



第2章 支持条件と有効剛比

ポイント：骨組の支持条件によって変える剛比 対称条件と逆対称条件の与え方

本章では、固定支持以外の支持条件の与え方や、骨組と荷重の状態で、対称条件や逆対称条件が成立する場合に対する解析方法を学習する。これらの条件は、固定法では、有効剛比という考え方で全て処理しており、非常に有効な方法となっている。

ここでは、これらの基本的な考え方について述べ、各種の条件に対する有効剛比を導く。また、練習問題を通して、固定法の解析手順を理解する。

キーワード

支持条件 対称・逆対称 有効剛比 等分布荷重を集中荷重へ置換

境界条件が固定以外の場合について考察しよう。固定以外の境界条件として次の3種類が考えられる。

1. ピン支持
2. 対称条件
3. 逆対称条件

これらの3種類の条件をどのように扱うのかについて、たわみ角法を応用して考える。

一端ピン支持の部材をどのように固定法で扱うのか、本節では、図2-1に示す一端ピン支持の部材を含む骨組を例に挙げて説明しよう。この骨組は、十字型の形状をしており、4つの部材が1つの節点で剛に接合し、他の節点では1本の部材(①部材)を除いて、固定支持されている。さらに、接合節点*i*には、モーメント荷重 \bar{M}_i が加わっているものとする。

この骨組に関するたわみ角法の基本式は、次式で与えられる。

2.1 はじめに

2.2 固定境界以外の支持条件による部材の有効剛比

2.2.1 ピン支持条件

$$\left. \begin{aligned} & \left\{ \begin{aligned} M_{1i} &= 0 \\ M_{i1} &= k_1(1.5\varphi_i) \end{aligned} \right. \\ & \left\{ \begin{aligned} M_{2i} &= k_2(\varphi_i) \\ M_{i2} &= k_2(2\varphi_i) \end{aligned} \right. \\ & \left\{ \begin{aligned} M_{3i} &= k_3(\varphi_i) \\ M_{i3} &= k_3(2\varphi_i) \end{aligned} \right. \\ & \left\{ \begin{aligned} M_{4i} &= k_4(\varphi_i) \\ M_{i4} &= k_4(2\varphi_i) \end{aligned} \right. \end{aligned} \right\} \dots\dots(2.1)$$

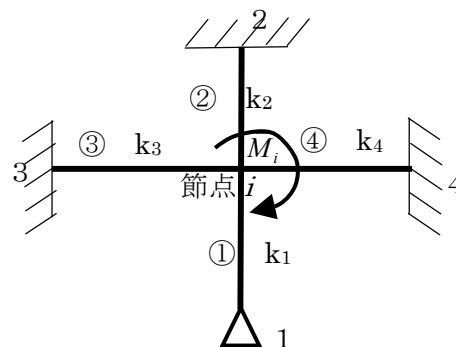


図 2-1 に示す構造物では、部材 1 は他端ピン支持であり、**図 2-1 一端ピン支持部材を含む骨組**
 また節点 i に繋がる他の部材の他端は全て固定支持である。
 これらの部材では、骨組の形状から分かるように部材角は生じないし、
 また、部材の中間荷重も加わっていないものとする。

この骨組で、節点 i におけるモーメントの釣合は次式で与えられる。

$$M_{i1} + M_{i2} + M_{i3} + M_{i4} = \bar{M}_i \quad \dots\dots(2.2)$$

ここで、 \bar{M}_i は節点 i に加わるモーメント外力である。上式に、式(2.1)を代入すると、次式が得られる。

$$k_1(1.5\varphi_i) + k_2(2\varphi_i) + k_3(2\varphi_i) + k_4(2\varphi_i) = \bar{M}_i \quad \dots\dots(2.3)$$

ここで、一端ピン支持である部材の剛比を

$$\bar{k}_1 = \frac{3}{4}k_1 \quad \dots\dots(2.4)$$

とすると、節点 i の回転角 φ_i は次式となり、他の部材と同じ形式となる。
 この剛比 \bar{k}_1 は有効剛比と呼ばれる。

$$\varphi_i = \frac{\bar{M}_i}{2(\bar{k}_1 + k_2 + k_3 + k_4)} = \frac{\bar{M}_i}{2\sum k_m} \quad \dots\dots(2.5)$$

上式の右辺項の分母は、その節点に集まる部材の剛比の和を表し、ここでは、一端ピン部材の有効剛比も含まれる。

式(2.5)は、式(1.8)と比較して分かるように、一端ピンのような特殊な部材を含んでいても、有効剛比の考え方をを用いると、通常の方法で固定法が利用できることになる。無論、一端ピンでは、到達モーメントはゼロとなる。

2.2.2 対称境界と
逆対称境界

前節で示したように一端ピン支持の場合、有効剛比という考え方を持込むことで、一般的な固定法を利用することができる。本節では、さらに対称境界や逆対称境界という特殊な境界も、有効剛比を利用することで、通常の固定法で扱うことができることを示す。

まず、対称境界の剛比について説明しよう。たわみ角法の基本式で対称条件は、

$$\varphi_i = -\varphi_j \quad \dots\dots(2.6)$$

であることから、基本式は上式を考慮すると、

$$\left. \begin{aligned} M_{ij} &= k(\varphi_i) \\ M_{ji} &= -k(\varphi_i) \end{aligned} \right\} \dots\dots(2.7)$$

従って、式(2.5)を参考にすると、有効剛比は

$$\bar{k} = \frac{1}{2}k \quad \dots\dots(2.8)$$

とすれば良い。

次に、逆対称について検討する。逆対称条件は、

$$\varphi_i = \varphi_j \quad \dots\dots(2.9)$$

として与えられる。たわみ角法の基本式は、上式を考慮すると、

$$\left. \begin{aligned} M_{ij} &= k(3\varphi_i) \\ M_{ji} &= k(3\varphi_i) \end{aligned} \right\} \dots\dots(2.10)$$

となり、対称境界と同様に、有効剛比は

$$\bar{k} = \frac{3}{2}k \quad \dots\dots(2.11)$$

とすれば良いことになる。

以上をまとめると、有効剛比は次の表で与えられる。

表 2-1 有効剛比

	一端ピン	対称境界	逆対称境界
有効剛比	3k/4	k/2	3k/2

2.3 例題

特殊な境界を有する骨組の応力解析を、固定法を用いて実行しよう。

例題 2-1 図 2-2 に示す端部がピン支持された門型骨組の応力解析を、固定法を用いて実行し、曲げモーメント図、せん断力図、軸力図を描け。

部材の剛比は、図 2-2 に示されているが、ここで、部材 1 と 3 は、支持端がピンであるため、次式の有効剛比を用いる。

$$\bar{k}_1 = \bar{k}_3 = \frac{3}{4} \cdot 2 = 1.5 \quad \dots\dots(2.12)$$

部材 2 における基本応力を次のように求める。

$$\left. \begin{aligned} C &= \frac{Pl^2}{12} = \frac{10 \cdot 12 \cdot 12}{12} = 120kNm \\ M_0 &= \frac{Pl^2}{8} = 1.5C = 180kNm \\ Q_0 &= \frac{PL}{2} = 60kN \end{aligned} \right\} \dots\dots(2.13)$$

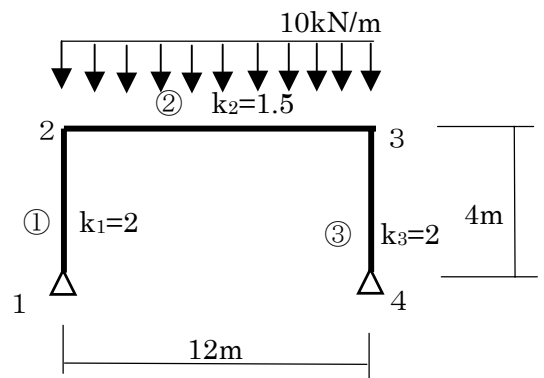


図 2-2 例題 2-1 の骨組

分割率は、節点 2 と 3 で、以下のように与えられる。

$$\left. \begin{aligned} DF_c &= \frac{1.5}{1.5+1.5} = 0.5 && \text{柱の分割率} \\ DF_b &= \frac{1.5}{1.5+1.5} = 0.5 && \text{梁の分割率} \end{aligned} \right\} \dots\dots(2.14)$$

次に、表を用いて固定法を実行する。

表 2-2 例題 2-1 の固定法の表

	下柱	右はり	外力		左はり	下柱	外力
DF	0.5	0.5			0.5	0.5	
FEM		-120	120		120		-120
D1	60	60			-60	-60	
C1		-30	30		30		-30
D2	15	15			-15	-15	
C2		-7.5	7.5		7.5		-7.5
D3	3.8	3.8			-3.8	-3.8	
C3		-1.9	1.9		1.9		-1.9
D4	1	1			-1	-1	
計	79.8	-79.8			79.8	-79.8	

部材2の梁中央の曲げモーメントは、

$$M_c = M_0 - (M_{32} - M_{23})/2 = 180 - (79.8 + 79.8)/2 = 100.2 \quad \dots\dots(2.15)$$

となり、また、各部材のせん断力は、次式のように求められる。

$${}_1Q = -{}_3Q = -(M_{21} - M_{12})/h = -79.8/4 = -20.0 \quad \dots\dots(2.16)$$

なお、梁のせん断力は、基本応力状態と同一である。以上より、曲げモーメント図、せん断力図、軸力図を以下のように描く。

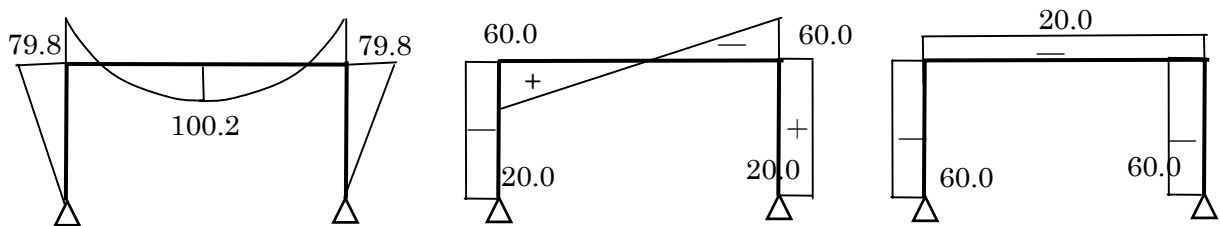


図 2-3 曲げモーメント図、せん断力図、軸力図

例題 2-2 図 2-4 に示す門型骨組の応力解析を、対称条件による固定法を用いて実行し、曲げモーメント図、せん断力図を描け。

部材の剛比は、図 2-4 に示されているが、ここで、部材1と3は、支持端がピンであること、また、部材2を対称部材とすることで、次式の有効剛比を用いる。

$$\left. \begin{aligned} \bar{k}_1 = \bar{k}_3 &= \frac{3}{4} \cdot 2 = 1.5 \\ \bar{k}_2 &= 0.5k_2 = 0.5 \cdot 1.5 = 0.75 \end{aligned} \right\} \dots\dots(2.17)$$

部材2における基本応力を次のように求める。

$$\left. \begin{aligned} C &= \frac{Pl^2}{12} = \frac{10 \cdot 12 \cdot 12}{12} = 120 \text{ kNm} \\ M_0 &= \frac{Pl^2}{8} = 1.5C = 180 \text{ kNm} \\ Q_0 &= \frac{Pl}{2} = 60 \text{ kN} \end{aligned} \right\} \dots\dots(2.18)$$

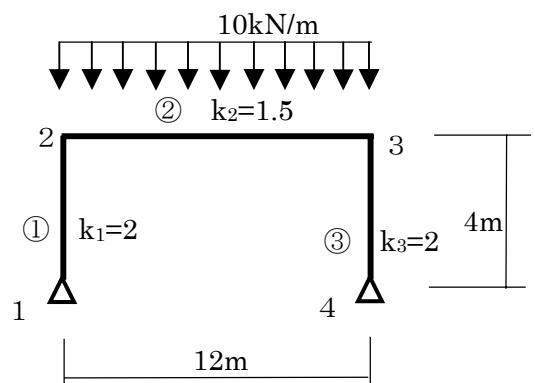


図 2-4 例題 2-2 の骨組

次に、分割率は、節点2で

$$\left. \begin{aligned} DF_c &= \frac{1.5}{1.5+0.75} = 0.67 && \text{柱の分割率} \\ DF_b &= \frac{0.75}{1.5+0.75} = 0.33 && \text{梁の分割率} \end{aligned} \right\} \dots\dots(2.19)$$

表を用いて、固定法を実行する。

表 2-3 例題 2-2 の固定法の表

	下柱	右はり	外力
DF	0.67	0.33	
FEM		-120	120
D1	80	40	
C1	0		0
D2			
C2			
D3			
C3			
D4			
計	80	-80	

表中の材端モーメントをみれば分かるように、例題 2-1 と同じ結果が得られている。ただし、例題 2-1 では、反復処理を途中で打ち切っており、誤差が生じている。この骨組では、対称条件を用いると未知数はひとつとなり、反復処理を必要としない。

例題 2-3 図 2-5 に示す柱の剛比が左右対称でない門型骨組の応力解析を、固定法を用いて実行し、曲げモーメント図、せん断力図、軸力図を描け。

部材の剛比は、図 2-5 に示されているが、ここで、部材 1 と 3 は、支持端がピンであることから、次式の有効剛比を用いる。

$$\left. \begin{aligned} \bar{k}_1 &= \frac{3}{4} 2 = 1.5 \\ \bar{k}_3 &= \frac{3}{4} 4 = 3.0 \end{aligned} \right\} \dots\dots(2.20)$$

次に、部材 2 における基本応力を次のように求める。

$$C = \frac{Pl^2}{12} = \frac{10 \cdot 12 \cdot 12}{12} = 120kNm$$

$$M_0 = \frac{Pl^2}{8} = 1.5C = 180kNm$$

$$Q_0 = \frac{Pl}{2} = 60kN$$

.....(2.21)

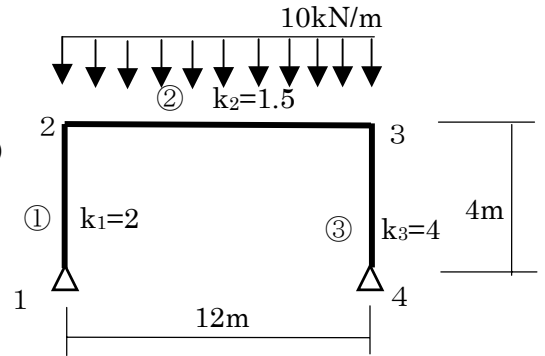


図 2-5 例題 2-3 の骨組

分割率は、節点 2 で

$$DF_c = \frac{1.5}{1.5+1.5} = 0.5 \quad \text{柱の分割率}$$

$$DF_b = \frac{1.5}{1.5+1.5} = 0.5 \quad \text{梁の分割率}$$

.....(2.22)

同様に、節点 3 での分割率は、

$$DF_c = \frac{3.0}{1.5+3.0} = 0.67 \quad \text{柱の分割率}$$

$$DF_b = \frac{1.5}{1.5+3.0} = 0.33 \quad \text{梁の分割率}$$

.....(2.23)

次に、表を用いて固定法を実行する。

表 2-4 例題 2-3 の固定法の表

	下柱	右はり	外力		左はり	下柱	外力
DF	0.5	0.5			0.33	0.67	
FEM		-120	120		120		-120
D1	60	60			-40	-80	
C1		-20	20		30		-30
D2	10	10			-10	-20	
C2		-5	5		5		-5
D3	2.5	2.5			-1.7	-3.3	
C3		-0.9	0.9		1.3		-1.3
D4	0.5	0.5			-0.4	-0.9	
計	73	-72.9			104.2	-104.2	

梁中央の曲げモーメントは、

$$M_c = M_0 - (M_{32} - M_{23})/2 = 180 - (104.2 + 72.9)/2 = 91.4 \quad \text{.....(2.24)}$$

また、各部材のせん断力は次式のように求められる。

$${}_1Q = -(M_{21} + M_{12})/h = -73.0/4 = -18.23$$

$${}_3Q = 104.3/4 = 26.06$$

.....(2.25)

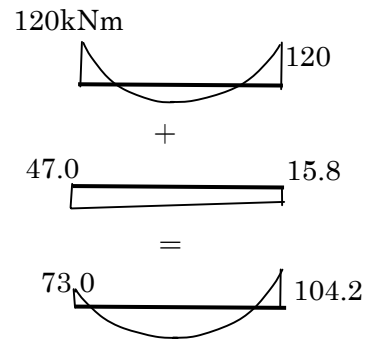


図 2-6 梁の曲げモーメント

部材に中間荷重が加わっている梁は、右図のように基本応力と解析結果の曲げモーメントの和で表されることから、せん断力は、基本応力のせん断力に図の中の曲げモーメントから得られるせん断力を加えれば良いことになる。したがって、梁のせん断力は、

$$\left. \begin{aligned} {}_2Q_L &= Q_0 - (\bar{M}_{32} + \bar{M}_{23})/l = 60 - (-15.8 + 47.0)/12 = 57.39 \\ {}_2Q_R &= -60 - (-16.0 + 47.0)/12 = -62.61 \end{aligned} \right\} \dots\dots(2.26)$$

となる。また、柱の軸力は、せん断力との節点での力の釣合より求められる。なお、梁の軸力は後で検討する。

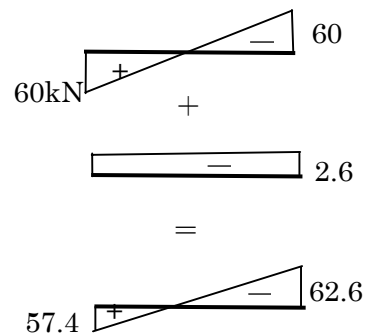


図 2-7 梁のせん断力

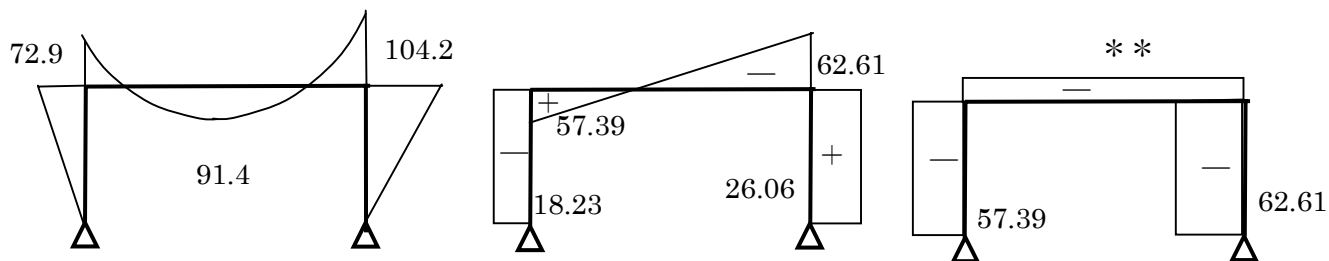


図 2-8 曲げモーメント図、せん断力図、軸力図

次に、柱頭で切断し、柱のせん断力と水平外力との力の釣合について検討しよう。図 2-10 に見られるように、外力がゼロにもかかわらず、左右の柱におけるせん断力の和がゼロとはならず、応力解析して得た応力状態では、水平方向の力の釣合がとれていない。

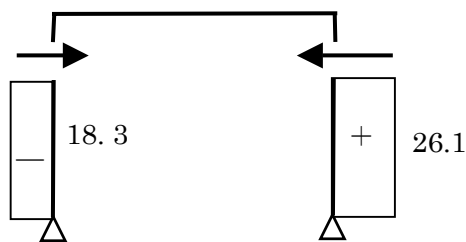


図 2-9 せん断力による水平方向の力の釣合

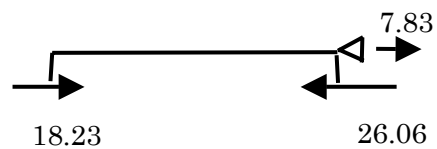


図 2-10(a) 仮想支持点の反力

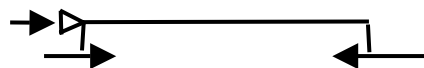


図 2-10(b) 仮想支持点の反力

その原因は、固定法の解析方法にある。これまでの固定法では、節点でのモーメントの釣合を考慮して、表を用いた反復解法が行われてきた。つまり、たわみ角法における層モーメントの釣合を考えていなかったことになる。このことは、図 2-10(a) のように節点 3 で水平方向にピン支持した構造物を解析してい

たことになる。この仮想支持点では、柱の不釣合力に相当する反力が発生している。また、図 2-10 (b) のように節点 2 で反力が生じていると考えても良い。

次に、仮想支持点における反力を考慮して、外力と反力の力の釣合を検討しよう。まず、上下及び水平方向の力の釣合は、

$$\left. \begin{aligned} P_{ud} &= 10 \cdot 12 - 57.4 - 62.6 \rightarrow 0 && (\text{上下方向}) \\ P_h &= 18.3 - 26.1 + 7.8 \rightarrow 0 && (\text{水平方向}) \end{aligned} \right\} \dots\dots(2.27)$$

となり、節点 1 に関するモーメントは、

$$M_1 = 10 \cdot 12 \cdot 6 - 62.6 \cdot 12 + 7.8 \cdot 4 \rightarrow 0. \quad \dots\dots(2.28)$$

となって、全ての釣合がとれていることが分かる。

以上の解析から分かるように、この仮想支持点を取り去ると、この反力と逆方向の力によって、骨組は左の方に傾くことになる。これを骨組のスウェイと呼ぶ。このスウェイを考慮するためには、これまでの結果に加えて、図 2-12 に示す外力に対する解析が必要となる。これは、次章の節点移動がある場合で説明しよう。

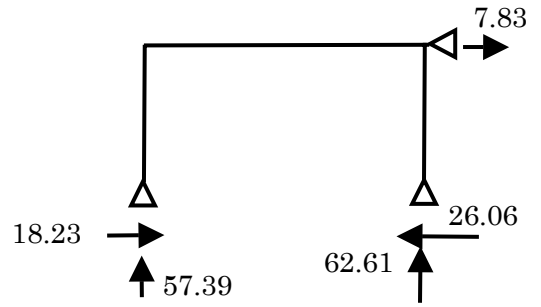


図 2-11 反力图

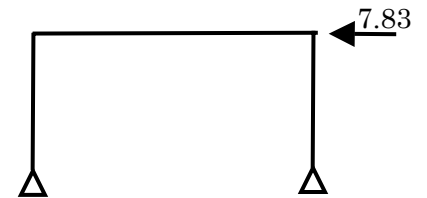


図 2-12 不釣合力を解除

例題 2-4 2 層の骨組に等分布荷重が加わっている場合について応力解析を実行し、曲げモーメント図、せん断力図、軸力图を描け。

図 2-13 に示される 2 層の骨組について応力解析を行う。対称構造物で対称荷重が加わっていることから、変形・応力は対称となる。最初に、部材 3、4 における等分布荷重による基本応力を求める。

基本応力の計算

③部材

$$\left. \begin{aligned} C &= \frac{P_w l^2}{12} = \frac{40 \times 6^2}{12} = 120 \text{ kN} \cdot \text{m} \\ M_0 &= \frac{P_w l^2}{8} = 180 \text{ t kN} \cdot \text{m} \\ Q_0 &= \frac{P_w l}{2} = 120 \text{ kN} \end{aligned} \right\} \dots\dots(2.29)$$

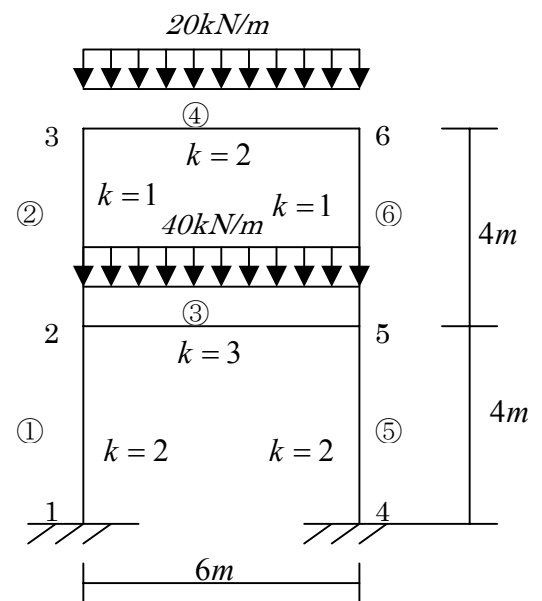


図 2-13 例題 2-4 の骨組

④部材

$$\left. \begin{aligned} C &= \frac{20 \times 6^2}{12} = 60kN \cdot m \\ M_0 &= \frac{20 \times 6^2}{8} = 90kN \cdot m \\ Q_0 &= \frac{20 \times 6}{2} = 60kN \end{aligned} \right\} \dots\dots(2.30)$$

対称部材3と4の有効剛比

$$\left. \begin{aligned} \bar{k}_3 &= 0.5 \cdot k_3 = 1.5 \\ \bar{k}_4 &= 0.5 \cdot k_4 = 1.0 \end{aligned} \right\} \dots\dots(2.31)$$

節点2と3における分割率

$$\left. \begin{array}{l} \text{節点2での分割率} \\ \left\{ \begin{aligned} DF_1 &= \frac{2}{2+1+1.5} = 0.45 \\ DF_2 &= \frac{1}{2+1+1.5} = 0.22 \\ DF_3 &= \frac{1.5}{2+1+1.5} = 0.33 \end{aligned} \right. \\ \text{節点3での分割率} \\ \left\{ \begin{aligned} DF_2 &= \frac{1}{1+1} = 0.5 \\ DF_4 &= \frac{1}{1+1} = 0.5 \end{aligned} \right. \end{array} \right\} \dots\dots(2.32)$$

固定法を用いて、以下のように応力解析を行う。

表 2-5 例題 2-4 の固定法の表

	下柱		右はり	外力
DF	0.5		0.5	
FEM			-60	60
D1	30		30	
C1	13.2			-13.2
D2	-6.6		-6.6	
C2	-1.7			1.7
D3	0.9		0.9	
C3	0.4			-0.4
D4	-0.2		-0.2	
計	36		-35.9	
	下柱	上柱	右はり	外力
DF	0.45	0.22	0.33	
FEM			-120	120
D1	54	26.4	39.6	
C1		15		-15
D2	-6.8	-3.3	-5	
C2		-3.3		3.3
D3	1.5	0.7	1.1	
C3		0.5		-0.5
D4	-0.2	-0.1	-0.2	
計	48.5	35.9	-84.5	
		上柱		
FEM				
C1		27		
C2		-3.4		
C3		0.8		
計		24.4		

部材3と4の中央の曲げモーメントは

$$\begin{aligned}
 M_{3C} &= M_0 - \frac{1}{2}(M_{52} - M_{25}) \\
 &= 180.0 - \frac{1}{2}(84.5 + 84.5) = 95.5 \\
 M_{4C} &= 90.0 - \frac{1}{2}(36.0 + 36.0) = 54.0
 \end{aligned}
 \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} M_{3C} \\ M_{4C} \end{aligned}} \right\} \dots\dots(2.33)$$

以上をまとめて曲げモーメント図を描くと下図となり、せん断力図、軸力図も同様に下図のように求められる。

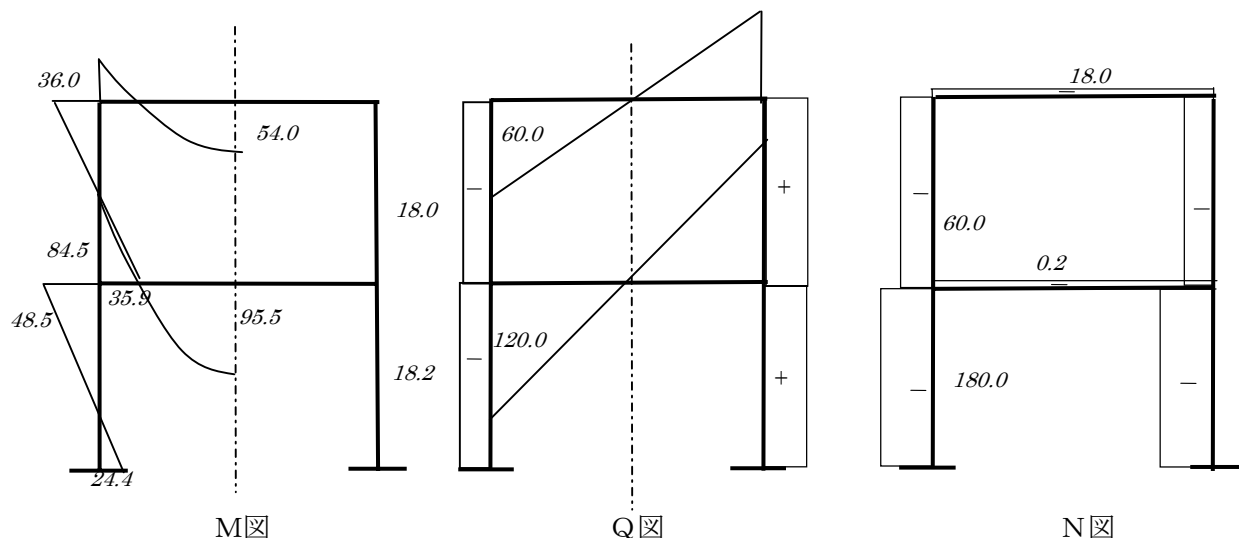


図 2-14 曲げモーメント、せん断力、軸力図

図 2-14 を利用して反力を求め、図 2-15 に示す。同図より、上下方向と水平方向の力の釣合がとれていることは容易に理解できる。また、節点1での外力と反力によるモーメントは

$$\begin{aligned}
 M_1 &= 20 \times 6 \cdot \frac{6}{2} + 40 \times 6 \cdot \frac{6}{2} - 24.4 + 24.4 - 180 \times 6 \\
 &= 360 + 720 - 1080 \\
 &\rightarrow 0 \quad \dots\dots(2.34)
 \end{aligned}$$

となり、これも釣合がとれていることが分かる。

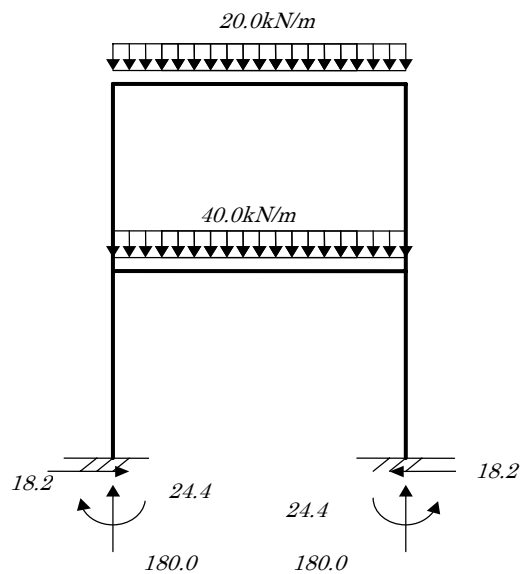


図 2-15 反力と外力

本章では、SPACE を用いて、例題 2-4 について数値解析を実施し、固定法で求めた結果と比較する。まず、例題 2-4 を以下に示す。ただし、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 6m とし、階高は 4m とする。使用する部材の断面二次モーメントは 23500 cm^4 であり、ヤング係数は 20500 kN/cm^2 とする。ただし、これらは SPACE のデータベースより求めた値である。骨組の曲げモーメント図、及び、せん断力図、軸力図は、既に図 2-14 で得られている。

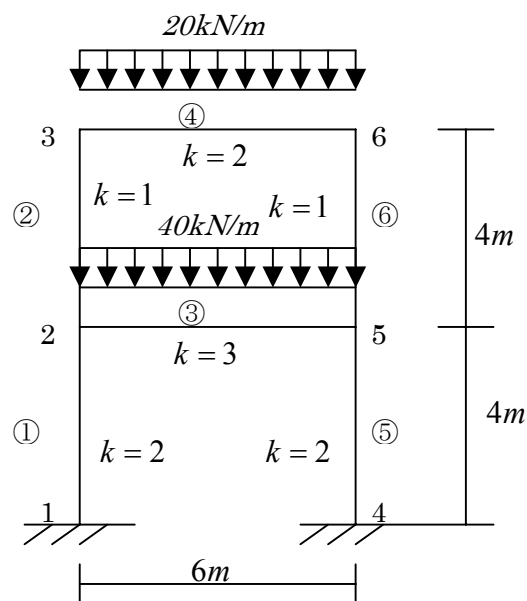


図 2-16 例題 2-4 の骨組

次に、SPACE を用いて数値計算を実施する。ここで注意すべき点が 2 つある。一つは、例題 2-4 では、梁に等分布荷重が载荷されているが、SPACE では、分布荷重は扱えない。そのため、分布荷重を節点に加わる集中荷重に置き換える必要が生じる。ここでは、等価な集中荷重を得るために、解析モデルを梁の分割数を変えて、3 種のモデルを用意する。分割数は、各々、3 分割、5 分割、10 分割とする。他の一つは、例題では剛比が与えられているが、断面を仮定すると、曲げ剛性が例題と異なることになる。本来は、この曲げ剛性を用いて剛比を計算すべきであるが、ここでは、例題 2-4 の結果と比較することが目的であるため、曲げ剛性を例題と合わせるために当該部材の断面二次モーメントを変更して使用する。以下に 3 つの解析モデルを作成しよう。

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2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。他の2つは、「課題2」、「課題3」に同様に作成する。コントロールファイルの名前を「2層骨組.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。モデラーによる解析モデルの設定は、既に何度も経験している。従って、容易に解析モデルは作成できよう。



図 2-18 スパンと階高さの設定

最初に、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、図タイトルを入力し、次に平面フレームを選択し、構造物の規模として、図 2-17 のように「スパン数」を 1 に、階数は 2 にセットする。次に、図 2-18 に示すように、スパン長を 600cm に、各層の階高を 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。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。図 2-19 に示すように、梁用の断面を G1 として設定する。また、柱用は、同じ断面で設定し、記号を C1 とする。この骨組では、各層の梁・柱の剛比が異なるため、梁・柱共に 2 種ずつ設定する。要素データが設定終了後、OK ボタンを押して、CAD 画面に戻る。

図 2-20 のように CAD 画面を使用して骨組形状を作成し、次に境界と荷重を割り付ける。ここでは、梁の分割は 3 分割とする。梁と柱を割り付ける際、第 1 層では、C1 と G1

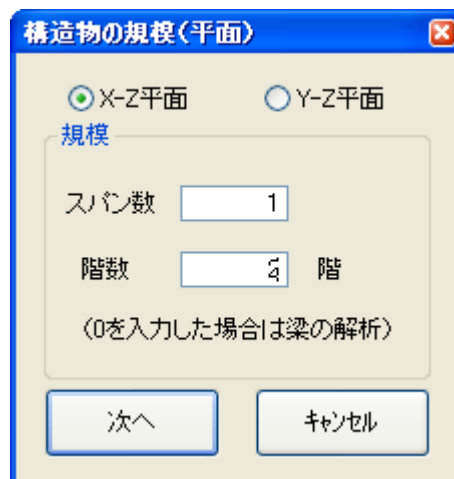


図 2-17 構造物の規模

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、図タイトルを入力し、次

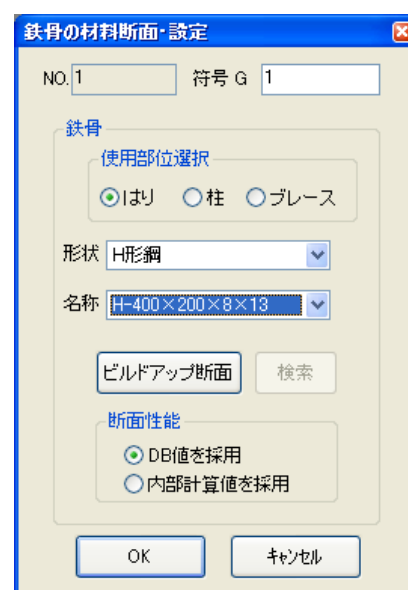


図 2-19 部材断面の設定

を、第2層では、C2とG2を用いる。また、柱の回転角は規定値では-90度となっているが、平面問題では、0度に設定して使用する。

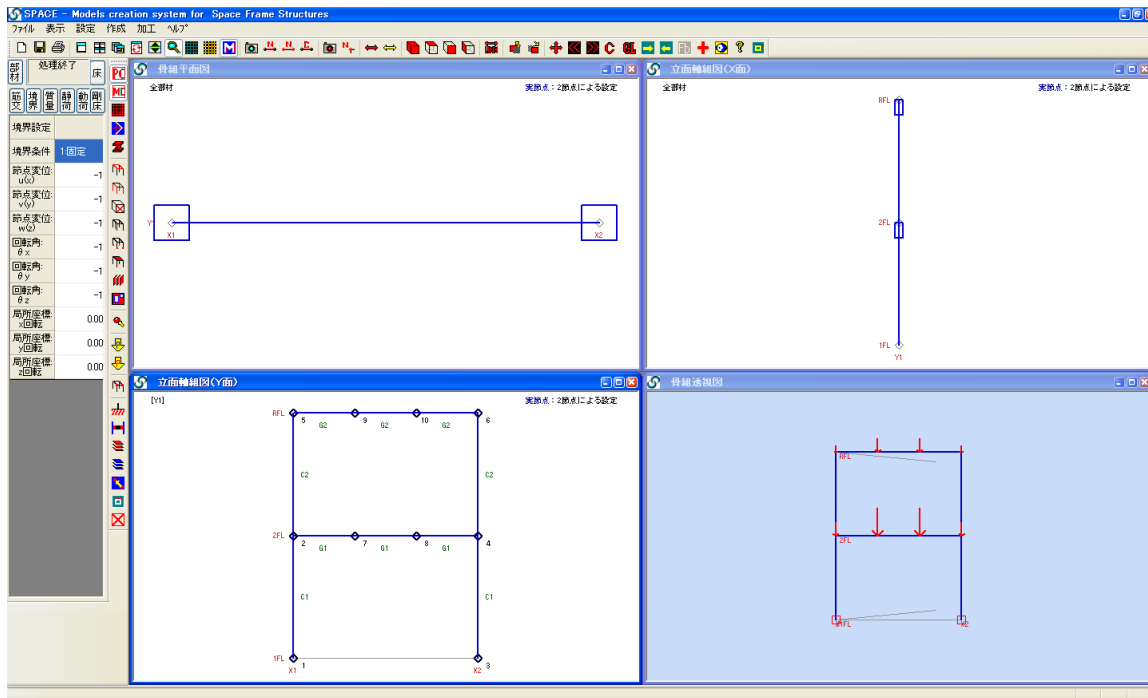


図 2-20 CAD 画面で梁 3 分割の骨組を作成

さらに、前章と同様に、「要素登録」機能を利用して、図 2-21 のように要素データを変更する。ここでは、たわみ角法の解析結果と比較するために、断面積を 1000 倍に、また、梁・柱の断面二次モーメントを課題の剛比に合わせるために、次の表のように変更する。

- 1 層柱 : $k=2$ (断面二次モーメントを 2 倍する)
- 2 層柱 : $k=1$
- 2 階梁 : $k=3, h/l=1.5$ (断面二次モーメントを 4.5 倍する)
- R 階梁 : $k=2, h/l=1.5$ (断面二次モーメントを 3 倍する)

要素データ変更											
要素データ		材端データ		断面変更							OK
要素番号	現在の状態	符号	モデル	ヤング係数 (kN/cm^2)	せん断弾性係数 (kN/cm^2)	断面積 (cm^2)	断面極二次モーメント (cm^4)	y軸断面二次モーメント (cm^4)	z軸断面二次モーメント (cm^4)	y軸回りせん断断面積 (cm^2)	z軸回りせん断断面積 (cm^2)
1	有効	G1	1	20500.0000	7900.0000	83370.0000	35.68000	105750.0000	1740.00000	30.50606	
2	有効	G2	1	20500.0000	7900.0000	83370.0000	35.68000	70500.00000	1740.00000	30.50606	
3	有効	C1	1	20500.0000	7900.0000	83370.0000	35.68000	47000.00000	1740.00000	30.50606	
4	有効	C2	1	20500.0000	7900.0000	83370.0000	35.68000	23500.00000	1740.00000	30.50606	

図 2-21 解析モデルに合わせるために、断面特性を変更する

3 種の課題では、梁分割数に合わせて、節点の支配長さより、等分布

荷重は以下のように等価な節点集中荷重として置き換えられる。

表 2-1 等分布荷重を節点集中荷重に置き換える

等分布荷重	3 分割	5 分割	10 分割
40kN / m	80kN	48kN	24kN
20kN / m	40kN	24kN	12kN

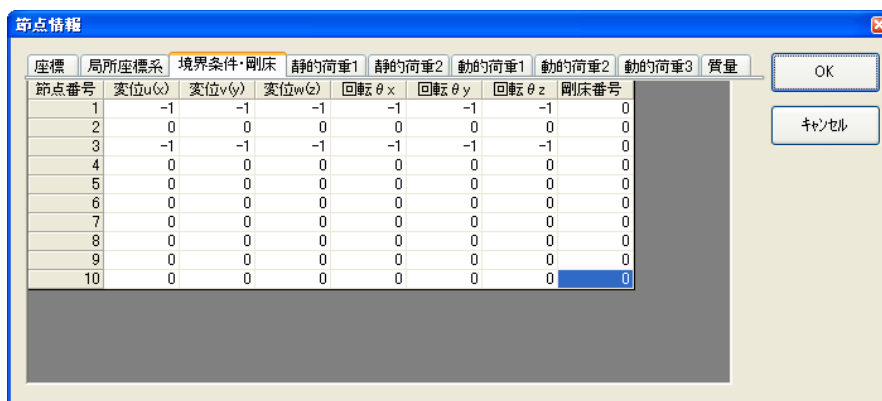


図 6-22 (a) 節点情報を表示させ、境界条件を確認する



図 6-22 (b) 節点情報を表示させ、荷重を確認する

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」を選択し、「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 ボタンを押して出力する。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 2-23 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、解析を実施する。

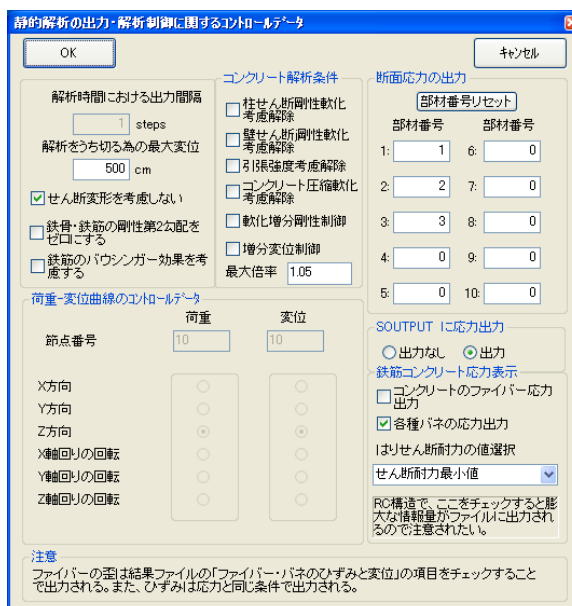


図 2-23 「静的解析の出力・解析制御に関するコントロールデータ」ダイアログ

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。

```

table number: 0
|番号|部材モデル|Nx|Qy|Qz|Mx|My|Mz|
|---|---|---|---|---|---|---|---|
|1|1|-179.9986|0.0000|15.9986|0.0000|-2133.0006|0.0000|
|   |   |-179.9986|0.0000|15.9986|0.0000|4266.4212|0.0000|
|2|1|-180.0014|0.0000|-16.0016|0.0000|2133.6835|0.0000|
|   |   |-180.0014|0.0000|-16.0016|0.0000|-4266.9471|0.0000|
|3|1|-59.9998|0.0000|15.9994|0.0000|-3199.8792|0.0000|
|   |   |-59.9998|0.0000|15.9994|0.0000|3199.8658|0.0000|
|4|1|-60.0002|0.0000|-16.0004|0.0000|3200.0600|0.0000|
|   |   |-60.0002|0.0000|-16.0004|0.0000|-3200.0880|0.0000|
|5|1|-0.0002|0.0000|-79.9988|0.0000|7466.3004|0.0000|
|   |   |-0.0002|0.0000|-79.9988|0.0000|-8533.4643|0.0000|
|6|1|-0.0002|0.0000|0.0012|0.0000|-8533.4643|0.0000|
|   |   |-0.0002|0.0000|0.0012|0.0000|-8533.2287|0.0000|
|7|1|-0.0002|0.0000|80.0012|0.0000|-8533.2287|0.0000|
|   |   |-0.0002|0.0000|80.0012|0.0000|7467.0070|0.0000|
|8|1|-15.9999|0.0000|-39.9996|0.0000|3199.8658|0.0000|
|   |   |-15.9999|0.0000|-39.9996|0.0000|-4800.0603|0.0000|
|9|1|-15.9999|0.0000|0.0004|0.0000|-4800.0603|0.0000|
|   |   |-15.9999|0.0000|0.0004|0.0000|-4799.9862|0.0000|
|10|1|-15.9999|0.0000|40.0004|0.0000|-4799.9862|0.0000|
|   |   |-15.9999|0.0000|40.0004|0.0000|3200.0880|0.0000
    
```

図 2-24 等分布荷重に対し梁を3分割したモデルの部材断面力

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 2-24 に示す。図に見られるように、曲げモーメントは 10%程度、SPACE の値が小さい。これは、梁分割が粗いため、端部の分布荷重が十分に評価できていないことによる。

次に静的プレゼンターを起動し、図 2-25 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。右図と固定法で求めた図 2-14 の曲げモーメント分布とせん断力

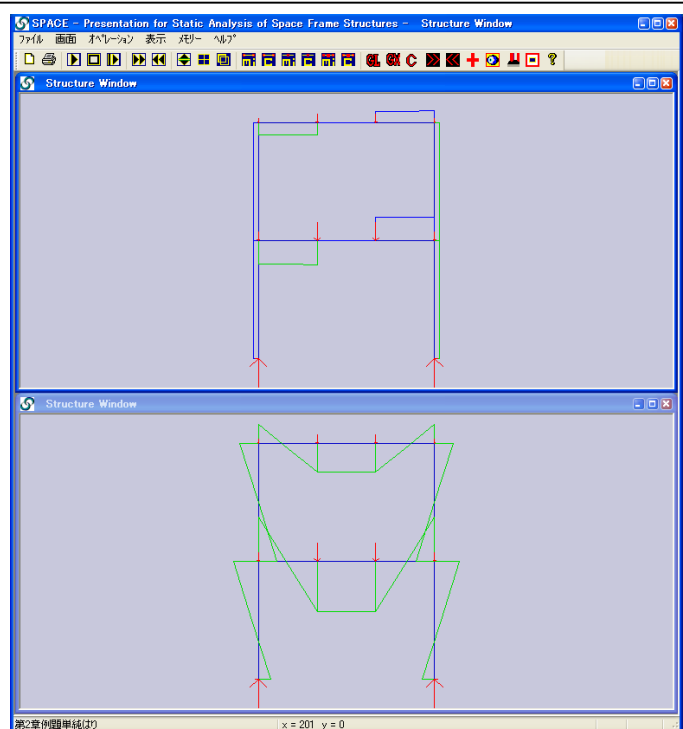


図 2-25 3分割モデルのせん断力分布と曲げモーメント分布

分布はおおよそ近似しているといえるが、先に示したように、荷重の評価が小さいことと、等分布荷重による曲げモーメントの形状が2次曲線を十分に近似しているとはいえない。

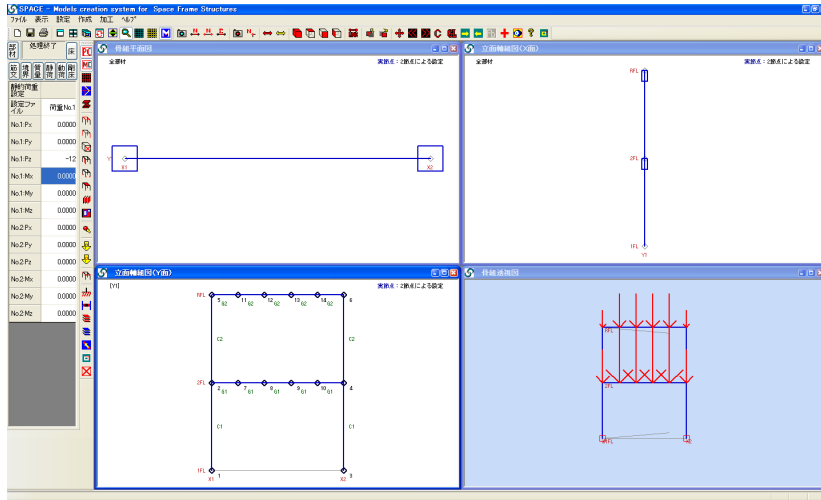


図 2-26 CAD 画面で
梁 5 分割の骨組を
作成

次に、5 分割及び 10 分割の解析結果を表示する。

stable number:	材番号	部材モデル	Nx	Qy	Qz	Mx	My	Mz
0	1	1	-179.9986	0.0000	17.2786	0.0000	-2303.6680	0.0000
			-179.9986	0.0000	17.2786	0.0000	4607.7559	0.0000
	2	1	-180.0014	0.0000	-17.2816	0.0000	2304.3509	0.0000
			-180.0014	0.0000	-17.2816	0.0000	-4608.2818	0.0000
	3	1	-59.9998	0.0000	17.2794	0.0000	-3455.8768	0.0000
			-59.9998	0.0000	17.2794	0.0000	3455.8639	0.0000
	4	1	-60.0002	0.0000	-17.2804	0.0000	3456.0575	0.0000
			-60.0002	0.0000	-17.2804	0.0000	-3456.0861	0.0000
	5	1	-0.0002	0.0000	-95.9988	0.0000	8063.6327	0.0000
			-0.0002	0.0000	-95.9988	0.0000	-3456.2261	0.0000
	6	1	-0.0002	0.0000	-47.9988	0.0000	-3456.2261	0.0000
			-0.0002	0.0000	-47.9988	0.0000	-9216.0849	0.0000
	7	1	-0.0002	0.0000	0.0012	0.0000	-9216.0849	0.0000
			-0.0002	0.0000	0.0012	0.0000	-9215.9436	0.0000
	8	1	-0.0002	0.0000	48.0012	0.0000	-9215.9436	0.0000
			-0.0002	0.0000	48.0012	0.0000	-3455.8022	0.0000
	9	1	-0.0002	0.0000	96.0012	0.0000	-3455.8022	0.0000
			-0.0002	0.0000	96.0012	0.0000	8064.3393	0.0000
	10	1	-17.2799	0.0000	-47.9996	0.0000	3455.8639	0.0000
			-17.2799	0.0000	-47.9996	0.0000	-2304.0917	0.0000
	11	1	-17.2799	0.0000	-23.9996	0.0000	-2304.0917	0.0000
			-17.2799	0.0000	-23.9996	0.0000	-5184.0473	0.0000
	12	1	-17.2799	0.0000	0.0004	0.0000	-5184.0473	0.0000
			-17.2799	0.0000	0.0004	0.0000	-5184.0029	0.0000
	13	1	-17.2799	0.0000	24.0004	0.0000	-5184.0029	0.0000
			-17.2799	0.0000	24.0004	0.0000	-2303.9584	0.0000
	14	1	-17.2799	0.0000	48.0004	0.0000	-2303.9584	0.0000
			-17.2799	0.0000	48.0004	0.0000	3456.0861	0.0000

図 2-27 等分布荷重に対し梁を 5 分割したモデルの部材断面力

Instable number: 0

材番号	部材モデル	Nx	Qy	Qz	Mx	My	Mz
1	1	-179.9986 -179.9986	0.0000 0.0000	17.8186 17.8186	0.0000 0.0000	-2375.6683 4751.7565	0.0000 0.0000
2	1	-180.0014 -180.0014	0.0000 0.0000	-17.8216 -17.8216	0.0000 0.0000	2376.3512 -4752.2824	0.0000 0.0000
3	1	-59.9998 -59.9998	0.0000 0.0000	17.8193 17.8193	0.0000 0.0000	-3563.8758 3563.8631	0.0000 0.0000
4	1	-60.0002 -60.0002	0.0000 0.0000	-17.8204 -17.8204	0.0000 0.0000	3564.0565 -3564.0853	0.0000 0.0000
5	1	-0.0002 -0.0002	0.0000 0.0000	-107.9988 -107.9988	0.0000 0.0000	8315.6323 1835.7029	0.0000 0.0000
6	1	-0.0002 -0.0002	0.0000 0.0000	-83.9988 -83.9988	0.0000 0.0000	1835.7029 -3204.2266	0.0000 0.0000
7	1	-0.0002 -0.0002	0.0000 0.0000	-59.9988 -59.9988	0.0000 0.0000	-3204.2266 -6804.1559	0.0000 0.0000
8	1	-0.0002 -0.0002	0.0000 0.0000	-35.9988 -35.9988	0.0000 0.0000	-6804.1559 -8964.0853	0.0000 0.0000
9	1	-0.0002 -0.0002	0.0000 0.0000	-11.9988 -11.9988	0.0000 0.0000	-8964.0853 -9684.0147	0.0000 0.0000
10	1	-0.0002 -0.0002	0.0000 0.0000	12.0012 12.0012	0.0000 0.0000	-9684.0147 -8963.9440	0.0000 0.0000
11	1	-0.0002 -0.0002	0.0000 0.0000	36.0012 36.0012	0.0000 0.0000	-8963.9440 -6803.8733	0.0000 0.0000
12	1	-0.0002 -0.0002	0.0000 0.0000	60.0012 60.0012	0.0000 0.0000	-6803.8733 -3203.8026	0.0000 0.0000
13	1	-0.0002 -0.0002	0.0000 0.0000	84.0012 84.0012	0.0000 0.0000	-3203.8026 1836.2681	0.0000 0.0000
14	1	-0.0002 -0.0002	0.0000 0.0000	108.0012 108.0012	0.0000 0.0000	1836.2681 8316.3389	0.0000 0.0000
15	1	-17.8199 -17.8199	0.0000 0.0000	-53.9996 -53.9996	0.0000 0.0000	3563.8631 323.8853	0.0000 0.0000
16	1	-17.8199 -17.8199	0.0000 0.0000	-41.9996 -41.9996	0.0000 0.0000	323.8853 -2196.0925	0.0000 0.0000
17	1	-17.8199 -17.8199	0.0000 0.0000	-29.9996 -29.9996	0.0000 0.0000	-2196.0925 -3996.0703	0.0000 0.0000
18	1	-17.8199 -17.8199	0.0000 0.0000	-17.9996 -17.9996	0.0000 0.0000	-3996.0703 -5076.0481	0.0000 0.0000
19	1	-17.8199 -17.8199	0.0000 0.0000	-5.9996 -5.9996	0.0000 0.0000	-5076.0481 -5436.0259	0.0000 0.0000
20	1	-17.8199 -17.8199	0.0000 0.0000	6.0004 6.0004	0.0000 0.0000	-5436.0259 -5076.0037	0.0000 0.0000
21	1	-17.8199 -17.8199	0.0000 0.0000	18.0004 18.0004	0.0000 0.0000	-5076.0037 -3995.9815	0.0000 0.0000
22	1	-17.8199 -17.8199	0.0000 0.0000	30.0004 30.0004	0.0000 0.0000	-3995.9815 -2195.9592	0.0000 0.0000
23	1	-17.8199 -17.8199	0.0000 0.0000	42.0004 42.0004	0.0000 0.0000	-2195.9592 324.0631	0.0000 0.0000
24	1	-17.8199 -17.8199	0.0000 0.0000	54.0004 54.0004	0.0000 0.0000	324.0631 3564.0853	0.0000 0.0000

図 2-28 等分布荷重に対し梁を 10 分割したモデルの部材断面力

2つの図から理解できるように、分割数を多くする毎に、固定法で求めた断面力分布に近づいている。これは、固定法で求めた結果は正しかったことを示している。これらの比較結果は、等分布荷重を節点集中荷重に置き換える場合の目安になる。

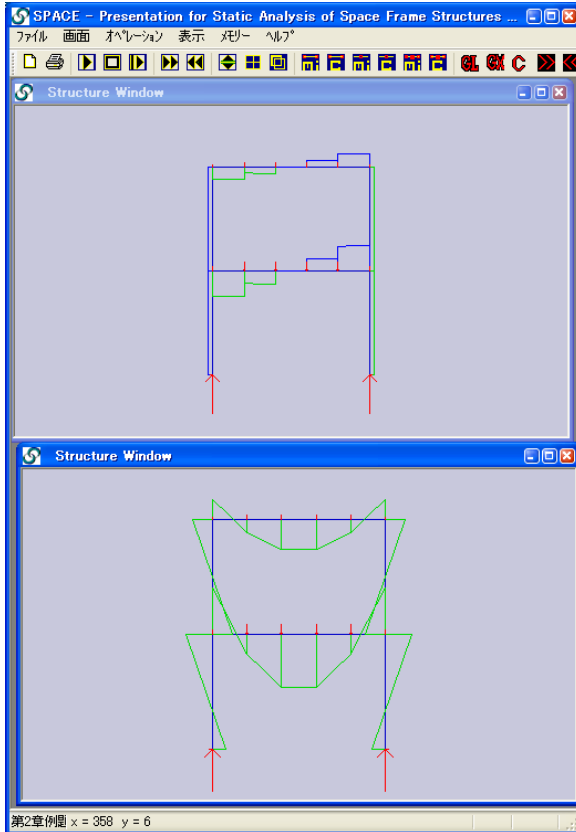


図 2-29 (a) 5 分割モデルのせん断力分布と曲げモーメント分布

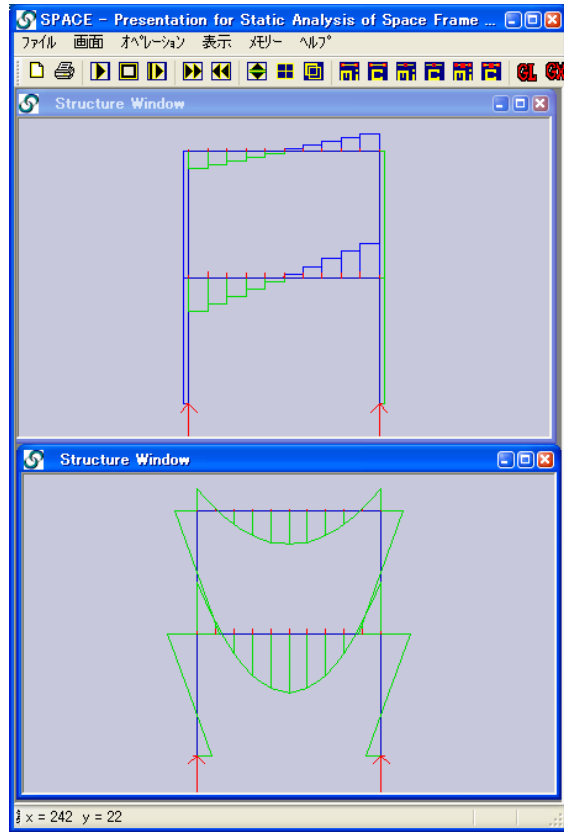


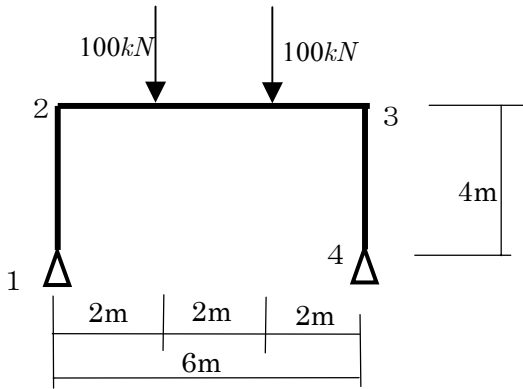
図 2-29 (b) 10 分割モデルのせん断力分布と曲げモーメント分布

2.5 まとめ

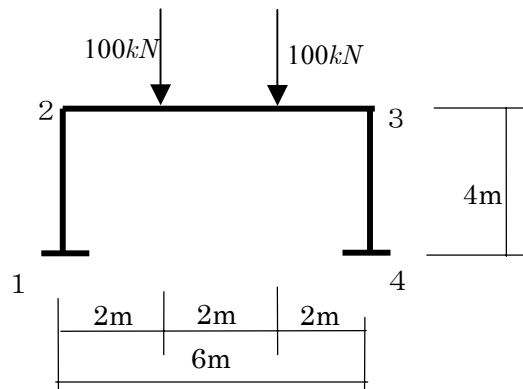
本章では、固定法を使用して、骨組の解析を行う際、ピン支持や対称条件、逆対称条件を有効剛比として扱う方法について学んだ。練習問題では、この有効剛比を用いて、各種の条件を有する骨組の解析を行い、その処理方法を学習した。また、SPACE を用いて、2 層の骨組の解析を実施し、固定法の結果と比較した。SPACE では、等分布荷重が扱えないため、節点集中荷重に置き換えて解析を実施するが、結果の違いについても検討した。

2.6 問題

問題 2-1 次の骨組の応力解析を固定法を用いて実行し、曲げモーメント図、せん断力図及び軸力图を描き、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、部材断面は、全て H-400x200x8x13 を使用するものとする。梁・柱共に同一断面を使用するために、部材長さによって剛比が決まる。ここでは、梁の剛比を1 とすると、柱の剛比は 1.5 となる。この値を用いて解析を実施せよ。また、対称条件より有効剛比を利用せよ。最後に、SPACE により解析を実施し、固定法によって求めた結果と比較せよ。



問 2-1



問 2-2

ヒント:梁に等間隔に等しい集中荷重が加わる場合の基本応力は、以下のようである。

$$\left. \begin{aligned}
 C &= \frac{2Pl}{9} \\
 M_0 &= \frac{Pl}{3} = 1.5C \\
 Q &= P
 \end{aligned} \right\} \dots\dots(2.35)$$