



第1章 固定法の原理

ポイント：固定法の原理を学ぶ

たわみ角法から固定法の解析手法を誘導する

本章では、たわみ角法の基本式を用いて固定法の解析手法を導く。たわみ角法では、釣合式は連立方程式で表わされ、そのため構造物が大きくなると未知数が多くなり、コンピュータを利用しないと、方程式の解が得にくくなる。この欠点を解消するために、固定法が開発された。固定法の利点は、釣合式を連立方程式で表わさず、反復解法によって直接材端モーメントが求められることである。そのため、連立方程式を解く処理を必要とせず、しかも、表形式で計算するため、コンピュータを用いなくても、現実の構造物でも応力解析が可能となる。

固定法は、たわみ角法と同様に、節点移動のある場合とない場合とでは解析方法が大きく異なる。さらに、節点移動のある場合、整形骨組と異型骨組においても、解析方法が異なる。特に、異型骨組は、収束も悪く、固定法では解析し難い。まず、本章では、節点移動のない場合の固定法について解説する。

この本で使用する座標系は、右手・右ネジの法則に従った座標を用いる。また、ひとつの部材では、部材の左端の i 点を原点とする。部材は、長さが l で、材に沿って一様なヤング係数 E と断面二次モーメント I を有するものとする。また、これらのパラメータによる剛比 k を用いて、固定法の解析を行う。なお、この本では、平面骨組を対象とする。

各章末では、SPACE を利用して、固定法で解いた骨組を数値計算し、その結果を比較する。SPACE で使用しているマトリックス法と固定法とでは、結果にどのような差異が生じるかを検討する。

キーワード

固定法の原理 変位法 たわみ角法から誘導 節点移動のない解法

1.1 はじめに

1.2 固定法の解析
手法を誘導する

本章では、節点移動のない場合を用いて固定法の原理を解説する。そこで、ここではまず、固定法の原理を説明するために、必要となる基本的な骨組の応力解析を、たわみ角法を用いて行うことにする。

たわみ角法の基本式を以下に示す。

$$\left. \begin{aligned} M_{ij} &= \frac{2EI}{l}(2\theta_i + \theta_j - 3R) - C_{ij} \\ M_{ji} &= \frac{2EI}{l}(2\theta_j + \theta_i - 3R) + C_{ji} \end{aligned} \right\} \dots\dots(1.1)$$

骨組の中で代表的な部材を一つ取り出し、その部材の曲げ剛性を次式で定義し、このパラメータを標準剛度 K_0 と呼ぶ。ただし、 I_0 と l はその部材の断面二次モーメントと部材長さである。

$$K_0 = \frac{2EI_0}{l} \dots\dots(1.2)$$

この標準剛度を用いて、たわみ角法の基本式を変換する。

$$\left. \begin{aligned} M_{ij} &= k(2\varphi_i + \varphi_j + \psi) - C_{ij} \\ M_{ji} &= k(2\varphi_j + \varphi_i + \psi) + C_{ji} \end{aligned} \right\} \dots\dots(1.3)$$

上式では、パラメータと新しい変数を次のように定義している。

$$\left. \begin{aligned} k &= \frac{K}{K_0} & K &= \frac{2EI}{l} \\ \varphi_i &= \theta_i K_0 & \psi &= -3RK_0 \end{aligned} \right\} \dots\dots(1.4)$$

新しいパラメータとして定義した k は剛比と呼ばれ、標準部材の曲げ剛性に対する当該部材の曲げ剛性の比を表す。

固定法の原理を図 1-1 に示す骨組を用いて説明する。この骨組は、節点 i で剛接し、他の節点が固定支持となっている 3 つの部材で構成されている。まず、この 3 つの部材に関するたわみ角法の基本式を以下に示す。ここでは、節点移動がないため部材角をゼロとし、節点 i と反対側の節点が固定であるとする境界条件を既に適用している。また、部材の中間には部材荷重は加わっていないものとする。

$$\left. \begin{aligned} M_{i1} &= k_1(2\varphi_i) \\ M_{i2} &= k_2(2\varphi_i) \\ M_{i3} &= k_3(2\varphi_i) \end{aligned} \right\} \dots\dots(1.5)$$

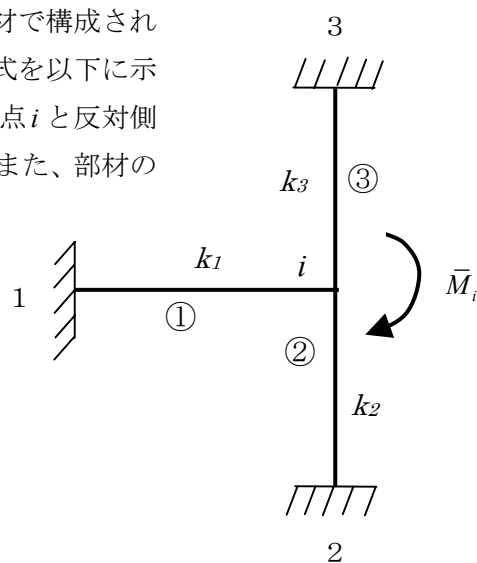


図 1-1 解析用骨組

次に、この節点 i におけるモーメントの釣合を考える。この節点には、

荷重として、モーメント \bar{M}_i が加わっている。図 1-2 を参考にして、この状態におけるモーメントの釣合が次式で与えられる。

$$M_{i1} + M_{i2} + M_{i3} = \bar{M}_i \quad \dots\dots(1.6)$$

上式に、式(1.5)の材端モーメントを代入すると、

$$2(k_1 + k_2 + k_3)\varphi_i = \bar{M}_i \quad \dots\dots(1.7)$$

となり、節点 i の回転角 φ_i は、次式で与えられる。

$$\varphi_i = \frac{\bar{M}_i}{2(k_1 + k_2 + k_3)} = \frac{\bar{M}_i}{2\sum k_i} \quad \dots\dots(1.8)$$

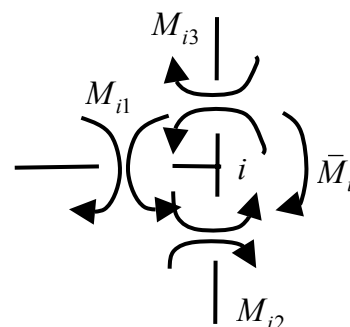


図 1-2 荷重と材端モーメント

ここで、 $\sum k_i$ は節点 i に集まる部材の剛比の和を表す。得られた回転角を材端モーメントの式(1.5)に代入すると、

$$\left. \begin{aligned} M_{i1} &= \frac{k_1}{\sum k_i} \bar{M}_i \\ M_{i2} &= \frac{k_2}{\sum k_i} \bar{M}_i = 0.5M_{i1} \\ M_{i3} &= \frac{k_3}{\sum k_i} \bar{M}_i \\ M_{1i} &= \frac{k_1}{2\sum k_i} \bar{M}_i = 0.5M_{i1} \\ M_{2i} &= \frac{k_2}{2\sum k_i} \bar{M}_i = 0.5M_{i2} \\ M_{3i} &= \frac{k_3}{2\sum k_i} \bar{M}_i = 0.5M_{i3} \end{aligned} \right\} \dots\dots(1.9)$$

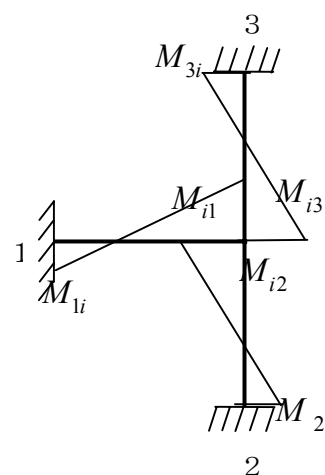


図 1-3 曲げモーメント図

として、材端モーメントが得られる。この骨組の応力状態が式(1.9)の材端モーメントから図 1-3 のように得られる。

1.3 節点移動のない
場合の固定法の
原理

少し、見方を変えて、前節の解析経過を分析しよう。まず、釣合式中の \bar{M}_i について考える。 \bar{M}_i は節点 i に加わるモーメント荷重であるが、これを不釣合力、あるいは、不釣合モーメントであるとする。つまり、この骨組には、ある曲げモーメント分布が存在するものとするが、節点 i では、モーメントの釣合がとれておらず、不釣合モーメントが発生し

ているわけである。そこで、節点*i*でモーメントの釣合をとるために前節で示した解析を行う。この処理によって、新たに次の回転角が発生し、

$$\varphi_i = \frac{\bar{M}_i}{2\sum k_i} \quad \dots\dots(1.10)$$

この回転角によって節点*i*に集まる部材に曲げモーメントが生じて節点*i*におけるモーメント不釣合の状態が解消されることになる。ただし、他端にもモーメントが発生し、このモーメントによってその節点に新たな不釣合モーメントを生じさせる。これら一連の処理を不釣合モーメントの解放と呼ぶ。

不釣合モーメント解放に関連する処理は、次の解析手順で行われる。

- 1) 節点*i*に集まる部材の曲げ剛性の比を求める。これを固定法では、分割率 DF と呼ぶ。
- 2) 不釣合モーメントと値が同じで逆のモーメントをその節点に加わるモーメント荷重とみなす。
- 3) 上で求めたモーメント荷重に分割率を掛け、節点*i*に集まる部材で、各部材が負担する曲げモーメントを求める。この分割された曲げモーメントを、存在する曲げモーメントに足しこむ。
- 4) 各部材の他端には、*i*端で分割された曲げモーメントの 0.5 倍の曲げモーメントが発生する。この他端に発生する曲げモーメントを到達モーメントと呼び、値 0.5 を到達率と呼ぶ。後は、この到達モーメントを存在する曲げモーメントに足しこむ。

以上が、不釣合モーメントの解放手順である。

解析する骨組が、図 1-1 に示すように、他端が全て固定であると、1 回の不釣合モーメントの解放で、節点におけるモーメントの釣合が得られることになる。骨組の変形状態に節点移動がない場合は、これで全ての釣合が得られ、応力解析は終了する。

一方、他端が固定でなく剛接合で、しかも、その節点も節点*i*と同様に部材が集合している場合は、ここでも不釣合モーメントの解放が必要となる。この不釣合モーメントの解放によって、節点*i*には、到達モーメントが生じ、再び不釣合モーメントが発生することになる。従って、再度、この不釣合モーメントの解放を行わなければならない。この不釣合モーメントは、一般に到達率が 0.5 であるため、先の不釣合モーメントに比較して、小さくなることが予想される。すなわち、この解放手順を繰り返すことで、徐々に不釣合モーメントは小さくなり、ほとんど無

視し得る程度、つまり誤差の範囲となる。

このような手順を繰り返し、反復することで、節点移動がない場合の応力解析が実行できることになる。これが固定法の解法原理である。この手順は表を用いて行くと、間違いなく実行できる。以降では、固定法で用いられる表を示し、その処理手順の説明を行うことにしよう。

基本的な表は、以下のものである。

表 1-1 固定法の基本的な表

DF	はり
FEM	
D1	
C1	
D2	
C2	
D3	
C3	
D4	
計	

この表は、梁、柱の両端に各一つ設定し、この中に計算した値を記入しながら上記の手順を繰り返し、反復処理を行うためのものである。まず、表の第1項であるDFの欄には、節点*i*に集まる部材の曲げ剛性を用いて、それら剛比の割合を計算してセットする。これを分割率と呼ぶ。当然、節点*i*におけるこの欄の和は1でなくてはならない。節点*i*に集まる部材*j*の分割率は、以下の式で与えられる。

$$DF_j = \frac{k_j}{\sum k_i} \quad \dots\dots(1.11)$$

次の欄のFEMは固定端モーメントであり、部材荷重がある場合は、この欄に値が入ることになる。この値はたわみ角法における固定端モーメントCであり、値の正負は反力の方向と同じである。この固定端モーメントが、不釣合力を計算する初期値となり、部材に存在する応力の初期値ともなる。

第3項の欄であるD1は、分割モーメントの第1番目を表し、後尾の数値は反復回数を示す。分割モーメントは、その節点における不釣合モーメントに上位欄の分割率を掛けて求める。次に、第4項のC1は、到達モーメントを入れる欄であり、後尾の数値は反復回数を示す。この到

達モーメントは、他端の分割モーメント $D1$ の値に 0.5 を掛けて求められる。この 0.5 は到達率と呼ばれ、式(1.9)から分かるように、一般には、常に到達率はこの値となる。

上記の処理を数回繰り返すと、不釣合モーメントは非常に小さくなり反復処理を終了することになる。反復処理を終了する判断は、この不釣合モーメントが設定した閾値より小さくなったときとなる。反復を終了する場合、一般に、分割モーメントをセットした時点で終了する。これは、この時点で反復処理を終了すると、節点でのモーメントの釣合が満たされた状態となるからである。

最後に、各部材の材端モーメントを求める。材端モーメントは、表の中の応力全てを足し算する。つまり、固定端モーメント FEM の欄から最後に分割した分割モーメントの欄まで、全ての値の総和をとり、この値を計の欄にセットする。これが材端モーメントの値となる。なお、これらの処理は、全て同一の有効桁で計算する。ほとんどの場合3から4桁の有効桁で計算すれば十分であろう。

次に、上記の表が一般の骨組にどのように適用されるかについて検討しよう。まず、節点 i では、梁と柱によって十字形になっている場合を考える。この場合、表は表 1-2 のように配置される。骨組の境界部分で、十字形になっていない場合は、存在しない部材に該当する欄に斜線を引いておけば良い。あるいは、最初からその部分を取り除いておいても良い。しかし、解析を間違えずに実行するためにも、この順番に表を設定すべきである。

表 1-2 節点 i における固定法の表

	節点 i				
	左はり	下柱	上柱	右はり	外力
DF	0.2	0.3	0.3	0.2	
FEM	50			-100	50
D1	10	15	15	10	
C1	5	2.5	2.5	5	-15
D2					
C2					
D3					
C3					
D4					
計					

骨組の形状を描き、その中に表を配置するわけであるが、表 1-2 に見られるように、節点 i に対し、左より、左側の梁、下の柱、上の柱、右の梁となっている。最後には、この節点に働く外力もしくは不釣合モー

メントが記入される欄がある。骨組の全ての節点で、この配置で表が描かれることになる。

この表を使用して、先に説明した解析手順を復習しよう。分割率は、有効桁で四捨五入を行って設定するが、その際、節点で分割率の和が、1となるように設定すべきである。分割モーメントを計算するとき、この分割率と不釣合モーメントを掛けて求めるため、分割率の和が1でないと誤差が生じてしまうことになる。

最初の不釣合モーメントは、FEM欄の基本応力の和で表される。この時、節点でのモーメントが釣合っていないと不釣合モーメントが発生する。この不釣合モーメントを打ち消すために、逆のモーメントを外力として、網掛けの欄にセットする。無論、節点にモーメント外力が加わっている場合は、この欄に足し込むことになる。

次に、この不釣合モーメントによる外力を解除するために、次の処理を行う。まず、不釣合モーメントによる外力を分割モーメントに分割する。分割モーメントは、この外力モーメントに各部材の分割率を掛け算して、所定の D1 の欄に記入する。次に、各部材の分割モーメントに到達率の0.5を掛け、到達モーメントを計算する。その到達モーメントの値を他端の C1 欄に記入する。各材端モーメントの表を表 1-3 のように配置すると、規則的に到達モーメントを記入することができる。

表 1-3 到達モーメント

		節点 i				節点 j			
	左はり	下柱	上柱	右はり	外力	左はり	下柱	上柱	右はり
DF									
FEM									
D1									
C1									
D2									
計									
	左はり	下柱	上柱	右はり	外力	左はり	下柱	上柱	右はり
DF									
FEM		節点 m						節点 n	
D1									
C1									
D2									
計									

例えば、節点 i と j 間の梁では、互いの分割モーメントから矢印のように到達モーメントを記入する。同じく、節点 m と n 間の梁でも、同様

の方法で到達モーメントを表に記入することができる。節点 m と i 間の柱では、矢印のように到達モーメントを記入する。

到達モーメントが設定されると、各節点では、またもや不釣合状態となる。ここでは、不釣合モーメントは、各部材の材端モーメントの和で与えられ、表 1-2 では、FEM から C1 欄までの全ての値の和をとることによって与えられる。ただし不釣合モーメントの分割で D1 までの値の総和はゼロとなり、従って、到達モーメント C1 の欄を足すことで不釣合モーメントが得られる。表 1-2 では、C1 の欄の和が 15.0 となり、外力の項には、逆方向の外力モーメントとして、-15.0 がセットされる。後は、この値を D2 の項に分割モーメントとして分配することになる。この一連の処理を反復して、不釣合モーメントが小さくなるまで実行する。

材端モーメントが求まった後は、既に FEM の欄で固定端モーメントを加えているので、ここでは、単純梁の基本応力状態を重ね合わせることで実際の応力状態が決定することになる。

1.4 例題

簡単な例題を用いて、固定法の解析方法を復習しよう。

例題 1-1 次に示す端部が固定支持された骨組の応力解析を、固定法を用いて実行し、曲げモーメント図、せん断力図を描け。

梁を用いて、標準剛度 K_0 を

$$K_0 = \frac{2EI_b}{l} \quad \dots\dots(1.12)$$

とすると、剛比は、部材 1、2 共に 1 となる。

部材における基本応力を次のように求める。

$$\left. \begin{aligned} C &= \frac{Pl}{8} \\ M_0 &= \frac{Pl}{4} = 2C \\ Q &= \frac{P}{2} \end{aligned} \right\} \dots\dots(1.13)$$

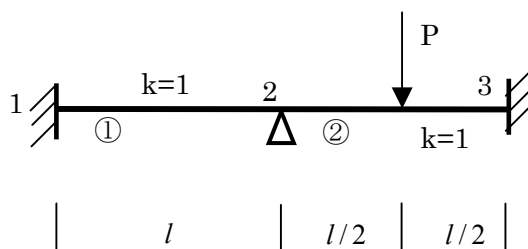


図 1-4 例題 1 の骨組

節点 2 における部材 1 と 2 の分割率は、次式で与えられる。

$$DF_1 = \frac{1}{1+1} = 0.5; \quad DF_2 = \frac{1}{1+1} = 0.5 \quad \dots\dots(1.14)$$

次に、固定法を用いるために表を作成する。ここでは、固定モーメントとして、Cの値を100として計算する。

表 1-4 例題 1-1 の固定法の表

	右はり		左はり	右はり	外力		左はり
DF			0.5	0.5			
FEM	0		0	-100	100		100
D1			50	50			
C1	25		0	0	0		25
計	25		50	-50			125

上記の固定法の解析では、表から分かるように、一回の分割と到達で不釣合力が解消している。その理由は、この骨組の未知変位が節点2における回転角のみであることから、反復計算を必要としないためである。

数値で得られた材端モーメントを固定端モーメントのCに戻す。結果、材端モーメントは以下となる。

$$\left. \begin{aligned} M_{12} &= C/4 \\ M_{21} &= C/2 \\ M_{23} &= -C/2 \\ M_{32} &= 5C/4 \end{aligned} \right\} \dots\dots(1.15)$$

中間荷重が加わっている部材2では、得られた応力状態と両端固定の状態とを重ね合わせる必要がある。ただし、表中の計の欄で与えられる材端モーメントは、固定端モーメントであるFEMの欄の値を加えている。これは、既に端部では両端固定の応力状態を足し込んだことに相当する。後は、この状態に単純梁の応力状態を加えれば良いことになる。

従って、部材2の中央の曲げモーメントは、以下のように得られる。

$$M_c = M_0 - \frac{1}{2}(M_{32} - M_{23}) = 2C - \frac{1}{2}\left(\frac{5C}{4} + \frac{C}{2}\right) = \frac{9}{8}C \quad \dots\dots(1.16)$$

材端モーメントと部材2の中央の曲げモーメントから、図1-5に示す曲げモーメント図及びせん断力図が得られる。

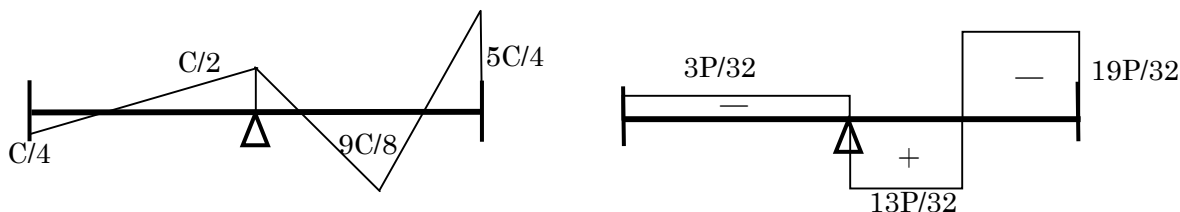


図 1-5 曲げモーメント図とせん断力図

部材1と2のせん断力は、次式のように求められる。

$$\begin{aligned}
 {}_1Q &= -(M_{21} + M_{12})/l = -\left(\frac{C}{2} + \frac{C}{4}\right)/l = -\frac{3C}{4l} = -\frac{3P}{32} \\
 {}_2Q_L &= -\left(-\frac{9C}{8} - \frac{C}{2}\right)/0.5l = \frac{13C}{4l} = \frac{13P}{32} \\
 {}_2Q_R &= -\left(\frac{5C}{4} + \frac{9C}{8}\right)/0.5l = -\frac{19C}{4l} = -\frac{19P}{32}
 \end{aligned}$$

.....(1.17)

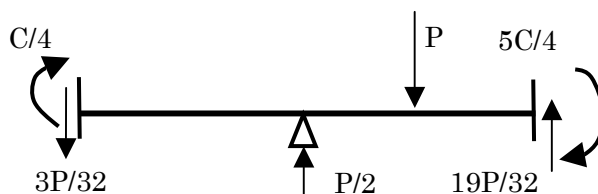


図1-6 外力と反力

図1-5に示す曲げモーメント図とせん断力図から反力が求められる。この反力を図1-6に示す。同図から容易に理解できるように、上下方向の力の釣合は満たされている。モーメントの釣合は、節点1におけるモーメントを考えると、

$$\begin{aligned}
 M_1 &= \frac{C}{4} + \frac{5C}{4} + 1.5Pl - \frac{Pl}{2} - \frac{2l \cdot 19P}{32} \\
 &= Pl\left(\frac{6}{32} + \frac{48}{32} - \frac{16}{32} - \frac{38}{32}\right) \rightarrow 0
 \end{aligned}$$

.....(1.18)

となり、満足することが分かる。

次に、この骨組唯一の変位である回転角 φ_2 を求めてみよう。ここで、回転角と外力との関係である式(1.10)を思い起こそう。

$$\varphi_i = \frac{\bar{M}_i}{2\sum k_i} \quad \text{.....(1.19)}$$

上式から分かるように、節点回転角 φ_2 は、外力と不釣合モーメントを打ち消す外力を、その節点に集まる部材剛比の総和の2倍で割った値で求められる。ただし、この外力は、収束段階で常に生じるので表中の外力の項を全て足し込んで求めることになる。

この例題では、反復計算は1回であることから、 φ_2 は次式で与えられる。

$$\varphi_2 = \frac{\bar{M}_2}{2\sum k_i} = \frac{C}{2(1+1)} = \frac{C}{4} \quad \text{.....(1.20)}$$

実際の回転角 θ_2 は、

$$\theta_2 = \frac{\varphi_2}{K_0} = \frac{l}{2EI_b} \frac{C}{4} = \frac{Cl}{8EI_b} \quad \text{.....(1.21)}$$

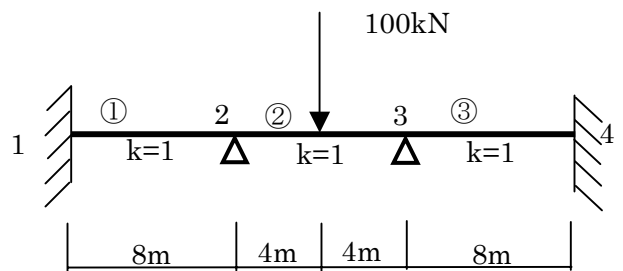
となる。

例題 1-2 次に示す端部が固定支持された連続梁の応力解析を、固定法を用いて実行し、曲げモーメント図、せん断力図を描け。

部材の剛比は、部材 1、2、3 共に 1 とする。

部材 2 における基本応力を次のように求める。

$$\left. \begin{aligned} C &= \frac{Pl}{8} = \frac{100 \cdot 8}{8} = 100kNm \\ M_0 &= \frac{Pl}{4} = 2C = 200kNm \\ Q &= \frac{P}{2} = 50kN \end{aligned} \right\} \dots\dots(1.22)$$



節点 2 と 3 における分割率は、同じで、

$$\left. \begin{aligned} DF_1 &= \frac{1}{1+1} = 0.5 \\ DF_2 &= \frac{1}{1+1} = 0.5 \end{aligned} \right\} \dots\dots(1.23)$$

図 1-7 例題 1-2 の骨組

となる。次に、固定法を用いるために次の表を作成し、表 1-5 に示すように反復解法を実施する。

表 1-5 例題 1-2 の固定法の表

	右はり		左はり	右はり	外力		左はり	右はり	外力		左はり
DF			0.5	0.5			0.5	0.5			
FEM				-100	100		100		-100		
D1			50	50			-50	-50			
C1	25			-25	25		25		-25		-25
D2			12.5	12.5			-12.5	-12.5			
C2	6.25			-6.25	6.25		6.25		-6.25		-6.25
D3			3.125	3.125			-3.125	-3.125			
C3	1.563			-1.563	1.563		1.563		-1.563		-1.563
D4			0.782	0.782			-0.782	-0.782			
計	32.813		66.407	-66.406			66.406	-66.407			-32.813

得られた材端モーメントより、部材 2 の中央の曲げモーメントを求める。

$$M_c = M_0 - \frac{1}{2}(M_{32} - M_{23}) = 2 \cdot 100 - \frac{1}{2}(66.41 + 66.41) = 133.59kNm \quad \dots\dots(1.24)$$

次に、各部材のせん断力は以下のように求められる。

$$\begin{aligned}
 {}_1Q &= -\frac{1}{8}(66.41 + 32.81) = -12.4kN \\
 {}_2Q_L &= -\frac{1}{4}(-133.59 - 66.41) = 50kN \\
 {}_2Q_R &= -\frac{1}{4}(66.41 + 133.59) = -50kN \\
 {}_3Q &= -\frac{1}{8}(-32.81 - 66.41) = 12.4kN
 \end{aligned}
 \left. \vphantom{\begin{aligned} {}_1Q \\ {}_2Q_L \\ {}_2Q_R \\ {}_3Q \end{aligned}} \right\} \dots\dots(1.25)$$

以上の値を用いて、曲げモーメント図とせん断力図を以下のように求める。

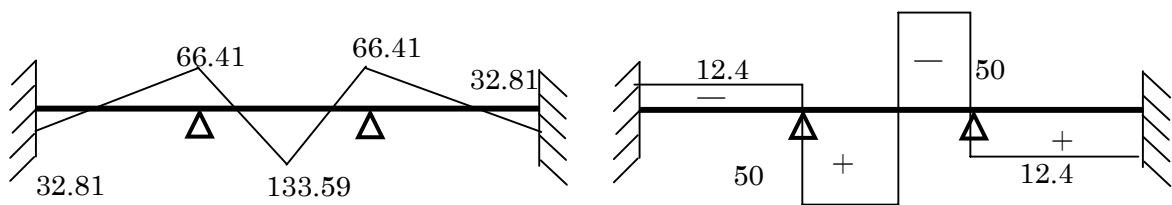


図 1-8 曲げモーメント図とせん断力図

上図より、反力を求め、以下に示す。

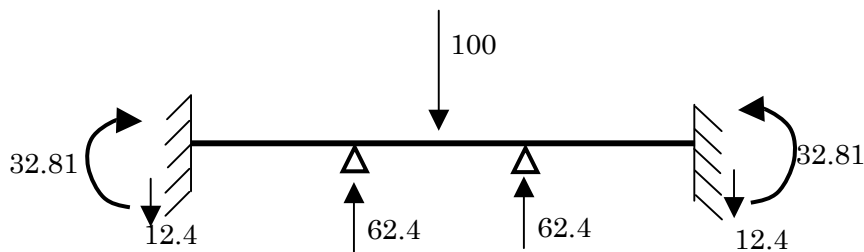


図 1-9 反力と外力

図 1-9 より、上下方向の力の釣合はとれていることが理解できる。モーメントの釣合は、節点 1 におけるモーメントを計算すると、

$$M_1 = -62.4 \cdot 8 - 62.4 \cdot 16 + 100 \cdot 12 + 12.4 \cdot 24 \rightarrow 0 \quad \dots\dots(1.26)$$

となり、釣合が満たされている。

節点 2 における回転角 φ_2 を求めてみよう。式(1.10)より、

$$\varphi_2 = \frac{(100 + 25 + 6.25 + 1.563)}{2(1+1)} = 33.2 \quad \dots\dots(1.27)$$

となる。分子は、外力の項の和を取って求めている。

たわみ角法を用いて、固定法で得た節点 2 の回転角 φ_2 の値をチェックしよう。節点 2 に関連するたわみ角法の基本式は、

$$\left. \begin{aligned} M_{21} &= 2\varphi_2 \\ M_{23} &= 2\varphi_2 + \varphi_3 - C \end{aligned} \right\} \dots\dots(1.28)$$

ただし、対称条件より

$$\varphi_2 = -\varphi_3 \quad \dots\dots(1.29)$$

従って、

$$M_{23} = \varphi_2 - C \quad \dots\dots(1.30)$$

となり、節点 2 でのモーメントの釣合は、

$$M_{21} + M_{23} = 0 \quad \dots\dots(1.31)$$

より、

$$\left. \begin{aligned} 2\varphi_2 + \varphi_2 - C &= 0 \\ \varphi_2 &= \frac{C}{3} \end{aligned} \right\} \dots\dots(1.32)$$

となる。固定端モーメント C の値を代入すると、

$$\varphi_2 = \frac{100}{3} = 33.33 \quad \dots\dots(1.33)$$

となる。得られた値は、固定法で得た値とほぼ一致し、誤差は小さいことが分かる。

1.5 課題

本節では、例題 1-2 を、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、例題 1-2 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、スパンは全て 8m とする。使用する梁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、これらの値は、SPACE のデータベースより求めた値である。

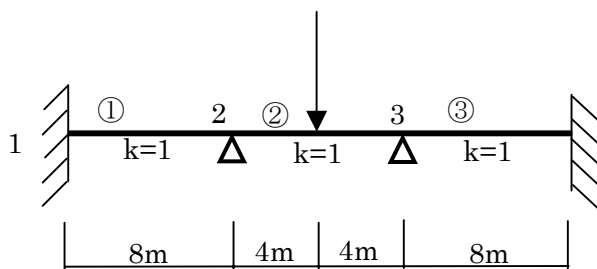


図 1-10 例題 1-2 の骨組

曲げモーメント分布とせん断力分布は図 1-8 となっており、SPACE を用いて、この分布を検証する。

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1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「連梁.ct1」とする。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、これまでとほぼ同じであり、異なる部分のみ説明することになる。

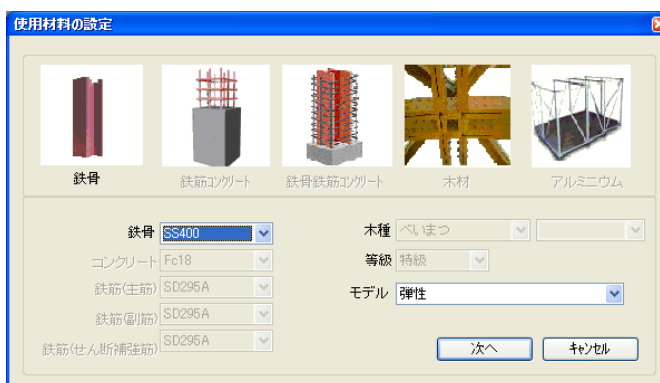


図 1-11 解析材料と部材モデルの設定

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る。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、「スパン数」を3にセットする。次に、スパン長を全て800cmにセットする。

次に、使用する部材断面を作成登録する。図 1-11 で、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。図 1-12 に示すように、梁用の断面を G1 として設定する。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 1-13 のように CAD 画面を使用して梁を設定し、次に境界と荷重を割り付ける。ここで、梁を割り付ける際、荷重を中央集中荷重とする関係で、梁の分割数を2に設定しておこう。

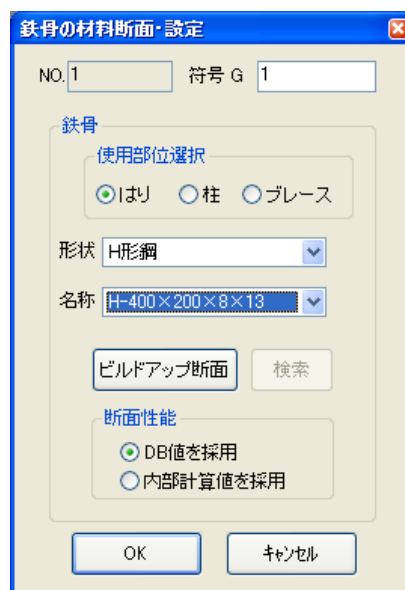


図 1-12 部材断面の設定

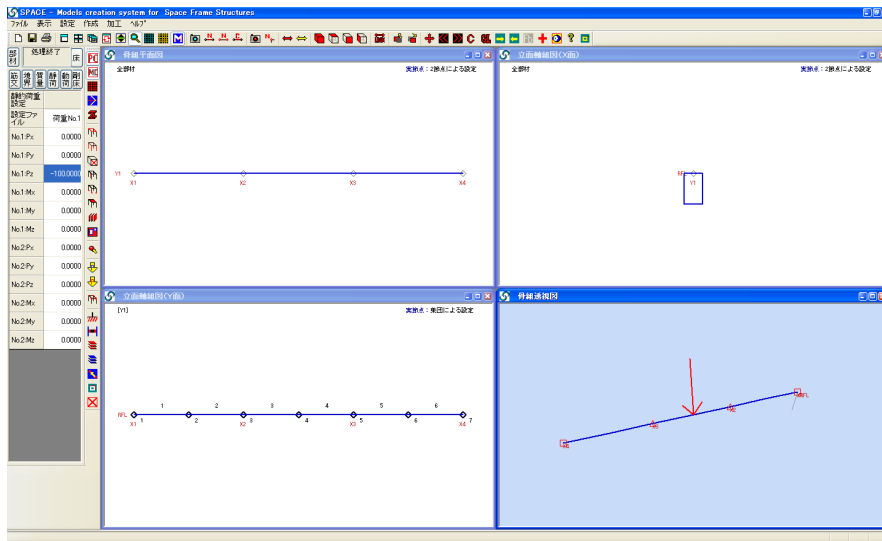


図 1-13 CAD 画面
で骨組モデルを
割り付ける

図 1-13 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、上図右下のように荷重と境界が表示されるので、設定を確認する。さらに、図 1-13 の「GL」ツールチップを押し、図 1-14 のように構造モデルをソリッド表示させ、断面を確認する。

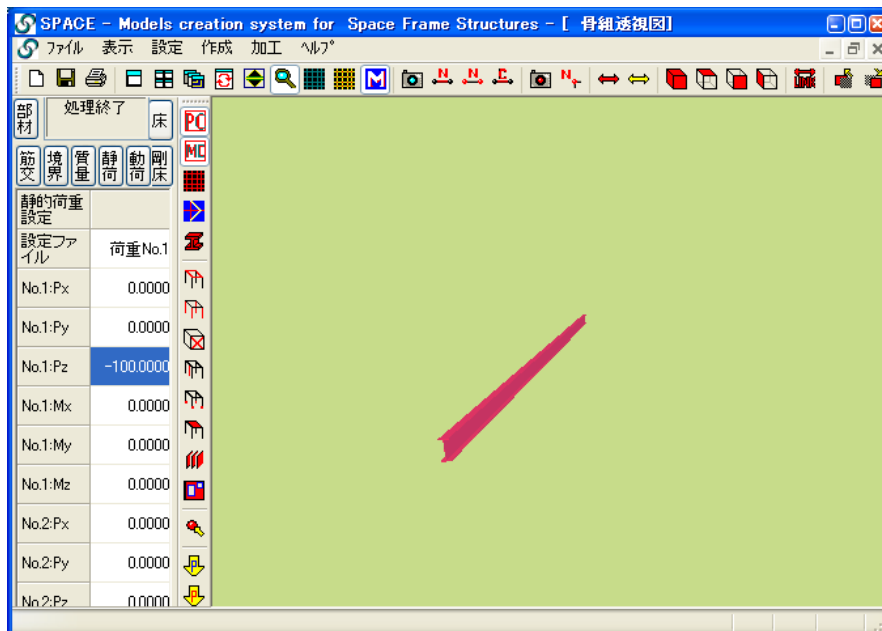


図 1-14 使用断面をソ
リッド表示させ、断面
を確認する

図 1-13 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 1-15 の節点情報が得ら

れ、設定状況を確認する。

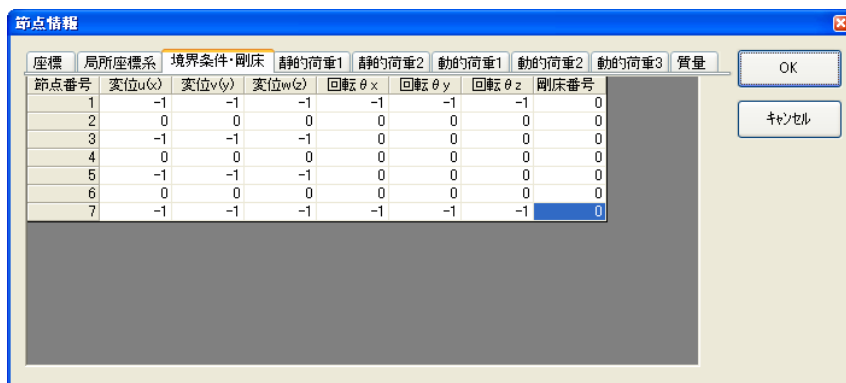


図 1-15(a) 節点情報を表示させ、境界条件を確認する



図 1-15(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」を選択すると図 1-16 の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データを出力する。

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 1-17 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 1-18 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。

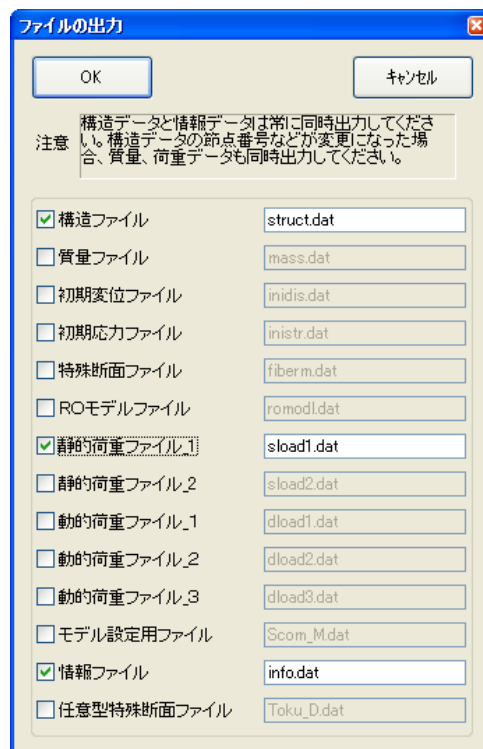


図 1-16 「解析モデルのファイル出力」ダイアログ

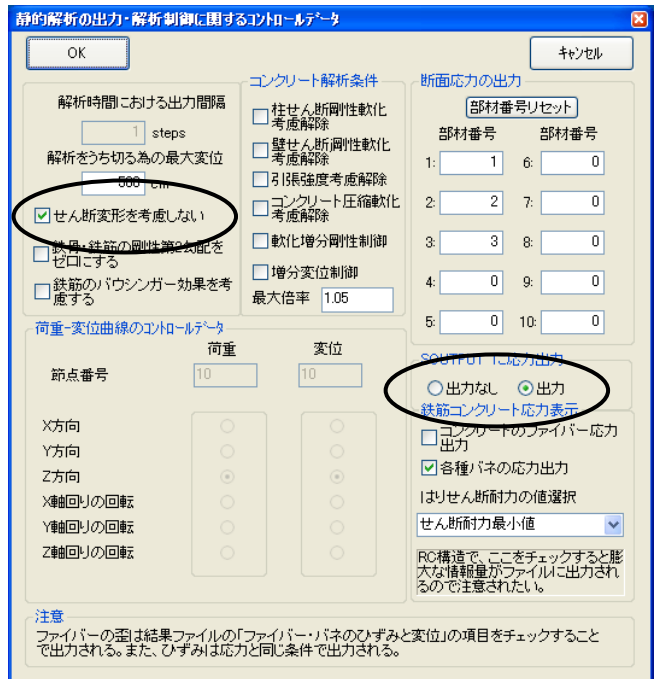


図 1-17 「静的解析用コントロール」ダイアログ

図 1-18 「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 1-19 に示す。図に見られるように、両者の断面力には少しの差異がみられるが、値はほぼ一致している。なお、この差異は固定法の反復計算を途中で打ち切ったことによる。

```

vided step number : 20 -----
stable number : 0
材番号 部材モデル      Nx      Qy      Qz      Mx      My      Mz
1      1      0.0000  0.0000  12.5000  0.0000  -3333.3334  0.0000
      0.0000  0.0000  12.5000  0.0000  1666.6667  0.0000
2      1      0.0000  0.0000  12.5000  0.0000  1666.6667  0.0000
      0.0000  0.0000  0.0000  0.0000  6666.6668  0.0000
3      1      0.0000  0.0000  -50.0000  0.0000  6666.6668  0.0000
      0.0000  0.0000  -50.0000  0.0000  -13333.3335  0.0000
4      1      0.0000  0.0000  50.0000  0.0000  -13333.3335  0.0000
      0.0000  0.0000  50.0000  0.0000  6666.6668  0.0000
5      1      0.0000  0.0000  -12.5000  0.0000  6666.6668  0.0000
      0.0000  0.0000  -12.5000  0.0000  1666.6667  0.0000
6      1      0.0000  0.0000  -12.5000  0.0000  1666.6667  0.0000
      0.0000  0.0000  -12.5000  0.0000  -3333.3334  0.0000
    
```

図 1-19 課題モデル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 1-20 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 1-8 の曲げモーメント分布とせん断力分布の形状はほぼ一致している。

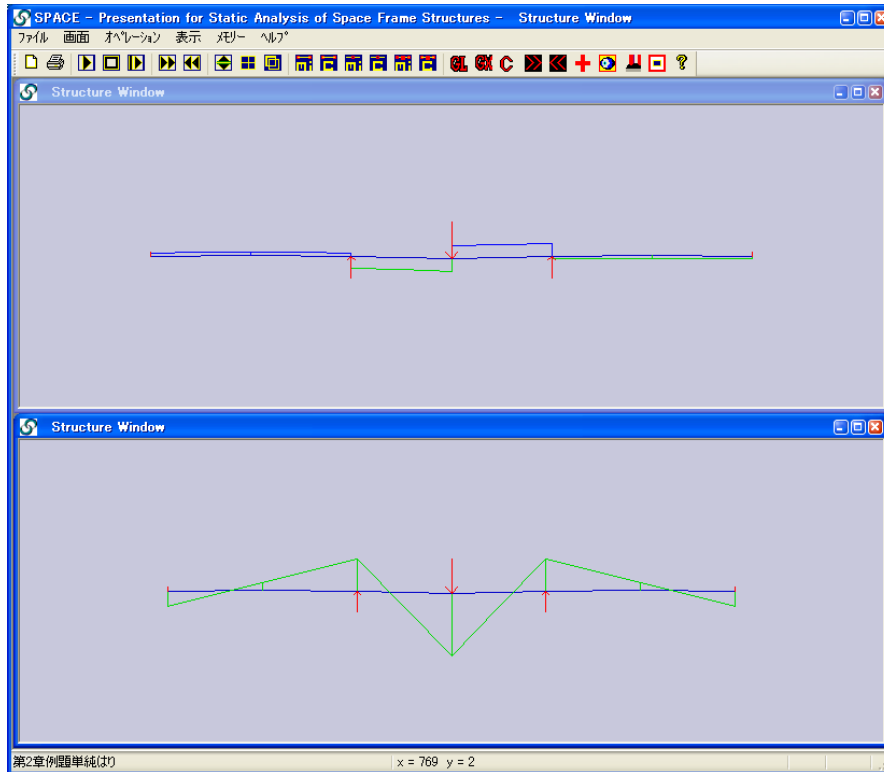


図 1-20 連梁のせん断力分布と曲げモーメント分布

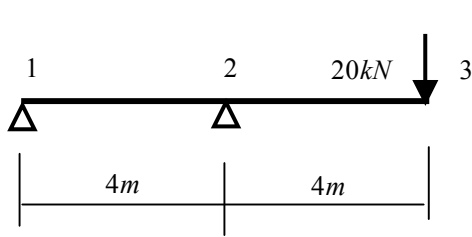
1.6 まとめ

本章では、たわみ角法の基本式を用いて、固定法の解析手法を学んだ。固定法は、たわみ角法とは異なり、釣合式を連立方程式の形式で表さず、反復解法を用いて、直接材端曲げモーメントを求める。そのため、連立方程式を解く必要がなく、手計算向きの手法といえる。本章では、節点移動の無い場合について、例題を解くことで、その方法を学んだ。また、SPACE を用いて、固定法の結果を検証した。

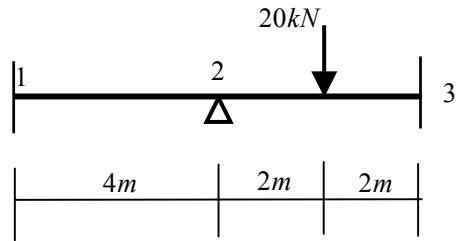
1.7 問題

問題 1-1 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。この問題 1-1 では、解析モデルは、たわみ角法と同じであり、たわみ角法の結果とも比較せよ。

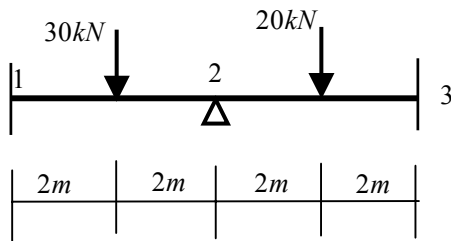
なお、鋼材は、SS400 を使用し、部材断面は、全て H-400x200x8x13 を使用するものとする。



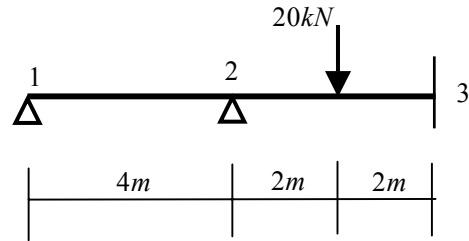
問 1-1



問 1-2

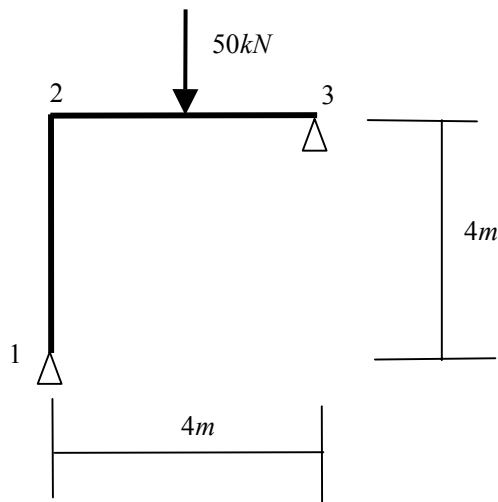


問 1-3



問 1-4

問題 1-2 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、部材断面は、全て H-400x200x8x13 を使用するものとする。(ヒント：この骨組には部材角は生じない)



問 1-5