

MARC & MENTAT 利用の手引 (抜粋)

工学部土木建設工学科 前川幸次

以下の文は MARC 講習会 (平成 4 年 7 月 20 日開催) の原稿の抜粋です。
資料をご希望の方は総合情報処理センターまで申し込み下さい。

1. はじめに

MARC は、P.V.Marcial (マサル) 教授によって開発された非線形構造解析プログラムであり、1969 年に設立された MARC Analysis Research 社によって NASTRAN や ADINA などと並ぶ世界的な汎用構造解析プログラムへと拡張されてきた。

一方、MENTAT は、有限要素解析のための会話型プリ/ポストプロセッサであり、MARC を始め、主な有限要素解析プログラム (NASTRAN、SAP) とのインタフェースを持っている。これらのデータの作成・検討作業を大幅に軽減することができ、図形によるデータチェックやカラー表示による応力分布図などが得られる。

金沢大学総合情報処理センターに導入されたシステムでは、EWS (富士通 S4/2) 上に MENTAT を導入し、汎用機 (M760-20) 上に MARC を置いてある。すなわち、プリ/ポスト処理は EWS で行い、構造解析を汎用機でバッチ処理することになる。もちろん、MENTAT を自前の解析プログラムのプリ/ポストプロセッシングに利用することも可能である。

ここでは、MARC および MENTAT の概要紹介と簡単な解析例 (穴開き正方形板の弾塑性解析) を通して、それらの使用方法を紹介する。MARC はかなり優れた汎用コードであることは確かであるが、使いこなすためには有限要素法 (できれば非線形解析) に関する基礎知識をそれなりに持っていることが必要である。また、MENTAT は会話型とはいっても Advisory System ではないので、努力なくして良い結果は得られない。ここに紹介することは初歩的な使用方法であり、必要に応じて下記のマニュアルで学習して頂きたい。

本文の一部は、日本マーク株式会社の承諾を得て下記マニュアルから引用した。

★MENTAT のマニュアル

- (1) コマンド・レファレンス : MENTAT で使えるコマンドの機能説明
- (2) ユーザーズ・ガイド : 初めて MENTAT を使用する人の入門書 (例題集)

★ MARC のマニュアル

(1) Vol.A:Program Description

1. MARC システム
2. プログラムの実行開始
3. 入力データの概要
4. メッシュの定義方法
5. 解析ライブラリーにおける各機能の説明とオプションの使用方法
6. 材料ライブラリーのモデルの説明
7. 使用できる要素の概要
8. 各種解析における境界条件の説明
9. 出力情報についての説明
10. MARC のプロット機能について
11. MARC における有限要素法の概要

(2) Vol.B:Element Library

要素の定義と説明および要素の使用方法・使用上の注意

(3) Vol.C:Input Data

1. フォーマットおよび入力データの構成について
入力例（講習会で使用する穴開き板の弾塑性解析）
2. パラメータ・カード（解析の流れを制御する）について
3. モデル・ディフィニション・カード（解析モデルの形状、材料、荷重等に関する初期値を入力）について
4. メッシュ・ディスプレイ・カード
5. ヒストリ・ディフィニション・カード（荷重増分、変位増分、時間増分などの定義、出力制御、拘束条件変更のデータ入力）について
6. リゾーニング・カードについて
7. 終了メッセージ
8. ～ その他

(4) Vol.D:User Subroutines

ユーザ・サブルーチンの機能と使用方法の説明

(5) Vol.E:Demonstration Problems

線形問題、弾弛塑性問題、大変形問題、熱伝導問題、動的問題、接触、潤滑、衝突等の特殊な問題などの実例集

(6) Vol.F:理論ノート（英文）

2. MARCプログラム

2.1 プログラム概要

- (1) 基本的に要素数および節点数の制限はなく、メモリーが不足する場合には自動的にディスク等を使用して解析する。
- (2) 解析の途中で要素分割・節点数の変更が可能である。
- (3) 非線形領域の解法は、増分解法を採用し、各増分ステップ内では収束条件を満足するまで **Iteration** が行われる。
- (4) 弾塑性解析・大変形解析に対しては接線剛性法の手法を、クリープ解析・熱応力解析には初期ひずみ法が用いられている。また、残差荷重修正機能により、不釣合いを次のステップで修正して解の精度を向上させている。
- (5) 要素剛性マトリックスは、一般にはガウスの求積法を用いた数値積分により作成され、はり・板・シェルの厚さ方向にはシンプソンの求積法が用いられている。ひずみ-変位関係はガウス点において評価され、応力は要素中心点とガウス点で評価される。
- (6) 全体剛性マトリックスは、バンドマトリックスとして格納され、求解にはスカイライン法が用いられている。
- (7) ユーザーが入力するデータとしては、パラメータ・カード群（解析機能を指示する）モデル・ディフィニション・カード群（解析モデルの内容を与える）ヒストリー・ディフィニション・カード群（増分データを与える）メッシュ・ディスプレイ・カード群（プロット出力が必要な場合のみ）である。
- (8) MARC はロードモジュールの形で提供されているが、ユーザ・サブルーチンを付加できるので、FORTRAN を用いて作成する事により、MARC をユーザー独自の目的（入出力データの修正、構成則の定義、荷重条件・境界条件・拘束条件の変更）のために利用できる。
- (9) MARC は、要素・機能・解析・材料の4つのライブラリーを有しており、これらを適宜選択することにより種々の構造解析が可能である。

2.2 要素 (Element) ライブラリー

現在、110個の要素が登録されており、ごく一部を除いて、材料非線形性、幾何学的非線形性の効果を考慮できる。マニュアルVol.Bに詳記されているが、次のように分類される。

- (1) 3次元トラス (ケーブル) 要素
- (2) 3次元はり-柱要素
- (3) 軸対称シェル要素

- (4) 平面応力要素
- (5) 平面ひずみ要素
- (6) 軸対称ソリッド要素
- (7) 3次元膜要素
- (8) 平板要素
- (9) 薄肉シェル要素
- (10) 厚肉シェル要素
- (11) 3次元ソリッド要素
- (12) 非圧縮性要素
- (13) パイプ・エルボ要素
- (14) せん断パネル要素
- (15) 熱伝導要素
- (16) 接触/摩擦要素

2.3 機能 (Function) ライブラリー

機能ライブラリーは、解析作業の能率向上やデータ作成の手間を省くのにも利用できる。ただし、MENTATを利用すれば不要な機能もある。これは、MARCが必ずしもMENTATを意識して開発されたものでない (MARC 単独で使用できる) ことを意味している。主な機能には次のようなものがある。

- (1) メッシュ自動分割・入力データ自動生成
- (2) 幾何学的拘束条件 (局所座標系、弾性支承、タイイング)
- (3) 荷重条件 (分布/集中荷重、自重、遠心力、熱荷重、初期応力)
- (4) 荷重増分自動制御 (荷重増分・変位増分の自動調節、動解析・クリープ解析・熱伝導解析における時間刻み自動調節)
- (5) 入力の方法 (フリーフォーマット形式、セット名による定義、デフォルト)
- (6) バンド幅縮小機能
- (7) ユーザ・サブルーチン (各種構成則・異方性の定義や変更、入出力制御、節点座標値の作成・修正、要素分割、タイイング条件式)
- (8) プロット機能 (変形図、等高線図、主応力図、ベクトル図)
- (9) 外部ファイルの使用
- (10) リスタート機能 (増分過程の途中から再スタートが可能)
- (11) ポストプロセッサ (MENTAT) 用出力機能 (要素コネクティビティ、節点座標、各種応力・ひずみ、反力など)

- (12) 出力制御機能 (必要なデータをきめ細かく指定可能)
- (13) リゾーニング機能 (メッシュの退化に対処、解析結果の平滑化、移動する物体の熱伝導問題・トンネル掘削解析などに効果)

2.4 解析 (Procedure) ライブラリー

解析ライブラリーから必要なものを選択することによって、解析すべき問題に対してのプログラムの実行手順が決定される。現在、次のものがある。

- (1) 線形解析
- (2) 弾塑性解析 (荷重スケーリング、自動増分)
- (3) クリープ解析 (自動時間増分)
- (4) 粘弾性解析 (自動増分)
- (5) 大変形解析 (移動ラグランジュ法、座屈固有値・座屈モード解析、後座屈)
- (6) 有限ひずみ塑性解析 (数10%以上の塑性ひずみ)
- (7) 剛塑性解析
- (8) 有限ひずみ弾性解析
- (9) 破壊解析
- (10) クラック進展 (引張側クラックとソフトニング、圧潰・クラック閉鎖)
- (11) 動的解析 (固有振動数、固有モード、応答計算)
- (12) スペクトル応答解析
- (13) 粘弾性体の調和振動解析
- (14) 流体-構造物動的連成解析
- (15) 任意荷重に対する軸対称構造物の解析
- (16) 熱伝導解析 (定常・非定常、熱伝達境界、熱流束)
- (17) 熱応力解析 (熱伝導解析結果からの移行)
- (18) 電気伝導と熱伝導の連成解析
- (19) 潤滑解析 (ハイドロスタティック、ダイナミックベアリング)
- (20) 自動塑性加工解析 (弾塑性、剛塑性、接触条件の自動化)

2.5 材料 (Material) ライブラリー

35種類を超える材料モデルが含まれており、主なものは次の通り。

- (1) 弾性

- (2) 塑性（降伏条件、流れ則、硬化則）
- (3) クリープ
- (4) 歪弾性
- (5) 非圧縮性
- (6) 超弾性
- (7) 粘弾性
- (8) 大変形効果
- (9) 有限ひずみ効果
- (10) 熱膨張
- (11) 異方性
- (12) 複合材料
- (13) 低張力材料

2.6 MARC入力データの構成・規則・特徴

入力データは大きく分けて次の4ブロックに分けられる。

(1) Parameter Cards (Vol.C 2章)

解析実行時の作業領域の確保。

使用する要素タイプの指示。

使用する機能の指示。

パラメータカードはリスタート時に変更することは許されない。

(2) Model Definition Cards (Vol.C 3章)

要素分割データ（要素コネクティビティ、節点座標）の入力。

材料定数、幾何形状データの入力。

変位境界条件、荷重条件の入力。

その他、解析モデルに使用するオプションに対するデータの入力。

解析手法、収束判定方法、収束判定条件など解析の制御に関するデータの入力。

制御関係以外のデータはリスタート時に変更することは許されない。

(3) History Definition Cards (Load Incrementation Cards) (Vol.C 5章)

荷重増分、変位増分、時間増分などの増分データの定義。

出力制御、拘束条件変更のデータ入力。

(4) Mesh Display Cards (Vol.C 4章)

構造図、変形図、等応力線図などのプロット実行データの定義。

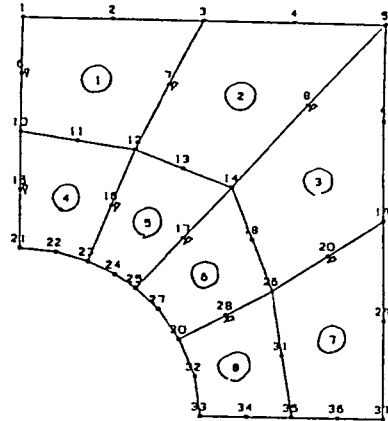
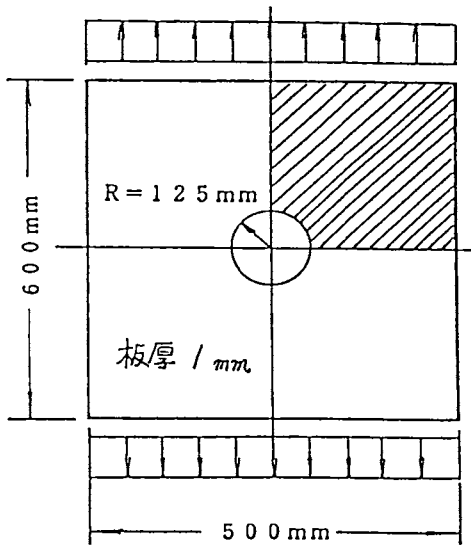
(5) Rezoning Cards (Vol.C 6章)

メッシュの再分割を行う。

2. 7 MARCプログラムのデータ入力例

引張力を受ける穴開き平板の弾塑性解析：

- (1) 材料定数 (完全弾塑性材料) : $E=21000\text{kgf/mm}^2$ 、 $\nu=0.3$ 、 $\sigma_Y=12.9\text{kgf/mm}^2$
- (2) 荷重条件 : 等分布荷重を 2kgf/mm^2 から 1kgf/mm^2 刻みで5ステップ加える
- (3) 降伏条件 : Von Mises



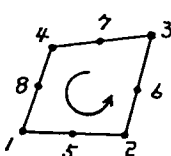
キーワード

パラメータ

モデル・ディフィニション・カード

```

TITLE, PLATE WITH HOLE ..... 解析タイトル
SIZING      100000      8  37 ..... 作業領域として 10万ワード, 最大要素数, 最大節点数
ELEMENTS    26 ..... 要素タイプ 26 使用 (8節点平面応力要素) (省略可)
END
CONNECTIVITY 要素番号 ..... 要素と節点番号に関するキーワード
      8  0  0  0 ..... 読み込む要素数, C3.1-24参照
      1  26  1  10  12  3  6  11  7  2 ..... 節点番号
      2  26  3  12  14  5  7  13  8  4
      ===== 途中省略 =====
      7  26  19  26  35  37  20  31  36  29
      8  26  26  30  33  35  28  32  34  31
COORDINATES ..... 各節点の座標値(X,Y)を入力するキーワード
      2  37  0  0 ..... 節点座標成分の数, 読み込む節点数, 省略可, 省略可
      1  0.00000  300.00000 ..... 節点番号, X, Y
      2  62.50000  300.00000
      ===== 途中省略 =====
      36  218.75000  0.00000
      37  250.00000  0.00000
GEOMETRY ..... 要素の幾何形状データに関するキーワード
      1.00000  0.00000  0.00000  0.00000  0.00000  0.00000 ..... カードの組数 etc. (省略可)
      1 TO 8 ..... 要素番号 1~8 (意味なし)
ISOTROPIC ..... 等方性材料の特性に関するキーワード
      1  E ..... データ組数 etc. (省略可)
      21000.000  0.30000  0.00000  0.00000  12.90000  0.00000 ..... 材料特性識別番号, 降伏条件等 (デフォルト値あり)
      1 TO 8 ..... この材料特性  $\sigma_y$  をもつ要素リスト 1~8
DIST LOADS ..... 分布荷重を定義する
      12  -2.00000 ..... (分布荷重データの組数)
      1 TO 2 ..... 荷重タイプ (要素タイプによって異なるので Vol. B 参照), 荷重値
FIXED DISP ..... 変位境界条件を定義する
      0.0 ..... ( データの組数)
      1 ..... 変位の値 (次のカードの自由度に対応)
      1  6  10  15  21 ..... X方向 (要素タイプによって異なる)
      0.0 ..... この境界条件を適用する節点番号リスト
      2 ..... Y方向
      33 TO 37 ..... 33, 34, 35, 36, 37
OPTIMIZE 2 ..... バンド幅 最小化, 手法コード
$ ..... The 2 is for cuthill-mckee.
CONTROL ..... カットヒル マッキー法
      5 最大荷重ステップ ..... その試行する番号付の回数
      100 10 ..... 各ステップでの最大, 最少リサイクル数
      0.10 ..... 収束アルゴリズムの選択 (ニュートン・ラプソン法)
      0.0 ..... 収束判定法 (残差力, 最大節点反力)
      1 0 0 ..... 残差力
      0.0 ..... 最大節点反力
  
```



モデル・定義オプション
 ↑
 POST 16 17 1 0 19 20 MENTAT用のポスト・データを作成するキーワード
 ポスト・データの入出力, ユニット定義 etc.
 1
 2
 7
 11 1ST COMP OF TOTAL STRESS 1, 2 ひずみ成分 (ϵ_x, ϵ_y)
 12 2ND COMP OF TOTAL STRESS 7 全相当塑性ひずみ
 17 EQUIVALENT VON MISES STRESS 11, 12 応力成分 (σ_x, σ_y)
 17 ミゼスの相当応力
 NO PRINT 結果の出力抑制
 END OPTION このはでの条件で線形解析 (increment 0) を始める.
 DIST LOADS 分布荷重を定義する (定義した荷重値は増分値として扱われる).
 (データの組数)
 12, -1., 要素タイプ26の場合の荷重タイプ12で増分荷重-1.0
 1, 2, この荷重を適用する要素番号リスト 1, 2
 AUTO LOAD 自動荷重増分を指示
 5, 同じ荷重増分で行う. ステップ数
 CONTINUE

ポスト・データとして 出力する要素変数コード

この以外に節点・データはすべて出力される。

↓
 エストラ・定義オプション

ステップ	荷重値 (増分	Total)
0	-2.0	-2.0
1	-1.0	-3.0
2	-1.0	-4.0
3	-1.0	-5.0
4	-1.0	-6.0
5	-1.0	-7.0

2. 8 汎用機 (M760-20) によるMARCプログラムの実行

次のような JCL のバッチ JOB を依頼 (SUBMIT) すればよい。

```
//AB????A JOB ,PASS=????????,CLASS=G,MSGCLASS=X,REGION=5120K,  
//          MSGLEVEL=(1,1)  
/NOTIFY AB????  
/JOBPARM L=200  
// EXEC MARCGO  
//MARC.FT06F001 DD DSN=AB????.SYS.OUT,DISP=SHR  
//MARC.FT19F001 DD DSN=AB????.POST.DATA,DISP=SHR  
//MARC.SYSIN DD DSN=AB????.INPUT.DATA,DISP=SHR  
//
```

- 注意：1) データセット名 AB????.SYS.OUT は、出力結果を編集したいときに使用するファイルで、(PS, VBA, 137 バイト, 7402) を確保しておく。
- 2) データセット名 AB????.POST.DATA は、ポストデータを出力するためのファイルで、(PS, FB, 80 バイト, 6160) を確保しておく。その他の用途別に決められたファイルの論理機番については Vol. C10-25 表 C10.6-1 を参照する。
- 3) 入力データはデータセット名 AB????.INPUT.DATA に作成しておく。
- 4) カタプロ MARCGO は大きな解析に対処するために、領域をあらかじめ大きく確保している。カタプロ MARCCLG を用いると解析サイズを自分で決められるので、JOB クラスの低いものでも実行できる。

3. MENTAT の概要

MARC 用の入力データを作成する場合、特に節点データや要素データが面倒で間違い易い。図形表示およびデータ・チェック機能を備えた MENTAT の前処理 (プリプロセッサ) を用いることで、入力データの大部分を作成できる。ただし、MENTAT はヘルプ機能 (各種コマンドの簡単な説明文の表示) を持っているが、Advisory System ではないので、解析対象に適した要素・境界条件等の選択については何も教えてくれない。ユーザは予めマニュアル・例題集で予備知識を得ておく必要がある。また、非線形解析に関する Parameter Cards および History Definition Cards についてはユーザがファイルに書き加えなければならない。

次に、MARC で出力されたポスト・データを用いた後処理 (ポストプロセッサ) 機能により、次のものが出力できる。

要素・節点図、変形図（隠線処理も可）、変位・応力・ひずみのベクトル図および等高線図（領域別カラー表示も可）、荷重－変位図のような増分歴や時刻歴のグラフ表示など。

4. おわりに

ここに紹介した MARC およびMENTATの使用例は、それらの機能のごく限られたものであり、著者もまだ十分に把握していない。とにかく、ユーザ登録を済ませて試行錯誤で使ってみていただきたい。汎用コードを用いればほぼ何でも解析できる（？）が、良い解析結果を得るためには、解析対象をうまくモデル化する（汎用コードを使いこなす）能力が必要です。マニュアルはもちろん実例集も参考にして、大いに利用していただきたい。最後に、面白い適用例やテクニック等については、センターニュース等で公表していただくことを願います。

