



## 第6章 カーニー法

### ポイント：層方程式も反復法で解く

### 節点モーメントの解法と同時に層モーメントも反復解法

前章では、整形骨組の柱に部材角が生じ、骨組全体が横方向に変形する場合の解析方法を学んだ。ここでは、各層に強制変位を各々与え、節点でモーメントの釣合を満たす曲げモーメント分布を求める。次に、外力との釣合を得るために、得られた曲げモーメント分布から層方程式を作り、多層では連立方程式を解くことになる。これらの手続きはかなり煩雑で、手計算では実用的な固定法も、大きな多層構造物で、しかもこのような節点移動がある場合、現実的な手法とはいえなくなる。

上記解法の欠点を補うために、カーニー法が開発されている。この手法は、節点の不釣合モーメントを反復で解放すると同時に、不釣合の層せん断力あるいは層モーメントを解除する。カーニー法は手続きが比較的簡単で、節点移動がある場合、効率的な解法となっている。ただし、解への収束が遅く、一般に、通常の固定法では4から5回で収束するのに対し、7回以上の反復が必要となる。本章では、このカーニー法の原理を説明し、例題を用いて同法の理解を深める。

### 6.1 はじめに

#### キーワード

カーニー法 層方程式の反復解法 層モーメント 層せん断力

一般の固定法では、柱部材に部材角が生じる場合、各層で水平外力と層せん断力の釣合を得るために、層せん断力に関する連立方程式を解く必要がある。カーニー法は、この層せん断力に関する方程式を立てる代わりに、節点での不釣合モーメントの解除と同時に、層せん断力の釣合を満たしながら反復解法を行う手法である。ここでは、この解法原理を説明しよう。

図 6-1 に示すように、任意の層で  $k$  本の柱があり、その層に水平外力があると、水平方向の力の釣合より、層せん断力  $Q$  が発生する。この層せん断力によって、この層全体に部材角  $R$  が生じ、各

### 6.2 カーニー法の原理

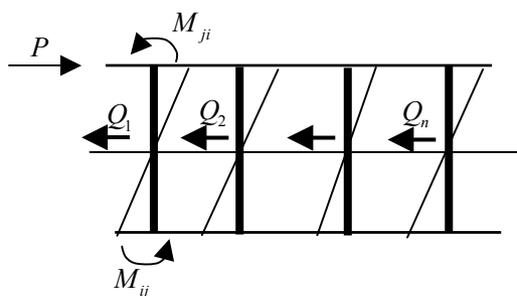


図 6-1 各層に働くせん断力と曲げモーメント

柱にもせん断力と曲げモーメントが発生する。最初に、柱の両端を固定し、この層の柱の部材角が全て同じとすると、各柱にその柱の剛比に比例するせん断力が生じる。

層せん断力  $Q$  は各柱のせん断力の総和として、次式で表される。

$$Q = -\sum (M_{ij} + M_{ji}) / h \quad \dots\dots (6.1)$$

部材  $k$  の材端の曲げモーメントは、部材荷重が無い場合のたわみ角法の基本式より、

$$\left. \begin{aligned} M_{ij} &= k_k (2\varphi_i + \varphi_j + \psi) \\ M_{ji} &= k_k (2\varphi_j + \varphi_i + \psi) \end{aligned} \right\} \dots\dots (6.2)$$

となる。ここで、 $k_k$  は  $k$  部材の剛比である。

上式で、柱の両端を固定し、しかも、部材角が同じであるとすると、式(6.1)は、式(6.2)より次式のように簡単に表される。

$$Q_I = -2 \left( \sum_{j=1}^n k_j \right) \psi_I / h_I \quad \dots\dots (6.3)$$

ここで、 $Q_I$  は I 層の層せん断力であり、 $\psi_I$  は同じく I 層の部材角、 $h_I$  は層高さである。また、 $k_j$  はその層に属する柱の剛比を示す。上式より、その層の部材角は次式で得られる。

$$\psi_I = -\frac{Q_I h_I}{2 \left( \sum_{j=1}^n k_j \right)} \quad \dots\dots (6.4)$$

上式を式(6.2)に代入すると、両端固定柱の材端モーメントが得られる。

$$\left. \begin{aligned} M_{ij} &= -\frac{k_k}{2 \left( \sum_{j=1}^n k_j \right)} Q_I h_I \\ M_{ji} &= -\frac{k_k}{2 \left( \sum_{j=1}^n k_j \right)} Q_I h_I \end{aligned} \right\} \dots\dots (6.5)$$

図 6-1 のように柱頭・柱脚を固定した柱の両端の曲げモーメントは、式(6.5)より同じ値となり、また、その値は層モーメント、つまり、その層せん断力と層高さの積に、次の分割率を掛けることで求められる。

$$DFS_i = \frac{k_k}{2 \left( \sum_{j=1}^n k_j \right)} \quad \dots\dots (6.6)$$

両端が固定で無い場合、つまり、一端ピン支持の場合は前章で学んだ

ように有効剛比を用いることになる。これについては例題で学習することにしよう。

次に、カーニー法における反復解法の手続きを説明する。最初に、節点における分割率を計算する際、層に関する式(6.6)の分割率を求めておく。次に、部材荷重による基本応力を計算すると同時に、層モーメントと層の分割率を用いて、各柱に働く曲げモーメントを計算し、これを基本応力とする。これで反復前の準備段階が終了し、次に表を用いた反復処理を行う。

まず、水平外力による層モーメントを計算し、層の分割率を利用して、当該層の柱に基本応力として、FEMの欄に記入する。柱に部材荷重がある場合、今まで通り、上下端に該当するFEM欄に固定端モーメントを記入する。次に、節点分割率と同時に柱には、括弧内に層モーメントの分割率を挿入する。次に、節点の不釣合モーメントを解除する。各節点の不釣合モーメントを計算し、外力項に記入する。この不釣合モーメントは、分割率を利用して当該節点に連結している部材に分割される。さらに、その分割モーメントの1/2を、その部材の他端にある到達モーメントの欄に記入する。

全節点について不釣合モーメントの解除を行った後、不釣合層モーメントの解除を行う。基本応力時では、層せん断力と外力は釣合っており、そのため、不釣合層モーメントはその反復時の分割と到達操作で発生する。不釣合層モーメントは、当該反復時、各層で柱頭・柱脚の「分割モーメント」と「到達モーメント」の和を採り、その値を外力項に記入する。この項は、本来層せん断力が釣合えば、ゼロとなるため、反復処理が進むと次第に小さくなる。ここで、節点での不釣合モーメントは、到達モーメントに加えて、この層せん断力の分割モーメントも含まれる。不釣合層モーメントは、括弧内の層モーメントの分割率を利用して、各層毎に層モーメントを分割して、層モーメント分割欄に記入する。

節点不釣合モーメントの解除と、各層の不釣合層モーメント解除を順次行い、1回の反復処理としている。この反復処理を数回繰り返すことによって、節点の不釣合モーメントと不釣合層モーメントが閾値より小さくなる。これで、解は収束したとして、通常の固定法と同様に、FEMの欄から最後の欄まで和を取り、合計欄に記入する。この値が材端曲げモーメントとなり、この値を用いて曲げモーメント図を描くことになる。

以上のようにカーニー法の反復処理を説明したが、理解し難い部分があると思う。そこで、例題を用いて、具体的に反復処理を実施し、カーニー法を理解しよう。

6.3 固定支持の門型  
ラーメン

本節では、既に説明した第3章の「例題 3-1」を用いて、カーニー法の反復処理を実施する。例題は図 6-2 に示されており、1 層 1 スパンの門型ラーメンであり、柱頭に 100kN の水平外力が加わっている。

部材の剛比は、図 6-2 に示されているが、ここでは、対称骨組で逆対称荷重が加わっていることから、逆対称変形、逆対称断面力となる。逆対称条件を利用するために、部材 2 の有効剛比は次式となる。

$$\bar{k}_2 = 1.5 \cdot k_2 = 1.5 \quad \dots\dots(6.7)$$

節点 2 における分割率は、

$$\left. \begin{aligned} DF_c &= \frac{1.5}{1.5+1.5} = 0.5 && \text{柱の分割率} \\ DF_b &= \frac{1.5}{1.5+1.5} = 0.5 && \text{梁の分割率} \end{aligned} \right\} \dots\dots(6.8)$$

となる。

層の分割率は式 (6.6) より、以下のようなものである。

$$DFS_1 = \frac{k_k}{2(\sum_{j=1}^n k_j)} = \frac{1.5}{2(1.5)} = 0.5 \quad \dots\dots(6.9)$$

上式では、逆対称条件を用いているため、柱は 1 本しかなく、このような単純な計算となっている。

次に、外力と釣合う層モーメントを求める。

$$M = \frac{100 \cdot 4}{2} = 200kNm \quad \dots\dots(6.10)$$

上記の層モーメントも逆対称であることから、層せん断力も 1/2 となっており、層モーメントも同様に 1/2 の値となっている。

次に、この層モーメントによって生じる柱の固定端モーメントを、式 (6.5) と (6.9) より求める。

$$\left. \begin{aligned} M_{12} &= -0.5 \cdot 200 = -100kNm \\ M_{21} &= -0.5 \cdot 200 = -100kNm \end{aligned} \right\} \dots\dots(6.11)$$

これで、カーニー法を適用するための準備は全て終了である。次に、表を用いて、反復計算を行う。カーニー法では、通常の固定法と少し表が異なっており、表 6-1 のように、層モーメントの分割欄 DS\* が加わって

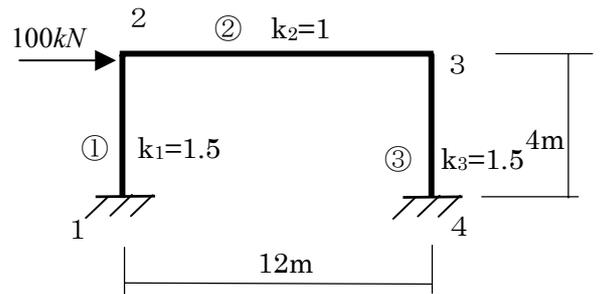


図 6-2 門型ラーメン

いる。なお、\*は反復回数を示す。

以下に、表形式でカーニー法を適用する。

表 6-1 カーニー法による反復計算

	下柱	右梁	外力
DF	0.5(0.5)		0.5
FEM	-100		100
D1	50	50	
C1	0		-75
DS1	-37.5		37.5
D2	18.8	18.8	
C2	0		-28.2
DS2	-14.1		14.1
D3	7.1	7.1	
C3	0		-10.2
DS3	-5.1		5.1
D4	2.6	2.6	
C4	0		-3.9
DS4	-2		2
D5	1	1	
C5	0		-1.5
DS5	-0.8		0.8
D6	0.4	0.4	
C6	0		-0.6
DS6	-0.3		0.3
D7	0.2	0.2	
C7	0		0.3
DS7	-0.2		0.2
D8	0.1	0.1	
計	-79.8	80.2	
	上柱		
DF		-0.5	
FEM		-100	
C1		25	
DS1		-37.5	
C2		9.4	
DS2		-14.1	
C3		3.5	
DS3		-5.1	
C4		1.3	
DS4		-2	
C5		0.5	
DS5		-0.8	
C6		0.2	
DS6		-0.3	
C7		0.1	
DS7		-0.2	
C8			
計		-120	

四捨五入の関係で、多少の誤差があるが、上の表のようにカーニー法によって骨組材端モーメントが得られた。収束はやはり遅く7回の反復を要している。得られた材端モーメントを元に、曲げモーメント図、せん断力図、軸力図を図6-3に示す。

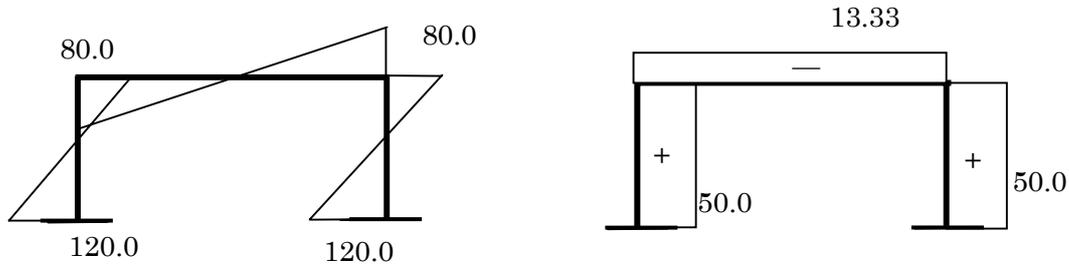


図6-3(a) 曲げモーメント図とせん断力図

例題3-2の図3-7と同じ結果が得られている。

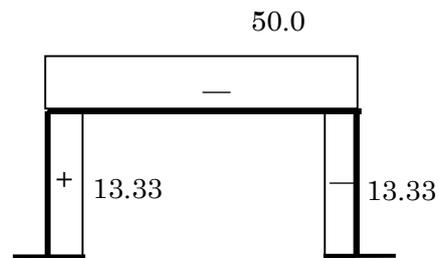


図6-3(b) 軸力図

本節では、図6-4に示す門型ラーメンをカーニー法により解析する。この骨組は一方はピン支持、他方が固定支持であるため、前節のように逆対称とはならない。

部材の剛比は、図6-4に示されているが、ここでは、左の柱はピン支持となっているため、一端ピン支持の有効剛比を使用しなければならない。

$$\bar{k}_1 = 3/4 \cdot k_1 = 1.125 \quad \dots\dots(6.12)$$

節点2及び3における分割率は、次のように求められる。

6.4 支持条件が異なる門型ラーメン

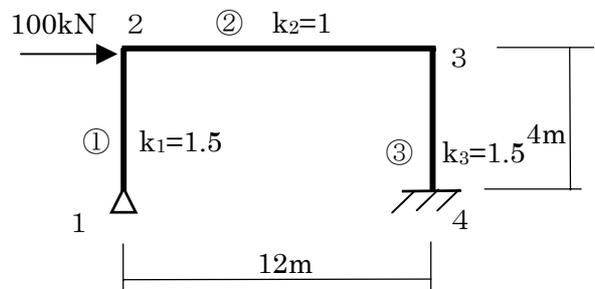


図6-4 門型ラーメン

節点2:

$$\left. \begin{aligned} DF_c &= \frac{1.125}{1+1.125} = 0.53 && \text{柱の分割率} \\ DF_b &= \frac{1}{1+1.125} = 0.47 && \text{梁の分割率} \end{aligned} \right\} \dots\dots(6.13)$$

節点3:

$$\left. \begin{aligned} DF_c &= \frac{1.5}{1.0+1.5} = 0.6 && \text{柱の分割率} \\ DF_b &= \frac{1.0}{1.0+1.5} = 0.4 && \text{梁の分割率} \end{aligned} \right\} \dots\dots(6.14)$$

一端ピン支持で他端が固定の柱に部材角が生じると、固定端の材端モーメントは、式(3.14)から以下のようになる。

$$\left. \begin{aligned} M_{ij} &= 0 \\ M_{ji} &= 0.5k_k\psi \end{aligned} \right\} \dots\dots(6.15)$$

上の結果から、当該柱の負担せん断力は両端固定梁の1/4となる。従って、解析モデルの層モーメントの分割率は次式で得られる

$$\left. \begin{aligned} DFS_1 &= \frac{0.5 \cdot 1.5}{0.5 \cdot 1.5 + 2 \cdot 1.5} = 0.2 && \text{左柱の分割率} \\ DFS_3 &= \frac{1.5}{0.5 \cdot 1.5 + 2 \cdot 1.5} = 0.4 && \text{右柱の分割率} \end{aligned} \right\} \dots\dots(6.16)$$

一端ピン支持の柱では、柱の上端部のモーメント分割率となる。

次に、外力と釣合う層モーメントを求める。

$$M = 100 \cdot 4 = 400kNm \quad \dots\dots(6.17)$$

次に、この層モーメントによって生じる柱の固定端モーメントを、式(6.5)と(6.16)より求める。

$$\left. \begin{aligned} M_{12} &= 0 \\ M_{21} &= -0.2 \cdot 400 = -80kNm \\ M_{34} &= -0.4 \cdot 400 = -160kNm \\ M_{43} &= -0.4 \cdot 400 = -160kNm \end{aligned} \right\} \dots\dots(6.18)$$

これで、カーニー法を適用するための準備は全て終了である。以下に、表形式でカーニー法を適用する。

表 6-2 カーニー法による例題 5-2 の反復解法

	下柱	右梁	外力	左梁	下柱	外力
DF	0.53(0.2)	0.47		0.4	0.6(0.4)	
FEM	-80		80		-160	160
D1	42.4	37.6		64	96	
C1	0	32		18.8	0	-186.4
DS1	-37.3		5.3		-74.6	55.8
D2	2.8	2.5		22.3	33.5	
C2	0	11.2		1.3	0	-53.1
DS2	-10.6		-0.6		-21.2	19.9
D3	-0.3	-0.3		8.0	11.9	
C3	0	4.0		-0.2	0	-17.6
DS3	-3.5		-0.5		-7.0	6.8
D4	-0.2	-0.2		2.7	4.1	
C4		1.4		-0.1	0	-5.7
DS4	-1.1		-0.2		-2.3	2.0
D5	-0.1	-0.2		0.8	1.2	
C5		0.4		-0.1	0	-1.7
DS5	-0.3		-0.1		-0.7	0.8
D6	0	0		0.4	0.4	
計	-88.2	88.4		117.9	-118.5	
	$\Delta$ 上柱		外力			上柱 外力
DF						0.4
FEM						-160
C1						48
DS1						-74.6
C2						16.8
DS2						-21.2
C3						6.0
DS3						-7.0
C4						1.8
DS4						-2.3
C5						0.6
DS5						-0.7
計						-192.6

表形式で求めた材端曲げモーメントを用いて、骨組の層せん断力と外力の釣合を検証する。外力は 100kN であり、各柱のせん断力は、

$$\left. \begin{aligned}
 Q_1 &= (88.2)/4 = 22.05kN \\
 Q_3 &= (118.5+192.6)/4 = 77.78kN \\
 Q &= Q_1 + Q_2 = 99.83kN
 \end{aligned} \right\} \dots\dots(6.19)$$

となり、外力との釣合はほぼ得られている。少しの誤差は、四捨五入によるものである。

材端モーメントより、骨組の曲げモーメント図、せん断力図、及び軸力図を図 6-5 に示す。

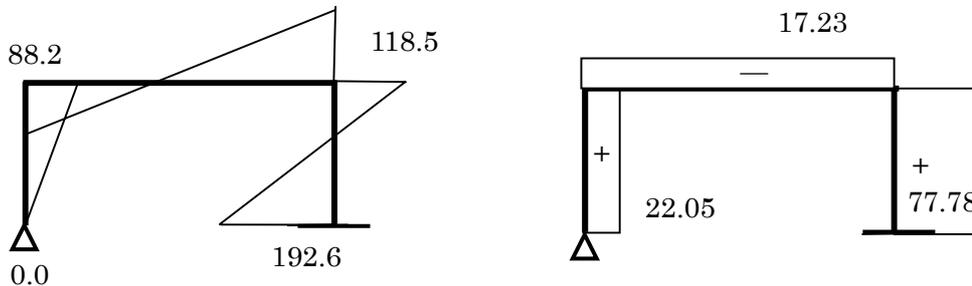


図 6-5(a) 曲げモーメント図とせん断力図

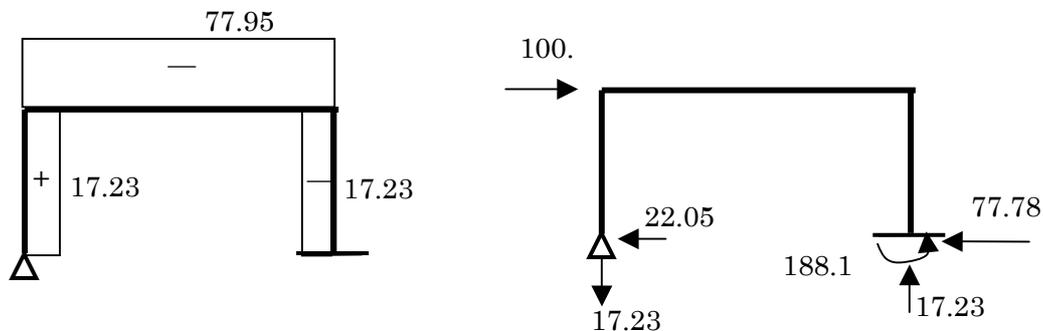


図 6-5(b) 軸力図と反力

次に、外力と反力との力の釣合をチェックする。図 6-5(b) 右より、上下、及び、水平方向の力の釣合がとれていることが分かる。左の支持点でのモーメントを計算すると、多少の誤差があるが、以下のように釣合はほぼとれているといえる。

$$M = 100 \cdot 4 - 17.23 \cdot 12 - 192.6 = -0.64 \quad \dots\dots(6.20)$$

6.5 2層1スパンのラーメン

本節では、例題 5-1 で既に解析した 2 層の骨組をカーニー法により、解を求めてみよう。例題 5-1 の骨組は、図 6-6 に示されている。

2 層の対称構造物に水平力が加わっており、変形状態・応力状態共に逆対称となる。

逆対称部材である部材 3 と 4 の有効剛比を以下に示す。

$$\left. \begin{aligned} \bar{k}_3 &= 1.5k_3 = 4.5 \\ \bar{k}_4 &= 1.5k_4 = 3.0 \end{aligned} \right\} \dots\dots(6.21)$$

次に、節点2と3における分割率を計算する。

節点：2

$$\left. \begin{aligned} DF_1 &= \frac{2}{2+1+4.5} = 0.27 \\ DF_2 &= \frac{1}{2+1+4.5} = 0.13 \\ DF_3 &= \frac{4.5}{2+1+4.5} = 0.60 \end{aligned} \right\} \dots\dots (6.22)$$

節点：3

$$\left. \begin{aligned} DF_2 &= \frac{1}{1+3} = 0.25 \\ DF_4 &= \frac{3}{1+3} = 0.75 \end{aligned} \right\} \dots\dots (6.23)$$

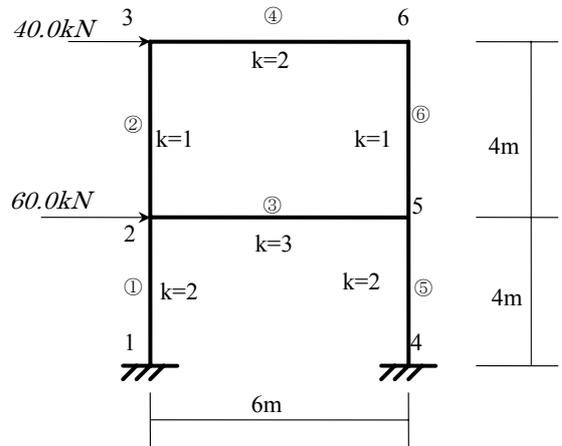


図 6-6 例題 6-3 の骨組

層モーメントに対する分割率は、逆対称であることから、解析に使用する柱は各層1本であること、また、柱両端に分割されることから、以下のようなになる。

$$\left. \begin{aligned} DFS_1 &= 0.5 \\ DFS_2 &= 0.5 \end{aligned} \right\} \dots\dots (6.24)$$

層せん断力と外力との釣合より、各層に発生する層せん断力、あるいは層モーメントは以下のようなものである。

$$\left. \begin{aligned} Q_2 &= 40kN; & M_2 &= 40 \cdot 4 = 160kNm \\ Q_1 &= 40 + 60 = 100kN; & M_1 &= 100 \cdot 4 = 400kNm \end{aligned} \right\} \dots\dots (6.25)$$

逆対称条件を考慮すると、層モーメントに対する柱の基本応力は、

$$\left. \begin{aligned} M_{12} &= -100kNm \\ M_{21} &= -100kNm \\ M_{45} &= -40kNm \\ M_{54} &= -40kNm \end{aligned} \right\} \dots\dots (6.26)$$

となる。

以上で、節点モーメントに対する分割率、層モーメントに対する分割率、また、層モーメントに対する柱の基本応力は全て整ったことになり、準備計算は終了である。

次に、これらの情報を元に、また、逆対称条件を考慮して、カーニー法により、解を求めることになる。以下に表を用いて、計算を行う。

表 6-3 カーニー法による例題 5-3 の反復解法

	下柱		右梁	外力
DF	0.25(0.5)		0.75	
FEM	-40			40
D1	10		30	
C1	9.1			-42.3
DS1	-21.2			12.1
D2	3		9.1	
C2	2.9			-13.2
DS2	-6.6			3.7
D3	0.9		2.8	
C3	0.9			-3.9
DS3	-2			1.1
D4	0.3		0.8	
C4	0.3			-1.4
DS4	-0.7			0.4
D5	0.1		0.3	
C5	0.1			-0.3
DS5	-0.2			0.1
D6			0.1	
計	-43.10		43.1	
	下柱	上柱	右梁	外力
DF	0.27(0.5)	0.13(0.5)	0.6	
FEM	-100	-40		140
D1	37.8	18.2	84	
C1	0	5		-56.7
DS1	-28.4	-21.2		44.6
D2	12	5.8	26.8	
C2	0	1.5		-18
DS2	-9	-6.6		14.1
D3	3.8	1.8	8.5	
C3	0	0.5		-5.7
DS3	-2.9	-2		4.4
D4	1.2	0.6	2.6	
C4	0	0.2		-1.8
DS4	-0.9	-0.7		1.4
D5	0.4	0.2	0.8	
C5		0		-0.6
DS5	-0.3	-0.2		0.5
D6	0.1	0	0.4	
計	-86.2	-36.9	123.1	
		上柱		
DF		0.5		
FEM		-100		
C1		18.9		
DS1		-28.4		
C2		6		
DS2		-9		
C3		1.9		
DS3		-2.9		
C4		0.6		
DS4		-0.9		
C5		0.2		
DS5		-0.3		
計		-113.9		

得られた結果は、例題 5-1 と同じ材端モーメントとなっている。この材端モーメントから、曲げモーメント図、せん断力図、軸力図が次のように得られる。

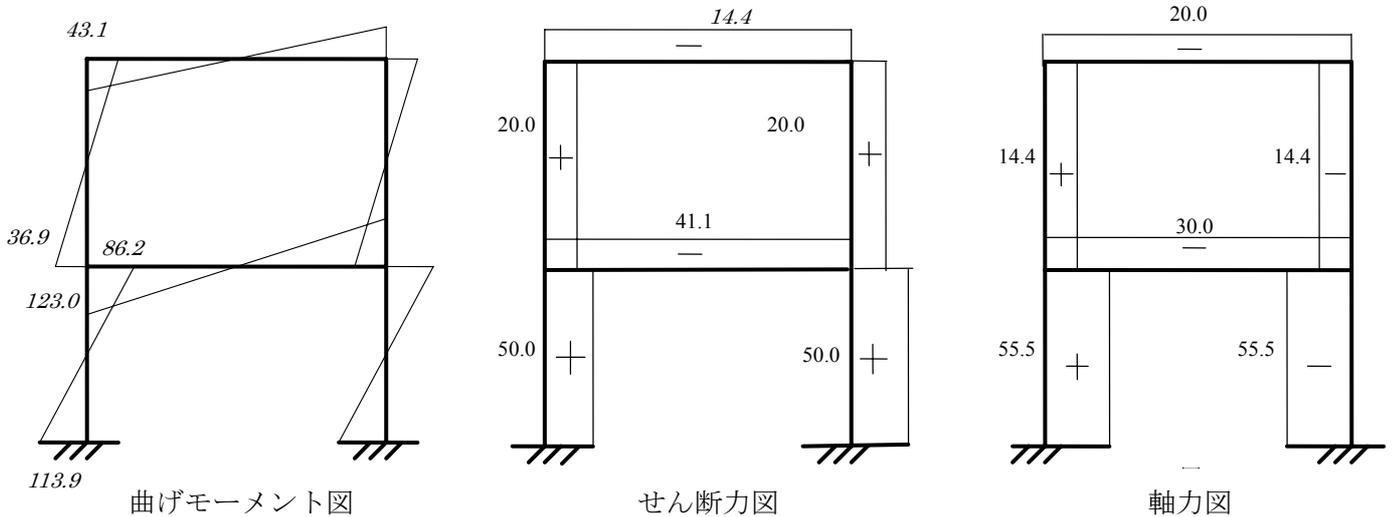


図 6-7 曲げモーメント図、せん断力図、軸力図

6.6 課題

本節では、6.4 節の支持条件が異なる門型ラーメンを実際に SPACE を用いて、数値解析を実施し、固定法で求めた結果と比較してみよう。まず、6.4 節の解析モデルを以下に示す。ここでは、鋼材は、SS400 を使用し、部材断面は、全て H-400x200x8x13 を使用するものとする。また、スパンは 12m とし、階高は 4m とする。断面二次モーメントは  $23500 \text{ cm}^4$  であり、ヤング係数は  $20500 \text{ kN/cm}^2$  とする。ただし、この値は、SPACE のデータベースより求めた値である。

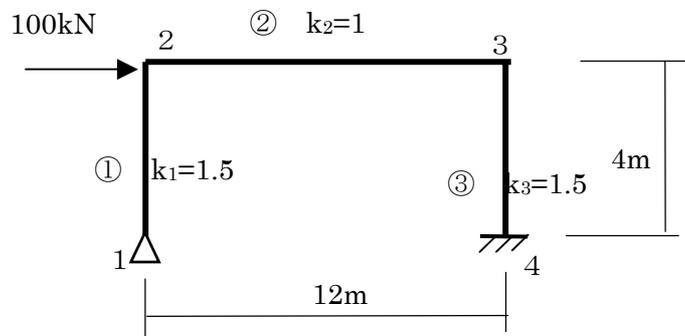


図 6-8 課題の骨組

曲げモーメント図、せん断力図、及び軸力図は、カーニー法によって求められており、図 6-5 に示されている。ここで、再度、同図を示す。

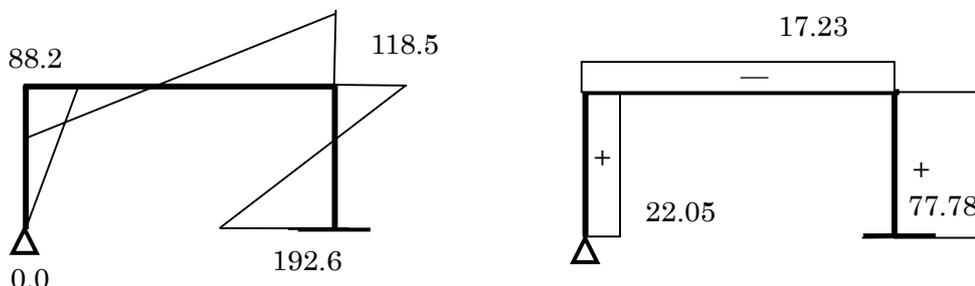


図 6-9(a) 曲げモーメント図とせん断力図

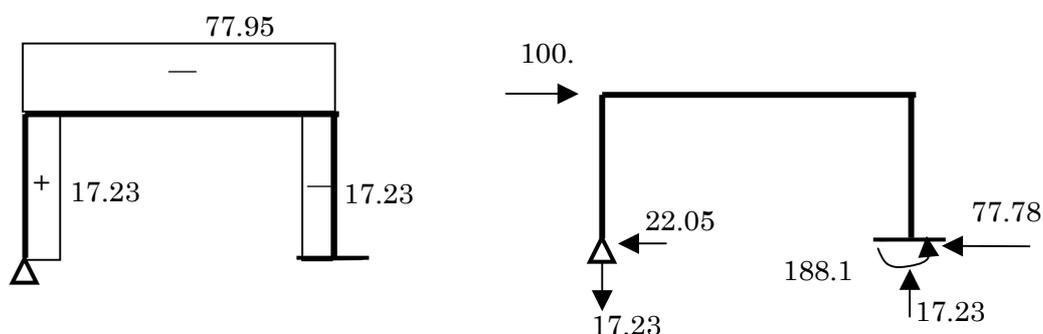


図 6-9(b) 軸力図と反力

次に、SPACE を用いて数値計算を実施する。まず、SPACE を起動する。この SPACE の「ファイル」→「新規作成」メニューを用いて、「固定法演習解析モデル」-「第6章」フォルダ内の「課題 1」フォルダ中にコントロールファイルを作成する。コントロールファイルの名前を「門型ラーメン.ct1」としよう。その後、各種のコントロール情報を設定した後、モデラーを起動する。モデラーによる骨組の設定は、前章とほぼ同じであり、異なる部分のみ説明することになる。

最初は、初期設定ウィザードが自動的にダイアログを表示させるので、これに従ってデータを入力すれば良い。まず、タイトルを入力し、次に平面フレームを選択し、構造物の規模として、「スパン数」を 1 に、階数は 1 にセットする。次に、スパン長を 1200cm に、階高を 400cm にセットする。

さらに、使用する部材断面を作成登録する。鉄骨を選択し、材料は SS400 を、また、部材モデルは弾性とする。断面は、H-400x200x8x13 とし、DB 値を採用する。梁用の断面を G1 として設定し、また、柱用は、同じ断面で設定し、記号を C1 とする。要素データを設定した後、OK ボ

タンを押して、CAD画面に戻る。

図6-10のようにCAD画面を使用して、柱と梁を設定する。その際、柱は1分割に、梁も1分割とする。また、柱の部材回転は0とする。骨組の形状が設定されると、次に境界と荷重を割り付ける。

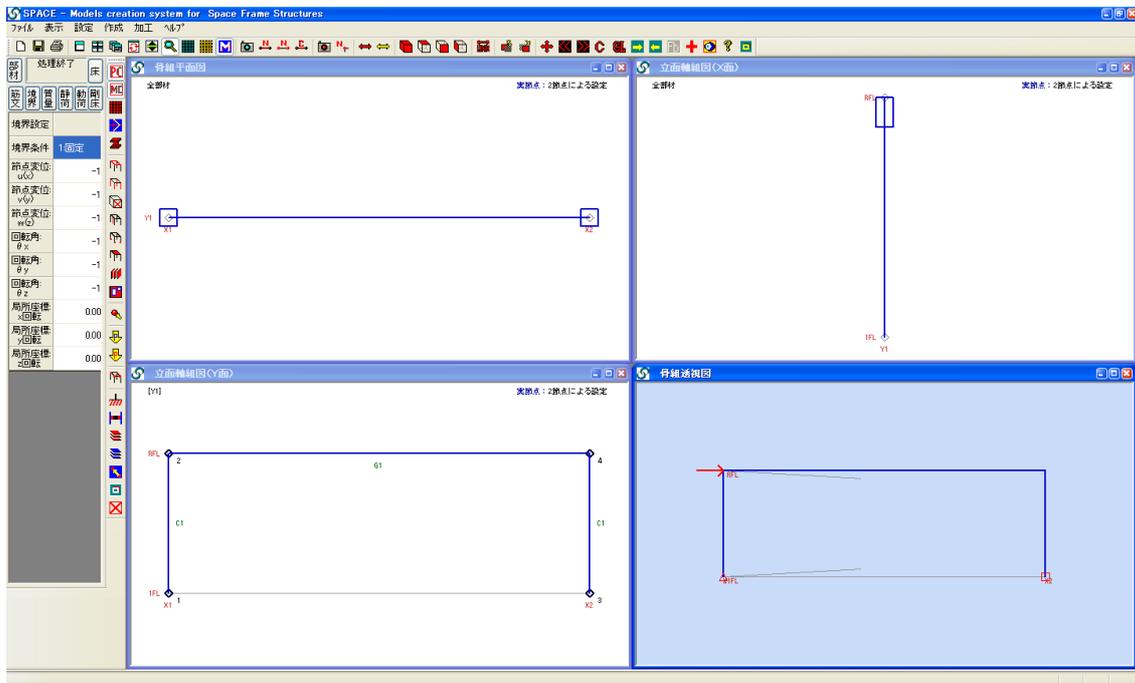


図6-10 CAD画面で骨組モデルを割り付ける

図6-10の右下の子ウインドウで、右クリックしてプルダウンメニューを表示させ、「透視図表示項目選択」を選択する。当該ダイアログが表示されるので、境界と静的荷重\_1にチェックマークを入れ、OKボタンを押すと、上図のように荷重と境界が表示され、設定を確認する。

図6-10の左下の子ウインドウで、節点情報を表示させるために、ツールチップで、「実節点」と「集団による設定」に変更し、マウスをドラッグして、骨組全体を囲む。この操作で、図6-11の節点情報が得られ、設定状況を確認する。



図6-11(a) 節点情報を表示させ、境界条件を確認する



図 6-11(b) 節点情報を表示させ、荷重を確認する

再度、「要素データ登録」チップを押して、「要素データ登録」ダイアログを表示させ、「変更・削除・復帰」ボタンを押す。要素データ変更ダイアログにおける断面に関する情報の中で、柱・梁共に断面積の値を1000倍にして軸方向の剛性を上昇させ、見かけ上、部材の軸方向変位が生じないようにする。さらに、課題の剛比と合わせるために、梁の剛比と梁・柱の長さから、柱の断面二次モーメントを0.5倍に変更する。変更後は、図6-12に示される。

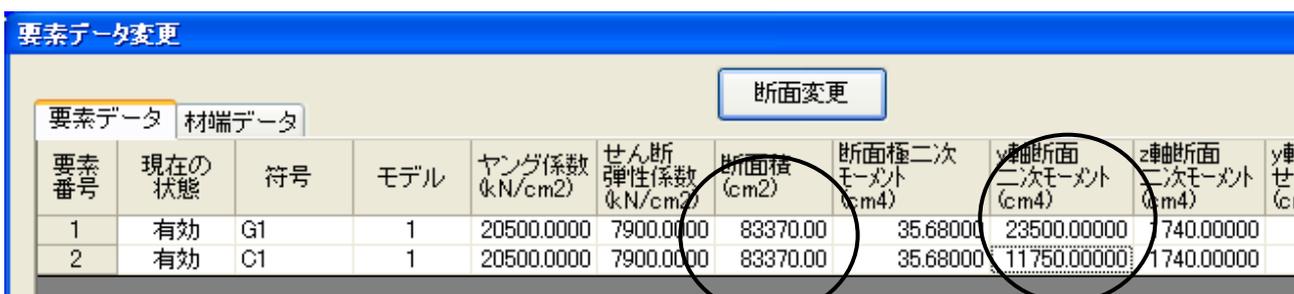


図 6-12 変更後（解析モデルに合わせるために、断面特性を変更する）

解析モデルを全て設定した後、メニューの「ファイル」→「ファイルへの出力」を選択するとファイル出力用ダイアログが表示される。ここで、「構造ファイル」と「静的荷重ファイル\_1」、情報ファイルを指定し、OK ボタンを押して解析モデルをファイルに出力する。

解析を実施する前に、解析用パラメータを設定する。まず、SPACE のメニューより、図 6-13 に示す「静的解析用コントロール」ダイアログを表示させ、図のように設定する。線形解析であるため、1回の解析で良いわけであるが、ここでは、アニメーションなどの表示の都合上、図のように、荷重増分法を用い、20回に分けて計算する。次に、「静的解析の出力・解析制御に関するコントロールデータ」ダイアログを表示させ、図 6-14 のように設定する。ここでは特に、「せん断変形を考慮しない」と応力出力にチェックマークを入れ、OK ボタンを押して次に進む。



図 6-13 「静的解析用コントロール」ダイアログ

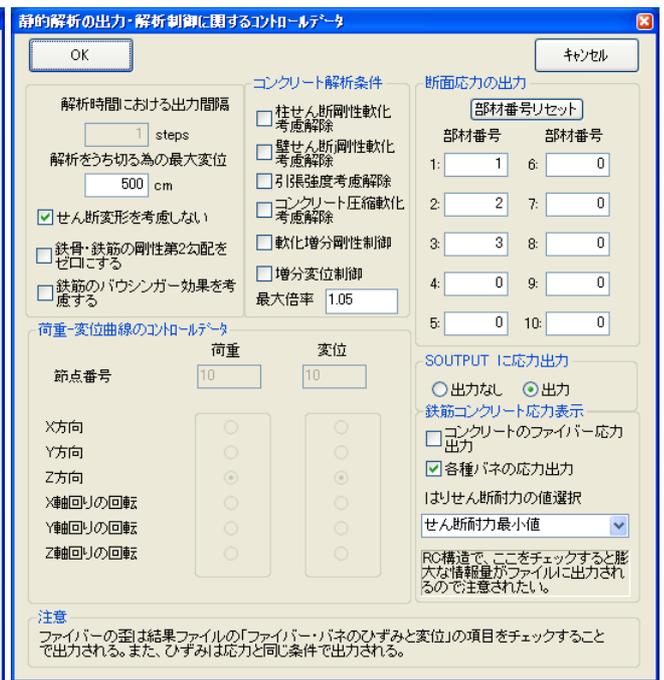


図 6-14 「静的解析の出力・解析制御に関するコントロールデータ」ダイアログ

解析パラメータを設定した後、静的ソルバーを起動し、線形解析を実施する。

解析が正常終了した後、解析結果を出力表示で確認する。SPACE のメニューより、「表示」→「静的解析の途中経過の表示」を選択し、解析経過と結果を表示させる。ファイルの最後に出力されている 20 回目の解析結果を図 6-15 に示す。図に見られるように、両者の断面力はほぼあっている。多少の差異は、反復計算で途中打ち切りを行っているためである。

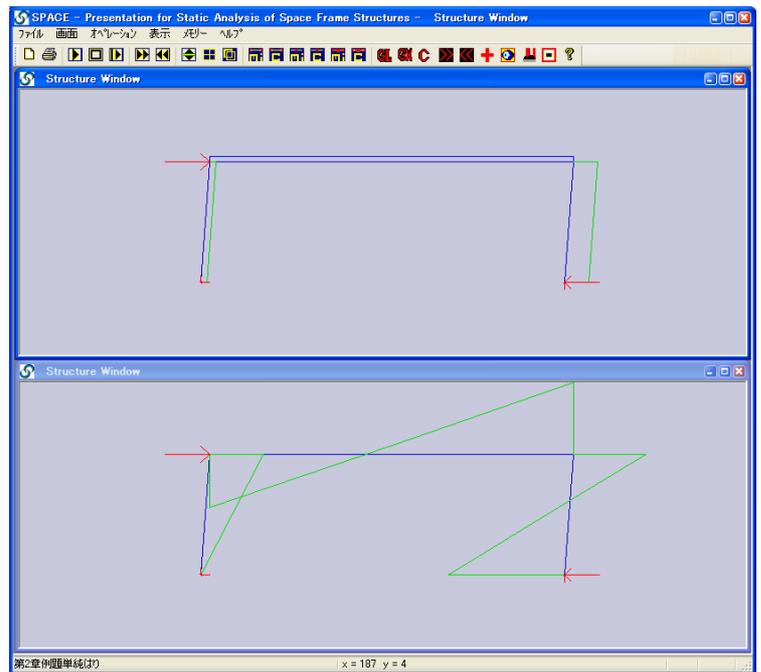
```
ded step number: 20 -----
able number: 0
```

番号	部材モデル	Nx	Qy	Qz	Mx	My	Mz
1	1	17.2842	0.0000	-22.2224	0.0000	0.0000	0.0000
		17.2842	0.0000	-22.2224	0.0000	-8888.9591	0.0000
2	1	-17.2833	0.0000	-77.7776	0.0000	19259.2039	0.0000
		-17.2833	0.0000	-77.7776	0.0000	-11851.8376	0.0000
3	1	-77.7775	0.0000	17.2840	0.0000	-8888.9591	0.0000
		-77.7775	0.0000	17.2840	0.0000	11851.8376	0.0000

図 6-15 課題の静的解析結果である部材断面力

次に静的プレゼンターを起動し、図 6-16 に示すように、せん断力図と曲げモーメント図を表示させる。下図とたわみ角法で求めた図 6-9 の曲げモーメント分布とせん断力分布は一致している。

図 6-16 課題のせん断力分布と曲げモーメント分布

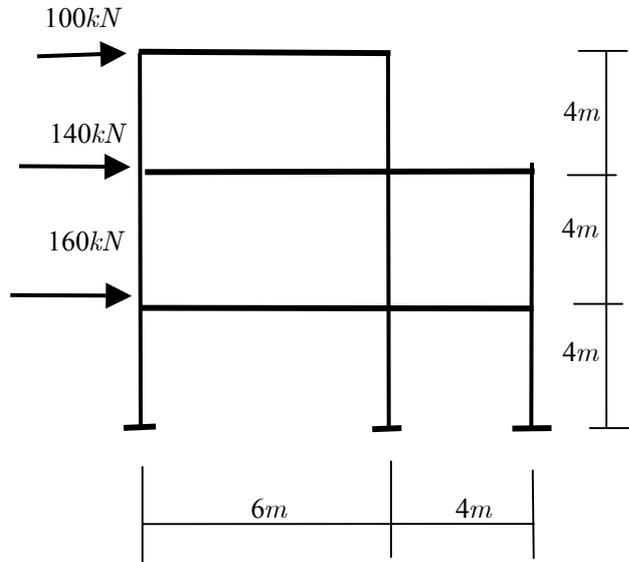


一般の固定法では、各層に強制変位を各々与え、節点でモーメントの釣合を満たす曲げモーメント分布を求める。外力との釣合を得るために、求めた曲げモーメント分布から層方程式を作り、多層では連立方程式を解くことになる。これらの手続きはかなり煩雑で、手計算では実用的な固定法も、大きな構造物で、しかもこのような節点移動がある場合、現実的な手法とはいえなくなる。

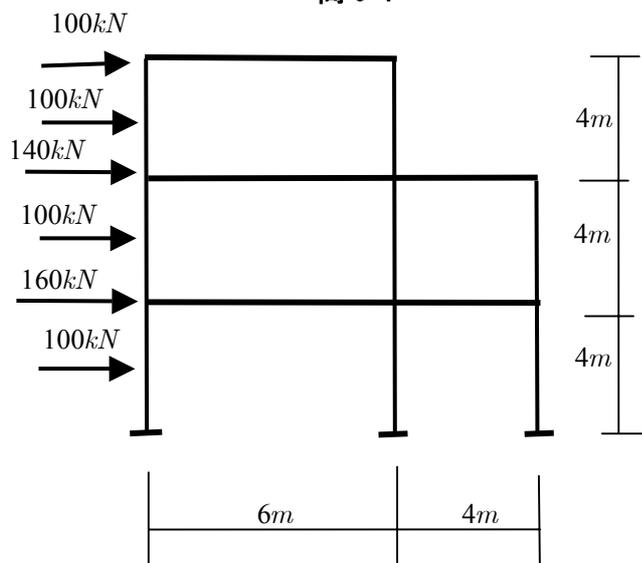
上記の欠点を補う方法として、カーニー法が提案されており、本章では、この手法を学習した。この手法は、節点の不釣合モーメントを反復で解放すると同時に、不釣合の層せん断力あるいは層モーメントを解除する。カーニー法は手続きが比較的簡単で、節点移動がある場合では効果的な手法となっている。

## 6.7 まとめ

**問題 6-1** 次の骨組の応力解析を固定法（カーニー法）で実行し、曲げモーメント図、せん断力図及び軸力図を描き、さらに、反力を求めて、外力と反力の力の釣合を確認せよ。なお、鋼材はSS400を使用し、部材断面として、梁は全てH-400x200x8x13を、柱は□125x25x12を使用するものとする。また、SPACEを用いて、同上の解析を実施し、互いの結果を比較することで、固定法の結果を検証しなさい。（断面二次モーメントやヤング係数は、SPACEのデータベースの値を用いなさい。また、設定した断面より、剛比を計算して、固定法を適用しなさい。）



問 6-1



問 6-2

注意：問 6-2 では、各層柱中央に部材荷重が加わっている。