは結果ファイルのはじめに記入される) と数値的な“丸め誤差” (計算機システムの精度に依存する非常に小さな値である) のみである.

また, HYPLAS は本書の計算例を全てカバーしません. したがって, このテストはあらゆる計算が適切に実行できることを保証するものではありません.

3. HYPLAS のディレクトリ・ツリー図

=====

3. (a) 概要

```
../ HYPLAS_v2.0/  bin/

                        book_examples/  data_files/
                        result_files/

                        man/             html/
```

```
src/          CRYSTAL/
              DAMAGE/
              DAMAGED_ELASTIC/
              DRUCKER_PRAGER/
              ELASTIC/
              ELEMENTS/
              GENERAL/
              MATERIALS/
              MATHS/
              MOHR_COULOMB/
              OGDEN/
              TRESCA/
              VON_MISES/
              VON_MISES_MIXED/
```

3. (b) 説明

プログラム HYPLAS のツリーを以下で説明します：

../HYPLAS_v2.0/ (ルートディレクトリ)

このディレクトリは HYPLAS のルートディレクトリであり、ツリー図の
起点です。

../HYPLAS_v2.0/bin/

このディレクトリはほとんどの HYPLAS のエラー/警告メッセージが出力
される ERROR.RUN ファイルを含みます。

重要：環境変数 HYPLASHOME は本ディレクトリに設定されるべきです。
そうでなければ、必要なときにエラー/警告メッセージを確認できませ

ん.

また, HYPLAS の実行ファイルをこのディレクトリに保存することを推奨します.

../HYPLAS_v2.0/book_examples/

このディレクトリは以下のようなサブディレクトリを含みます:

../HYPLAS_v2.0/book_examples/data_files

../HYPLAS_v2.0/book_examples/result_files

詳細は上の 2. (b) 節を参照してください.

../HYPLAS_v2.0/man/

このディレクトリは以下のような HYPLAS のドキュメント/マニュアルを含みます:

input_man.txt - ASCII 形式による HYPLAS の入力データの
簡単なマニュアル;

hyplas_calltree.txt - ASCII 形式によるフロー図を含みます.
Note: このフロー図に function サブプログラムの呼び出しは含まれません;

サブディレクトリ:

../HYPLAS_v2.0/man/html

このディレクトリは HTML フォーマットの Fortran ソースコードと HYPLAS プログラム全体のマニュアルを含みます. 独立変数リストに含まれる function サブプログラムの説明を含むマニュアル

は HTML フォーマットのソースコードの対応箇所へリンクされています。これによってユーザーはウェブブラウザを用いて HYPLAS のソースコードを調べることができます。メインプログラムをはじめのために、hyplas.html をウェブブラウザで開いてください。この機能はプログラム HYPLAS の流れを理解するために役立つでしょう。

../HYPLAS_v2.0/src/

このディレクトリとそのサブディレクトリには、HYPLAS の Fortran ソースコードが入っています。ソースコードは標準的な以下のような名前のファイルです：

<procedure_name>.f

ここで、ファイル名の <procedure_name> はサブルーチン、function サブプログラムなどの手続き内容を表します。HYPLAS のメインプログラムのソースコードは以下のファイルです。

hyplas.f

HYPLAS のデータベース (COMMON ブロック、配列設定変数、他のグローバルパラメータ)は、このディレクトリ中にある以下の“include ファイル”で設定します。

ELEMENTS. INC

GLDBASE. INC

MATERIAL. INC

MAXDIM. INC

加えて、このディレクトリは UNIX/LINUX システムで HYPLAS をコンパイルするための“Makefile”を含みます。

../HYPLAS_v2.0/src のサブディレクトリについて：

- ../HYPLAS_v2.0/src/CRYSTAL
HYPLAS に実装されている有限ひずみ結晶塑性モデルに関する
ソースファイル
- ../HYPLAS_v2.0/src/DAMAGE
Lemaitre 延性損傷モデルに関するソースファイル
- ../HYPLAS_v2.0/src/DAMAGED_ELASTIC
クラック閉口を伴う弾性損傷モデルに関するソースファイル
- ../HYPLAS_v2.0/src/DRUCKER_PRAGER
Drucker-Prager 塑性モデルに関するソースファイル
- ../HYPLAS_v2.0/src/ELASTIC
線形弾性モデル(有限ひずみ問題では Hencky モデル)に関する
ソースファイル
- ../HYPLAS_v2.0/src/ELEMENTS
要素に関するソースファイル
- ../HYPLAS_v2.0/src/GENERAL
一般的な手続きに関するソースファイル
- ../HYPLAS_v2.0/src/MATERIALS
材料インターフェイスに関するソースファイル
- ../HYPLAS_v2.0/src/MATHS
数式処理に関するソースファイル
- ../HYPLAS_v2.0/src/MOHR_COULOMB
Mohr-Coulomb 塑性モデルに関するソースファイル
- ../HYPLAS_v2.0/src/OGDEN
Ogden 超弾性モデルに関するソースファイル
- ../HYPLAS_v2.0/src/TRESCA

Tresca 塑性モデルに関するソースファイル

../HYPLAS_v2.0/src/VON_MISES

等方硬化則を用いた von Mises 塑性モデルのソースファイル

../HYPLAS_v2.0/src/VON_MISES_MIXED

等方/移動混合硬化則を用いた von Mises 塑性モデルのソース
ファイル

4. ソースコードと本書の相互関係

=====

本書では、プログラムに実装している手続きの説明において、HYPLAS のサブプログラムをしばしば参照しています。読者は本書のインデックスを参照してください。

また、そのコードに関連する節、図、ボックスなどについて、HYPLAS ソースコード中に多くのコメントを加えました。そのような参照は“REFERENCE:” というワードの後にコメント行として表示しています。このワードを検索することでルーチンと本書の相互関係を知ることができます。

NOTE: “REFERENCE:”のコメント行で他の本書や論文を引用していることもあります。

5. HYPLAS のエラーメッセージ

=====

HYPLAS では、多くのエラー/警告メッセージは ASCII 形式でファイル ERROR.RUN (HYPLASHOME ディレクトリ - ../HYPLAS_v2.0/bin)に出力されます。そのようなエラー/警告メッセージは標準出力(コンピュータ画面上)と結果ファイルの両方に特定コード(たとえば、ED0015)として出力されます。ソースコード中で、そのメッセージが扱われている場所を探したければ、特定コードに対応するメッ

ページを HYPLAS のソースコード全体に対して検索してください。

6. HYPLAS についての追記事項

=====

6. (a) プログラムの計算効率向上

この節は HYPLAS による数値解析の実行を高速化したい方のみを対象とします。

本書中で述べていますが、本プログラムは主に本書内で説明されている計算手法やアルゴリズムの計算機への実装(特に、構成モデルと要素)をわかりやすく表現するために、設計されており、計算効率を考えて設計されているわけではありません(本書の 5.1.2 節を参照)。

コードの計算速度に興味がある方のために、いくつかの有用な情報を紹介します。以下で示す方法はソースコードの修正を必要とし、十分に有限要素解析のプログラミングの経験がある読者向けです：

(i) 高速な線形連立方程式ソルバーの利用

これはかなりの計算効率の向上が期待できる方法です。サブルーチン FRONT (ファイル ../HYPLAS_v2.0/src/GENERAL/front.f) で適用されているオリジナルのフロントル法は省メモリーのために設計されています。近年では、保存メモリーの削減(特に、大規模問題の解析において重要となる)に加えて、線形連立方程式の計算の高速化に注目した多くの手法が提案されています。これらのいくつかはオリジナルのフロントル法を拡張や修正したものです。いくつかの手法は

LAPACK (Linear Algebra PACKage - <http://www.netlib.org/lapack>)

や

HSL ライブラリ (<http://www.cse.cse.scitech.ac.uk/nag/hsl>)

から利用できます。高速化に興味のある読者には、現在のソルバーFRONT をより高速なソルバーに置き換えることを推奨します。

FRONT の計算時間は現バージョンの HYPLAS では、与えられたメッシュに対する自由度の番号付けに依存するシステムのフロント幅に直接関連付けられます。FRONT におけるフロント幅の最適化（フロント幅が最小になるように自由度を再配列する）の導入は計算時間の短縮に有効です。オリジナルの節点番号が非常に大きなフロント幅となってしまうような大規模問題において、そのような手法は特に効果的です。

(ii) 材料モデルの計算について

ここでは、前に紹介した線形連立方程式に対する方法ほど効果的ではありませんが、いくつかの材料モデルの計算時間に作用する方法を紹介します。

HYPLAS において、いくつかの材料モデルは計算方法を工夫することで、いくらか高速化できます。たとえば、主応力場で応力更新が行われる等方モデル (Tresca 塑性モデルや Mohr-Coulomb 塑性モデル - ルーチン SUTR や SUMC, ファイル ../HYPLAS_v2.0/src/TRESCA/sutr.f や ../HYPLAS_v2.0/MOHR_COULOMB/sumc.f) において、状態量更新ルーチンにおける応力の固有値分解は整合接線オペレータの計算においても同じ計算が繰り返されます (Tresca 塑性モデルや Mohr-Coulomb 塑性モデルでは、ファイル ../HYPLAS_v2.0/src/TRESCA/cttr.f や ../HYPLAS_v2.0/src/MOHR_COULOMB/ctmc.f を参照)。状態量の更新時に応力の固有射影テンソルを保存し、整合接線オペレータの計算で参照することで、計算時間を削減できます。これは比較的簡単に導入できます。

結晶塑性モデルのための指数関数射影の計算と微分 (ルーチン EXPMAP, ファイル ../HYPLAS_v2.0/src/CRYSTAL/expmap.f と DEXPMP, ファイル ../HYPLAS_v2.0/src/CRYSTAL/dexpmp.f) は三次元を対象とした手続きを実行します。二次元問題では、不要な第三次元に関する作業を削除することで計算効率を改善できます。

6. (b) 節点平均値の出力

HYPLAS では、結果ファイルから分布図の作成などを作成するために、応力

や他の変数の節点平均値を計算します。これは有用な作業であり、実際、本書中の多くの図を作成するために使用しています。

しかし、たとえば、Gauss 点から節点に平均化することで、塑性モデルの増分塑性未定乗数の値が負値となるかもしれません(これは理論上許容できないことです)。HYPLAS の本書の対象外ですが、変数の Gauss 点の値を節点値へ変換し、対応する滑らかな場を得るためのより洗練されたテクニックが近年提案されています。

翻訳担当：(独) 物質・材料研究機構 渡邊育夢

(補足情報 2014/08/13追加)

=====
===== HYPLAS V2.0のバグ =====
=====

Wileyのウェブサイトからダウンロードした(HYPLAS_v2.0)にはバグがあり, gfortranでコンパイルしたものを実行すると, 次のようなエラーメッセージが出力されてプログラムが異常終了します.

“Fortran runtime error: Sequential READ or WRITE not allowed after EOF marker, possibly use REWIND or BACKSPACE”

プログラムのREADME.txtに記載されているg77コンパイラや, 商用のコンパイラ(ifort)ではこのエラーは現れないので, gfortran(v4.5~)でコンパイルした際に現れるエラーメッセージであることを確認しています.

EOF (End Of File; ファイルの終端)にたどり着いたあとで, さらにファイルからデータを読み込もうとしていることが原因のエラーメッセージです.

HYPLASに関して言えば, データファイル全体を3回読み込むプログラムになっているにもかかわらず, REWINDされていないので, 一度読み込んだあとの2回目以降にエラーとなります.

これを修正するには, データファイルを読み込んだあとにポインタをファイル先頭に戻す必要があります. 具体的には以下の2カ所にREWIND(15)を追加します.
((15)はHYPLASにおける入力データファイルの装置番号)

186行目の後ろ

```
CALL RSTCHK( RSTINP ,RSTRT )  
REWIND(15) ! <== Added
```

199行目の後ろ

```
CALL INDATA(MXFRON ,UNSYM)  
REWIND(15) ! <== Added
```

これで, サンプルとして添付されている例題はすべて実行できます.

=====
=====

文責: 横浜国立大学 松井和己