

Title	二次元及び軸対称剛塑性問題解析有限要素法プログラムの利用について
Author(s)	富田, 佳宏
Citation	大阪大学大型計算機センターニュース. 1987, 64, p. 69-81
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/65724
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

研究開発の成果

二次元及び軸対称剛塑性問題解析有限要素法プログラムの利用について

神戸大学工学部 富田佳宏

1. はじめに

1)~3)

ここで紹介するプログラムは、すでに公表している剛塑性問題解析のための有限要素法に基づいて作成されており、2次元問題に対して8節点曲辺4角形要素、軸対象問題に対して8節点曲辺4角形リング要素が使われている。このプログラムの適用限界は要素数100、節点数200で節点変位及び節点力の拘束数はそれぞれ100となっている。これらの限界はプログラムの中のマトリクスを大きくすることにより拡大できるが、問題の性質上、本プログラムの限界は実計算に対して妥当なものであろう。

4)

ここではプログラムの内容の説明は研究開発報告書にゆずり本プログラムを使って剛塑性問題の解析を行う場合に必要なデータ作成と出力結果の読み方並びに本プログラムで想定した以外の材料特性を導入する場合に必要な若干の変更について述べることにする。

2. 有限要素法解析に必要なデータの作成と出力結果の読み方

2.1 データに関連した記号の説明

有限要素解析に必要なデータは大きく分けてつぎの4種類である。

(1) 材料の物理的性質に関連したデータ

材料は均等方剛塑性体に限定し、単軸の真応力 σ とひずみ ϵ 、ひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ 関係が次式で与えられるとする。

$$\sigma = K \dot{\epsilon}^m \epsilon^n \quad (1)$$

K : 定数、m : ひずみ速度感度指数、n : ひずみ硬化指数

これより、K・m・nを与えると流れ則を用いて多軸の構成式が決定出来る。従って材料の物理的性質に関連したデータは

変数名	説明
CONST	$\sigma = K \dot{\epsilon}^m \epsilon^n$ の K , $K \text{ gf/mm}^2$
RM	$\sigma = K \dot{\epsilon}^m \epsilon^n$ の m
RN	$\sigma = K \dot{\epsilon}^m \epsilon^n$ の n
EPINIT	初期微小ひずみ

(2) 計算条件に関連したデータ

変数名	説明
IPROB	-1 平面応力
	0 平面ひずみ
	1 軸対称
NOCOMP	計算ステップ数
NPRINT	データを出力するステップ間隔
NOITER	許容収束計算数
RELAX	緩和係数
EPSHI	収束判定の基準値
DTIME	時間増分

(3) 物体の形状、分割等に関連したデータ

変数名	説明
NELEM	全要素数
NPOIN	全節点数
X(I,J)	節点座標 ($J = 1 : x$, $J = 2 : y$), mm
NOD(I,J)	各要素の節点番号
NPOINE	要素節点数 = 8
NGAUSS	GAUSS 積分点の数 = 4

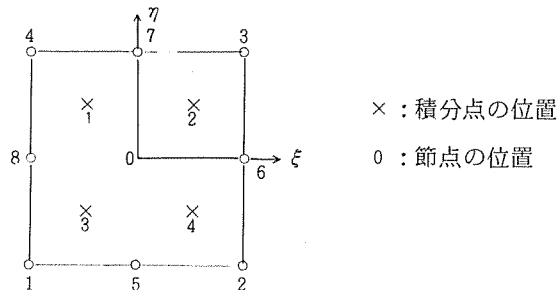


図1 親要素の節点と積分点の位置

(4) 境界条件に関連したデータ

変数名	説明
NBOUNV	変位速度拘束数
NBOUNF	節点力拘束数 (0 の場合を除く)
NV (I)	変位速度が拘束されている節点番号
NB (I, 1)	0 なら x 方向が拘束される
NB (I, 2)	0 なら y 方向が拘束される
BV (I, 1)	x 方向の拘束量, mm
BV (I, 2)	y 方向の拘束量, mm
NF (I)	節点力が拘束されている節点番号
MB (I, 1)	0 なら x 方向が拘束される
MB (I, 2)	0 なら y 方向が拘束される
CV (I, 1)	x 方向の拘束量, Kgf
CV (I, 2)	y 方向の拘束量, Kgf

(5) 初期条件に関連したデータ

変数名	説明
UU (2*I-1)	初期仮定節点速度 x 方向, mm/sec
UU (2*I)	初期仮定節点速度 y 方向, mm/sec
THEO	初期板厚 (但、平面応力の場合のみ), mm

平面ひずみ解析に必要なデータはあらかじめプログラムに組み込まれている3つのデータ、NPOINE, NGAUSS, THEOを除いた以上全データである。

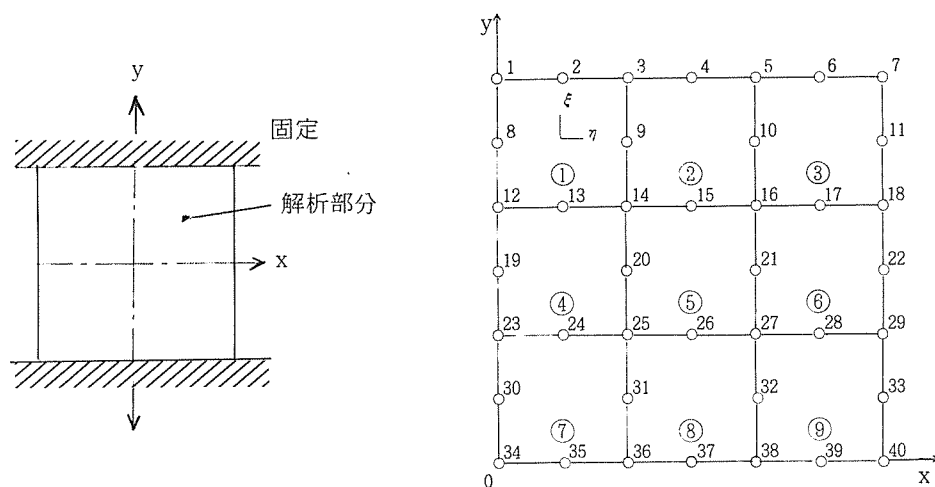


図2 板の単軸引張り

2.2 データの作成と計算の実行

ここでは図2に示す平面ひずみ状態にある板の引張りの解析を例に一連のデータ作成の実際について説明する。

板材の応力とひずみ、ひずみ速度関係として式(1)を用い、 $K = 15.90$, Kgf/mm , $m = 0.13$, $n = 0.13$, $n = 0.21$ とし12流れ理論によって多軸状態の構成式を表す。この場合、 $CONST = 15.90$, $RM = 0.13$, $RN = 0.21$ 。更に剛性域での計算の安定性を考慮して全体に一様な微小初期ひずみ $EP RINT = 0.0001$ を与えた。

平面ひずみ状態で、増分1回あたりの時間間隔 $DTIME = 1.0$ 秒で20回の増分計算を行った。この間出力は増分計算5回ごととする。これより $NOCOMP = 20$, $NPRIN = 5$ 。また本解析は繰り返し法によっているので、初期節点変位速度及び平面応力の場合、板厚 $THEO$ を与える。

表1 初期節点変位速度 (mm/sec)

節点番号 i	UU(2*i-1)	UU(2*i)	節点番号 i	UU(2*i-1)	UU(2*i)
1	0.0	1.0	21	- 0.03	0.5
2	0.0	1.0	22	- 0.03	0.5
3	0.0	1.0	23	0.0	0.333
4	0.0	1.0	24	- 0.01	0.333
5	0.0	1.0	25	- 0.02	0.333
6	0.0	1.0	26	- 0.03	0.333
7	0.0	1.0	27	- 0.04	0.333
8	0.0	0.833	28	- 0.04	0.333
9	- 0.01	0.833	29	- 0.04	0.333
10	- 0.01	0.833	30	0.0	0.167
11	- 0.01	0.833	31	- 0.02	0.167
12	0.0	0.667	32	- 0.04	0.167
13	- 0.01	0.667	33	- 0.05	0.167
14	- 0.02	0.667	34	0.0	0.0
15	- 0.02	0.667	35	- 0.01	0.0
16	- 0.02	0.667	36	- 0.02	0.0
17	- 0.02	0.667	37	- 0.03	0.0
18	- 0.02	0.667	38	- 0.04	0.0
19	0.0	0.5	39	- 0.05	0.0
20	- 0.02	0.5	40	- 0.06	0.0

今回の例は平面ひずみ問題であるのでデータとして入力する必要はない。この他に許容反復計算回数NOITER=50,緩和係数RELAX=0.3,収束判定の基準値EPSHI = 10^{-8} を与えている。

板の形状及び変形は x, y 軸に対称であるので、図 2 のように 1/4 の部分のみを要素分割して解析する。これより NELEM = 9, NPOIN = 40。

表 2 節点座標値 (mm)

節点番号 i	X(i, 1)	X(i, 2)	節点番号 i	X(i, 1)	X(i, 2)
1	0.0	120.0	21	80.0	60.0
2	20.0	120.0	22	120.0	60.0
3	40.0	120.0	23	0.0	40.0
4	60.0	120.0	24	20.0	40.0
5	80.0	120.0	25	40.0	40.0
6	100.0	120.0	26	60.0	40.0
7	120.0	120.0	27	80.0	40.0
8	0.0	100.0	28	100.0	40.0
9	40.0	100.0	29	120.0	40.0
10	80.0	100.0	30	0.0	20.0
11	120.0	100.0	31	40.0	20.0
12	0.0	80.0	32	80.0	20.0
13	20.0	80.0	33	120.0	20.0
14	40.0	80.0	34	0.0	0.0
15	60.0	80.0	35	20.0	0.0
16	80.0	80.0	36	40.0	0.0
17	100.0	80.0	37	60.0	0.0
18	120.0	80.0	38	80.0	0.0
19	0.0	60.0	39	100.0	0.0
20	40.0	60.0	40	120.0	0.0

表 3 要素節点番号

節点番号 i	DOD(i, 1)	NOD(i, 2)	NOD(i, 3)	NOD(i, 4)	NOD(i, 5)	NOD(i, 6)	NOD(i, 7)	NOD(i, 8)
1	12	14	3	1	13	9	2	8
2	14	16	5	3	15	10	4	9
3	16	18	7	5	17	11	6	10
4	23	25	14	12	24	20	13	19
5	25	27	16	14	26	21	15	20
6	27	29	18	16	28	22	17	21
7	34	36	25	23	35	31	24	30
8	36	38	27	25	37	32	26	31
9	38	40	29	27	39	33	28	32

板の変形は x, y 軸に対して対称であるので、 x 軸上で y 方向変位速度は零、 y 軸上で x 方向変位速度は零となる。更に板の上端は固着で y 方向に一様な変位速度 1.0 mm/sec が加えられている。この問題では力の境界条件はないので境界条件に関するデータは $NBOUNV=19, NBOUNF=0$ 。

表 4 境界条件 (mm)

番号 i	$NV(i)$	$NB(i,1)$	$NB(i,2)$	$BV(i,1)$	$BV(i,2)$
1	1	0	0	0.0	0.0
2	2	0	0	0.0	0.0
3	3	0	0	0.0	0.0
4	4	0	0	0.0	0.0
5	5	0	0	0.0	0.0
6	6	0	0	0.0	0.0
7	7	0	0	0.0	0.0
8	8	0	1	0.0	0.0
9	12	0	1	0.0	0.0
10	19	0	1	0.0	0.0
11	23	0	1	0.0	0.0
12	30	0	1	0.0	0.0
13	34	0	0	0.0	0.0
14	35	1	0	0.0	0.0
15	36	1	0	0.0	0.0
16	37	1	0	0.0	0.0
17	38	1	0	0.0	0.0
18	39	1	0	0.0	0.0
19	40	1	0	0.0	0.0

以上作成したデータをサブルーチンDATAのREAD文

```

01360C      READING OF DATA
01370C
01380      READ(5,99) IPROB,NOCOMP,UPRINT
01390      READ(5,101) NOITER,RELAX,EPSHI
01400C
01410      NPOINE=8
01420      NGAUSS=4
01430      THEO=1.0
01440      READ(5,100) NELEM,NPOIN
01450      READ(5,102) ((X(I,J),J=1,2),I=1,NPOIN)
01460      READ(5,103) ((NOD(I,J),J=1,NPOINE),I=1,NELEM)
01470      READ(5,102) ((UU(2*I-1),UU(2*I),I=1,NPOIN)
01480      IF(IPROB.EQ.-1) READ(5,106) THEO
01490C
01500      READ(5,104) CONST,RM,RN,EPINIT
01510      READ(5,106) DTIME
01520C
01530      READ(5,100) NBOUNV,NBOUNF
01540      READ(5,105) (HV(I),NB(I,1),NB(I,2),BV(I,1),BV(I,2),i=1,NBOUNV)
01550      IF(NBOUNF.EQ.0) GO TO 90
01560      READ(5,105) (NF(I),MB(I,1),MB(I,2),CV(I,1),CV(I,2),I=1,NBOUNF)
01570C *****
01580      99 FORMAT(3I5)
01590      100 FORMAT(2I5)
01600      101 FORMAT(15,F10.0,D10.3)
01610      102 FORMAT(2F10.0)
01620      103 FORMAT(8I5)
01630      104 FORMAT(3F10.0,D10.3)
01640      105 FORMAT(3I5,2F10.0)
01650      106 FORMAT(F10.0)
01660C *****

```

に従ってデータファイルを作る。


```

0 20 5
50 0.3 1.0D-08
9 40 -0.01 0.833
0.0 120.0 0.0 0.667
20.0 120.0 -0.01 0.667
40.0 120.0 -0.02 0.667
60.0 120.0 -0.02 0.667
80.0 120.0 -0.02 0.667
100.0 120.0 -0.02 0.667
120.0 120.0 -0.02 0.667
0.0 100.0 0.0 0.5
40.0 100.0 -0.02 0.5
80.0 100.0 -0.03 0.5
120.0 100.0 -0.03 0.5
0.0 80.0 0.0 0.333
20.0 80.0 -0.01 0.333
40.0 80.0 -0.02 0.333
60.0 80.0 -0.03 0.333
80.0 80.0 -0.04 0.333
100.0 80.0 -0.04 0.333
120.0 80.0 -0.04 0.333
0.0 60.0 0.0 0.167
40.0 60.0 -0.02 0.167
80.0 60.0 -0.04 0.167
120.0 60.0 -0.05 0.167
0.0 40.0 0.0 0.0
20.0 40.0 -0.01 0.0
40.0 40.0 -0.02 0.0
60.0 40.0 -0.03 0.0
80.0 40.0 -0.04 0.0
100.0 40.0 -0.05 0.0
120.0 40.0 -0.06 0.0
0.0 20.0 15.9 0.13 0.21 1.0D-04
40.0 20.0 1.0
80.0 20.0 19 0
120.0 20.0 1 0 0 0.0 0.0
0.0 0.0 2 0 0 0.0 0.0
20.0 0.0 3 0 0 0.0 0.0
40.0 0.0 4 0 0 0.0 0.0
60.0 0.0 5 0 0 0.0 0.0
80.0 0.0 6 0 0 0.0 0.0
100.0 0.0 7 0 0 0.0 0.0
120.0 0.0 8 0 1 0.0 0.0
12 14 3 1 13 9 2 8 12 0 1 0.0 0.0
14 16 5 3 15 10 4 9 19 0 1 0.0 0.0
16 18 7 5 17 11 6 10 23 0 1 0.0 0.0
23 25 14 12 24 20 13 19 30 0 1 0.0 0.0
25 27 16 14 26 21 15 20 34 0 0 0.0 0.0
27 29 18 16 28 22 17 21 35 1 0 0.0 0.0
34 36 25 23 35 31 24 30 36 1 0 0.0 0.0
36 38 27 25 37 32 26 31 37 1 0 0.0 0.0
38 40 29 27 39 33 28 32 38 1 0 0.0 0.0
0.0 1.0 39 1 0 0.0 0.0
0.0 1.0 40 1 0 0.0 0.0
0.0 1.0
0.0 1.0
0.0 1.0
0.0 1.0
0.0 1.0
0.0 0.833
-0.01 0.833
-0.01 0.833

```

これを用いて計算をするとき必要な JCL は

```

カラム 1      8      16
-----
$ JOB 利用者番号;支払コード$パスワード,B
$ FRT77 Y,NLSTIN,NWARN,LNO,NFORM,OPT=2
$ PRMFL S*,R,S,LIBSOURCE/APPLIC/RPLAN
$ LINKER BIND
$ RUN V
$ LIMITS 900S,,20000
$ PRMFL 05,R,S,LIBSOURCE/APPLIC/DTRPLAN
$ ENDJOB

```

2.3 計算結果の読み方

出力リストの一部を以下に示す。

PLANE STRAIN PROBLEM

```

* * * CONTROL DATA * * * * *
* NOCOMP= 20          NOITER= 50      *
* DTIME = 1.000      RELAX =0.300    *
*                      EPSHI = 0.100d-07 *
* * * * *
* * * MATERIAL CONSTANT * * * * *
* CONST = 15.90000    RM= 0.130      RN= 0.210 *
* EPINIT= 0.100d-03
* * * * *

```

```

NPOIN = 40      NELEM = 9
NBOUNV = 19     NBOUNF = 0
NPOINE = 8      NGAUSS = 4

```

ELEMENT	NODE1	NODE2	NODE3	NODE4	NODE5	NODE6	NODE7	NODE8
1	12	14	3	1	13	9	2	8
2	14	16	5	3	15	10	4	9
3	16	18	7	5	17	11	6	10
4	23	25	14	12	24	20	13	19
5	25	27	16	14	26	21	15	20
6	27	29	18	16	28	22	17	21
7	34	36	25	23	35	31	24	30
8	36	38	27	25	37	32	26	31
9	38	40	29	27	39	33	28	32

INITIAL CONDITION

NODE	X-R-COORDINATE	Y-Z-COORDINATE		X-R-VELOCITY	Y-Z-VELOCITY
1	0.000000d+00	0.120000d+03	1	0.000000d+00	0.100000d+01
2	0.200000d+02	0.120000d+03	0	0.000000d+00	0.100000d+01
3	0.400000d+02	0.120000d+03	1	0.000000d+00	0.100000d+01
4	0.600000d+02	0.120000d+03	0	0.000000d+00	0.100000d+01
5	0.800000d+02	0.120000d+03	1	0.000000d+00	0.100000d+01
6	0.100000d+03	0.120000d+03	0	0.000000d+00	0.100000d+01
7	0.120000d+03	0.120000d+03	1	0.000000d+00	0.100000d+01
8	0.000000d+00	0.100000d+03	0	0.000000d+00	0.833000d+00
9	0.400000d+02	0.100000d+03	0	-0.100000d-01	0.833000d+00
10	0.800000d+02	0.100000d+03	0	-0.100000d-01	0.833000d+00
11	0.120000d+03	0.100000d+03	0	-0.100000d-01	0.833000d+00
12	0.000000d+00	0.800000d+02	1	0.000000d+00	0.667000d+00
13	0.200000d+02	0.800000d+02	0	-0.100000d-01	0.667000d+00
14	0.400000d+02	0.800000d+02	1	-0.200000d-01	0.667000d+00
15	0.600000d+02	0.800000d+02	0	-0.200000d-01	0.667000d+00
16	0.800000d+02	0.800000d+02	1	-0.200000d-01	0.667000d+00
17	0.100000d+03	0.800000d+02	0	-0.200000d-01	0.667000d+00
18	0.120000d+03	0.800000d+02	1	-0.200000d-01	0.667000d+00
19	0.000000d+00	0.600000d+02	0	0.000000d+00	0.500000d+00
20	0.400000d+02	0.600000d+02	0	-0.200000d-01	0.500000d+00
21	0.800000d+02	0.600000d+02	0	-0.300000d-01	0.500000d+00
22	0.120000d+03	0.600000d+02	0	-0.300000d-01	0.500000d+00
23	0.000000d+00	0.400000d+02	1	0.000000d+00	0.333000d+00
24	0.200000d+02	0.400000d+02	0	-0.100000d-01	0.333000d+00
25	0.400000d+02	0.400000d+02	1	-0.200000d-01	0.333000d+00
26	0.600000d+02	0.400000d+02	0	-0.300000d-01	0.333000d+00
27	0.800000d+02	0.400000d+02	1	-0.400000d-01	0.333000d+00
28	0.100000d+03	0.400000d+02	0	-0.400000d-01	0.333000d+00
29	0.120000d+03	0.400000d+02	1	-0.400000d-01	0.333000d+00
30	0.000000d+00	0.200000d+02	0	0.000000d+00	0.167000d+00
31	0.400000d+02	0.200000d+02	0	-0.200000d-01	0.167000d+00
32	0.800000d+02	0.200000d+02	0	-0.400000d-01	0.167000d+00
33	0.120000d+03	0.200000d+02	0	-0.500000d-01	0.167000d+00
34	0.000000d+00	0.000000d+00	1	0.000000d+00	0.000000d+00
35	0.200000d+02	0.000000d+00	0	-0.100000d-01	0.000000d+00
36	0.400000d+02	0.000000d+00	1	-0.200000d-01	0.000000d+00
37	0.600000d+02	0.000000d+00	0	-0.300000d-01	0.000000d+00
38	0.800000d+02	0.000000d+00	1	-0.400000d-01	0.000000d+00
39	0.100000d+03	0.000000d+00	0	-0.500000d-01	0.000000d+00
40	0.120000d+03	0.000000d+00	1	-0.600000d-01	0.000000d+00

SIZE OF STIFFNESS MATRIX 120 AND BAND WIDTH 42

BOUNDARY CONDITION

DISPLACEMENT CONSTRAINTS

NUMBER-I	NV(I)	NB(I,1)	NB(I,2)	BV(I,1)	BV(I,1)
1	1	0	0	0.0000000d+00	0.0000000d+00
2	2	0	0	0.0000000d+00	0.0000000d+00
3	3	0	0	0.0000000d+00	0.0000000d+00
4	4	0	0	0.0000000d+00	0.0000000d+00
5	5	0	0	0.0000000d+00	0.0000000d+00
6	6	0	0	0.0000000d+00	0.0000000d+00
7	7	0	0	0.0000000d+00	0.0000000d+00
8	8	0	1	0.0000000d+00	0.0000000d+00
9	12	0	1	0.0000000d+00	0.0000000d+00
10	19	0	1	0.0000000d+00	0.0000000d+00
11	23	0	1	0.0000000d+00	0.0000000d+00
12	30	0	1	0.0000000d+00	0.0000000d+00
13	34	0	0	0.0000000d+00	0.0000000d+00
14	35	1	0	0.0000000d+00	0.0000000d+00
15	36	1	0	0.0000000d+00	0.0000000d+00
16	37	1	0	0.0000000d+00	0.0000000d+00
17	38	1	0	0.0000000d+00	0.0000000d+00
18	39	1	0	0.0000000d+00	0.0000000d+00
19	40	1	0	0.0000000d+00	0.0000000d+00

STEP= 1

ITERATION

II= 1 ERROR= 0.16582953d+02
II= 2 ERROR= 0.91531021d+01
II= 3 ERROR= 0.47604614d+01
II= 4 ERROR= 0.23929461d+01
II= 5 ERROR= 0.11804439d+01
II= 6 ERROR= 0.57756619d+00
II= 7 ERROR= 0.28186447d+00
II= 8 ERROR= 0.13708165d+00
II= 9 ERROR= 0.65632576d-01
II=10 ERROR= 0.30623601d-01

•
•
•
•
•

STEP=20

ITERATION

II= 1 ERROR= 0.33890950d-02
II= 2 ERROR= 0.16364565d-02
II= 3 ERROR= 0.80010949d-03
II= 4 ERROR= 0.39145003d-03
II= 5 ERROR= 0.19160303d-03
II= 6 ERROR= 0.93814218d-04
II= 7 ERROR= 0.45944499d-04
II= 8 ERROR= 0.22504406d-04
II= 9 ERROR= 0.11024277d-04
II=10 ERROR= 0.54009071d-05
II=11 ERROR= 0.26461053d-05
II=12 ERROR= 0.12964752d-05
II=13 ERROR= 0.63523295d-06
II=14 ERROR= 0.31125046d-06
II=15 ERROR= 0.15250803d-06
II=16 ERROR= 0.74727326d-07
II=17 ERROR= 0.36615841d-07
II=18 ERROR= 0.17941574d-07
II=19 ERROR= 0.87913072d-08

STRESS AND STRAINRATES OF STEP20

1 1X= 0.84170b+01 SX= 0.42675526b+01SY= 0.62815248b+01SZ= 0.52406483b+01SXY= 0.73367412b+00SGM= 0.21587825b+01MSTR= 0.52406483b+01
 Y= 0.13055b+03 EX=-0.29333006b-03EY= 0.31376191b-03EZ= 0.00000000b+00EXY= 0.44231175b-03EYP= 0.43382905b-03 EP= 0.93914385b-02

1 2X= 0.31319b+02 SX= 0.50835188b+01SY= 0.67956737b+01SZ= 0.75658056b+01SXY= 0.40786992b+00SGM= 0.39736108b+01MSTR= 0.59959011b+01
 Y= 0.13058b+03 EX=-0.50472944b-03EY= 0.44242437b+00EZ= 0.00000000b+00EXY= 0.16433326b-02EPP= 0.10956763b-02 EP= 0.24189948b-01

1 3X= 0.81181b+01 SX= 0.30505798b+01SY= 0.75658056b+01SZ= 0.53036807b+01SXY= 0.40786992b+00SGM= 0.39736108b+01MSTR= 0.53036807b+01
 Y= 0.10685b+03 EX=-0.22666181b-02EY= 0.22752581b-02EZ= 0.00000000b+00EXY= 0.82047578b-03EPP= 0.26644536b-02 EP= 0.55874781b-01

1 4X= 0.29947b+02 SX= 0.27143384b+01SY= 0.74649022b+01SZ= 0.51232727b+01SXY= 0.12140635b+01SGM= 0.46207394b+01MSTR= 0.51232727b+01
 Y= 0.10665b+03 EX=-0.30965193b-02EY= 0.30088509b-02EZ= 0.00000000b+00EXY= 0.31206009b-02EPP= 0.39590142b-02 EP= 0.89379506b-01

2 1X= 0.47976b+02 SX= 0.48367967b+01SY= 0.70733364b+01SZ= 0.60246471b+01SXY= 0.17839663b+01SGM= 0.36488082b+01MSTR= 0.60246471b+01
 Y= 0.13051b+03 EX=-0.10170710b-02EY= 0.89794124b-03EZ= 0.00000000b+00EXY= 0.30549644b-02EPP= 0.20828083b-02 EP= 0.43373750b-01

2 2X= 0.70552b+02 SX= 0.43550326b+01SY= 0.69625155b+01SZ= 0.53747930b+01SXY= 0.22825261b+01SGM= 0.45887724b+01MSTR= 0.53747930b+01

.

.

.

9 1X= 0.71157b+02 SX= 0.31956453b+00SY= 0.75902700b+01SZ= 0.39864760b+01SXY= 0.47527883b+00SGM= 0.63504351b+01MSTR= 0.39864760b+01
 Y= 0.37546b+02 EX=-0.95505523b-02EY= 0.93861613b-02EZ= 0.00000000b+00EXY= 0.24757485b-02EPP= 0.11026566b-01 EP= 0.21697464b+00

9 2X= 0.90853b+02 SX= 0.24102737b+00SY= 0.69045909b+01SZ= 0.35599369b+01SXY= 0.53399464b+00SGM= 0.58445066b+01MSTR= 0.35599369b+01
 Y= 0.36047b+02 EX=-0.82575587b-02EY= 0.83216121b-02EZ= 0.00000000b+00EXY= 0.26571933b-02EPP= 0.96942196b-02 EP= 0.115989977b+00

9 3X= 0.69746b+02 SX= 0.42315894b+00SY= 0.78103513b+01SZ= 0.41052342b+01SXY= 0.12352238b+00SGM= 0.64011038b+01MSTR= 0.41052342b+01
 Y= 0.10082b+02 EX=-0.10310601b-01EY= 0.10375123b-01EZ= 0.00000000b+00EXY= 0.69177836b-03EPP= 0.11194964b+01 EP= 0.21545651b+00

9 4X= 0.89483b+02 SX= 0.10067165b+00SY= 0.70116945b+01SZ= 0.35604639b+01SXY= 0.15604229b+00SGM= 0.59912252b+01MSTR= 0.35604639b+01
 Y= 0.97179b+01 EX=-0.92805690b-02EY= 0.92576030b-02EZ= 0.00000000b+00EXY= 0.83713766b-03EPP= 0.10713934b-01 EP= 0.16959501b+00

NODALPOINT	X	Y	Z	SX	SY	SZ	SXY	SGM	MSTR	EX	EY	EZ	EXY	EYP	EP
1	0.37288041b-09	0.14000000b+03	0.37288041b-09	0.20000000b+02	0.20000000b+02	0.20000000b+02	0.32654648b-10	0.10000000b+01	0.23704576b+02	0.33285245b+02	0.12865723b+02	0.12865723b+02	0.12865723b+02	0.12865723b+02	0.16924629b+03
2	0.20000000b+02	0.14000000b+03	0.96193893b-10	0.20000000b+02	0.20000000b+02	0.20000000b+02	0.72193202b-11	0.10000000b+01	0.84776795b+00	0.26803630b+02	0.26803630b+02	0.26803630b+02	0.26803630b+02	0.26803630b+02	0.92094233b+02
3	0.40000000b+02	0.14000000b+03	0.17411705b-10	0.20000000b+02	0.20000000b+02	0.20000000b+02	0.16291380b-11	0.10000000b+01	0.98390200b+00	0.61842939b+02	0.61842939b+02	0.61842939b+02	0.61842939b+02	0.61842939b+02	0.18027081b+03
4	0.60000000b+02	0.14000000b+03	0.22800540b-09	0.20000000b+02	0.20000000b+02	0.20000000b+02	0.39454020b-11	0.10000000b+01	0.53186086b+02	0.52552756b+02	0.52552756b+02	0.52552756b+02	0.52552756b+02	0.52552756b+02	0.85882197b+02
5	0.80000000b+02	0.14000000b+03	0.37721811b-10	0.20000000b+02	0.20000000b+02	0.20000000b+02	0.61106020b-10	0.10000000b+01	0.57279420b+02	0.53186086b+02	0.53186086b+02	0.53186086b+02	0.53186086b+02	0.53186086b+02	0.18637419b+03
6	0.10000000b+03	0.14000000b+03	0.87068561b-09	0.20000000b+02	0.20000000b+02	0.20000000b+02	0.34977011b-09	0.10000000b+01	0.67279420b+02	0.10953526b+03	0.10953526b+03	0.10953526b+03	0.10953526b+03	0.10953526b+03	0.21915948b+00
7	0.20000000b+03	0.14000000b+03	0.44137730b-08	0.20000000b+02	0.20000000b+02	0.20000000b+02	0.91955558b-10	0.10000000b+01	0.98390200b+00	0.14379742b-09	0.14379742b-09	0.14379742b-09	0.14379742b-09	0.14379742b-09	0.28748420b-09
8	0.10946097b-08	0.11972476b+03	0.10946097b-08	0.19724761b+02	0.19724761b+02	0.19724761b+02	0.51187175b-01	0.10000000b+01	0.94040184b+00	0.31242750b-09	0.31242750b-09	0.31242750b-09	0.31242750b-09	0.31242750b-09	0.40740528b-09
9	0.38860985b+02	0.11848765b+03	0.35948234b+01	0.18487647b+02	0.18487647b+02	0.18487647b+02	0.16403603b+00	0.10000000b+01	0.88966565b+00	0.15415401b-09	0.15415401b-09	0.15415401b-09	0.15415401b-09	0.15415401b-09	0.22553126b-09
10	0.10869353b+03	0.11668319b+05	0.11306473b+02	0.16683191b+02	0.16683191b+02	0.16683191b+02	0.42821357b+00	0.10000000b+01	0.88966565b+00	0.35454125b+02	0.35454125b+02	0.35454125b+02	0.35454125b+02	0.35454125b+02	0.47115034b-09
11	0.10963320b+08	0.98927391b+02	0.10963320b+08	0.18927391b+02	0.18927391b+02	0.18927391b+02	0.96569442b-10	0.10000000b+01	0.93963030b+00	0.32022359b-09	0.32022359b-09	0.32022359b-09	0.32022359b-09	0.32022359b-09	0.12134704b-09
12	0.18567975b+02	0.98734287b+02	0.14320249b+01	0.18734287b+02	0.18734287b+02	0.18734287b+02	0.66395642b-01	0.10000000b+01	0.93963030b+00	0.57425037b-10	0.57425037b-10	0.57425037b-10	0.57425037b-10	0.57425037b-10	0.21491550b-10
13	0.36631629b+02	0.98238495b+02	0.33683710b+01	0.18238495b+02	0.18238495b+02	0.18238495b+02	0.16997832b+00	0.10000000b+01	0.91706888b+00	0.33634672b-10	0.33634672b-10	0.33634672b-10	0.33634672b-10	0.33634672b-10	0.19916779b-09
14	0.54131115b+02	0.97168886b+02	0.58688553b+01	0.17168886b+02	0.17168886b+02	0.17168886b+02	0.25041577b+00	0.10000000b+01	0.87807857b+00	0.36633837b-10	0.36633837b-10	0.36633837b-10	0.36633837b-10	0.36633837b-10	0.29858459b-09
15	0.70956220b+02	0.95437232b+02	0.90437507b+02	0.15437232b+02	0.15437232b+02	0.15437232b+02	0.37764990b+00	0.10000000b+01	0.81900969b+00	0.85490587b-10	0.85490587b-10	0.85490587b-10	0.85490587b-10	0.85490587b-10	0.12728285b-09
16	0.88468493b+02	0.93944165b+02	0.11531501b+02	0.13944165b+02	0.13944165b+02	0.13944165b+02	0.48786560b+00	0.10000000b+01	0.75468521b+00	0.40910719b-10	0.40910719b-10	0.40910719b-10	0.40910719b-10	0.40910719b-10	0.98552555b-09
17	0.10500583b+03	0.91831865b+02	0.14964170b+02	0.11831865b+02	0.11831865b+02	0.11831865b+02	0.65230822b+00	0.10000000b+01	0.67437250b+00	0.83275227b+00	0.83275227b+00	0.83275227b+00	0.83275227b+00	0.83275227b+00	0.34694470b-16
18	0.40605210b-08	0.74664153b+02	0.40605210b-08	0.16641537b+02	0.16641537b+02	0.16641537b+02	0.37213295b+00	0.10000000b+01	0.77467800b+00	0.27755576b-16	0.27755576b-16	0.27755576b-16	0.27755576b-16	0.27755576b-16	0.27755576b-16
19	0.33965412b+02	0.75097301b+02	0.60345880b+01	0.15097301b+02	0.15097301b+02	0.15097301b+02	0.25669531b+00	0.10000000b+01	0.77467800b+00	0.27755576b-16	0.27755576b-16	0.27755576b-16	0.27755576b-16	0.27755576b-16	0.27755576b-16
20	0.33965412b+02	0.75097301b+02	0.60345880b+01	0.15097301b+02	0.15097301b+02	0.15097301b+02	0.25669531b+00	0.10000000b+01	0.77467800b+00	0.27755576b-16	0.27755576b-16	0.27755576b-16	0.27755576b-16	0.27755576b-16	0.27755576b-16

出力リストには、はじめに入力したデータ、続いて各計算ステップにおける繰り返し数と誤差、各要素の積分点当り2行を確保して1行目には要素番号、積分点の番号、x座標、応力 σ_x 、 σ_y 、 σ_z 、 σ_{xy} 、相当応力 $\bar{\sigma}$ 、平均応力 σ_m 、二行目には、y座標、ひずみ速度 $\dot{\epsilon}_x$ 、 $\dot{\epsilon}_y$ 、 $\dot{\epsilon}_z$ 、 $\dot{\gamma}_{xy}$ 、相当ひずみ速度 $\dot{\bar{\epsilon}}$ 、相当ひずみ $\bar{\epsilon}$ の順に出力されている。

全体的な板の変位或いは力等について各増分毎のデータが必要な場合はサブルーチンRESULTを若干変更する必要がある。例えば本計算の場合、各増分毎、上端部のy方向変位と力を出力する場合、サブルーチンRESULT09690の後に以下のステートメントを加えればよい。

```

PS=0.0
DO 50 I=1,7
50 PS=PS+T(3*I-1)
WRITE(6,51) I I I, PS.UUT(2)
51 FORMAT(1H, I4, 2D15.7)

```

以上の出力結果より図3に板の上端の変位と力の関係を示す。図中の変形形状は変位が $u = 20$ mmの時のものである。

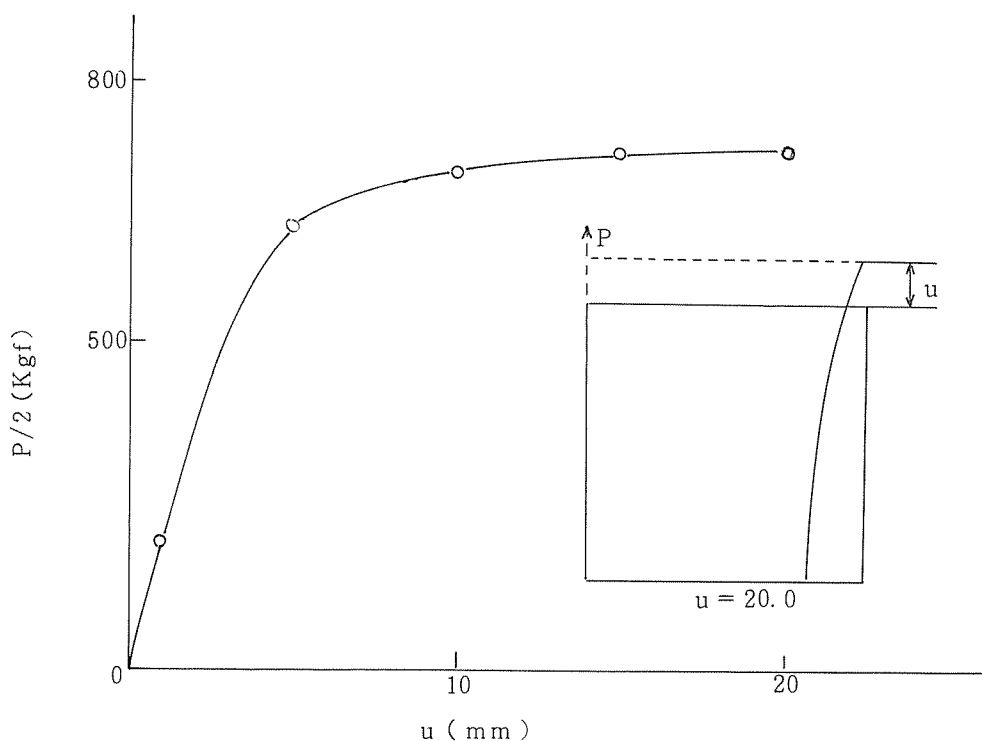


図3 板上端の変位 u と力 P の関係

3. 任意形の単軸応力とひずみ、ひずみ速度関係の導入に伴う変更

本プログラムは式(1)の構成式を想定している。従ってこれとは異なる形の構成式を導入する場合報告書添付資料1、式(6)のfに具体的な構成式を導入してサブルーチンを変更することが出来る。

4. あとがき

2次元及び軸対称剛塑性問題解析有限要素法プログラムの使用法、特にデータの作成について平面ひずみ条件下で引張りを受ける板の解析を例に詳述した。プログラム内容の詳細については研究開発計画報告書を参照されたい。

5. 参考文献

- (1) Y. Tomita and R. Sowerby, Int. J. Mech.Sci.,20-6(1978)361-371.
- (2) Y. Tomita and R. Sowerby, Int. J. Mech. Sci.,21-8(1979)505-516.
- (3) 富田佳宏、有限要素法の基礎と最近の進歩、
日本鉄鋼協会第94.95回西山記念技術講座、(1983)45-102.
- (4) 富田佳宏、大阪大学大型計算機センター研究開発計画報告書(1985)