



第6章 部材の断面力計算

ポイント：部材断面力の計算 両端の変位より両端外力を計算する

本章では、両端の変位を用いて部材両端の材端力を求め、断面内の応力との釣合より、断面力を求める方法を学ぶ。ここでは、部材荷重は等分布荷重を考慮しているため、基本応力と節点荷重による断面力を重ね合わせて、実際の部材断面力を求める。

6.1 はじめに

キーワード

部材断面力の計算 部材座標系の変位 等分布荷重による基本応力

部材内部の断面力は、部材荷重のない場合は単純で、曲げモーメントは一次式、軸力とせん断力は一定となる。そのため、材端力が分かれば、その値に釣合う断面力は容易に求められることになる。まず、全体変位より部材両端の変位を取り出し、次に、部材座標系に変換した後、両端変位を用いて両端の材端力を求め、さらに、部材内の応力を計算する。部材の材端力を求めるフローチャートを以下に示す。

6.2 部材断面力の計算

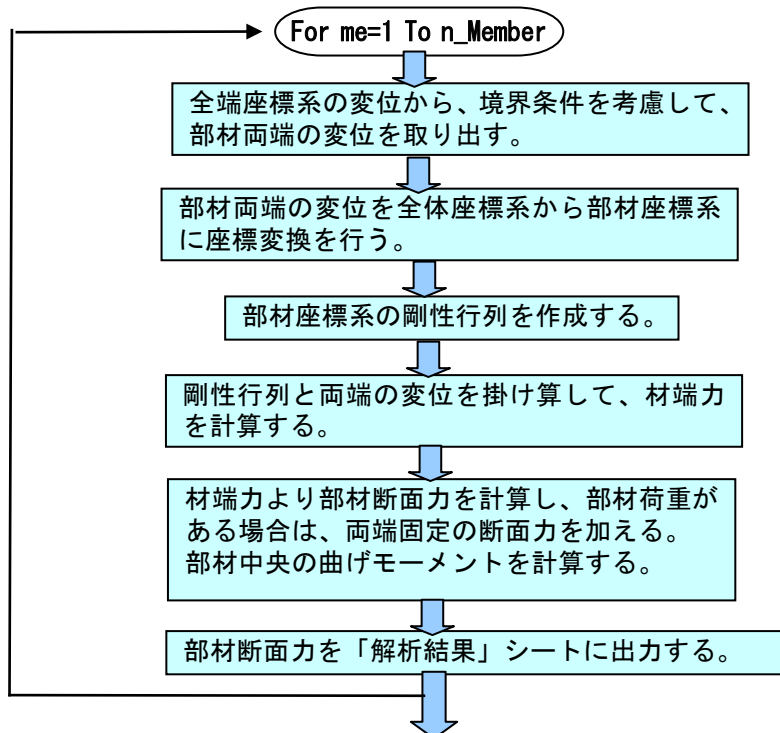


図 6-1 部材断面力の計算と出力

6.3 部材断面力の
計算と出力プ
ログラム

この部材断面力の計算は、主プログラムにおける次のコードで呼び出される。

```

'-----
'
'      9 : 部材応力の計算と出力
'-----
Call Cal_stress(n_Member, Member, al, sin_cos, disp, F_rest, Element, C_M_Q)
'-----

```

このサブルーチンは、以下のようであり、内容はそれほど難しくはない。

```

'-----
'      部材応力の計算と出力
'-----
Private Sub Cal_stress(n_Member, Member, al, sin_cos, disp, F_rest, Element, C_M_Q)
Dim i As Integer
Dim j As Integer
Dim j1 As Integer
Dim i1 As Integer
Dim mx As Integer
Dim Mc As Double
'-----

Dim R(6, 6) As Double
Dim ak(6, 6) As Double
Dim u(6) As Double
Dim uu(6) As Double
Dim ff(6) As Double
'-----全部材について計算
For i = 1 To n_Member
  mx = Member(3, i)
'-----部材座標系の剛性行列計算
  Call Cal_k(i, ak, al, mx, Element)
'-----回転行列計算
  Call Cal_rot(i, R, sin_cos)
'-----部材両端の変位を全体座標系の変位から取り出す
  Call Get_M_u(Member(1, i), Member(2, i), u, F_rest, disp)
'-----両端変位を全体座標系から部材座標系に変換
  Call Cal_rotate(R, u, uu)
'-----材端外力と材中央の曲げモーメント計算
  Call Get_stress(i, ak, uu, ff, C_M_Q, Mc)
'-----部材応力を出力
  Call Out_stress(ff, i, Mc)
Next
End Sub

```

上記のサブルーチンで呼ばれているサブルーチンを以下に示す。それらの処理内容は、コメントに書かれているので理解できるであろう。また、既に、記述されているサブルーチンは除かれている。

```

' -----
'      部材両端の変位を取得
' -----
Private Sub Get_M_u(i1, i2, u, F_rest, disp)
Dim j As Integer
For j = 1 To 3
    u(j) = 0#
    If (F_rest(j, i1) > 0#) Then u(j) = disp(F_rest(j, i1))
Next
For j = 1 To 3
    u(j + 3) = 0#
    If (F_rest(j, i2) > 0#) Then u(j + 3) = disp(F_rest(j, i2))
Next
End Sub

```

```

' -----
'      材端外力計算
' -----
Private Sub Get_stress(m, ak, uu, ff, C_M_Q, Mc)
Dim i As Integer
Dim j As Integer
Dim s As Double
' -----
For i = 1 To 6
    s = 0#
    For j = 1 To 6
        s = s + ak(i, j) * uu(j)
    Next
    ff(i) = s
Next
' ----- 両端固定梁の応力と重ねる
Mc = (-ff(6) + ff(3)) * 0.5 + C_M_Q(2, m)
ff(2) = ff(2) - C_M_Q(3, m)
ff(3) = ff(3) - C_M_Q(1, m)
ff(5) = ff(5) - C_M_Q(3, m)
ff(6) = ff(6) + C_M_Q(1, m)
End Sub

```

```

' -----
'      材端外力の出力
' -----
Private Sub Out_stress(ff, i, Mc)
Dim j As Integer
Dim F_cel
Dim F_sheet
' -----
F_sheet = "解析結果"
F_cel = "F3"
' -----
Worksheets(F_sheet).Range(F_cel).Offset(i, 0).Value = i
For j = 1 To 6
    Worksheets(F_sheet).Range(F_cel).Offset(i, j).Value = ff(j)

```

```

Next
Worksheets(F_sheet).Range(F_cel).Offset(i, 7).Value = Mc
End Sub

```

6.4 その他のサブ ルーチン

本節では、これまでに説明してこなかったサブルーチンについて解説する。ここでは、2つのサブルーチンがあり、一つ目のサブルーチンは節点集中荷重を荷重ベクトルに組み込む処理を行う。入力データから load_P() に読み込まれた荷重は全体座標系であるため、そのまま、節点の未知番号を頼りに荷重ベクトルに組み込む処理を行う。

2つ目のサブルーチンは、方程式を解いて得た節点変位を、節点ごとに整理してシートのセル上に出力するプログラムである。ここでも、節点に未知番号を頼りに、節点変位を呼び出している。

```

' -----
'      節点荷重の設定
' -----
Private Sub Set_load_S(pload, n_P_load, load_P, F_rest)
Dim i As Integer
Dim j As Integer
Dim i1 As Integer
Dim j1 As Integer
' -----
For i = 1 To n_P_load
i1 = load_P(1, i)
For j = 1 To 3
j1 = F_rest(j, i1)
If (j1 > 0) Then
pload(j1) = load_P(j + 1, i) + pload(j1)
End If
Next
Next
End Sub

```

```

' -----
'      全体変位の出力
' -----
Private Sub Out_disp(displ, n_point, F_rest)
Dim F_cel
Dim F_sheet
Dim i As Integer
Dim j As Integer
Dim j1 As Integer
Dim u As Double
' -----
F_sheet = "解析結果"

```

```

F_cel = "A3"
For i = 1 To n_point
  Worksheets(F_sheet).Range(F_cel).Offset(i, 0).Value = i
  For j = 1 To 3
    u = 0#
    If (F_rest(j, i) > 0#) Then
      j1 = F_rest(j, i)
      u = disp(j1)
    End If
    Worksheets(F_sheet).Range(F_cel).Offset(i, j).Value = u
  Next
Next
Next
'-----
End Sub

```

6.5 課題

本章で説明したサブルーチンを組み込めば、平面骨組のプログラムは完成である。これらのサブルーチンを組み込んだ後、適切な処理が行われているかどうかを確認するために、テストを行い、エラーが発生する場合はプログラムをデバックする。ここでは、次の例題を用い、プログラムの正確さを検証する。

I：簡単なモデルで正解と比較する。例えば以下のような理論解を用意する。

- 1) 単純梁で中央集中荷重
- 2) 単純梁で等分布荷重
- 3) 両端固定梁で中央集中荷重
- 4) 両端固定梁で等分布荷重
- 5) 片持ち梁で先端集中荷重
- 6) 片持ち梁で等分布荷重

II：他のプログラムと比較する

ここでは、SPACE を使用して解の比較を行う

1) 中央集中荷重を受ける単純梁

次に、例題として、上に示した単純梁で中央集中荷重の解析結果を示す。読者も、課題で作成した平面骨組のプログラムを使用して計算し、その結果と手計算による結果とを比較してみよう。

使用する部材のヤング係数と断面二次モーメント及び梁の長さは以下のようなものである。

$$\left. \begin{aligned} P &= 100kN; \quad l = 800cm \\ E &= 20500kN/cm^2; I = 22964.9cm^4 \end{aligned} \right\} \dots\dots (6.1)$$

解析モデルと曲げモーメント図、せん断力図、及びたわみ曲線などを図6-2に示す。

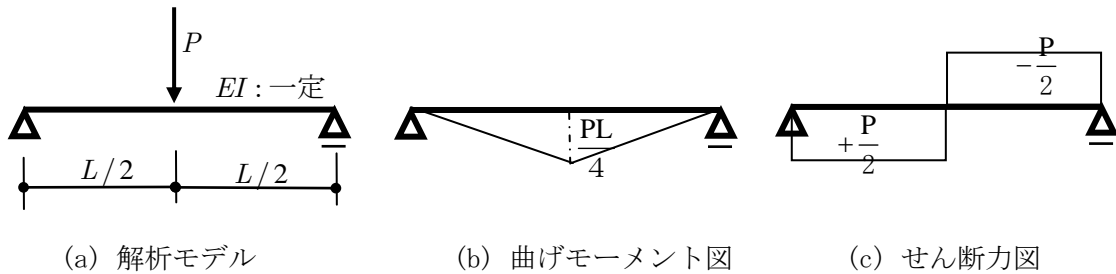


図 6-2 中央集中荷重を受ける単純梁

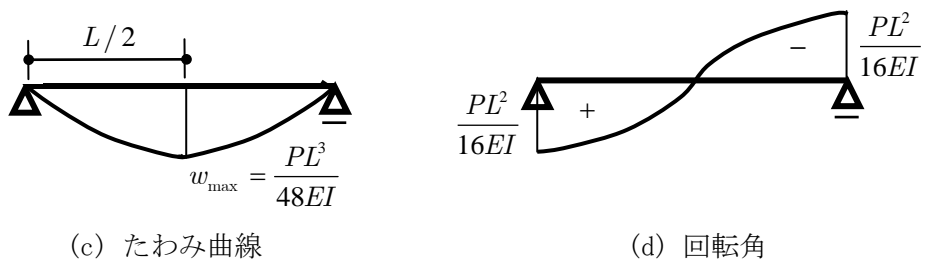


図 6-3 たわみ曲線と回転角

入力データは、Excel のシートに書かれた次図に示される。このモデルの梁は4分割されており、中央に集中荷重が加えられている。

コントロール情報		節点座標			部材の端部節点番号				要素番号			境界条件			節点荷重			部材荷重(等分布荷重)				
番号	説明	節点番号	x座標	y座標	部材番号	i端	j端	要素番号	要素番号	ヤング係数	断面積	断面二次モーメント	節点番号	x方向	y方向	回転角	節点番号	x方向	y方向	曲げ	部材番号	荷重値
1	節点数	5			1	1	2	1	1	20500	81.92	22964.9	1	0	0	1	3	0	100	0		
2	部材数	4	2	200	0	2	2	3	1				5	1	0	1						
3	要素数	1	3	400	0	3	3	4	1													
4	境界節点数	2	4	600	0	4	4	5	1													
5	部材荷重数	0	5	800	0	5																
6	節点荷重数	1	6			6																
7			7			7																
8			8			8																
9			9			9																
10			10			10																
11			11			11																
12			12			12																
13			13			13																
14			14			14																
15			15			15																
16	解析開始		16			16																
17	応力計算終了		17			17																
18			18			18																
19	自由度数	12	19			19																
20	スカラーイン数	49	20			20																
21	LDU分解	0																				
22	不安定次数	0																				
23																						
24																						

図 6-4 中央集中荷重を受ける単純梁の入力データ

図 6-2 及び 6-3 に示されている最大曲げモーメントや最大変位、最大回転角を以下のように計算する。

$$\begin{aligned}
 M_{\max} &= \frac{Pl}{4} = \frac{100 \cdot 800}{4} = 20000kNcm \\
 Q_{\max} &= \frac{P}{2} = \frac{100}{2} = 50kN \\
 v_{\max} &= \frac{Pl^3}{48EI} = \frac{100 \cdot 800^3}{48 \cdot 20500 \cdot 22964.9} = 2.266cm \\
 \theta_{\max} &= \frac{Pl^2}{16EI} = \frac{100 \cdot 800^2}{16 \cdot 20500 \cdot 22964.9} = 0.0085
 \end{aligned}
 \quad \dots\dots (6.2)$$

平面骨組プログラムで解析した結果を以下に示す。ここでは、式(6.2)の値と良い一致を示しているが、読者のプログラムでも、同様の結果が得られているか検証しよう。

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
2													
3	節点番号	u	v	θ		部材番号	N	Q	M	N	Q	M	
4	1	0.000	0.000	0.0085		1	0.000	-50.000	0.000	0.000	50.000	-10000.000	5000.000
5	2	0.000	1.558	0.0064		2	0.000	-50.000	10000.000	0.000	50.000	-20000.000	15000.000
6	3	0.000	2.266	0.0000		3	0.000	50.000	20000.000	0.000	-50.000	-10000.000	15000.000
7	4	0.000	1.558	-0.0064		4	0.000	50.000	10000.000	0.000	-50.000	0.000	5000.000
8	5	0.000	0.000	-0.0085									
9													

図 6-5 中央集中荷重を受ける単純梁の解析結果

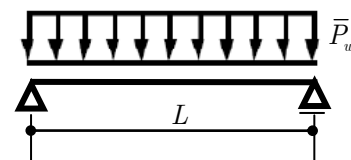
2) 等分布荷重を受ける単純梁

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC
2	コントロール情報			節点座標				部材の端節点番号										境界条件											
3	節点数	5		節点番号	x座標	y座標		部材番号	i端	j端	要素番号		要素番号	トング係数	断面積	断面二次モーメント	節点番号	x方向	y方向	回転角		節点番号	x方向	y方向	曲げ		部材番号	荷重値	
4	部材数	4		1	0	0		1	1	2	1		1	20500	81.92	22964.9	1	0	0	1							1	2	
5	要素数	1		2	200	0		2	2	3	1		2				5	1	0	1						2	2		
6	境界節点数	2		3	400	0		3	3	4	1		3													3	2		
7	部材荷重数	4		4	600	0		4	4	5	1		4													4	2		
8	節点荷重数	0		5	800	0		5					5																
9				6				6					6																
10				7				7					7																
11				8				8					8																
12				9				9					9																
13				10				10					10																
14				11				11					11																
15				12				12					12																
16				13				13					13																
17				14				14					14																
18				15				15					15																
19				16				16					16																
20				17				17					17																
21	自由度数	12		18				18					18																
22	スライイン数	49		19				19					19																
23	LDU分解	0		20				20					20																
24	不安定次数	0																											

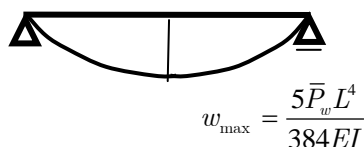
図 6-6 等分布荷重を受ける単純梁の入力データ

解析モデルは、次に示すように梁長さ 8m の単純梁であり、部材のヤング係数と断面二次モーメントは次に示す通りである。

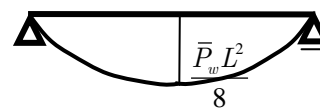
$$\left. \begin{aligned} \bar{P}_w &= 2kN/m; \quad l = 800cm \\ E &= 20500kN/cm^2; I = 22964.9cm^4 \end{aligned} \right\} \dots\dots (6.3)$$



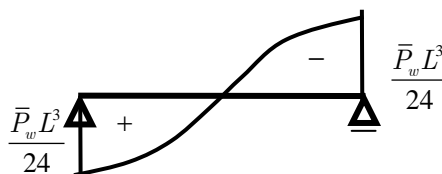
(a) 解析モデル



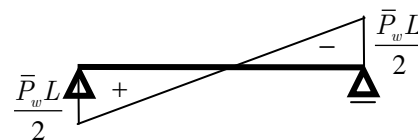
(d) たわみ曲線と最大たわみ



(b) 曲げモーメント図



(e) 回転角図



(c) セン断力図

図 6-7 等分布荷重を受ける単純梁の解析モデルと断面力、たわみ、回転角

入力データは、Excel のシートに書かれた図 6-6 に示される。このモデルの梁は 4 分割されており、等分布荷重が加えられている。

図 6-7 に示されている最大曲げモーメントや最大変位、最大回転角は以下のものである。

$$\left. \begin{aligned} M_{\max} &= \frac{\bar{p}_w l^2}{8} = \frac{2 \cdot 800^2}{8} = 160000kNcm \\ Q_{\max} &= \frac{\bar{p}_w l}{2} = \frac{2 \cdot 800}{2} = 800kN \\ v_{\max} &= \frac{5\bar{p}_w l^4}{384EI} = \frac{5 \cdot 2 \cdot 800^4}{384 \cdot 20500 \cdot 22964.9} = 22.657cm \\ \theta_{\max} &= \frac{\bar{p}_w l^3}{24EI} = \frac{2 \cdot 800^3}{24 \cdot 20500 \cdot 22964.9} = 0.0906 \end{aligned} \right\} \dots\dots (6.4)$$

平面骨組プログラムで解析した結果を以下に示す。

節点番号	u	v	θ	部材番号	N	Q	M	N	Q	M	N	M
1	0.000	0.000	0.0906	1	0.000	-400.000	0.000	0.000	800.000	-120000.000	70000.000	
2	0.000	16.143	0.0623	2	0.000	0.000	120000.000	0.000	400.000	-160000.000	150000.000	
3	0.000	22.657	0.0000	3	0.000	400.000	160000.000	0.000	0.000	-120000.000	150000.000	
4	0.000	16.143	-0.0623	4	0.000	800.000	120000.000	0.000	-400.000	0.000	70000.000	
5	0.000	0.000	-0.0906									

図 6-8 等分布荷重を受ける単純梁の解析結果

3) 先端集中荷重を受ける片持ち梁

使用する部材のヤング係数と断面二次モーメント及び梁の長さは以下のようである。

$$\begin{aligned}
 P &= 100kN; \quad l = 800cm \\
 E &= 20500kN/cm^2; I = 22964.9cm^4
 \end{aligned}
 \quad \dots\dots (6.5)$$

解析モデルと曲げモーメント図、せん断力図、及びたわみ曲線などを図 6-9 に示す。

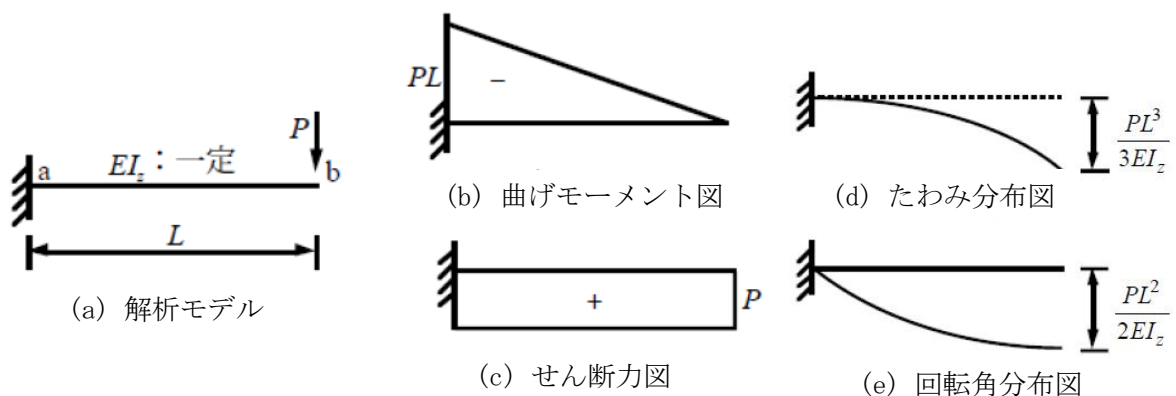


図 6-9 先端集中荷重を受ける片持ち梁

入力データは、Excel のシートに書かれた次図に示される。このモデル

の梁は4分割されており、中央に集中荷重が加えられている。

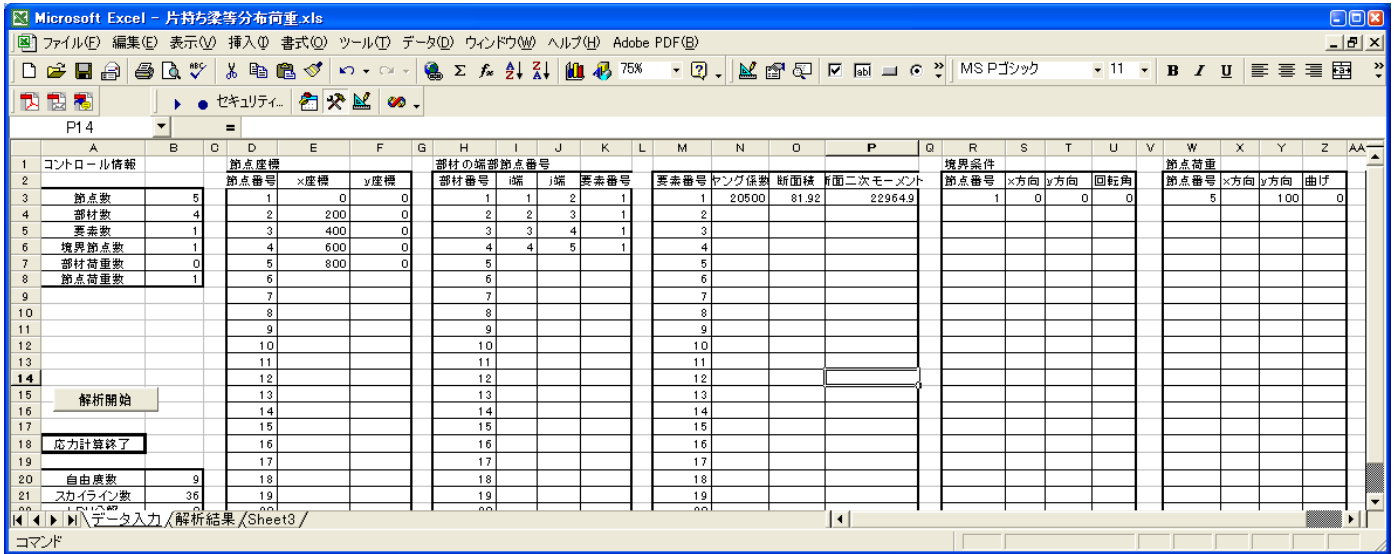


図 6-10 先端集中荷重を受ける片持ち梁の入力データ

図 6-9 に示されている最大曲げモーメントや最大変位、最大回転角を計算する。

$$\begin{aligned}
 M_{\max} &= Pl = 100 \cdot 800 = 80000kNcm \\
 Q_{\max} &= P = 100kN \\
 v_{\max} &= \frac{Pl^3}{3EI} = \frac{100 \cdot 800^3}{3 \cdot 20500 \cdot 22964.9} = 36.25cm \\
 \theta_{\max} &= \frac{Pl^2}{2EI} = \frac{100 \cdot 800^2}{2 \cdot 20500 \cdot 22964.9} = 0.0680
 \end{aligned}
 \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} M_{\max} \\ Q_{\max} \\ v_{\max} \\ \theta_{\max} \end{aligned}} \right\} \dots\dots (6.6)$$

平面骨組プログラムで解析した結果を以下に示す。

節点番号	u	v	θ	部材番号	N	Q	M	N	Q	M	M
1											
2											
3	1	0.000	0.000	1	0.000	-100.000	-80000.000	0.000	100.000	60000.000	-70000.000
4	2	0.000	3.115	2	0.000	-100.000	-60000.000	0.000	100.000	40000.000	-50000.000
5	3	0.000	11.329	3	0.000	-100.000	-40000.000	0.000	100.000	20000.000	-30000.000
6	4	0.000	22.941	4	0.000	-100.000	-20000.000	0.000	100.000	0.000	-10000.000
7	5	0.000	36.252								
8											
9											
10											
11											

図 6-11 先端集中荷重を受ける片持ち梁の解析結果

4) 等分布荷重を受ける両端固定梁

使用する部材のヤング係数と断面二次モーメント及び梁の長さは以下のようである。

$$\left. \begin{aligned} \bar{P}_w &= 2kN/m; \quad l = 800cm \\ E &= 20500kN/cm^2; I = 22964.9cm^4 \end{aligned} \right\} \dots\dots (6.7)$$

解析モデルと曲げモーメント図、せん断力図、及びたわみ曲線などを図6-12に示す。

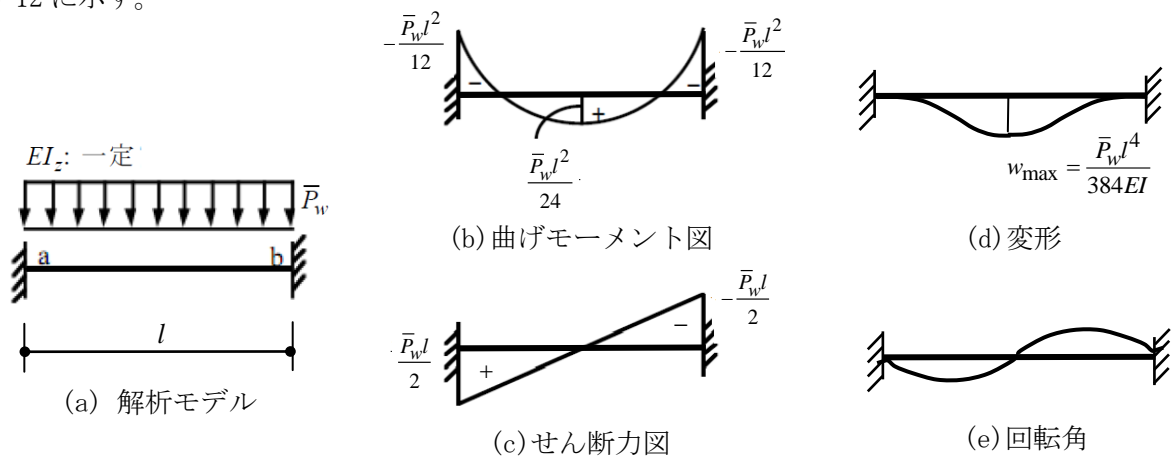


図 6-12 先端集中荷重を受ける片持ち梁

入力データは、Excel のシートに書かれた次図に示される。このモデルの梁は4分割されており、等分布荷重が加えられている。

1 コントロール情報		2 節点座標		3 部材の端節点番号		4 要素番号		5 ヤング係数		6 断面積		7 断面二次モーメント		8 境界条件		9 節点荷重		10 部材荷重(等分布荷重)											
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	
節点数	5	1	200	0	0	1	1	2	1	1	20500	81.92	22964.9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
部材数	4	2	200	0	0	2	2	3	1	2				2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
要素数	1	3	400	0	0	3	3	4	1	3				3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
境界節点数	2	4	600	0	0	4	4	5	1	4				4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
部材節点数	4	5	800	0	0	5	5	6	1	5				5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
節点荷重数	0	7				7				7				7															
		8				8				8				8															
		9				9				9				9															
		10				10				10				10															
		11				11				11				11															
		12				12				12				12															
		13				13				13				13															
		14				14				14				14															
		15				15				15				15															
		16				16				16				16															
		17				17				17				17															
		18				18				18				18															
		19				19				19				19															
		20				20				20				20															
		21				21				21				21															
		22				22				22				22															
		23				23				23				23															
		24				24				24				24															

図 6-13 等分布荷重を受ける両端固定梁の入力データ

図 6-12 に示されている最大曲げモーメントや最大変位、最大回転角を計算してみよう。

$$\begin{aligned}
 C &= \frac{\bar{p}_w l^2}{12} = \frac{2 \cdot 800^2}{12} = 106666.7 \text{ kNcm} \\
 M_{\max} &= \frac{C}{2} = 53333.3 \\
 Q_{\max} &= \frac{\bar{p}_w l}{2} = \frac{2 \cdot 800}{2} = 800 \text{ kN} \\
 v_{\max} &= \frac{\bar{p}_w l^4}{384EI} = \frac{2 \cdot 800^4}{384 \cdot 20500 \cdot 22964.9} = 4.531 \text{ cm}
 \end{aligned}
 \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} C \\ M_{\max} \\ Q_{\max} \\ v_{\max} \end{aligned}} \right\} \dots\dots (6.8)$$

平面骨組プログラムで解析した結果を以下に示す。

節点番号	u	v	θ	部材番号	N	Q	M	N	Q	M	M
1	0.000	0.000	0.0000	1	0.000	-400.000	-106666.667	0.000	800.000	-13333.333	-36666.667
2	0.000	2.549	0.0170	2	0.000	0.000	13333.333	0.000	400.000	-53333.333	43333.333
3	0.000	4.531	0.0000	3	0.000	400.000	53333.333	0.000	0.000	-13333.333	43333.333
4	0.000	2.549	-0.0170	4	0.000	800.000	13333.333	0.000	-400.000	106666.667	-36666.667
5	0.000	0.000	0.0000								

図 6-14 等分布荷重を受ける両端固定梁の解析結果

5) 柱に水平集中荷重を受ける門型骨組

使用する部材のヤング係数と断面二次モーメント及び梁の長さは以下のようなものである。

$$\begin{aligned}
 P &= 100 \text{ kN}; \quad l = 600 \text{ cm}; \quad h = 300 \text{ cm} \\
 E &= 20500 \text{ kN/cm}^2; I_c = 23000.0 \text{ cm}^4; I_b = 92000.0 \text{ cm}^4 \\
 K_0 &= \frac{EI_c}{h}; k_c = 1; k_b = \frac{EI_b h}{EI_c l} = \frac{92000 \cdot 300}{23000 \cdot 600} = 2
 \end{aligned}
 \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} P \\ E \\ K_0 \end{aligned}} \right\} \dots\dots (6.9)$$

解析モデルと曲げモーメント図、せん断力図、及びたわみ曲線などを図 6-16 に示す。

図 6-15 に示されている最大曲げモーメントや最大変位、及び軸力を計算する。

$$\begin{aligned}
 C &= \frac{Ph}{8} = \frac{100 \cdot 300}{8} = 3750kNcm \\
 M_{\max} &= 4C = 15000kNcm \\
 Q_b &= \frac{Ph}{l} = \frac{100 \cdot 300}{600} = 50kN; \quad Q_c = 100kN \\
 N_c &= \frac{Ph}{l} = 50kN
 \end{aligned}
 \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} C \\ M_{\max} \\ Q_b \\ N_c \end{aligned}} \right\} \dots\dots (6.10)$$

平面骨組プログラムで解析した結果を以下に示す。

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
2								i端			j端		中央
3	節点番号	u	v	θ		部材番号	N	Q	M	N	Q	M	M
4	1	0.000	0.000	-0.0080		1	-50.000	100.000	0.000	50.000	-100.000	15000.000	-7500.000
5	2	1.078	0.005	-0.0056		2	-50.000	0.000	-15000.000	50.000	0.000	15000.000	-15000.000
6	3	1.560	0.009	-0.0008		3	0.000	-50.000	-15000.000	0.000	50.000	-15000.000	0.000
7	4	1.560	-0.009	-0.0008		4	50.000	0.000	15000.000	-50.000	0.000	-15000.000	15000.000
8	5	1.078	-0.005	-0.0056		5	50.000	100.000	15000.000	-50.000	-100.000	0.000	7500.000
9	6	0.000	0.000	-0.0080									

図 6-17 柱中央に水平集中荷重を受ける門型骨組の解析結果

6) 柱に水平等分布荷重を受ける門型骨組

使用する部材のヤング係数と断面二次モーメント及び梁の長さは以下のようである。

$$\begin{aligned}
 \bar{p}_w &= 2kN/m; l = 600cm; h = 300cm \\
 E &= 20500kN/cm^2; I_c = 23000.0cm^4; I_b = 92000.0cm^4 \\
 K_0 &= \frac{EI_c}{h}; k_c = 1; k_b = \frac{EI_b h}{EI_c l} = \frac{92000 \cdot 300}{23000 \cdot 600} = 2
 \end{aligned}
 \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} \bar{p}_w \\ E \\ K_0 \end{aligned}} \right\} \dots\dots (6.11)$$

解析モデルと曲げモーメント図、せん断力図、及びたわみ曲線などを図

図 6-18 に示されている最大曲げモーメントや最大せん断力を計算してみよう。

$$\begin{aligned}
 C &= \frac{\bar{p}_w h^2}{12} = \frac{2 \cdot 300^2}{12} = 15000 kNcm \\
 M_{\max} &= 6C = 90000 kNcm \\
 M_c &= 4.5C = 67500 kNcm \\
 Q_b = N_c &= \frac{\bar{p}_w h^2}{l} = \frac{2 \cdot 300^2}{600} = 300 kN
 \end{aligned}
 \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} C \\ M_{\max} \\ M_c \\ Q_b = N_c \end{aligned}} \right\} \dots\dots(6.12)$$

平面骨組プログラムで解析した結果を以下に示す。

節点番号	u	v	θ	部材番号	N	Q	M	N	Q	M	M
1	0.000	0.000	0.0431	1	300.000	0.000	0.000	-300.000	600.000	-90000.000	67500.000
2	-8.644	-0.055	0.0050	2	0.000	300.000	90000.000	0.000	-300.000	90000.000	0.000
3	-8.644	0.055	0.0050	3	-300.000	-600.000	-90000.000	300.000	0.000	0.000	-67500.000
4	0.000	0.000	0.0431								

図 6-20 柱に水平等分布荷重を受ける門型骨組の解析結果

6.7 まとめ

本章では、骨組の釣合式を解いた後、その結果を用いて部材両端の材端力を計算し、さらに、部材中央の曲げモーメントを求める方法について学んだ。特に、部材荷重を受ける場合は、基本応力を、解析して求めた部材応力に重ね合わせて求めることを学習した。平面骨組のプログラムは全て完成した。デバックを行うために、簡単な解析モデルを用意し、実際に骨組プログラムで計算した結果と比較し、正しいことを検証した。