第２章　釣合式の構築

ポイント：節点における変位の適合
節点におけるモーメントの釣合

2.1 はじめに

部材に関するたわみ角法の基本式は前章で求めた。このたわみ角法の基本式を用いて、骨組の応力解析を行うわけであるが、ここでは骨組全体の釣合を得る方法について考える。骨組全体の釣合式を得るために、各節点における変形の適合と力の釣合が必要となる。本章では、節点移動が無い場合の釣合式を用いて、簡単な骨組の応力解析を行う。

キーワード
節点における回転角の適合　モーメントの釣合　たわみ角法の釣合式

2.2 節点における回転角の適合

一般的に、節点における変位の自由度は、平面骨組を考えると u_i , w_i , θ_i の３つであるが、たわみ角法における変位は、両端の回転角 θ_i , θ_j と部材角 R で表される。そのため、これらの θ_i , θ_j , R をそのまま節点変位として用いるわけにはいかず、特に部材角の扱いに何らかの工夫が必要となる。

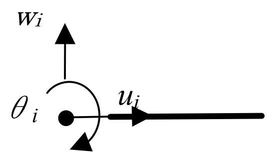


図 2-1 節点の自由度

たわみ角法では、骨組を節点移動がある場合とない場合に分類し、解析方法を分けて考える。本章では節点移動のない場合、つまり部材角が生じない場合について解説する。部材角に対し特別の扱いを必要とする節点移動のある場合については後章で検討する。

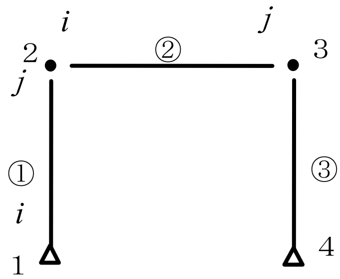


図 2-2 節点における回転角の適合

最初に、図 2-2 に示す骨組を考える。部材①と部材②が節点２で結合し、また荷重を受けて骨組が変形するとき、両部材の角度が変形前と変形後で変化しないとき、この結合状態を剛接合という。この剛接合では、変形後、部材①の j 端と部材②の i 端の回転角は同じとなり、そのため、代表してこの回転角を節点の番号を付けて節点回転角 θ_2 とする。

$$ {}_1\theta_j = {}_2\theta_i = \theta_2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(2.1) $$

他の節点も同様で、剛接している部材の材端回転角を節点回転角とすることで、骨組全体で節点における回転角の適合が得られる。

2.3 節点における力の釣合

次に、力の釣合について考えよう。骨組内の各節点では力の釣合が当然満たされなければならない。節点での力の釣合には、X 方向、Y 方向の力の釣合、及びモーメントの釣合がある。ここでのモーメントの方向は、平面骨組ではこの紙面に垂直方向で、全て同じである。従って、モーメントや回転角、部材角は、回転方向のみを考慮すれば良いことになる。すなわち、方向を一致させるための座標変換が必要でない。

例えば､図 2-3 のように番号 1 と 2 の部材が節点に剛接している場合、節点でのモーメントの釣合は

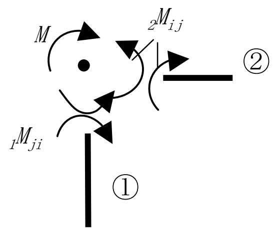


図 2-3 節点でのモーメントの釣合

$$-{}_1M_{ji} - {}_2M_{ij} + M = 0 \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots(2.2)$$

となる。ここで M は節点に直接加わるモーメント外力である。

2.4　例題

本節では、いくつかの例題で、変形の適合と節点での力の釣合について学び、たわみ角法を応用して簡単な骨組の断面力と変位を求める。

例題 2-1　図 2-4 示すようなはね出し梁の先端に外力 P が加わっている。この骨組先端の変位を求めよ。ここでは、変形の適合と節点でのモーメントの釣合を考え、たわみ角法を適用する。

図 2-4 から理解できるように、はね出し部分は片持ち梁の応力状態で表される。従って、はね出し部分は、もはや応力解析を行う必要がない。そこで、このはね出し梁の反力と釣合う外力を加えて、図 2-4 下の左のような構造物の解析を行うことになる。

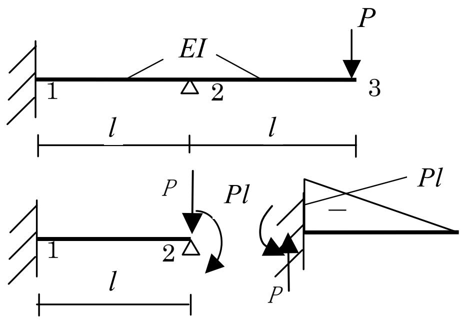


図 2-4　例題 2-1 の構造

以下では、同図の梁についてたわみ角法で解析する。この部材のたわみ角法の基本式を次のように示す。

$$\left.\begin{aligned} M_{12} &= \frac{2EI}{l}(2\theta_1 + \theta_2 - 3R) \\ M_{21} &= \frac{2EI}{l}(2\theta_2 + \theta_1 - 3R) \end{aligned}\right\}\cdots\cdots(2.3)$$

上式では、部材の中間荷重がないので C_{12} , C_{21} はゼロとしている。ここで上式に境界条件を適用する。節点 1 は固定であるため、 $\theta_1 = 0$ であり、また、節点 1、2 は共に移動しないため部材角 R は生じない。従って、以下の境界条件が得られる。

$$\theta_1 = 0 \quad R = 0 \qquad \cdots\cdots(2.4)$$

上式で与えられる境界条件を式(2.3)に適用すると、材端モーメントは、

$$\left.\begin{aligned} M_{12} &= \frac{2EI}{l}(\theta_2) \\ M_{21} &= \frac{2EI}{l}(2\theta_2) \end{aligned}\right\}\cdots\cdots(2.5)$$

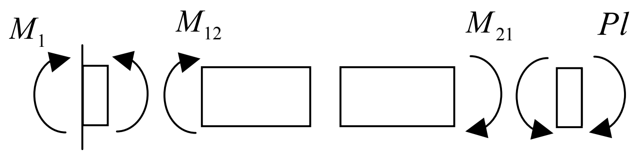


図 2-5 梁内部の応力と材端力との力の釣合

となる。次に、節点 1、2 におけるモーメントの釣合を考える。図 2-5 を参考にすると、2 節点でのモーメントの釣合は以下のように得られる。ここで、M_1 は、固定端における反力であり、また、節点 2 における荷重 P は、直接支持点で支えられているため、釣合式には含まれない。

$$\left.\begin{aligned} &M_1 - M_{12} = 0 \\ &-M_{21} + Pl = 0 \end{aligned}\right\}\cdots\cdots(2.6)$$

上式に、式(2.5)に示す材端モーメントを代入すると、

$$\left.\begin{aligned} &M_1 = \frac{2EI}{l}\theta_2 \\ &\frac{2EI}{l}(2\theta_2) = Pl \end{aligned}\right\}\cdots\cdots(2.7)$$

となる。式(2.7)の下を用いると、未知数である節点 2 の回転角 θ_2 は、次のように得られる。

$$\theta_2 = \frac{Pl^2}{4EI} \qquad \cdots\cdots(2.8)$$

得られた回転角を、式(2.5)に代入すると材端モーメント M_{12} , M_{21} は

$$\left.\begin{aligned} M_{12} &= \frac{2EI}{l}\cdot\frac{Pl^2}{4EI} = \frac{Pl}{2} \\ M_{21} &= \frac{2EI}{l}\cdot\frac{2Pl^2}{4EI} = Pl \end{aligned}\right\}\cdots\cdots(2.9)$$

となる。

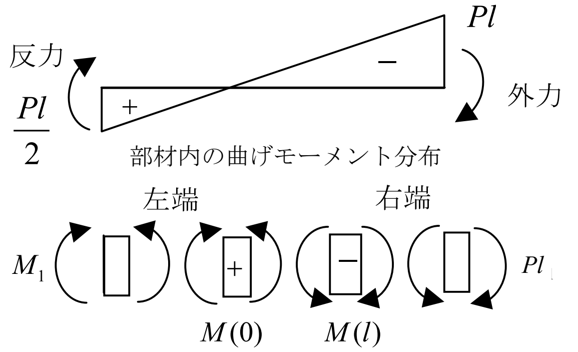


図 2-6　部材内の応力と反力・外力との釣合

梁内部に生じる曲げモーメントは、部材内の曲げモーメントと外力・反力とのモーメントの釣合から、図 2-6 のようになることが分かる。ここで、曲げモーメント図は、断面の引張側に描くことに注意しよう。従って、骨組全体の曲げモーメント図は、図 2-7 のようになる。

また、先端のたわみは、片持梁先端のたわみ $\bar{w}_3$ と節点 2 の回転角による剛体変位との和で、次のように表される。

$$w_3 = \bar{w}_3 + \theta_2 \cdot l = \frac{Pl^3}{3EI} + \frac{Pl^3}{4EI} = \frac{7Pl^3}{12EI} \qquad \cdots\cdots(2.10)$$

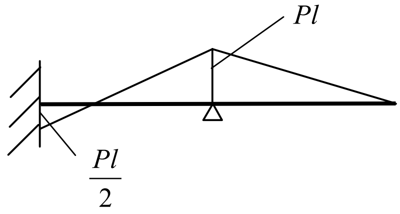


図 2-7 曲げモーメント図

例題 2-2　図 2-8 示すようなはね出し梁の先端に外力Pが加わっている場合について、たわみ角法を用いて応力解析しなさい。例題 2-1 とは、節点１の境界がピン支持である点が異なる。

この構造物は例題 2-1 と同様にはね出し部分は片持ち梁の応力状態となるため、図 2-8 の下左の構造物について解析を行うことになる。この構造物に対するたわみ角法の基本式は、

$$\left.\begin{aligned} M_{12} &= \frac{2EI}{l}(2\theta_1 + \theta_2) \\ M_{21} &= \frac{2EI}{l}(2\theta_2 + \theta_1) \end{aligned}\right\} \cdots\cdots(2.11)$$

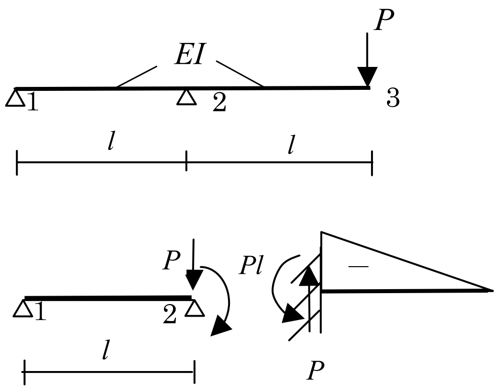


図 2-8　例題 2-2 の構造

となる。ただし、 C_{12} , C_{21} 及び R はゼロとしている。ここで節点１はピン支持であるため、モーメントの反力が生じない。そのため、

$$M_{12} = 0 \qquad \cdots\cdots(2.12)$$

であり、従って、上式に式(2.11)の上を代入すると

$$\frac{2EI}{l}(2\theta_1 + \theta_2) = 0$$

$$\theta_1 = -\frac{\theta_2}{2} \qquad \cdots\cdots(2.13)$$

となる。上式を基本式に代入すると、材端モーメントは、

$$\left.\begin{aligned} M_{12} &= 0 \\ M_{21} &= \frac{2EI}{l}(2\theta_2 - \frac{\theta_2}{2}) \\ &= \frac{2EI}{l}(1.5\theta_2) \end{aligned}\right\} \cdots\cdots(2.14)$$

となる。

節点２でのモーメントの釣合を考えると

$$-M_{21} + Pl = 0 \qquad \cdots\cdots(2.15)$$

となり、上式に式(2. 14)下を代入すると、釣合式として下式が得られる。

$$Pl = \frac{2EI}{l}(1.5\theta_2) \qquad \cdots\cdots(2.16)$$

従って、回転角 θ_2 は、

$$\theta_2 = \frac{Pl^2}{3EI} \qquad \cdots\cdots(2.17)$$

となる。得られた回転角を式(2. 14)の材端モーメントに代入すると

$$M_{21} = \frac{2EI}{l}(\frac{3}{2}\cdot\frac{Pl^2}{3EI}) = Pl \qquad \cdots\cdots(2.18)$$

となる。曲げモーメント分布を図 2-9 に示す。また、先端のたわみは片持梁先端のたわみ $\bar{w}_3$ と節点 2 の回転角による剛体変位との和で、次のように表される。

$$w_3 = \bar{w}_3 + \theta_2 \cdot l = \frac{Pl^3}{3EI} + \frac{Pl^3}{3EI} = \frac{2Pl^3}{3EI} \qquad \cdots\cdots(2.19)$$

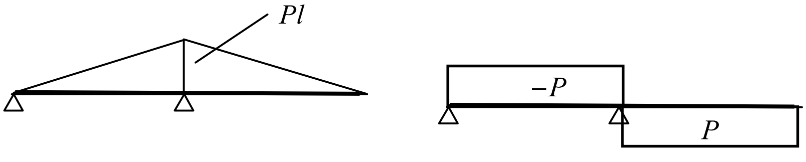


図 2-9(a) 曲げモーメント図　　(b) せん断力図

例題 2-3　図 2-10 に示す両端固定の連続梁について、たわみ角法を用いて応力解析を行い、曲げモーメント図とせん断力図を描け。

この構造物には、部材荷重が加わっている。そこで、最初に、部材②の部材荷重に対する基本応力を求めることにする。基本応力は、両端固定の状態における固定端モーメントC、単純梁の状態における中央の曲げモーメントM_0、及び端部のせん断力Qである。

部材②の基本応力

$$\left.\begin{aligned} C &= \frac{Pl}{8} \\ M_0 &= \frac{Pl}{4} \\ Q &= \frac{P}{2} \end{aligned}\right\} \cdots\cdots(2.20)$$

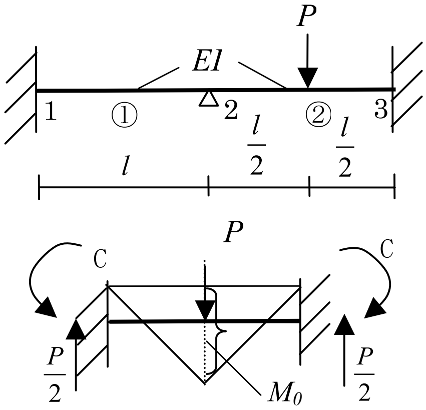


図 2-10　例題 2-3 の構造物と基本応力

部材①、②に対してたわみ角法の基本式を適用する。

部材①

$$\left.\begin{aligned} M_{12} &= \frac{2EI}{l}(2\theta_1+\theta_2) \\ M_{21} &= \frac{2EI}{l}(2\theta_2+\theta_1) \end{aligned}\right\} \cdots\cdots(2.21)$$

部材②

$$\left.\begin{aligned} M_{23} &= \frac{2EI}{l}(2\theta_2+\theta_3)-C \\ M_{32} &= \frac{2EI}{l}(2\theta_3+\theta_2)+C \end{aligned}\right\} \cdots\cdots(2.22)$$

ここで、固定端モーメントの符号は、基本応力のモーメント反力の方向で決めることになる。

次に、境界条件について考えてみよう。この構造物では、無論、節点移動がないため、二つの部材の部材角Rはゼロである。さらに、節点 2 では、部材①と②で θ_2 を用いており、変位の適合がとられている。最後に、境界条件は節点 1 と 3 が固定支持であることより、該当する節点の回転角は、次のようにゼロとなる。

$$\theta_1=\theta_3=0 \qquad \cdots\cdots(2.23)$$

上式を、式(2.21)と(2.22)で表される基本式に代入すると、境界条件を適用した基本式として次式が得られる。

$$\left.\begin{aligned} M_{12} &= \frac{2EI}{l}(\theta_2) \\ M_{21} &= \frac{2EI}{l}(2\theta_2) \end{aligned}\right\} \cdots\cdots(2.24)$$

$$\left.\begin{aligned} M_{23} &= \frac{2EI}{l}(2\theta_2) - C \\ M_{32} &= \frac{2EI}{l}(\theta_2) + C \end{aligned}\right\} \cdots\cdots(2.25)$$

基本式である式(2.24)と(2.25)から分かるように、未知数は、節点２での回転角 θ_2 、ひとつである。そのため、この未知数を決定するための釣合式はひとつで良い。そこで、節点２でのモーメントの釣合を考える。節点２におけるモーメントの釣合は、節点に直接加わるモーメント荷重がないことから、以下の式で与えられる。

$$M_{21} + M_{23} = 0 \qquad \cdots\cdots(2.26)$$

ただし、部材の中間に加わる部材荷重は既に、式(2.24)で固定端モーメントとして評価されている。式(2.24)と式(2.25)を釣合式(2.26)に代入すると

$$\begin{aligned} \frac{2EI}{l}(2\theta_2) + \frac{2EI}{l}(2\theta_2) - C &= 0 \\ \frac{2EI}{l}(4\theta_2) &= C \end{aligned} \qquad \cdots\cdots(2.27)$$

として釣合式が得られる。上式を回転角 θ_2 について解くと、

$$\theta_2 = \frac{l}{8EI}C \qquad \cdots\cdots(2.28)$$

未知変位である回転角 θ_2 が決定される。

　次に、部材の応力を求める。まず、求めた回転角 θ_2 の値を基本式(2.24)と(2.25)に代入すると、各部材の材端モーメントが次のように得られる。

$$\left.\begin{aligned} M_{12} &= \frac{2EI}{l}\cdot\frac{l}{8EI}C = \frac{C}{4} \\ M_{21} &= \frac{2EI}{l}\cdot\frac{2l}{8EI}C = \frac{C}{2} \\ M_{23} &= \frac{2EI}{l}\cdot\frac{2l}{8EI}C - C = \frac{C}{2} - C = -\frac{C}{2} \\ M_{32} &= \frac{2EI}{l}\cdot\frac{l}{8EI}C + C = \frac{5}{4}C \end{aligned}\right\} \cdots\cdots(2.29)$$

次に、得られた材端モーメントと部材内端部応力のモーメントの釣合から、部材内部の応力状態を求める。最初に、部材①について検討しよう。図 2-11(a)では、材端モーメントと部材内の応力とのモーメントの釣合から部材端部の曲げモーメントが求められ、結果、図 2-11(b)で示される曲げモーメント分布が得られる。

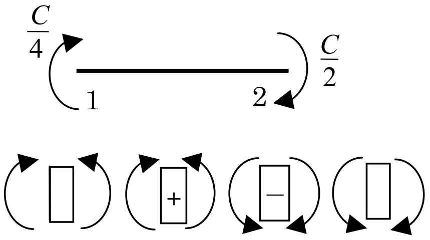


図 2-11(a) 部材①の材端モーメントと部材内曲げモーメントの釣合

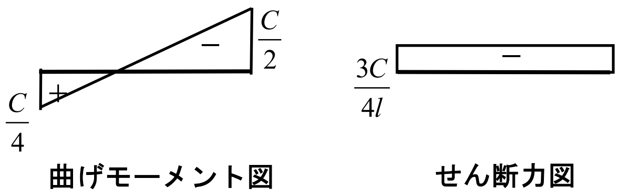


図 2-11(b) 部材①の曲げモーメント図とせん断力図

部材内の曲げモーメント分布が分かれば、せん断力分布は容易に得られる。曲げモーメント分布が直線であることから、せん断力分布は定数であり、部材のせん断力分布は曲げモーメント分布より、

$$Q=-\frac{M_{ji}+M_{ij}}{l}=-\frac{-M(l)+M(0)}{l}=-\frac{\frac{C}{2}+\frac{C}{4}}{l}=-\frac{3C}{4l}=-\frac{3}{32}P \cdots\cdots (2.30)$$

として得られる。

次に、中間荷重の加わっている部材 2 について考える。材端モーメントと部材内応力のモーメントの釣合より、図 2-12 のようになる。

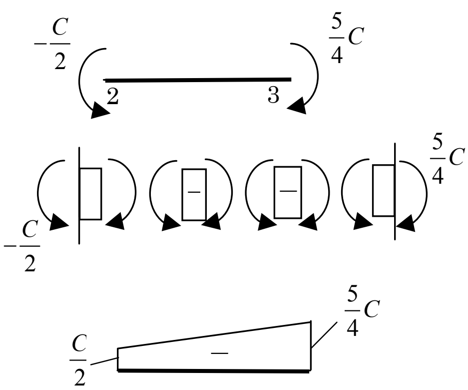


図 2-12 部材 2 の材端モーメントと部材内曲げモーメントの釣合および曲げモーメント図

たわみ角法では、応力解析による応力状態と両端固定の応力状態を重ね合わせる必要がある。しかし、両端固定の材端応力は、式(2.29)の M_{23} , M_{32} から分かるように、ここでは既に固定端力として考慮されている。そのため、図 2-12 の曲げモーメント分布に、図 2-13(a)で示すように単純梁の応力状態を加えることで、実際の部材内の曲げモーメント分布が得られることになる。そこで、部材中央の曲げモーメント M_c は、図 1-13(a)から次式で求められる。

$$
\begin{aligned}
M_c &= M_0 - (M_{32} - M_{23})/2 \\
&= M_0 - (\frac{5}{4}C + \frac{C}{2})/2 \\
&= 2C - \frac{7}{8}C = \frac{9}{8}C
\end{aligned}
\qquad \cdots\cdots(2.31)
$$

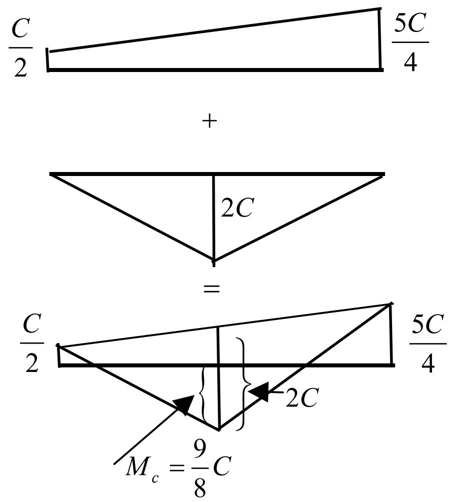


図 2-13(a) 部材内の曲げモーメント

その結果、図 2-13(a)に示すような曲げモーメント分布が得られる。次に、せん断力分布として中央より左 Q_L と右 Q_R は、

$$
\left.
\begin{aligned}
Q &= -(M_{ji} + M_{ij})/l = (M(l) - M(0))/l \\
Q_L &= (\frac{9}{8}C + \frac{C}{2})/0.5l = \frac{13}{4l}C = \frac{13}{32}P \\
Q_R &= (-\frac{5}{4}C - \frac{9}{8}C)/0.5l = -\frac{19}{4l}C = -\frac{19}{32}P
\end{aligned}
\right\} \cdots\cdots(2.32)
$$

として得られ、図 20-13(b)に描かれる。

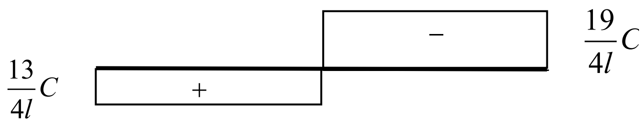


図 2-13(b) 部材内のせん断力分布

今までに求めた各部材の応力をまとめると、骨組全体の曲げモーメント分布およびせん断力分布が図 2-14 として示される。

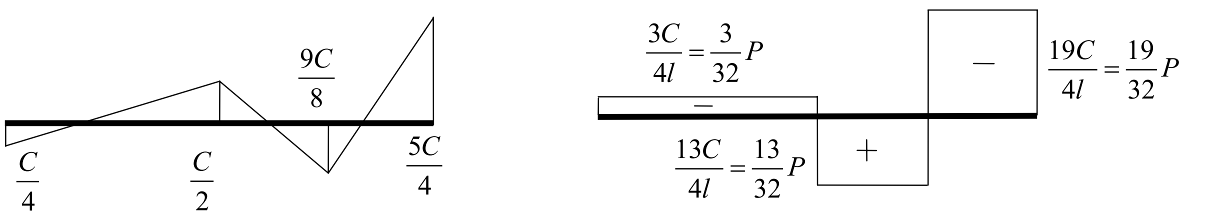


図 2-14 構造物の曲げモーメント図とせん断力図

次に、支持点における反力を、部材の断面力との力の釣合より求めてみよう。部材断面力と反力との力の釣合より、節点の反力が図 2-15(a)のように求められる。

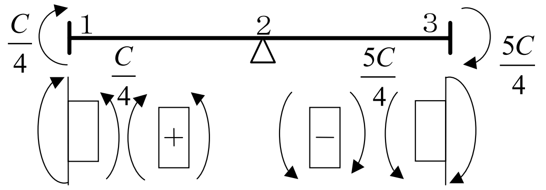


図 2-15(a) 曲げモーメントと反力の釣合

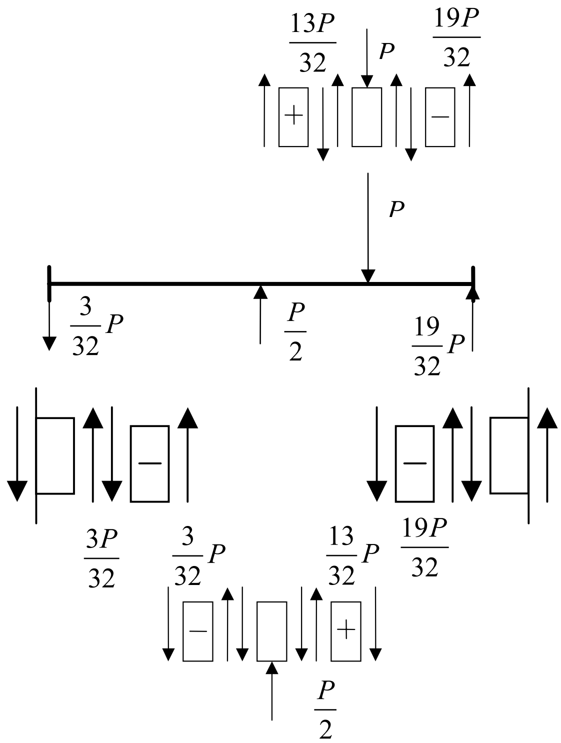


図 2-15(b) せん断力と反力の釣合

得られた反力から、外力と反力の力の釣合を検討しよう。まず、上下方向の力は、

$$\sum P_y = P + \frac{3P}{32} - \frac{P}{2} - \frac{19P}{32} \to 0 \qquad \cdots\cdots(2.33)$$

となり、釣合っていることが理解できる。次に、モーメントの釣合であるが、ここでは、節点 1 に関するモーメントを考える。節点 1 におけるモーメントは、

$$\begin{aligned}\sum M_1 &= \frac{C}{4} + \frac{5C}{4} - \frac{Pl}{2} + \frac{3Pl}{2} - \frac{2 \cdot 19Pl}{32} \\ &= \frac{3Pl}{16} - \frac{8Pl}{16} + \frac{24Pl}{16} - \frac{19Pl}{16} \to 0 \end{aligned} \qquad \cdots\cdots(2.34)$$

となり、これも釣合っていることが分かる。

2.5 境界を有するたわみ角法の基本式

本節では、後々のためにたわみ角法の基本式を拡張しておく。そこで、一端に境界を有する部材について、たわみ角法の基本式を拡張する。境界条件は一端ピンの場合と一端固定の場合についてであり、この 2 種の境界条件を適用して、基本式を変更する。

まず、一端ピンについて考える。たわみ角法の基本式をもう一度、以下に記す。

$$\left.\begin{aligned} M_{ij} &= \frac{2EI}{l}(2\theta_i - \theta_j - 3R) - C_{ij} \\ M_{ji} &= \frac{2EI}{l}(2\theta_j - \theta_i - 3R) + C_{ji} \end{aligned}\right\} \cdots\cdots(2.35)$$

上式において、i 端がピンの場合について考える。この場合、i 端の曲げモーメントはゼロとなるため、材端モーメント M_{ij} はゼロでなくてはならない。そのため次式が成立する。

$$M_{ij} = \frac{2EI}{l}(2\theta_i + \theta_j - 3R) - C_{ij} = 0 \qquad \cdots\cdots(2.36)$$

上式を整理すると、

$$2\theta_i + \theta_j - 3R = \frac{l}{2EI}C_{ij} \qquad \cdots\cdots(2.37)$$

となり、θ_i は

$$\theta_i = \frac{1}{2}(-\theta_j + 3R + \frac{lC_{ij}}{2EI}) \qquad \cdots\cdots(2.38)$$

で与えられる。上式を式(2. 35)の下式に代入すると次式が得られる。

$$\begin{aligned} M_{ji} &= \frac{2EI}{l}(2\theta_j + \frac{1}{2}(-\theta_j + 3R + \frac{lC_{ij}}{2EI}) - 3R) + C_{ji} \\ &= \frac{2EI}{l}(1.5\theta_j - 1.5R) + C_{ji} + \frac{1}{2}C_{ij} \\ &= \frac{2EI}{l}(1.5\theta_j - 1.5R) + \overline{C}_{ji} \qquad \cdots\cdots(2.39) \end{aligned}$$

ただし、$\overline{C}_{ij} = C_{ji} + 0.5C_{ij}$ である。

以上のように、一端ピンの場合の基本式は、

$$\left.\begin{aligned} M_{ij} &= 0 \\ M_{ji} &= \frac{2EI}{l}(1.5\theta_j - 1.5R) + \overline{C}_{ji} \end{aligned}\right\} \cdots\cdots(2.40)$$

となる。ここで、部材荷重がある場合の基本応力であるが、両端固定として応力状態を求めるのではなく、図 2-16 に示すように一端ピン他端固定の場合を使用することになる。

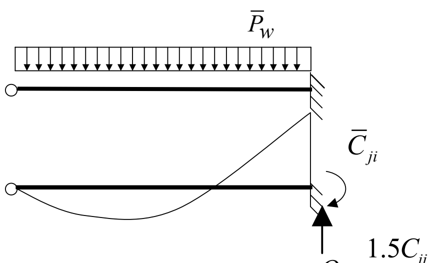


図 2-16 一端ピンの場合の曲げモーメント図

$(Q = \frac{\overline{P}_w l}{2}; \overline{C}_{ji} = C_{ji} + 0.5C_{ij})$

次に、i 端固定の場合について考えよう。この場合、境界条件として $\theta_i = 0$ を基本式に代入すれば良い。従って、

$$\left.\begin{aligned} M_{ij} &= \frac{2EI}{l}(\theta_j - 3R) - C_{ij} \\ M_{ji} &= \frac{2EI}{l}(2\theta_j - 3R) + C_{ji} \end{aligned}\right\} \cdots\cdots(2.41)$$

として基本式が得られる。

2.6 課題

本節では、先の例題 2-1 を、実際に SPACE を用いて数値解析を実施し、たわみ角法で求めた結果と比較してみよう。まず、例題 2-1 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。

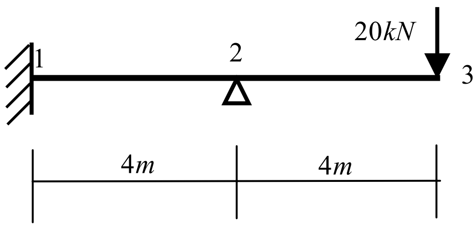


図 2-17 課題の骨組

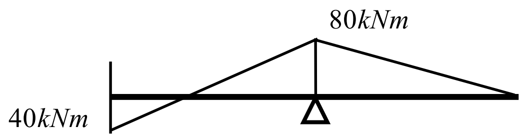


図 2-18 曲げモーメント図

図 2-7 より、曲げモーメント分布は図 2-18 となる。先端のたわみは、式(2.10)より、次式で与えられる。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 20500kN/cm^2 とする。ただし、これらは SPACE のデータベースより得た値である。

$$\begin{aligned} w_3 &= \bar{w}_3 + \theta_2 \cdot l = \frac{Pl^3}{3EI} + \frac{Pl^3}{4EI} = \frac{7Pl^3}{12EI} \\ &= \frac{7 \cdot 20 \cdot 400^3}{12 \cdot 20500 \cdot 23500} = 1.55cm \end{aligned} \cdots\cdots(2.42)$$

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、「たわみ角法演習解析モデル」－「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。コントロールファイルの名前を「はね出し梁.ctl」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。

最初は、初期設定ウイ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。入力仕様の詳細は、マニュアル「モデラー使用編」を参照されたい。ウイザードに従って、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 2 に、階数は 0 にセットする。梁の解析では、階数を 0 に設定すれば良い。次に、図 2-22 のように、スパン長をセットする。さらに、使用する部材断面を作成登録する。図 2-23 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。

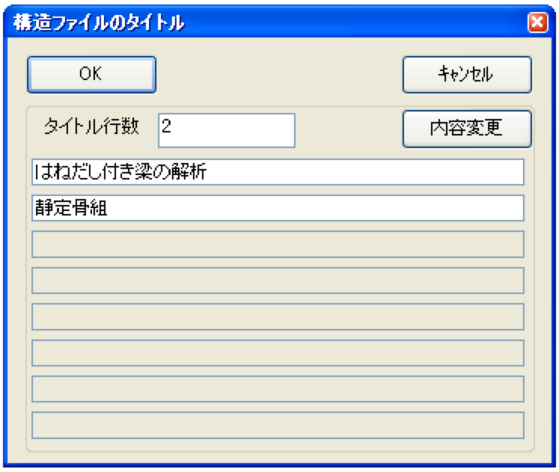


図 2-19 タイトル入力

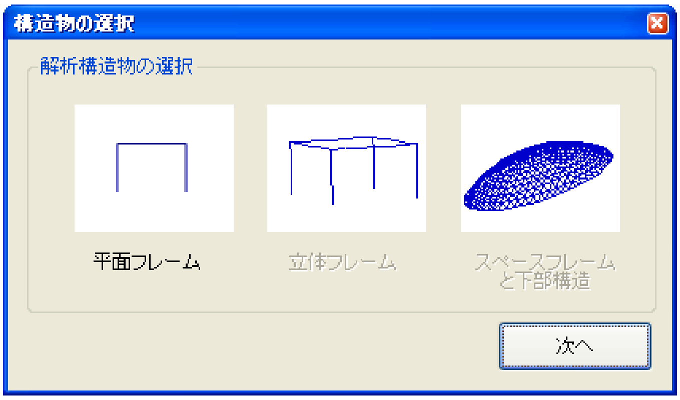


図 2-20 平面フレームの選択

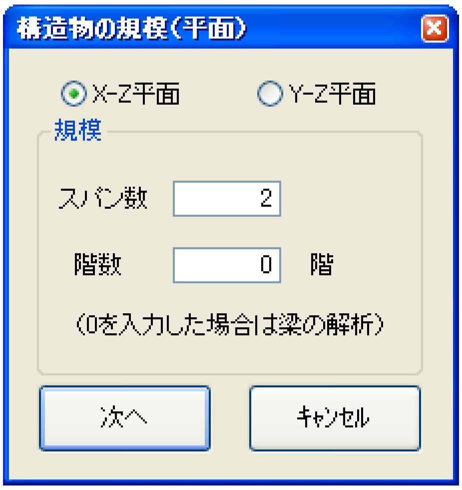


図 2-21 構造物の規模設定

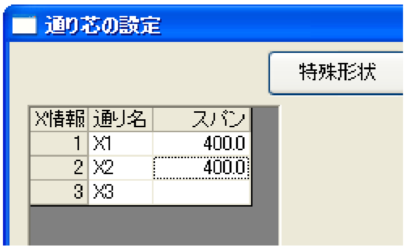


図 2-22 スパン長の設定

断面は、H-400x200x8x13 とし、DB 値を採用する。図 2-24 に示すように、

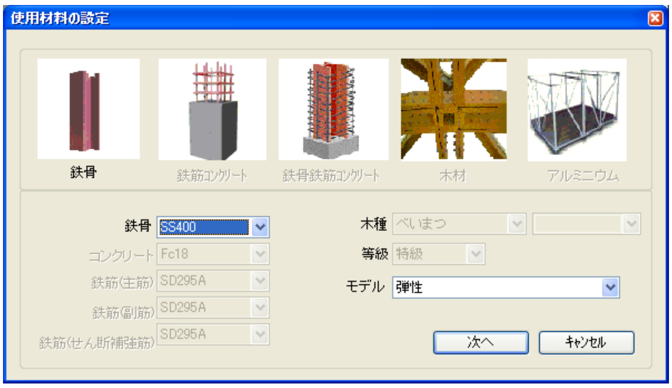


図 2-23 解析材料と部材モデルの設定

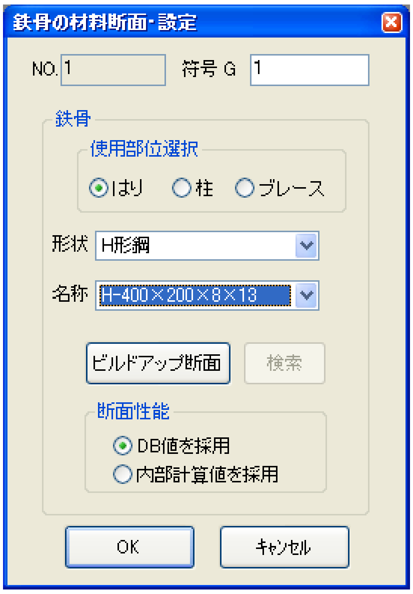


図 2-24 部材断面の設定

梁用の断面を G1 として設定する。ここでは、弾性解析で、部材断面はひとつのみであるため、図 2-25 のように設定されている。要素データを設定終了した後、OK ボタンを押して、CAD 画面に戻る。

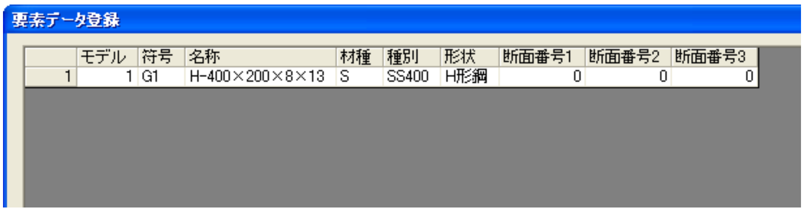


図 2-25 要素データ登録ダイアログで断面設定表示

再度、要素データ登録チップを押し、図 2-25 の要素データ登録ダイアログを表示させた後、「変更・削除・復帰」ボタンを押す。この操作で、要素データ変更ダイアログが図 2-26 のように表示され、ここで、ヤング係数と断面二次モーメントの値を確認する。

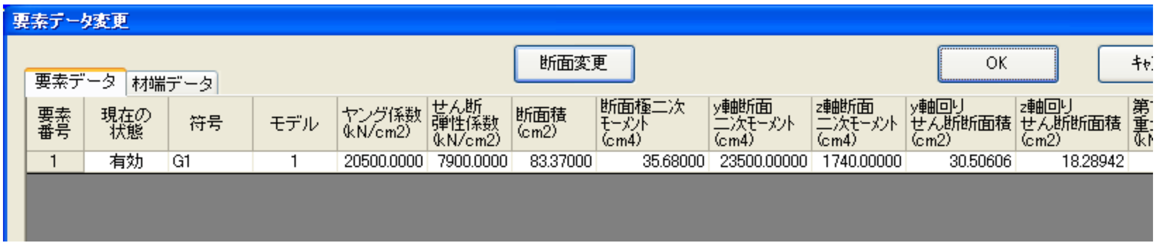


図 2-26 使用断面の材料特性と断面特性の確認

図 2-27 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。

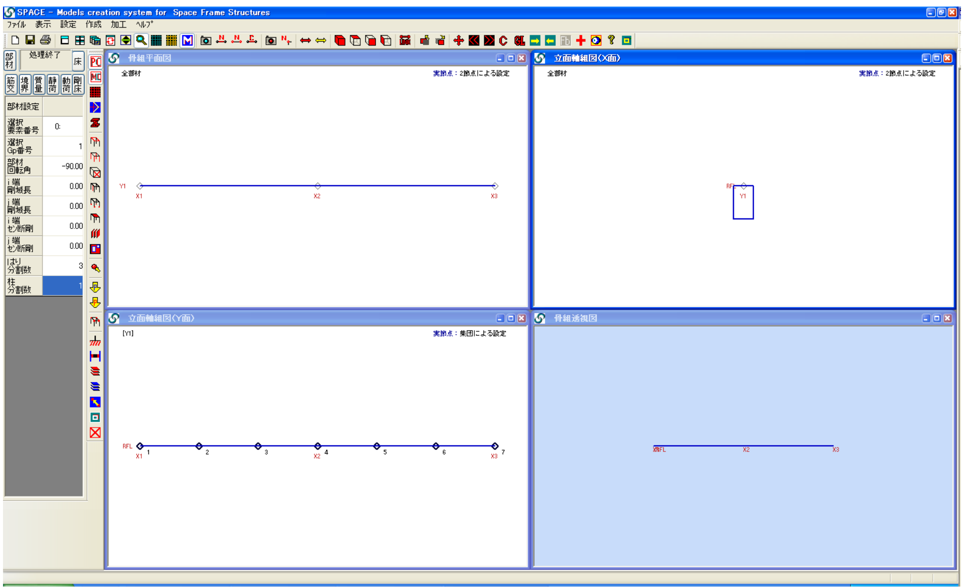


図 2-27 CAD 画面で骨組モデルを割り付ける

図 2-27 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。図 2-28 の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、図 2-29 のように荷重と境界が表示され、設定が確認される。

さらに、図 2-29 の「GL」ツールチップを押し、図 2-30 のように構造モデルをソリッド表示させ、断面形状を確認する。

図 2-28 骨組表示確認ダイアログで、境界と荷重を表示させる

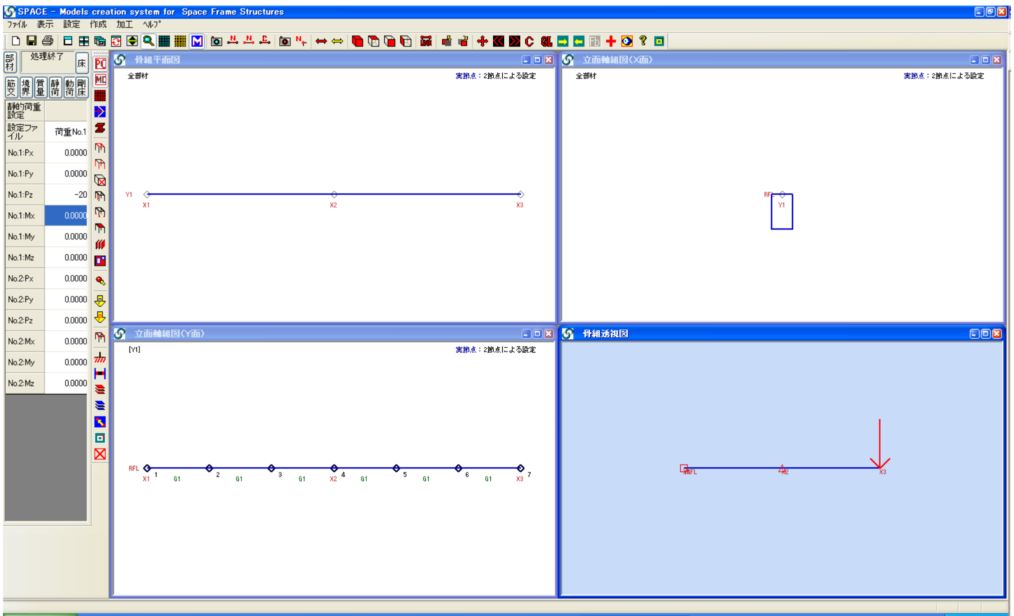


図 2-29 CAD 画面で境界と荷重を確認する

図 2-29 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、骨組全体を、マウスをドラッグして囲む。この操作で、図 2-31 の節点情報が得られ、設定状況を確認する。

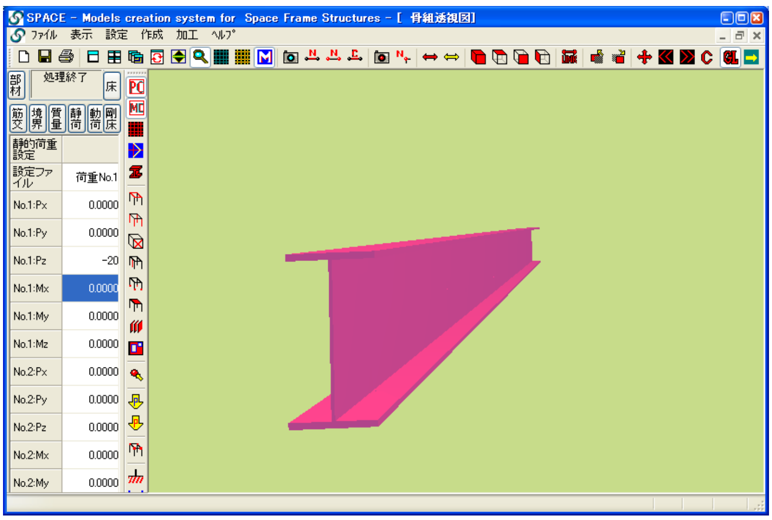


図 2-30 使用断面をソリッド表示させ、断面を確認する

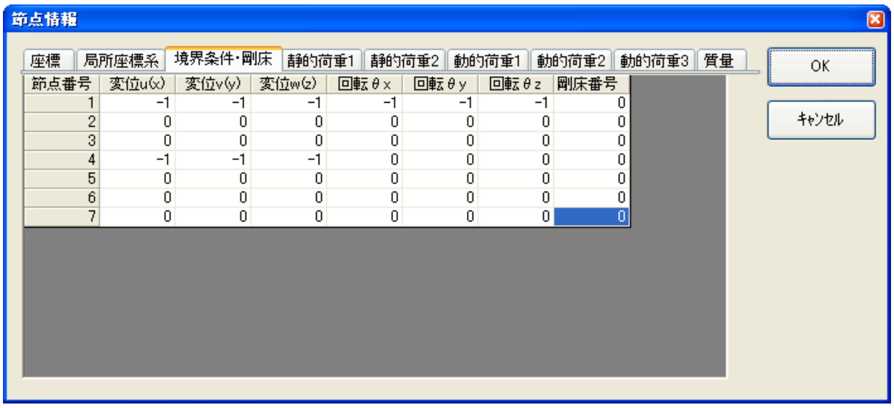


図 2-31(a)節点情報を表示させ、境界条件を確認する

図 2-31(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 2-32 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 ボタンを押して出力する。

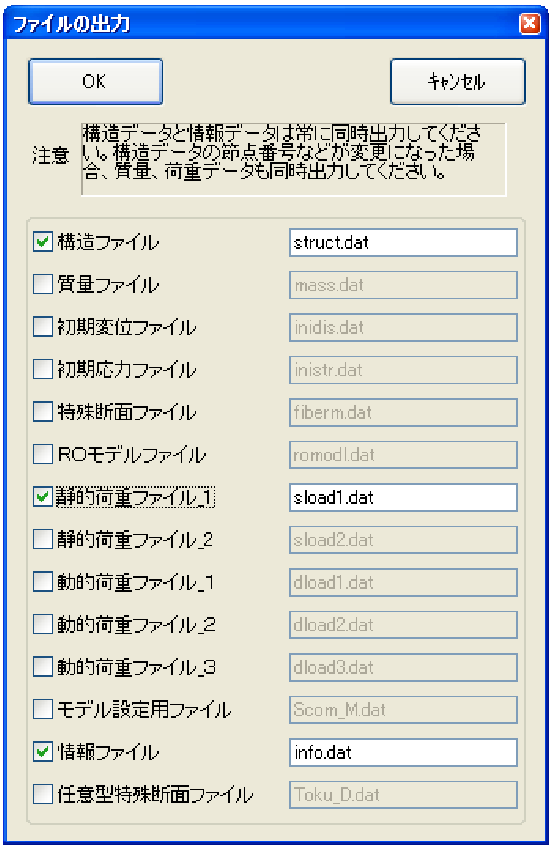


図 2-32 解析モデルをファイルに出力

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 2-33 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 2-34 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、通常の梁モデルで解析を実施する。

図 2-33「静的解析用コントロール」ダイアログ

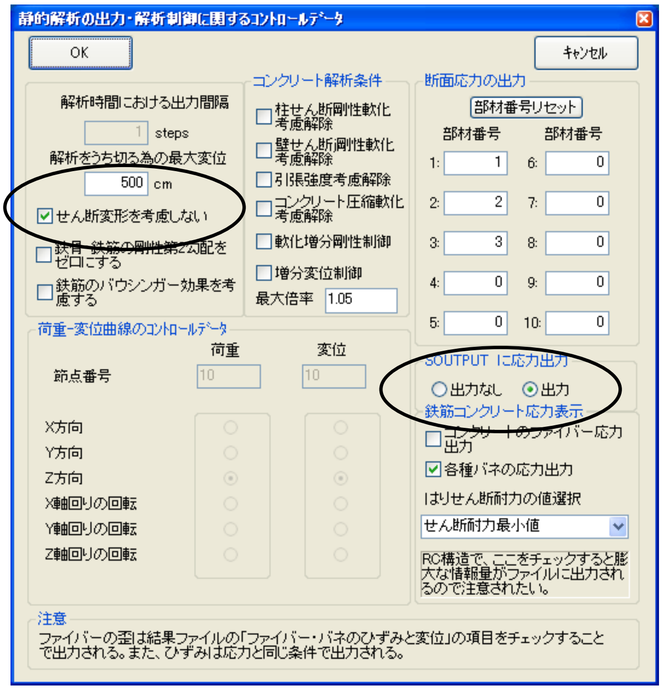


図 2-34 「静的解析の出力・解析制御に関するコントロールデータ」ダイアログ

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。解析経過が、図の 2-35 に示すように図示される。図に示されている各部材の曲げモーメントは、図 2-18 に表示されている曲げモーメント分布と一致している。

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

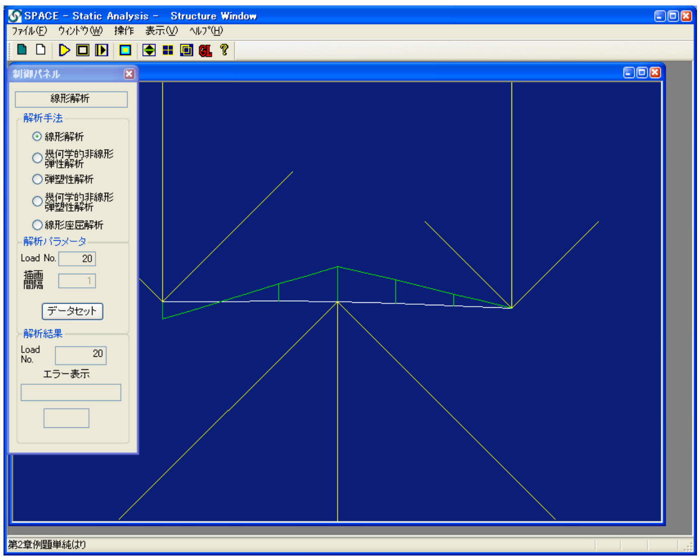


図 2-35 解析経過の曲げモーメント表示と変形表示

の最後に出力されている 20 回目の解析結果を図 2-36 に示す。部材断面力は、図 2-18 に示す値と同じとなっている。

ided step number :　20　-------------------------------------

table number:　0

オ番号	部材モデル	Nx	Qy	Qz	Mx	My	Mz
1	1	0.0000	0.0000	30.0000	0.0000	-4000.0001	0.0000
		0.0000	0.0000	30.0000	0.0000	-0.0010	0.0000
2	1	0.0000	0.0000	30.0000	0.0000	-0.0010	0.0000
		0.0000	0.0000	30.0000	0.0000	4000.0011	0.0000
3	1	0.0000	0.0000	30.0000	0.0000	4000.0011	0.0000
		0.0000	0.0000	30.0000	0.0000	8000.0001	0.0000
4	1	0.0000	0.0000	-20.0000	0.0000	8000.0001	0.0000
		0.0000	0.0000	-20.0000	0.0000	5333.3321	0.0000
5	1	0.0000	0.0000	-20.0000	0.0000	5333.3321	0.0000
		0.0000	0.0000	-20.0000	0.0000	2666.6660	0.0000
6	1	0.0000	0.0000	-20.0000	0.0000	2666.6660	0.0000
		0.0000	0.0000	-20.0000	0.0000	0.0000	0.0000

図 2-36 課題１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 2-37 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。右図と図 2-18 の曲げモーメント分布は一致していることが分かる。

さらに、図 2-37 の荷重位置で、Ctrl キィとマウス右ボタンを同時にクリックすることで、図 2-38 のダイアログを表示させ、その節点の解析結果の情報を観察する。このダイアログから分かるように、当該節点の変位と式(2.42)で示される節点変位と同じ値となっている。

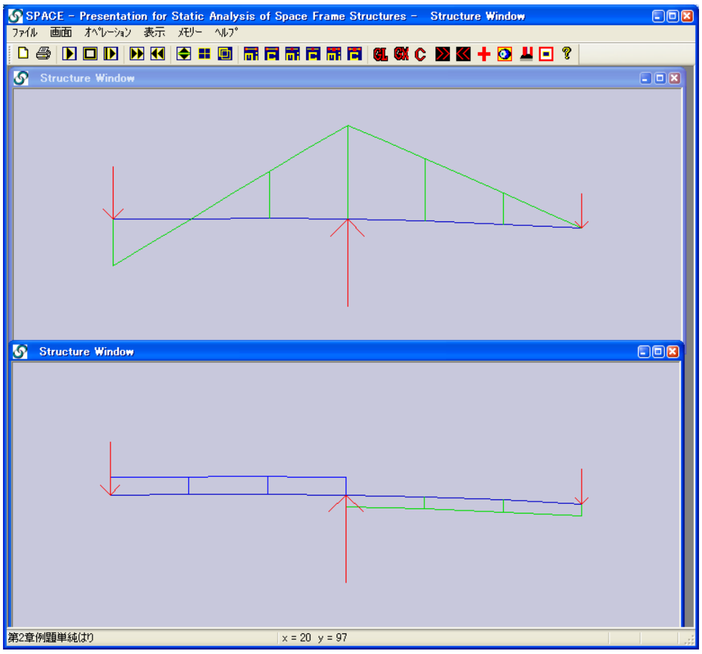


図 2-37 プレゼンターによるせん断力と曲げモーメント分布の表示

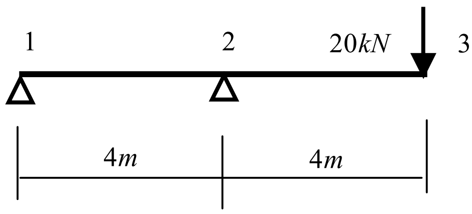
図 2-38 梁先端の鉛直方向変位

2.7 まとめ

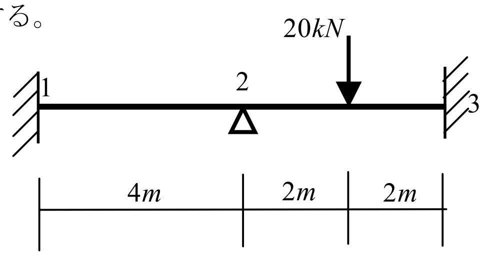
本章では、たわみ角法の基本式を用いて、節点での変位（回転角）の適合と曲げモーメントの釣合より、骨組全体の釣合式を得る方法を学んだ。ここで得られた釣合式は、節点移動の無い場合に適用され、境界節点を除いた節点で求められる。例題を通して、その釣合式を具体的に求めた後、部材の材端モーメントを求める方法を学習した。また、例題について、SPACE を使用して求めた断面力と、解析結果とを比較し、値の検証を行った。

2.8 問題

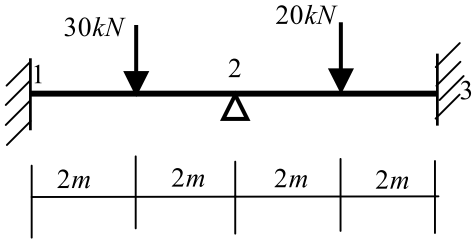
問題 2-1　次の骨組の応力解析を実行し、曲げモーメント図、せん断力図を描き、さらに、反力を求めて、外力と反力の力の釣合を確認せよ。なお、鋼材は、SS400 を使用し、部材断面は、全て H-400x200x8x13 を使用するものとする。



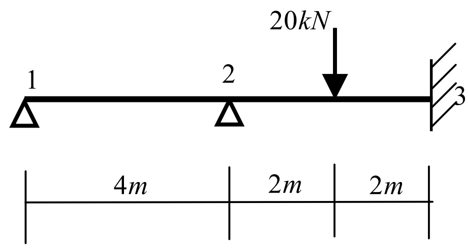
問 2-1



問 2-2

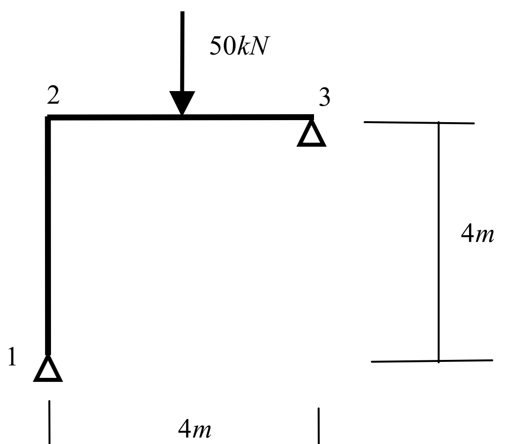


問 2-3



問 2-4

問題 2-2　次の骨組の応力解析を実行し、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 2-5