

2次元弾性応力解析

プログラム概要

- このプログラムは、微小変位の仮定において等方性材料の2次元弾性応力解析を行うものである。
- 平面歪問題および平面応力問題の双方に対応している。
- 要素として、1要素4節点、1節点2自由度（水平変位・鉛直変位）を有するアイソパラメトリック要素が用いられている。ガウス積分点は1要素4点である。
- 荷重として、節点外力、節点強制変位、節点温度変化、要素への慣性力を扱える。
- 座標システムにおいては、右方向をx軸、上方向をy軸と設定している。
- 連立一次方程式は、`numpy.linalg.solve(A, b)` で解いている。
- 入力データファイル、出力データファイルは、空白区切りで記載される必要があり、ファイル名はコマンドライン引数として入力する。

扱える境界条件	
項目	説明
節点外力	载荷節点数, 载荷節点番号, 荷重値を指定
節点温度変化	全節点での温度変化量を指定。
要素慣性力	材料特性データの中で、水平方向と鉛直方向の加速度を重力加速度に対する比で指定
節点強制変位	強制変位を与える節点数・節点番号および変位値を指定（ゼロ変位を含む）

FEM解析プログラム

Program name	Description
<code>py_fem_pl4.py</code>	2次元応力解析プログラム

`inp_arch.txt` と `out_arch.txt`

FEM解析実行用スクリプト

```
python3 py_fem_pl4.py inp.txt out.txt
```

`inp.txt` : 入力データファイル（空白区切りデータ）
`out.txt` : 出力データファイル（空白区切りデータ）

①テキストファイルで保存

に各々書き換えてインプットする

Program name	Description
<code>inp_arch.txt</code>	FEM解析入力データ
<code>py_fig_cont_pl4.py</code>	応力コンター作成プログラム (matplotlib)
<code>py_fig_vect_pl4.py</code>	応力ベクトル図作成プログラム (matplotlib)

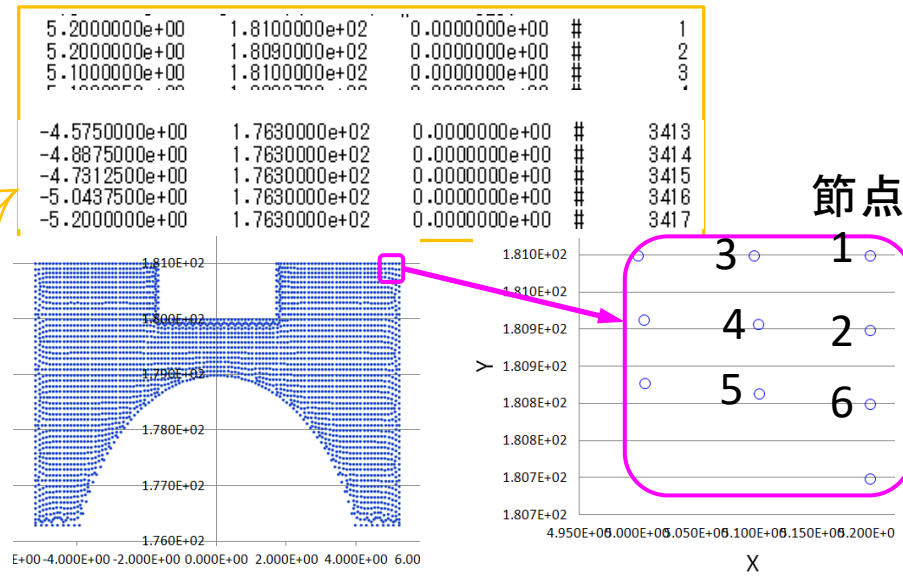
②Windows PowerShellあるいはコマンドプロンプトに入力してenter

入力データ書式

```

npoin nele nsec npfix nlod NSTR # Basic values for analysis
t E po alpha gamma gkh gkv # Material properties
..... (1 to nsec) ..... #
node1 node2 node3 node4 isec # Element connectivity
..... (1 to nele) ..... #
x y deltaT # Coordinate, Temperature
..... (1 to npoin) ..... #
node kox koy rdisx rdisy # Restricted node and load
..... (1 to npfix) ..... #
node fx fy # Loaded node and load
..... (1 to nlod) ..... #
    
```

- npoin, nele, nsec : 節点数, 要素数, 材料特性数
- npfix, nlod : 拘束節点数, 荷重節点数
- NSTR : 応力状態 (平面歪: 0, 平面応力: 1)
- t, E, po, alpha : 板厚, 弾性係数, ポアソン比, 線膨張係数
- gamma, gkh, gkv : 単位体積重量, 水平及び鉛直方向加速度 (gの比)
- x, y, deltaT : 節点x座標, 節点y座標, 節点温度変化
- node, kox, koy : 拘束節点番号, x及びy方向拘束の有無 (拘束: 1, 自由: 0)
- rdisx, rdisy : x及びy方向変位 (無拘束でも0を入力)
- node, fx, fy : 荷重節点番号, x方向荷重, y方向荷重



節点

3417	3257	1	114	35	1	
1.1	2000000	0.20	0.00001	2.30	0.0	-1.0
1488	1408	1414	1489	1	#	1
1414	1418	1497	1489	1	#	2
1497	1553	1488	1489	1	#	3
940	1002	1004	988	1	#	169
2	1	3	4	1	#	170
3	7	8	4	1	#	171
8	9	5	4	1	#	172
5	6	2	4	1	#	173
863	925	926	864	1	#	174
1538	1540	1608	1607	1	#	308
1608	1679	1682	1607	1	#	309
42	41	30	36	1	#	310
30	25	35	36	1	#	311
35	47	48	36	1	#	312
48	49	42	36	1	#	313
1610	1542	1541	1611	1	#	314
1541	1544	1612	1611	1	#	315

52	68	69	54	1	#	2819
69	72	70	54	1	#	2820
3240	3164	3163	3237	1	#	2821
3163	3156	3155	3237	1	#	2822
3155	3154	3236	3237	1	#	2823
50	39	40	55	1	#	2954
40	41	56	55	1	#	2955
56	73	67	55	1	#	2956
2986	2935	2934	2985	1	#	2957
2934	2933	2984	2985	1	#	2958
17	18	10	11	1	#	3049
10	6	5	11	1	#	3050
5	9	12	11	1	#	3051
3232	3289	3290	3233	1	#	3052
3290	3291	3234	3233	1	#	3053
13	21	22	14	1	#	3255
22	23	15	14	1	#	3256
15	9	8	14	1	#	3257

1680	1	1	0.000000e+00	0.000000e+00	#	1	3.950000e+00	1.763000e+02
1684	1	1	0.000000e+00	0.000000e+00	#	2	4.887500e+00	1.763000e+02
1685	1	1	0.000000e+00	0.000000e+00	#	3	5.043750e+00	1.763000e+02
3382	1	0	0.000000e+00	0.000000e+00	#	112	-5.200000e+00	1.765000e+02
3395	1	0	0.000000e+00	0.000000e+00	#	113	-5.200000e+00	1.764000e+02
3412	1	0	0.000000e+00	0.000000e+00	#	114	-5.200000e+00	1.763500e+02

1438	0.000000e+00	-1.7426471e+00	#	-1.700000e+00	1.800000e+02
1507	0.000000e+00	-3.4852941e+00	#	-1.600000e+00	1.800000e+02
1574	0.000000e+00	-3.4852941e+00	#	-1.500000e+00	1.800000e+02
1650	0.000000e+00	-3.4852941e+00	#	-1.400000e+00	1.800000e+02
1718	0.000000e+00	-3.4852941e+00	#	-1.300000e+00	1.800000e+02
1781	0.000000e+00	-3.4852941e+00	#	-1.200000e+00	1.800000e+02
1846	0.000000e+00	-3.4852941e+00	#	-1.100000e+00	1.800000e+02
1915	0.000000e+00	-3.4852941e+00	#	-1.000000e+00	1.800000e+02
1988	0.000000e+00	-3.4852941e+00	#	-9.000000e-01	1.800000e+02
2067	0.000000e+00	-3.4852941e+00	#	-8.000000e-01	1.800000e+02
2148	0.000000e+00	-3.4852941e+00	#	-7.000000e-01	1.800000e+02
2229	0.000000e+00	-3.4852941e+00	#	-6.000000e-01	1.800000e+02
2151	0.000000e+00	-3.4852941e+00	#	-5.000000e-01	1.800000e+02
2083	0.000000e+00	-3.4852941e+00	#	-4.000000e-01	1.800000e+02
2006	0.000000e+00	-3.4852941e+00	#	-3.000000e-01	1.800000e+02
2070	0.000000e+00	-3.4852941e+00	#	-2.000000e-01	1.800000e+02
1991	0.000000e+00	-3.4852941e+00	#	-1.000000e-01	1.800000e+02
1932	0.000000e+00	-3.4852941e+00	#	0.000000e+00	1.800000e+02
1863	0.000000e+00	-3.4852941e+00	#	1.000000e-01	1.800000e+02
1918	0.000000e+00	-3.4852941e+00	#	2.000000e-01	1.800000e+02
1849	0.000000e+00	-3.4852941e+00	#	3.000000e-01	1.800000e+02
1796	0.000000e+00	-3.4852941e+00	#	4.000000e-01	1.800000e+02
1733	0.000000e+00	-3.4852941e+00	#	5.000000e-01	1.800000e+02
1784	0.000000e+00	-3.4852941e+00	#	6.000000e-01	1.800000e+02
1721	0.000000e+00	-3.4852941e+00	#	7.000000e-01	1.800000e+02
1663	0.000000e+00	-3.4852941e+00	#	8.000000e-01	1.800000e+02
1587	0.000000e+00	-3.4852941e+00	#	9.000000e-01	1.800000e+02
1653	0.000000e+00	-3.4852941e+00	#	1.000000e+00	1.800000e+02
1577	0.000000e+00	-3.4852941e+00	#	1.100000e+00	1.800000e+02
1519	0.000000e+00	-3.4852941e+00	#	1.200000e+00	1.800000e+02
1450	0.000000e+00	-3.4852941e+00	#	1.300000e+00	1.800000e+02
1511	0.000000e+00	-3.4852941e+00	#	1.400000e+00	1.800000e+02
1441	0.000000e+00	-3.4852941e+00	#	1.500000e+00	1.800000e+02
1364	0.000000e+00	-3.4852941e+00	#	1.600000e+00	1.800000e+02
1305	0.000000e+00	-1.7426471e+00	#	1.700000e+00	1.800000e+02

```
npoin nele nsec npfix nlod NSTR
```

```
(Each value of above)
```

```
sec t E po alpha gamma gkh gkv
```

```
sec : Material number
```

```
t : Element thickness
```

```
E : Elastic modulus
```

```
po : Poisson's ratio
```

```
alpha : Thermal expansion coefficient
```

```
gamma : Unit weight
```

```
gkh : Acceleration in x-direction (ratio to g)
```

```
gkv : Acceleration in y-direction (ratio to g)
```

```
..... (1 to nsec) .....
```

```
npoin nele nsec npfix nlod NSTR
3417 3257 1 114 35 1
```

```
sec t E po alpha gamma gkh gkv
1 1.1000000e+00 2.0000000e+06 2.0000000e-01 1.0000000e-05 2.3000000e+00 0.000 -1.000
```

node x y fx fy deltaT kox koy

node : Node number
x : x-coordinate
y : y-coordinate
fx : Load in x-direction
fy : Load in y-direction
deltaT : Temperature change of node
kox : Index of restriction in x-direction (0: free, 1: fixed)
koy : Index of restriction in x-direction (0: free, 1: fixed)
..... (1 to npoin)

node kox koy rdis_x rdis_y

node : Node number
kox : Index of restriction in x-direction (0: free, 1: fixed)
koy : Index of restriction in y-direction (0: free, 1: fixed)
rdis_x : Given displacement in x-direction
rdis_y : Given displacement in y-direction
..... (1 to npfix)

node	x	y	fx	fy	deltaT	kox	koy
1	5.2000000e+00	1.8100000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1	0
2	5.2000000e+00	1.8090000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1	0
3	5.1000000e+00	1.8100000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0	0
3414	-4.8875000e+00	1.7630000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1	1
3415	-4.7312500e+00	1.7630000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1	1
3416	-5.0437500e+00	1.7630000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1	1
3417	-5.2000000e+00	1.7630000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1	1

node	kox	koy	rdis_x	rdis_y
1	1	0	0.0000000e+00	0.0000000e+00
2	1	0	0.0000000e+00	0.0000000e+00
6	1	0	0.0000000e+00	0.0000000e+00
10	1	0	0.0000000e+00	0.0000000e+00
3413	1	1	0.0000000e+00	0.0000000e+00
3414	1	1	0.0000000e+00	0.0000000e+00
3415	1	1	0.0000000e+00	0.0000000e+00
3416	1	1	0.0000000e+00	0.0000000e+00
3417	1	1	0.0000000e+00	0.0000000e+00

dis-x, dis-y : x方向変位, y方向変位
sig_x, sig_y, tau_xy : x方向直応力, y方向直応力, せん断応力
p1, p2, ang : 第一主応力, 第二主応力, 第一主応力の方向

elem i j k l sec

elem : Element number

i : Node number of start point

j : Node number of second point

k : Node number of third point

l : Node number of end point

sec : Material number

..... (1 to nele)

node dis-x dis-y

node : Node number

dis-x : Displacement in x-direction

dis-y : Displacement in y-direction

..... (1 to npoin)

elem sig_x sig_y tau_xy p1 p2 ang

elem : Element number

sig_x : Normal stress in x-direction

sig_y : Normal stress in y-direction

tau_xy : Shear stress in x-y plane

p1 : First principal stress

p2 : Second principal stress

ang : Angle of the first principal stress

..... (1 to nele)

n=(total degrees of freedom) time=(calculation time)

elem	i	j	k	l	sec
1	1488	1409	1414	1489	1
2	1414	1418	1497	1489	1
3	1497	1553	1488	1489	1
4	2280	2282	2209	2208	1
5	2209	2129	2127	2208	1
3254	8	7	13	14	1
3255	13	21	22	14	1
3256	22	23	15	14	1
3257	15	9	8	14	1

dis-x, dis-y : x方向変位, y方向変位

sig_x, sig_y, tau_xy : x方向直応力, y方向直応力, せん断応力

p1, p2, ang : 第一主応力, 第二主応力, 第一主応力の方向

node	dis-x	dis-y	fr-x	fr-y
1	0.0000000e+00	-4.8968439e-05	3.8779354e+00	0.0000000e+00
2	0.0000000e+00	-4.8268759e-05	7.3575543e+00	0.0000000e+00
3	-3.5900962e-06	-4.9086321e-05	0.0000000e+00	0.0000000e+00
4	-3.2342822e-06	-4.8427726e-05	0.0000000e+00	0.0000000e+00
5	-2.9999186e-06	-4.7805715e-05	0.0000000e+00	0.0000000e+00

elem	sig_x	sig_y	tau_xy	p1	p2	ang
1	1.5397952e-01	2.2850327e-01	3.8110585e-02	2.4454115e-01	1.3794164e-01	6.7177433e+01
2	-1.7082752e-01	-2.8040270e-01	2.5367389e-01	3.3907766e-02	-4.8513799e-01	3.8906328e+01
3	-3.3034171e-01	-2.1284090e-01	2.2022830e-01	-4.3661239e-02	-4.9952137e-01	5.2468485e+01
3256	6.5583983e+01	-2.9450894e-01	1.6885622e-01	6.5584416e+01	-2.9494174e-01	1.4685618e-01
3257	6.5465466e+01	-3.2048115e-01	1.2053284e-01	6.5465686e+01	-3.2070199e-01	1.0497670e-01

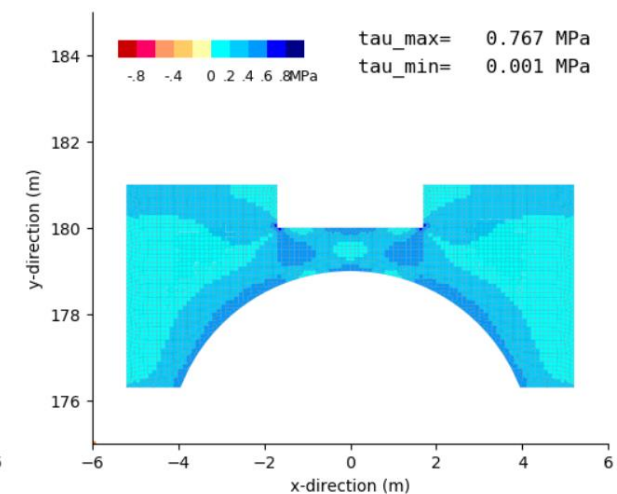
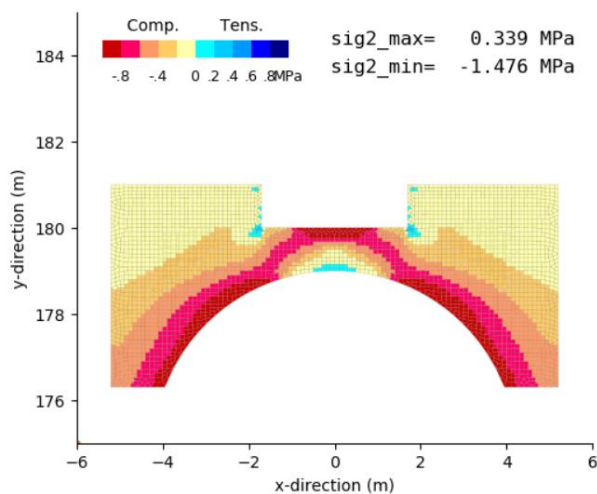
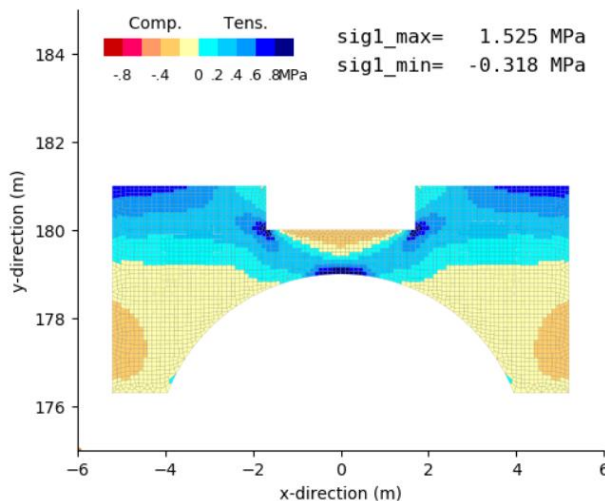
n=6834 time=17.500 sec

py_fig_cont.py

_fig_pl4_con1.png : 第一主応力色分け図

_fig_pl4_con2.png : 第二主応力色分け図

_fig_pl4_con3.png : 最大せん断応力色分け図

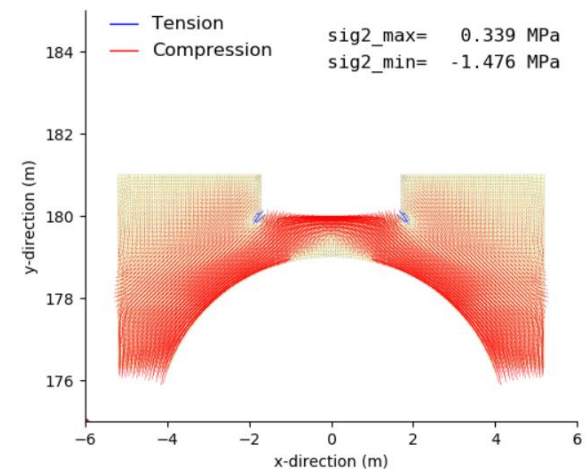
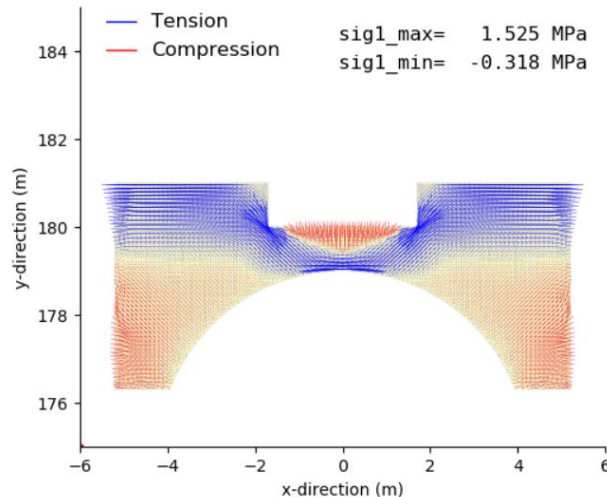
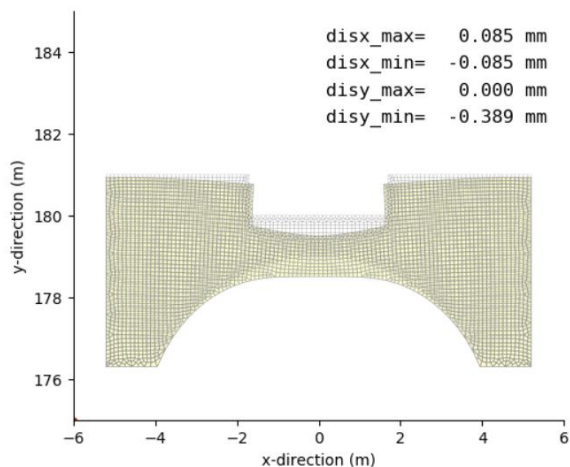


py_fig_vect.py

_fig_pl4_disp.png : 変位モード図

_fig_pl4_vec1.png : 第一主応力ベクトル図

_fig_pl4_vec2.png : 第二主応力ベクトル図



Program name	Description
inp_arch.txt	FEM解析入力データ
py_fig_cont_pl4.py	応力コンター作成プログラム (matplotlib)
py_fig_vect_pl4.py	応力ベクトル図作成プログラム (matplotlib)

```
python3 py_fem_pl4.py inp_arch.txt out_arch.txt  
python3 py_fig_cont_pl4.py out_arch.txt  
python3 py_fig_vect_pl4.py out_arch.txt
```