

vol.97-2

Mech D & A News

Mechanical Design & Analysis Co.

August 1997



京都 八坂の塔

【特集】 MARC ユーザ・サブルーチン支援キット

円筒の内圧応力解析／金型の応力解析

FEM Consulting Services for Engineering Practice
URL <http://www.mech-da.co.jp>

【特集】MARC ユーザ・サブルーチン支援キット

1. はじめに

MARC のような大型のプログラムでは、多様なデータ定義の要求に応えるために、ユーザ・サブルーチンの形式によって柔軟な入出力を可能としています。現在の MARCK6-2 バージョンにおけるユーザ・サブルーチンは 100 を数え、これらの利用によってプログラム本来の性能が発揮されると言っても過言ではありません。

ユーザ・サブルーチンはフォートランにより記述し、所定の引数あるいは COMMON 変数を介してプログラム本体とのデータの授受を行います。MARC マニュアル D 編には、これらの基本的な使用法が記載されています。既に御承知の皆様も多いと存じますが、D 編の冒頭には COMMON ブロックを応用して、より高度なプログラミングを可能とする方法が示されています。すなわち、要素や節点に関する種々の情報を MARC 本体から任意に取り出し、ユーザ・サブルーチンの中で利用する方法です。

今回の特集では、このような便利な使用方法をサーベイし、それぞれを単機能のサブルーチンの形としてまとめました。

2. キットの作成例

ここでは、簡単な例として要素積分点の座標値を取り出す方法を示します。Table 1-1 は、本キットの中に含まれる USCCIN というサブルーチンです。これを他の通常のユーザ・サブルーチンと同じファイルに置いてコンパイルすれば、ユーザ・サブルーチンの中からこのサブルーチンをコールして、利用することができます。

Table 1-1 の 5 ~ 9 行目に示すように、このサブルーチンは要素番号 M と積分点番号 NN を与えることによって、その座標値を配列 CCINT に戻します。例えば CCINT (1) は X 座標であり、CCINT (2) は Y 座標です。

14 ~ 17 行目は MARC 本体で使用される変数が格納されている COMMON ブロックです。ここでは /soft/marck62 という弊社のシステムにおけるディレクトリが指示されています。皆様のシステムで使用される場合は、MARC がインストールされているディレクトリを調べて、それを指示して下さい。

19, 20 行目では、この COMMON ブロック内にある NELSTR や ICRXPT という変数を使用して、求めるべき積分点座標が収納されているアドレス (変数 LA1) を計算しています。MARC では、大半の情報は 22 行目にある VARS という配列の中に順を追って収納されており、アドレスを知れば、それらを取り出すことが可能です。ちなみに、MARC の入力データ中の SIZIJNG で入力するメモリーのワード数は、この配列 VARS の大きさを意味しています。

21 ~ 24 行目は DO 文の構造となっており、座標値の成分が配列 CCINT に定義されます。ここで変数 NCRD は座標値の成分の数です。以上の内容はマニュアル D 編に記載されている方法を一部修正してサブルーチン化しました。

Table 1-1 サブルーチン USCCIN

```
1 SUBROUTINE USCCIN(CCINT,M,NN)
2 IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
3 DIMENSION CCINT(12)
4 C
5 C *** USER DEFINED SUBROUTINE *****
6 C YOSO No. M, SEKIBUN TEN No. NN
7 C NO ZAHYO WO CCINT NI TEIGI SURU
8 C (MARC K6-2)
9 C *****
10 C
11 C *** MARC COMMON BLOCKS *****
12 C !!! SYSTEM NI AWASETE
13 C HENKO SHITE KUDASAI !!!
14 include '/soft/marck62/common/dimen'
15 include '/soft/marck62/common/space'
16 include '/soft/marck62/common/array4'
17 include '/soft/marck62/common/heat'
18 C
19 LA1=(M-1)*NELSTR+ICRXPT
20 * +(NN-1)*NCRD
21 DO 10 I=1,NCRD
22 CCINT(I)=VARS(LA1)
23 LA1=LA1+1
24 10 CONTINUE
25 C
26 RETURN
27 END
```

3. キットの構文

今回紹介するキットの構成は以下の通りです。

表 1：Table 1-2 MARC ユーザ・サブルーチン支援キットの構成

サブルーチン名	機 能
1. メッシュ情報	
USLINT	ユーザ Node No. から内部 Node No. を引用する。
USLEXT	内部 NodeNo. からユーザ Node No. を引用する。
USLM	要素を構成するコネクティビティ (Node No.) を引用する。
SNAM	セット名から、セットを構成する要素や節点の No. を引用する。
2. 座標値など	
USCCIN	要素の積分点座標を引用する。(UP DATE がかかっている場合は、変形後の位置が与えられる。)
USCCIN2	
USCCND	内部 Node No. から節点座標を引用する。
GETCOORD	外部 Node No. から、変形後の節点座標を引用する。
3. 要素形状など	
USGEOM	要素の GEOMETRY データを引用する。
USTHK	要素の厚さ (シェル要素・平面応力要素など) を引用する。
4. 荷重・変位など	
USDDND	内部 Node No. から節点変位を引用する。
USREND	内部 Node No. から節点反力を引用する。
USFOND	内部 Node No. から等価節点力を引用する。
USDIST	分布荷重のリスト No. からタイプと値を引用する。
USCONT	CONTACT に関する情報 (変位、速度、荷重) を引用する。
5. 主応力計算	
PRINCS	各積分点での主応力を求める。
6. 補助計算	
HOKAN1	線形補間 (多直線近似される荷重などの入力に用いる。)
KAKU1	与えられた線分の 2 次元空間内の角度を求める。
その他	

例題 1 - 円筒の内圧応力 -

まず簡単な例として、Table1-1 に示したサブルーチン USCCIN を用いて積分点の座標値を利用する方法を説明しましょう。Fig.2-1 に示すような軸対称のモデルを用いて、内圧による応力の解析を行います。半径方向の各位置において下記に示す円周方向応力の理論解を計算させ、FEM 解と比較してみます。解析の条件は、

内半径 a=25mm, 外半径 b=50mm,
 半径方向位置 r,
 縦弾性係数 E=20000kg/mm²,
 ポアソン比 =0.3, 内圧 P_a =1.0kg/mm²,

$$\sigma_{\theta} = \frac{k^2/R^2 + 1}{k^2 - 1} P_a$$

但し k=b/a, R=r/a

MARC の中には、ユーザ定義の変数をポストファイルに出力するユーザ・サブルーチン PLOTV があります。この PLOTV は、インクリメントの終了時に各要素の各積分点ごとにコールされます。従って、その中でサブルーチン USCCIN を更にコールすれば、各積分点ごとの座標値を用いた任意の計算が行えます。

Table2-1 に PLOTV をコーディングした例を示します。11 ~ 22 行目で必要となる計算条件を設定します。2 行目に示す PLOTV の引数のうち、M(1) が要素番号、NN が積分点番号であり、PLOTV がコールされる毎に、これらの値が順に変化しながら MARC の本体から引渡されてきます。25 行目で USCCIN をコールすると、引数 CCINT(2) にはその積分点の r 座標が落ちてきます。これを用いて 33 行目で応力を計算し、結果を変数 V に引渡してポスト出力させます。

Fig. 2-2 は結果のパスプロットです。FEM による解と、以上のように計算した理論解は、良く一致します。

Table 2-1 ユーザ・サブルーチン PLOTV

```

1  SUBROUTINE PLOTV(V,S,SP,ETOT,EPLAS,
2  * ECREEP,T,M,NN,LAYER,NDI,NSHEAR,JPLTCD)
3  IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
4  DIMENSION S(1),SP(1),ETOT(1),EPLAS(1),
5  * ECREEP(1),M(2)
6  C
7  C *** USER DEFINED COMMON BLOCKS *****
8  DIMENSION CCINT(12)
9  C *****
10 C
11 C *** INPUT PARAMETERS ***
12 C (1) MATERIAL PROPERTY
13 EE=20000.
14 POI=0.3
15 C
16 C (2) INNER & OUTER RADIUS
17 A=25.
18 B=50.
19 C
20 C (3) INTERNAL PRESSURE
21 PA=1.
22 C *** END OF INPUT ***
23 C
24 C *** GET INTEGRATION POINT COORDINATE Y ***
25 CALL USCCIN(CCINT,M(1),NN)
26 YY=CCINT(2)
27 C
28 C *** CALCULATE STRESS ***
29 RK=B/A
30 RR=YY/A
31 RKK=RK*RK
32 RRR=RR*RR
33 SH=(RKK/RRR+1.)/(RKK-1.)*PA
34 C
35 IF(JPLTCD.EQ.1) V=SH
36 C
37 IF(M(1).NE.1.OR.NN.NE.1) GO TO 99
38 WRITE(6,*) '**PLOTV JPLTCD,V',JPLTCD,V
39 C
40 99 RETURN
41 END
    
```

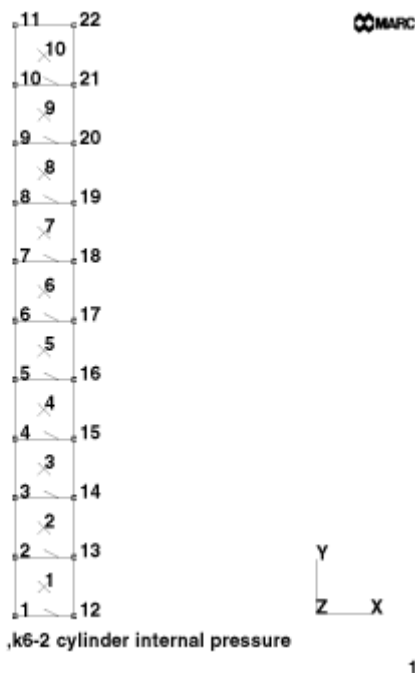


Fig.1 円筒の軸対称モデル

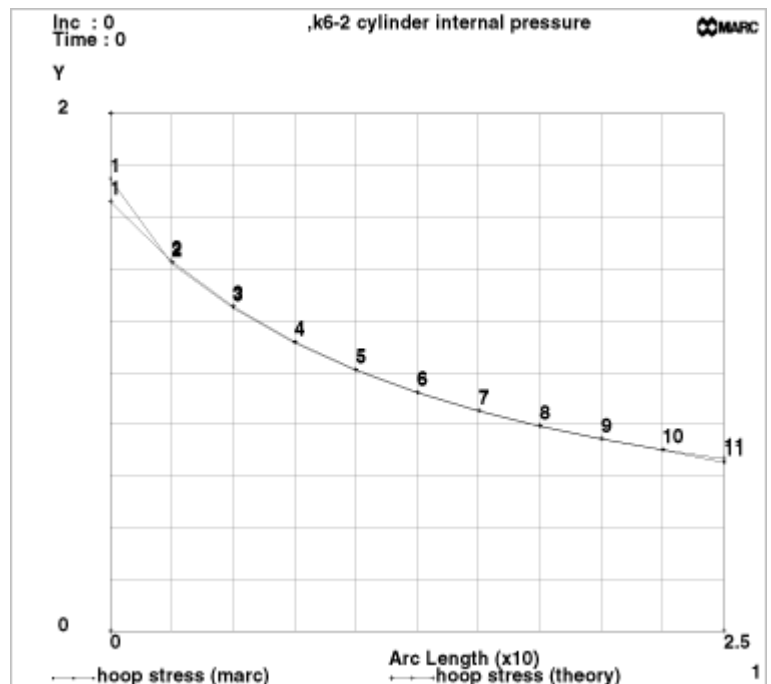


Fig.2 円周方向応力

例題2 - 金型の応力解析 -

次の例は、少し手のこんだ問題です。塑性加工の分野では、金型を剛として素材の変形を解析することが広く行なわれています。これは、金型までメッシュ分割すると、問題が大規模になってしまうからです。このとき簡易的には、素材表面に発生した面圧を、金型だけのモデルに外荷重として加えて、金型の応力を知ることができるでしょう。

Fig.3-1 は平面歪のモデルで、先の丸いパンチによる押込の問題です。Fig.3-2 は変形後の状態を示します。図中のPASSに示した線上における垂直方向応力を表示すると Fig.3-3 のようになります。最大で約 30kg/mm^2 の面圧が発生していることがわかります。これを Case-1 の解析とします。

この解析では POST オプションで応力テンソル (コード 311) を出力しておき、MENTAT2.3.1 にある EDGE NORMAL の機能を用いて面垂直方向の応力を表示させています。尚、横軸のパスは変形後の寸法とする必要があるので、REZONE のオプションを用いて処理しています。MENTAT から、このパスプロットのデータをファイルに出力しておきます。

このデータを読み込み、パンチの応力解析を行った結果を Fig.3-4 に示します。これを Case-2 とします。Case-2 の手順は Table 3-1 のようになっています。() 内に示すのが、Table1-2 に示したキットのサブルーチン名です。MARC には、任意の分布荷重を定義するユーザ・サブルーチン FORCEM があり、予め DIST LOADS で宣言した要素ごとにコールされます。ここではパンチの外表面を構成する要素を対象とします。Case-1 で得られたパスプロットは素材側の節点位置に相当する面圧の値であるので、補間によってパンチ側の節点位置に相当する値を求め、更に要素の積分点の値に直します。Table 3-2 に FORCEM のコーディング (抜粋) を示します。

Fig.3-5 は、Case-3 として、パンチと素材の両者をメッシュ分割して得た結果です。Case-2 とほぼ同等の結果となり、今回のような手順が簡易的には妥当であることが判ります。

Table 3-1 金型表面への圧力負荷の手順

Fig.3-4 に示すモデルの外表面の節点をあらかじめ セット名で宣言しておく。	ユーザ・サブルーチン FORCEM を用いて、外表面 に圧力負荷を宣言する。
セットを構成する節点 No. を取り出す。(SNAM)	FORCEM が呼ばれた要素の表面の内部節点 No. を 調べる (USLM)
対応する内部節点 No. を知る (USLINT)	外部節点 No. に直す。(USLEXT)
座標値を調べる	
対応する面圧の値をパスプロットのデータから 補間により求める。(HOKANI)	
該当節点での圧力値を知る。 積分点の値を内挿し、負荷する。	

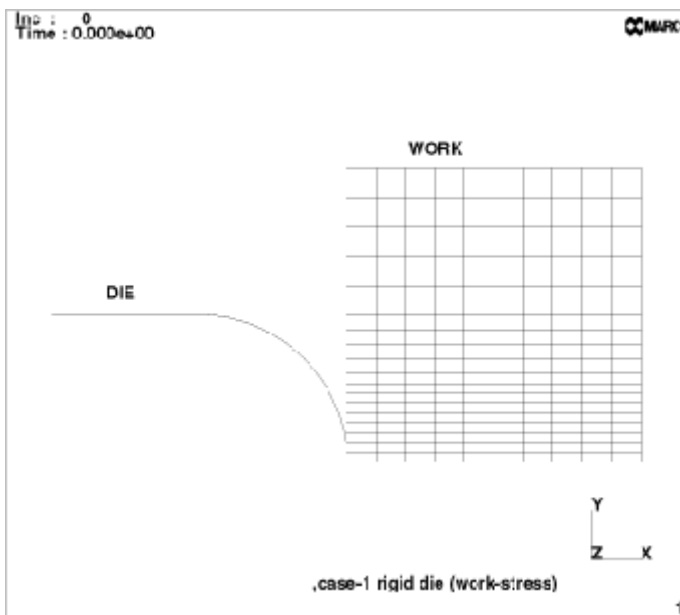


Fig.3-1 初期形状 (Case-1)

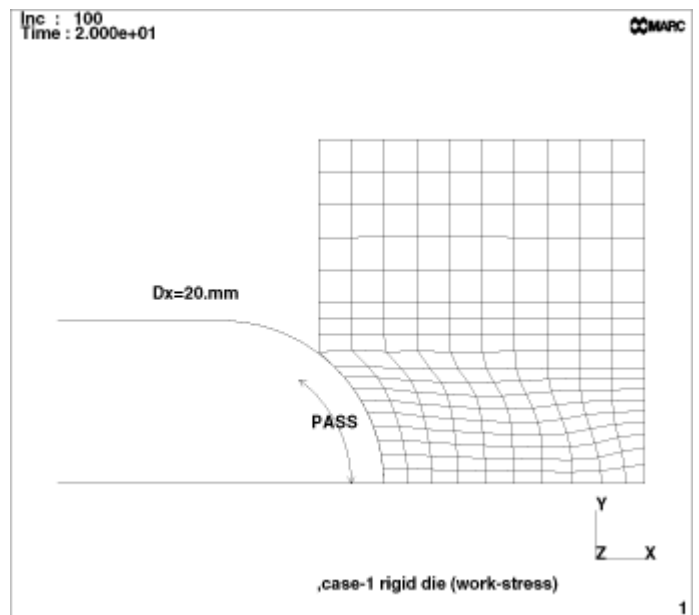


Fig.3-2 最終形状 (Case-1)

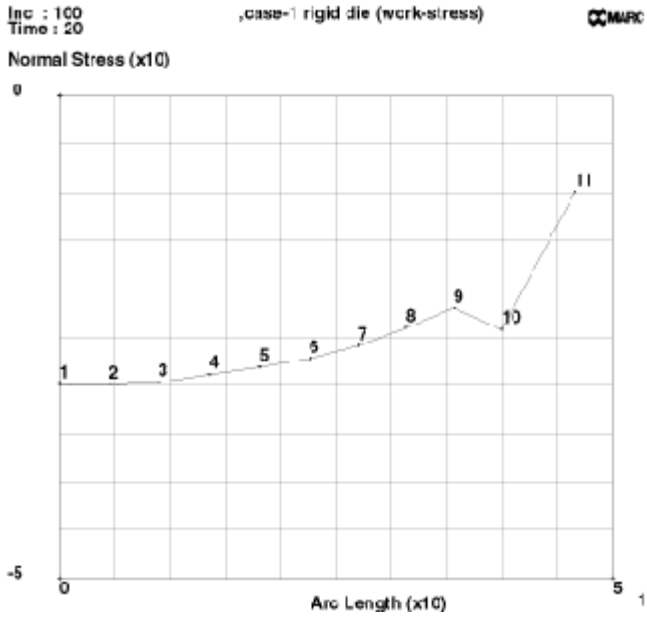


Fig.3-3 PASS 上の面圧分布 (Case-1)

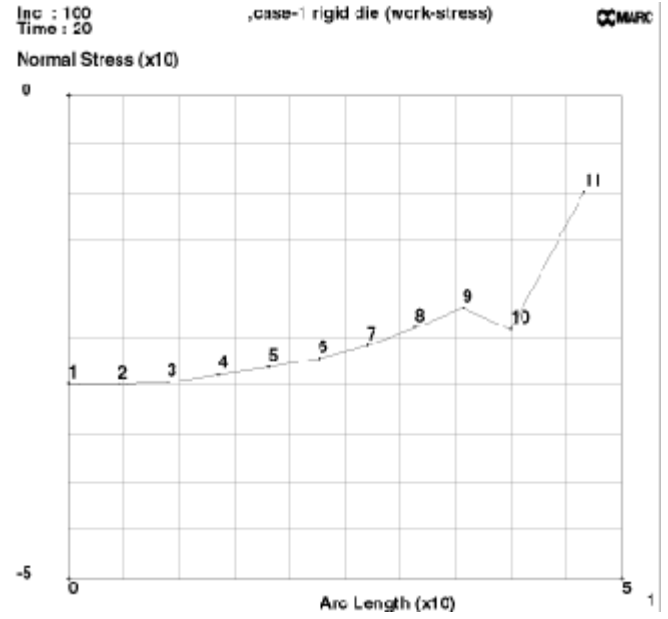


Fig.3-4 パンチの応力(Case-2)

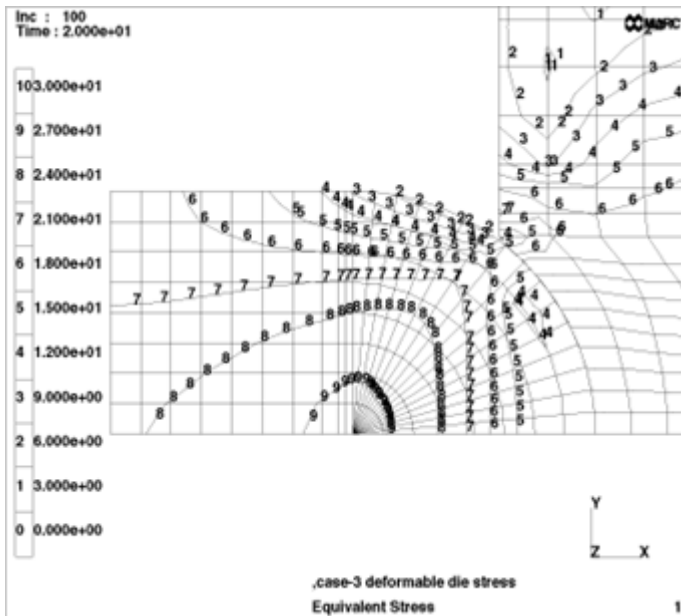


Fig.3-5 パンチの応力(Case-2)

*MARC は日本マーク株式会社殿の製品です。キットの中のサブルーチンの作成にあたり、日本マーク株式会社技術部殿の支援を頂きました。この場を借りて厚くお礼申し上げます

Table 3-2 ユーザ・サブルーチン FORCEM(抜粋)

```

1  SUBROUTINE FORCEM(PRESS,TH1,TH2,NN,N)
2  IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
3  DIMENSION N(7)
4  C
5  C   *** USER DEFINED COMMON BLOCKS ***
6  COMMON/USER1/INIT,ARCL(200),PRSW(200),PRSD(200)
7  DIMENSION NSETS(200)
8  DIMENSION CCNODE(12)
9  DIMENSION ILM(30)
10 DATA INIT/0/
11 DATA PRSD/200*0./
12 CHARACTER *12 SETNAM
13 C
14 C   *** INPUT PARAMETERS *****
15 C
16 C   ** SETNAME FOR DIE SURFACE PASS **
17 C   12 CHR.S '*****'
18 DATA SETNAM/'DIEPASS  '/
19 C
20 C   ** ELEMENT FACE No. FOR DIE SURFACE **
21 IFACE=3
22 C
23 C   ** POSITION OF WORK START POINT **
24 OFFSET=0.
25 C
26 C   *** END OF INPUT *****
27 C
28 C   *****
29 C   *** READ PRESSURE DATA FROM MENTAT-TABLE
DATA ***
30 C   *****
31 IF(INIT.EQ.1) GO TO 10
32 INIT=1
33 C
34 C   *** READ HEADDER 11-LINES **
35 DO 13 I=1,11
36 13 READ(50,*)
37 C
38 C   *** READ ARC-LENGTH & PRESSURE **
39 I=1
40 15 READ(50,100,END=14) ARCL(I),PRSW(I)
41 100 FORMAT(10X,2F15.1)
42 C
43 C   *** OFF-SET CORRECTION **
44 ARCL(I)=ARCL(I)+OFFSET
45 C
46 C   *** CONVERT (+/-) PRESSURE **
47 PRSW(I)=-PRSW(I)
48 I=I+1
49 GO TO 15
50 14 CONTINUE
51 C
52 C   *** NUMBER OF PRESSURE DATA ***
53 NUMW=I-1
54 C
55 C   *** MIN. & MAX ARC POSITION **
56 ARCMIN=ARCL(1)
57 ARCMAX=ARCL(NUMW)
58 C
59 C   *****
60 C   *** GET PASS-LENGTH OF DIE SURFACE : RPASS
61 C   *** AND INTERPORATION OF PRESSURE : PRSD(I)
62 C   *****
63 C
64 C   *** GET NODE No. ALONG PASS : NSETS(I)***
65 CALL SNAM(NSETS,NUMSET,SETNAM,1)
66 C
67 C   *** NUMBER OF NODE ON PASS : NUMD***
68 NUMD=NUMSET
69 C
70 RPASS=0.
71 DO 11 I=1,NUMD
72 C
73 C   *** GET INTERNAL NODE No.***1
74 LEXT=NSETS(I)
75 CALL USLINT(LINT,LEXT)
76
77 C   *** GET NODAL COORDINATES***
78 CALL USCCND(CCNODE,LINT)
79 X1=CCNODE(1)
80 Y1=CCNODE(2)
81 C
82 C   *** GET NODAL DISTANCE***
83 IF(LEQ.1) GO TO 12
84 CALL KYORI1(RR,X1,Y1,X2,Y2)
85 RPASS=RPASS+RR
86 C
87 C   *** INTERPORATION OF PRESSURE ***
88 12 CONTINUE
89 IF(RPASS.GE.ARCMIN.AND.RPASS.LE.ARCMAX) THEN
90 CALL HOKAN1(ANS,RPASS,ARCL,PRSW,NUMW)
91 PRSD(I)=ANS
92 ELSE
93 PRSD(I)=0.
94 END IF
95 C
96 X2=X1
97 Y2=Y1
98 11 CONTINUE
99 C
100 C   *****
101 C   *** SET PRESSURE ***
102 C   *****
103 C
104 C   *** GET ELEMENT CONNECTIVITY ***

```