



第4章 断面の性能

ポイント：部材断面の性能を学ぶ

曲げや軸力に対する断面性能を理解する

本章では、骨組に使用する部材の断面性能について学ぶ。断面力と断面内の応力の関係では、断面二次モーメントや断面係数を用いた。これらは、梁部材の断面形状によって決まる値であり、断面性能と呼ばれている。本章では、断面性能を具体的に求めるとともに、この性能の特性を調べよう。

4.1 はじめに

キーワード

応力と断面力の関係 断面特性（断面積、断面二次モーメント、断面係数）
断面内の軸方向応力の分布

4.2 断面性能

4.2.1 図芯位置と断面一次モーメント

最初に、断面一次モーメントと断面の図芯位置について考えてみよう。前章で、断面の図芯位置は、断面一次モーメントがゼロとなる位置であると定義した。ここでは、具体的にその位置を求める方法について学習する。断面内の座標系として図 4-1 に示すように、原点 O を左下にとった座標系 $Y-Z$ と、図芯位置 G での座標系 $y-z$ を考える。ただし、理解し易いように、 y 軸の正方向を上にした座標系を用いる。もちろん、この座標系も右手系である。まず、その図芯位置 G での z 軸に関する断面一次モーメント S_z 及び、 y 軸に関する断面一次モーメント S_y を次式で表す。

$$\left. \begin{aligned} S_z &= \int_A y dA \\ S_y &= \int_A z dA \end{aligned} \right\} \dots\dots (4.1)$$

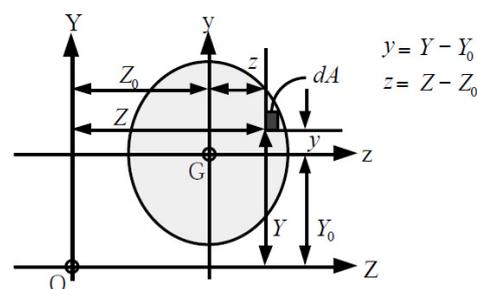


図 4-1 断面の図芯位置

点 O に原点を持つ座標系 $Y-Z$ と図芯位置での座標系 $y-z$ との関係は、図4-1より次式で表されることが分かる。

$$\left. \begin{aligned} y &= Y - Y_0 \\ z &= Z - Z_0 \end{aligned} \right\} \dots\dots (4.2)$$

上式を断面一次モーメントの式(4.1)に代入すると次式となる。

$$\left. \begin{aligned} S_z &= \int_A (Y - Y_0) dA = \int_A Y dA - Y_0 \int_A dA \\ S_y &= \int_A (Z - Z_0) dA = \int_A Z dA - Z_0 \int_A dA \end{aligned} \right\} \dots\dots(4.3)$$

上式の右辺項の積分で次式を考慮し、

$$\left. \begin{aligned} \int_A dA &= A \\ S_y &= \int_A Z dA; \quad S_z = \int_A Y dA \end{aligned} \right\} \dots\dots(4.4)$$

また、 S_y, S_z が図芯位置における断面一次モーメントであることより、式(4.3)は以下のようなになる。

$$\left. \begin{aligned} S_z &= S_z - Y_0 A = 0 \\ S_y &= S_y - Z_0 A = 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots(4.5)$$

ここで、 S_z は座標系 $Y-Z$ におけ Z 軸回りの断面一次モーメントであり、 S_y は同じく Y 軸回りの断面一次モーメントである。上式から、 Y 軸の原点 O から図芯位置までの距離 Y_0 は、

$$Y_0 = \frac{S_z}{A} \quad \dots\dots(4.6)$$

となり、同じく Z_0 も次のように得られる。

$$Z_0 = \frac{S_y}{A} \quad \dots\dots(4.7)$$

以上のように断面の図芯位置は、断面積と任意の位置での断面一次モーメントを求めることによって、その位置から図芯位置までの距離が得られる。

例題4-1 図4-2示す幅 b で、せいが D の長方形断面の図芯位置を求めよ。

断面積 A は、

$$A = bD \quad \dots\dots(4.8)$$

で与えられ、また、 Z 軸に関する断面一次モーメント S_z は

$$S_z = \int_A Y dA = \int_0^D b Y dY = \left[\frac{1}{2} b Y^2 \right]_0^D = \frac{bD^2}{2} \quad \dots\dots(4.9)$$

同様に、 S_y は、

$$S_y = \frac{b^2 D}{2} \quad \dots\dots(4.10)$$

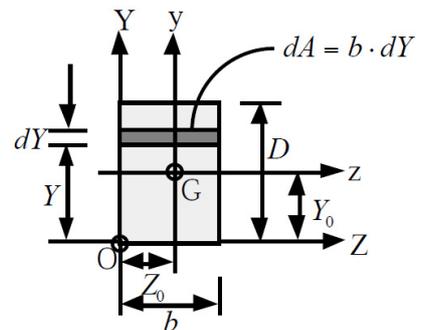


図 4-2 長方形断面の図芯位置の計算法

となる。従って、図芯までの距離は、式(4.6)と(4.7)より、次式で与えられる。

$$Y_0 = \frac{D}{2}; \quad Z_0 = \frac{b}{2} \quad \dots\dots(4.11)$$

4.2.2 断面二次モーメント

断面性能として、最も重要なパラメータは断面二次モーメントである。第8章で述べる梁の微分方程式の中にも、断面二次モーメントが出現する。断面二次モーメントは、ヤング係数とともに、梁部材の曲げにくさ(剛性)を示す指標である。梁部材が曲げ易いか曲げにくいかは、まず使用する材料によって決まる。材料が柔らかいか硬いか、これは材料のヤング係数に反映される。さらに、断面の形状によっても曲げ剛性は影響を受ける。これが断面二次モーメントとなる。同じ断面積であるなら、当然断面二次モーメントが大きい形状が有利である。どのような断面形状が有利なのか、ここで調べてみよう。さらに、前章では、断面二次モーメントの定義のみ記したが、ここでは、具体的にその値を求め、また、その特性を調べよう。

図芯位置での断面二次モーメントは式(3.16)で定義されていた。再び示すと、

$$I_z = \int_A y^2 dA \quad \dots\dots(4.12)$$

である。上式の断面二次モーメントは、微小断面に距離の2乗を掛けた値を断面全体で寄せ集めた量である。従って、断面二次モーメントが大きくなるためには、図芯位置の近くに断面が少なく、遠い所により多くの断面が存在すると良い。このことを、次の例題で確認しよう。

例題4-2 次の長方形断面の図芯位置での断面二次モーメントを求めよ。

断面二次モーメントの定義式において、y方向の積分は梁幅bで一定となるため、微小断面dAはdA=bdyとして良い。図芯位置は断面中央であることから、断面二次モーメントI_zは、

$$I_z = \int_A y^2 dA = b \int_{-\frac{D}{2}}^{\frac{D}{2}} y^2 dy \quad \dots\dots(4.13)$$

となり、積分を実行すると

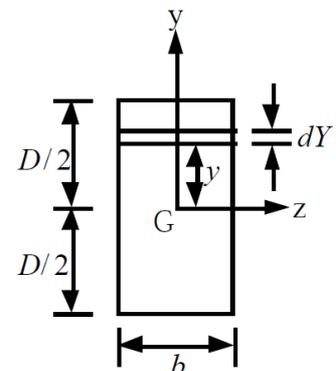


図 4-3 長方形断面の断面二次モーメント

$$I_z = b \left[\frac{y^3}{3} \right]_{-\frac{D}{2}}^{\frac{D}{2}} = b \left\{ \frac{D^3}{24} + \frac{D^3}{24} \right\} = \frac{bD^3}{12} \quad \dots\dots(4.14)$$

となる。この例題からも分かるように、得られた断面二次モーメントは梁せい D の3乗に比例しており、断面が図芯位置より、より遠い位置にあると大きな値となる。

次に、断面二次モーメントの特性を調べよう。図4-4に示す2つの座標系を考える。座標系 $y-z$ は図芯位置に原点 G があり、また、座標系 $Y-Z$ は任意の位置に原点 O が存在する座標系とする。2つの座標系の関係は次式に示されている。

$$\left. \begin{aligned} y &= Y - Y_0 \\ z &= Z - Z_0 \end{aligned} \right\} \dots\dots(4.15)$$

ここで、 Z 軸に関する断面二次モーメントは、上式を考慮すると、以下の式となる。

$$\begin{aligned} I_z &= \int_A (y + Y_0)^2 dA \\ &= \int_A y^2 dA + 2Y_0 \int_A y dA + Y_0^2 \int_A dA \end{aligned} \quad \dots\dots(4.16)$$

上式右辺の積分のなかで、第1項は図芯の z 軸に関する断面二次モーメント I_z 、第2項は同じく断面一次モーメント S_z 、第3項は断面積 A を表す。図芯位置での断面一次モーメントは定義よりゼロであり、従って、任意位置における断面二次モーメント I_z は、

$$I_z = I_z + Y_0^2 A \quad \dots\dots(4.17)$$

となる。上式から2つの重要な情報が得られる。一つは、図芯位置での断面二次モーメント I_z は、他の位置での断面二次モーメント I_z より常に小さく、つまり他の断面二次モーメントに対し最小値となる。これは、右辺の第2項が、常に正であることから分かる。二つ目は、任意位置での断面二次モーメントが式(4.17)より、図芯位置での断面二次モーメント I_z 、断面積 A 、及び、任意位置から図芯位置までの距離 Y_0 によって、容易に得られることである。

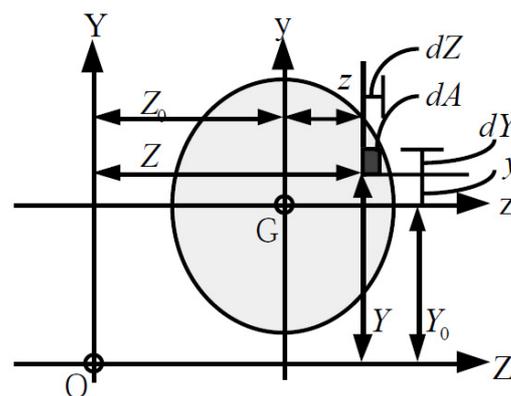


図 4-4 断面二次モーメントの特性

4.2.3 断面係数

曲げモーメントから断面内に生じる最大応力を求めてみよう。弾性範囲では断面内の応力分布は、式(3.20)より

$$\sigma_x = \sigma_b(y) = \frac{M}{I_z} y \quad \dots\dots(4.18)$$

であり、最大応力を与える縁応力は、次式で与えられる。

$$\sigma_t = \frac{M}{Z_t}; \quad \sigma_c = \frac{M}{Z_c} \quad \dots\dots(4.19)$$

ここで、 Z_t 及び Z_c は引張と圧縮に関する断面係数と呼ばれ、式(4.18)と(4.19)より次式で定義される。

$$Z_t = \frac{I_z}{y_t}; \quad Z_c = \frac{I_z}{y_c} \quad \dots\dots(4.20)$$

上式の y_t 及び y_c は、図心位置から断面の引張側端部、圧縮側端部までの距離を表す。以下の例題で断面係数を具体的に求め、理解しよう。

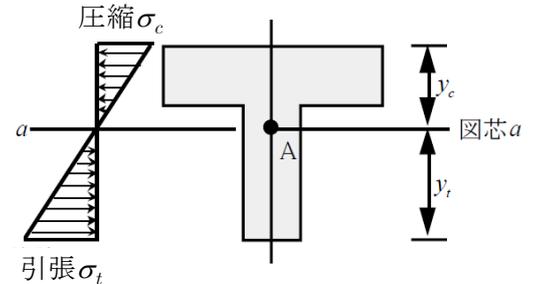


図 4-5 断面内応力と断面係数

例題4-3 次に示す長方形断面の断面係数を求めよ。

長方形断面の断面二次モーメントは、例題4-2で学んだように、

$$I_z = \frac{bD^3}{12} \quad \dots\dots(4.21)$$

で与えられ、また、図心から断面端部までの距離は、

$$y_c = y_t = \frac{D}{2} \quad \dots\dots(4.22)$$

である。従って、断面係数は式(4.20)より、次式で与えられる。

$$Z_c = Z_t = \frac{bD^2}{6} \quad \dots\dots(4.23)$$

図4-6に示すように図心位置から距離 r に存在する微小断面の二次モーメントを次式で示すように全断面について寄せ集めた量を、断面極二次モーメント I_p という。

4.2.4 断面極二次モーメント

$$I_p = \int_A r^2 dA \quad \dots\dots(4.24)$$

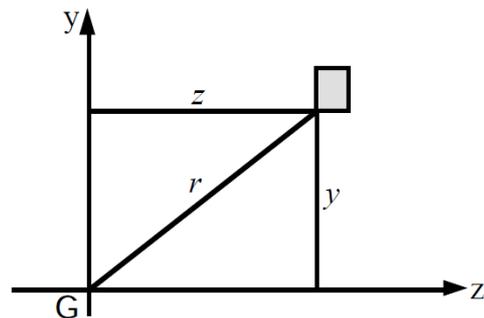
距離 r は、図に示されるように、

$$r^2 = y^2 + z^2 \quad \dots\dots(4.25)$$

で表される。上式を式(4.24)に代入し、整理すると

$$I_p = \int_A (y^2 + z^2) dA = \int_A y^2 dA + \int_A z^2 dA = I_y + I_z \quad \dots\dots(4.26)$$

となり、断面極二次モーメントと断面二次モーメントの関係が得られる。



例題4-4 次に示す半径 R の円形断面の断面極二次モーメントより断面二次モーメントを求めよ。

中心位置から距離 r にある微小断面 dA は、図を参照すると

$$dA = 2\pi r dr \quad \dots\dots(4.27)$$

である。上式を定義式(4.24)に代入すると、断面極二次モーメントは、以下のように計算される。

$$I_p = \int_0^R 2\pi r \cdot r^2 dr = 2\pi \left[\frac{r^4}{4} \right]_0^R = \frac{\pi R^4}{2} \quad \dots\dots(4.28)$$

また、円形断面では、 I_z と I_y は同じ値であることから、式(4.26)を用いると断面二次モーメントは次式となる。

$$I_y = I_z = \frac{I_p}{2} = \frac{\pi R^4}{4} \quad \dots\dots(4.29)$$

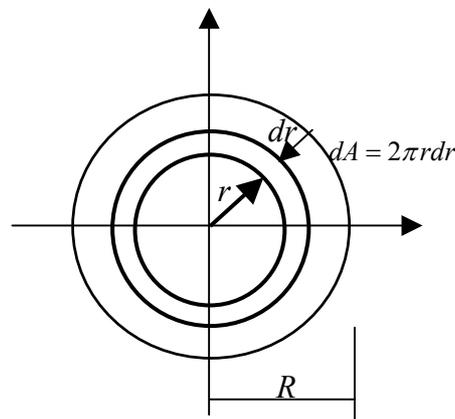


図 4-7 円形断面の断面二次モーメント

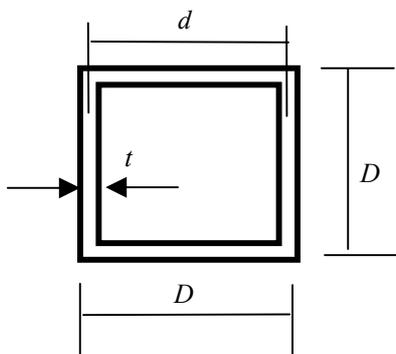


図 4-8 角型鋼管の断面形状

本節では、鉄骨構造で使用される薄肉の角型鋼管と薄肉鋼管の断面特性を求める。まず、薄肉の角型鋼管の断面積及び断面二次モーメントを求める。断面形状は、図4-8に示されており、断面の厚み t は形状に比較して非常に薄いとする。

図のような形状では、外側の矩形断面か

4.2.5 薄肉断面の断面特性

ら内側の空の矩形断面に関する断面特性を引くことで、薄肉の角型断面の断面性能が正確に求められる。

$$\left. \begin{aligned} A &= D^2 - (D-2t)^2 \\ I &= \frac{D^4}{12} - \frac{(D-2t)^4}{12} \end{aligned} \right\} \dots\dots (4.30)$$

さらに、薄肉の場合、 $D \gg t$ であることから、次のような略算式が使用される。

$$\left. \begin{aligned} A &= D^2 - (D-2t)^2 = D^2 - D^2 + 4t(D-t) \\ &\rightarrow 4Dt \\ I &= \frac{D^4}{12} - \frac{(D-2t)^4}{12} = \frac{1}{12}(D^4 - (D^4 - 8D^3t + 12D^2t^2 - \dots)) \\ &\rightarrow \frac{8D^3t}{12} \rightarrow \frac{2D^3t}{3} \end{aligned} \right\} \dots\dots (4.31)$$

同じく、薄肉円形鋼管の場合の断面特性を求める。薄肉の角型鋼管と同様に、外側の円形断面から内側の空の円形断面に関する断面特性を引くことで、薄肉の円形断面の断面性能が正確に求められる。

$$\left. \begin{aligned} A &= \pi(R^2 - (R-t)^2) \\ I &= \pi\left(\frac{R^4}{4} - \frac{(R-t)^4}{4}\right) \end{aligned} \right\} \dots\dots (4.32)$$

ここでも薄肉の場合、 $R \gg t$ であることから、次のような略算式が使用される。

$$\left. \begin{aligned} A &= \pi(R^2 - (R-t)^2) = \pi(R^2 - R^2 + 2tR - t^2) \\ &\rightarrow 2\pi Rt \\ I &= \pi\left(\frac{R^4}{4} - \frac{(R-t)^4}{4}\right) = \frac{\pi}{4}(R^4 - (R^4 - 4R^3t + 6R^2t^2 - \dots)) \\ &\rightarrow \pi R^3t \end{aligned} \right\} \dots\dots (4.33)$$

例題4-5 第3章で使用した角型鋼管の断面特性を求めよ。

まず、正確な式(4.30)では、

$$\begin{aligned} D &= 40\text{cm}; \quad t = 1.2\text{cm} \\ A &= D^2 - (D-2t)^2 = 40 \cdot 40 - (40-2.4)^2 = 186.24\text{cm}^2 \\ I_y &= \frac{D^4}{12} - \frac{(D-2t)^4}{12} = \frac{1}{12}(40^4 - (40-2.4)^4) = 46770 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

となり、略算式(4.31)では、

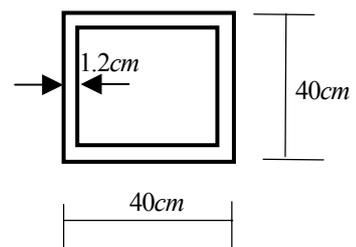


図 4-9 角型鋼管の形状

$$A = 4dt = 4 \cdot 38.8 \cdot 1.2 = 186.2 \text{ cm}^2$$

$$I = \frac{2D^2 dt}{3} = \frac{2}{3} 40^2 \cdot 38.8 \cdot 1.2 = 49664 \text{ cm}^4$$

として計算される。ここでは、外形に比較して、厚さがそれほど薄くないため、略算式の断面二次モーメントに誤差が生じている。

例題4-6 円形鋼管について断面特性を求めよ。

まず、正確な式(4.32)では、

$$R = 20 \text{ cm}; \quad t = 1.2 \text{ cm}$$

$$A = \pi(R^2 - (R-t)^2) = 3.1415(20^2 - (18.8)^2) = 146.3 \text{ cm}^2$$

$$I = \pi\left(\frac{R^4}{4} - \frac{(R-t)^4}{4}\right) = 3.1415\left(\frac{20^4}{4} - \frac{(18.8)^4}{4}\right) = 27551.1 \text{ cm}^4$$

となり、略算式(4.33)では、

$$A = 2\pi Rt = 2 \cdot 3.1415 \cdot 20 \cdot 1.2 = 150.8 \text{ cm}^2$$

$$I = \pi R^3 t = 3.1415 \cdot 20^3 \cdot 1.2 = 30158.4 \text{ cm}^4$$

となり、ここでも、形状に比較して断面厚が大きいため誤差が生じている。

断面厚を $t = 0.2 \text{ cm}$ として再度計算してみよう。正確な式では、

$$R = 20 \text{ cm}; \quad t = 0.2 \text{ cm}$$

$$A = \pi(R^2 - (R-t)^2) = 3.1415(20^2 - (19.8)^2) = 25.0 \text{ cm}^2$$

$$I = \pi\left(\frac{R^4}{4} - \frac{(R-t)^4}{4}\right) = 3.1415\left(\frac{20^4}{4} - \frac{(19.8)^4}{4}\right) = 4951.5 \text{ cm}^4$$

略算式では、

$$A = 2\pi Rt = 2 \cdot 3.1415 \cdot 20 \cdot 0.2 = 25.1 \text{ cm}^2$$

$$I = \pi R^3 t = 3.1415 \cdot 20^3 \cdot 0.2 = 5026.4 \text{ cm}^4$$

となり、かなり良い精度となっていることが分かる。

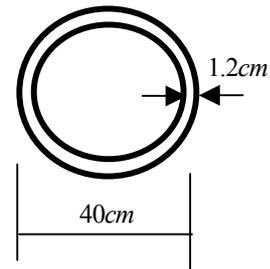


図 4-10 円形鋼管の形状

4.3 課題

本節では、建築で使用する代表的な断面形状について、断面特性を計算し、その特性を使用して単純梁に発生する最大応力を求めてみよう。また、SPACEを利用して、数値計算との結果を比較してみよう。

使用する断面特性は、長方形断面と円形断面の2種類とする。単純梁を骨組の形状と使用する断面形は、以下のとおりである。

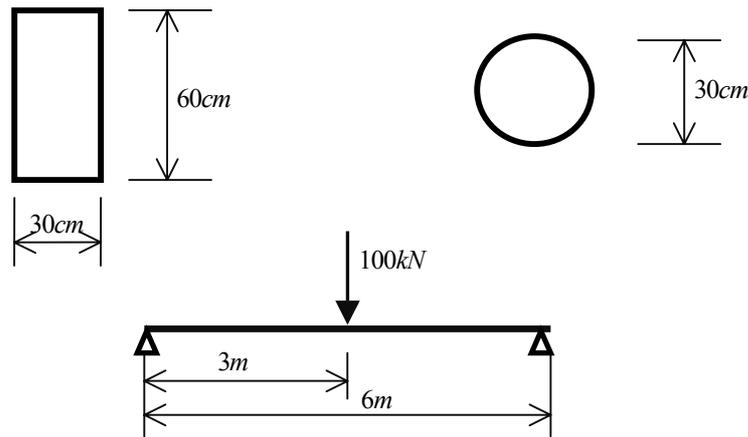


図 4-11 課題の骨組と使用する断面形状

最初に、部材中央に生じる最大曲げモーメントを求めておこう。

$$M_{\max} = \frac{PL}{4} = \frac{100 \cdot 6}{4} = 150kN \cdot m = 15000kN \cdot cm \quad \dots\dots(4.34)$$

長方形断面の断面性能：

$$A = 30 \cdot 60 = 1800cm^2$$

$$I = \frac{30 \cdot 60^3}{12} = 540000cm^4$$

$$Z = \frac{30 \cdot 60^2}{6} = 18000cm^3$$

円形断面の断面性能：

$$A = 3.1415 \cdot 15^2 = 706.8cm^2$$

$$I = \frac{3.1415 \cdot 15^4}{4} = 39759.6cm^4$$

$$Z = \frac{39759.6}{15} = 2650.6cm^3$$

従って、両断面内に生じる最大応力は、以下のように与えられる。

$$\left. \begin{aligned} \text{長方形断面： } \sigma_{\max} &= \frac{M}{Z} = \frac{15000}{18000} = 0.833kN/cm^2 \\ \text{円形断面： } \sigma_{\max} &= \frac{M}{Z} = \frac{15000}{2650.6} = 5.659kN/cm^2 \end{aligned} \right\} \dots\dots(4.35)$$

4.4 モデラーで解析モデルを作成する

SPACE のモデラーを用いて、上記の解析モデルをコンピュータ内に作成する。既に、第3章で、解析モデルの作成方法は学んだが、ここでは、復習のために、作成手順を図で説明する。ただし、新規部分については詳細に述べる。

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、「演習解析モデル」-「第4章」フォルダ内の「課題」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「単純梁 1.ct1」としよう。

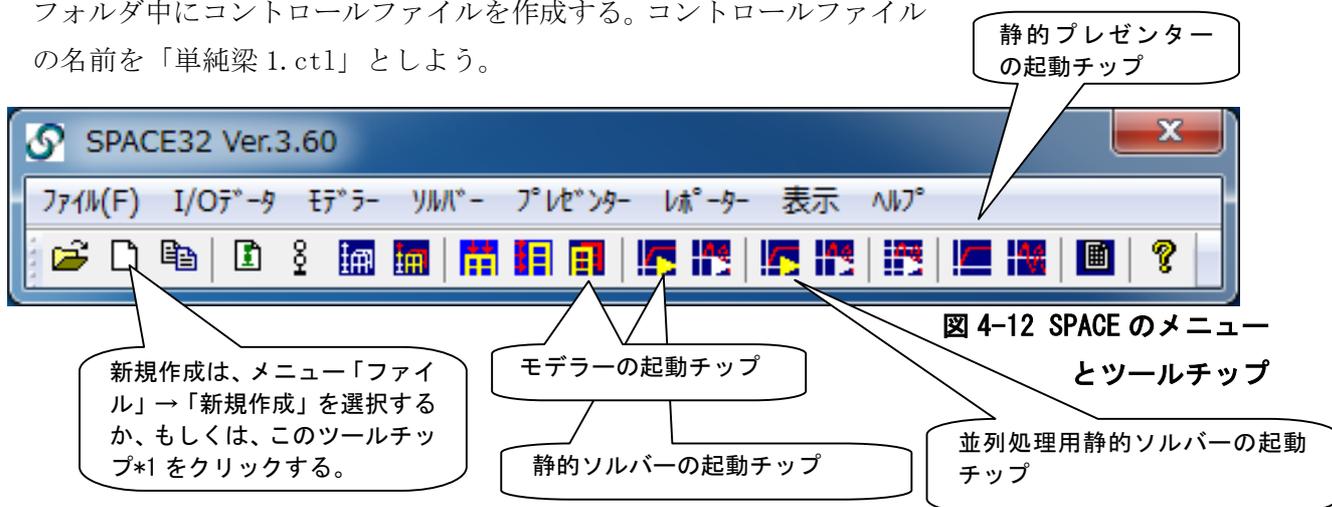


図 4-12 SPACE のメニューとツールチップ

次に、メニュー「I/Oデータ」→「形状ファイル」から次に示すダイアログを表示させ、使用するファイルにチェックマークと、タイトルを設定する。ここでは、ファイル名として規定値をそのまま使用する。



本章の解析モデルは木造を使用するため、静的縮合モデル設定欄のファイル名に「木造特殊モデル.dat」と記入する。同ファイルは、このテキストと同一フォルダに収められているので、利用されたい。

図 4-13 形状データのファイルチェックダイアログ

各種のコントロールファイルに、読み込みと書き込みを可能とするチェックマークを設定する。次に、メニューを用いて静的解析コントロールファイルを表示させ、この演習では、次のようにチェックマークを記入し、「OK」ボタンを押す。

*1

解析モデルに関するファイル群の設定。この演習で必要となるファイルの名前と読み・書き可能なチェックマークを設定する。特に注意すべき点は、荷重ファイルの「読み込みを可能にする」をチェックすると、この荷重ファイルが自動的に読み込まれ、解析が実行されることである。

パースペクティブコントロールファイルは、ソルバーやプレゼンターでも使用される。インフォメーション用データファイルはモデラーとレポートで使用され、特に、インフォメーション用データファイルはモデラーによって、自動的にデータが作成されることになる。



図4-14 プレゼンテーション
用コントロールファイル

図 4-15 静的解析コントロー
ルファイルのダイアログ



図 4-16 静的解析の結果ファイルダイアログ

ここでは、静的解析を制御する3つのファイルについて、そのファイル名と読み込み・書き込み状態を設定する。
静的解析コントロールファイルには静的解析を制御するパラメータが格納される。座屈コントロールファイルには座屈に関する制御パラメータが、また、静的解析条件の選択・出力コントロールファイルには、静的解析条件や解析結果の出力情報を制御するパラメータが各々格納される。

メニュー「I/Oデータ」→「3Dアニメーション用データ」を選択し、パースペクティブコントロールデータを設定する。ここでは、解析モデルが、X-Z平面に置かれているため、透視図の視点はy軸の負方向とする。また、透視図原点は図形の中央に設定する。

このダイアログでは、静的解析結果を出力するファイルについて、その名前と読み・書き可能チェックマークを設定する。演習では、全ファイルについてチェックマークを記入し、名前は規定値のままでしょう。「全てにチェック」ボタンを利用してチェックマークを設定することもできる。



このファイルでは、透視図の外形や視点位置、あるいは、変形の倍率、曲げモーメントの図形、矢印などの大きさを設定する。このファイルはモデラーを使用する場合は必ず必要となるので忘れずに設定しよう。

図 4-17 「パースペクティブコントロールデータ」ダイアログ

以上でファイル関連の設定を終えたので、次にモデラーを起動し、解析モデルを作成する。最初は、初期設定ウィザードが自動的に順次設定用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。



モデラーの起動は、SPACE のメニュー「モデラー」→「骨組モデル」→「新規作成・変更」を選択するか、もしくは、SPACE の左より 10 番目のツールチップ*2 を押す。

1. タイトルを入力する。このタイトルは、構造データファイルの先頭に出力される。最初に、内容変更ボタンを押し、タイトル行数をセットする。タイトル設定後、「OK」ボタンを押し、次へ進む。

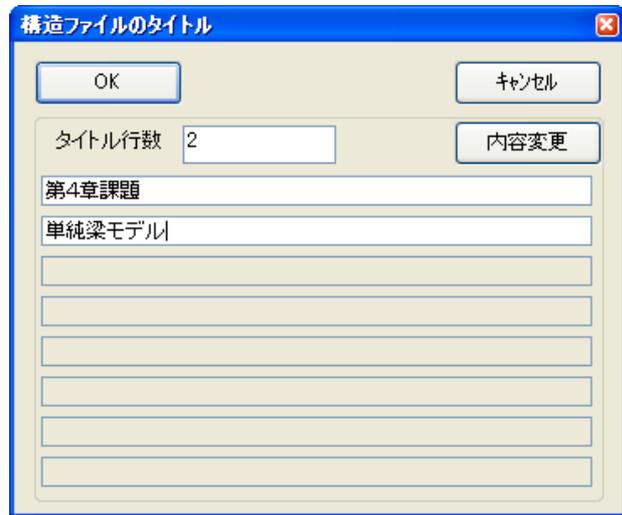
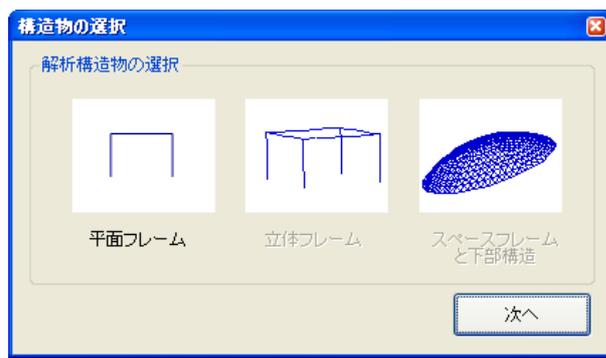


図 4-18 構造ファイルのタイトル



2. 解析構造種別を選択する。演習では、平面フレームを選ぶ。「次へ」ボタンを押し、次のダイアログへ進む。

図 4-19 構造物の選択

構造物の規模(平面)

X-Z平面 Y-Z平面

規模

スパン数

階数 階

(0を入力した場合は梁の解析)

次へ キャンセル

3. 構造の規模を設定する。平面フレームの場合、まずモデルが存在する平面を選択する。ここでは、x-z平面を選択。次に構造規模はスパン数と階数をセットする。ここでは、梁であるため、スパン数は2、階数は0をセットする。「次へ」ボタンを押し、次のダイアログに進む。

スパン数記入、この例題では2を設定する。

理論では、x-y平面を用いたが、このテキストでは、全てx-z平面を使用する。混乱しないように注意しよう。

図 4-20 構造物の規模

通り芯の設定

特殊形状 変更 OK 戻る

※情報	通り名	スパン
1	X1	300.0
2	X2	300.0
3	X3	

長さの単位は全て、cmである。

4. スパン長をセットする。ここでは、全スパンが6mであり、スパン数2としているため、各々3mをセットする。ただし、部材分割数として、3が設定されているため、解析モデルである単純梁は6部材に分割される。設定終了後、「OK」ボタンを押して次へ進む。

図 4-22 に示されるダイアログが表示される。ここで、ダイアログ右の「追加」ボタンを押すと次の使用材料の設定ダイアログが表示される。

図 4-21 通り芯の設定

部材を設定する際、部材が自動的に分割され、節点が振られる。これについては、モデラー使用マニュアルを参照されたい。

要素データ登録

モデル	符号	名称	材種	種別	形状	断面番号1	断面番号2	断面番号3

追加
変更・削除・復帰
材種設定
特殊断面作成
OK
キャンセル

図 4-22 要素データ登録用のダイアログ

使用材料の設定

鉄骨 鉄筋コンクリート 鉄骨鉄筋コンクリート 木材 アルミニウム

鉄骨: BCR295 木種: べいまつ

コンクリート: Fc18 等級: 特級

鉄筋(主筋): SD295A モデル: 両端ファイバー

鉄筋(副筋): SD295A

鉄筋(せん断補強筋): SD295A

次へ キャンセル

5. 単純梁の断面を設定する。ここでは、木造を選択し、要素モデルは、長方形断面を設定するため、両端ファイバーとする。「次へ」ボタンを押して、次に進む。

図 4-23 使用材料の設定



6. 木造断面を設定する。ここでは、長方形断面を使用し、符号はG1とする。この木造断面の設定は、集成材用であり、ここでは、断面寸法を図のように設定する。設定終了後、「OK」ボタンを押して次へ進む。

図 4-24 集成材用の木造断面の設定

7. 長方形断面で各ラミナの材料定数が表示されている。ここでは変形する必要がないので、そのまま、「OK」ボタンを押して次へ進む。

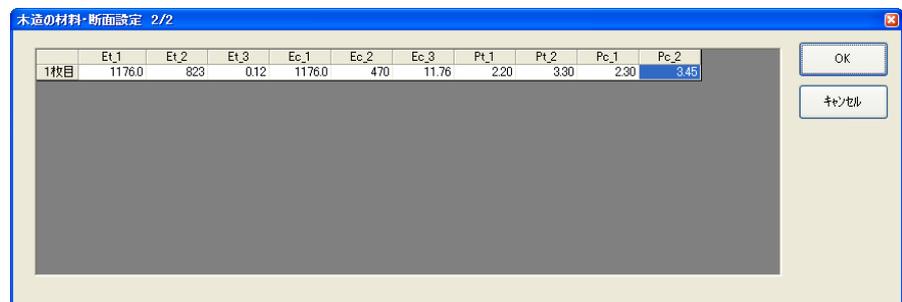


図 4-25 集成材ラミナごとの材料定数の表示と変更



図 4-26 断面設定用のダイアログ

8. 長方形断面を設定した後、「OK」ボタンを押すと、図 4-22 の断面設定ダイアログに戻る。「特殊断面作成」ボタンを押すと、図 4-26 の断面設定用のダイアログが表示される。ここでも、データ変更する必要がないので、「作成開始」ボタンを押し、ここに表示されている断面を作成する。
図 4-27 の要素データ登録ダイアログには、作成された断面が表示されている。最後に、「OK」ボタンを押して、断面作成を終了する。



図 4-27 設定した部材要素一覧

以上の処理を全て終わると、初期設定が完了する。次は、解析モデルの形状と境界、荷重を、グラフィック画面を用いて、次の順序でCAD入力する。

1. 梁部材の設定とデータ入力
2. 境界条件を設定する。
3. 荷重を設定する。
4. ファイルに出力する。

図 4-28 に示すモデラー画面について説明する。画面右側の4つのウインドウは、各々骨組平面図（左上）、立面軸組図(X 通り面：左下)、立面軸組図(Y 通り面：右上)、骨組透視図（右下）である。ここでは、既に設定した通り芯や構造物の規模などを利用して、構造物の外形を表す通り芯とその記号が表示されている。また、画面左はダイアログバーと言い、梁、柱、境界などを割り付ける際に使用する。

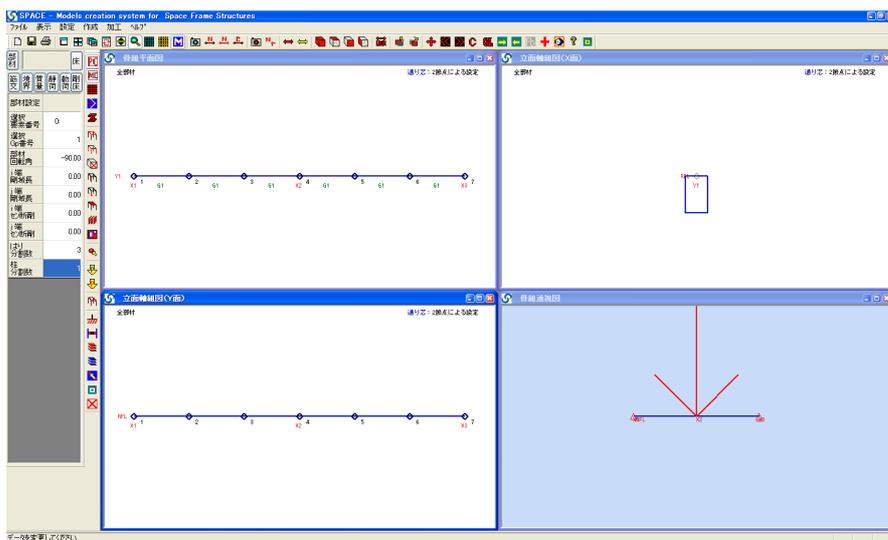


図 4-28 解析モデルを CAD 入力で設定する

梁のCAD入力は、第3章で説明されている。その部分を参照して上図のように形状、境界、荷重を設定する。

図4-29では、解析モデルをソリッド表示しており、使用している長方形断面が描かれている。このように、解析モデルの透視図をソリッド表示することで、モデルの形状を確認する。

解析モデルの形状、境界、荷重を節点情報や部材情報の表示を用いて確認する。正確にデータが設定したことを確認した後、メニューより、データ出力選択し、図4-30のファイル出力ダイアログを表示させ、データ群をファイルに出力する。

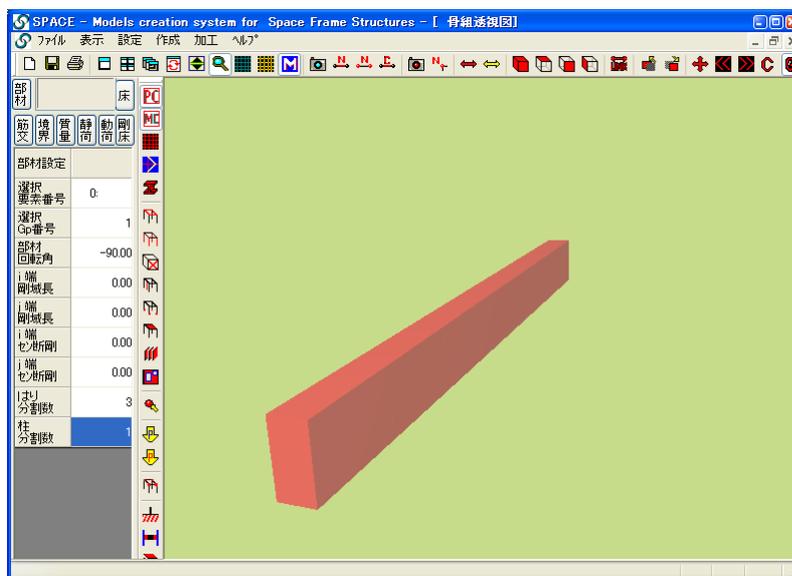


図 4-29 ソリッド描画で解析モデルを確認



9. データ入力情報を SPACE の仕様に合わせて、ファイル出力する。ファイル出力メニューから、左図のダイアログを表示させ、出力させるファイルを選択する。
 ここでは、構造ファイル、特殊断面ファイル、静的荷重ファイル_1、静的荷重ファイル_2、情報ファイルにチェックマークを入れ、「OK」ボタンを押す。これで、所定のファイルが出力されることになる。
 メニュー「ファイル」→「アプリケーションの終了」を選択して、モデラーを終了する。

図 4-30 ファイルの出力用ダイアログ

これまで、解析用のファイルが全て整った。ソルバーを起動して、実際に数値解析を行うことにする。次に、静的解析コントロールファイルの内容を変更する。

最初に、図4-31に示す静的解析用制御データ設定ダイアログで、解析用のパラメータを設定する。ここでは、パラメータの設定として、荷重増分法を1に、ステップ数を10に、また荷重係数を0.1とする。解析種別を2次元解析(X-Z)を選択する。

静的解析を行うに当たって、最後のコントロールデータを設定する。SPACE のメニューより、「静的解析条件の選択及び出力コントロールデータ」を選択する。

図 4-32 に表示されたダイアログで各種の解析条件を選択することになる。ここでは、図のように「せん断変形を考慮しない」にチェックマー



図 4-31 静的解析用制御データ設定ダイアログ

クを入れる。

これで、静的解析用のパラメータは全て設定した。これで、いよいよ解析を実行することが可能となる。演習では線形解析を実行するため、SPACEのメニューから「ソルバー」→「静的解析」→「線形解析」を選択する。その結果、次のソルバー用の新しいウインドウが表示される。ここでは、このウインドウ上に解析モデルを表示させ、解析経過を観察する。

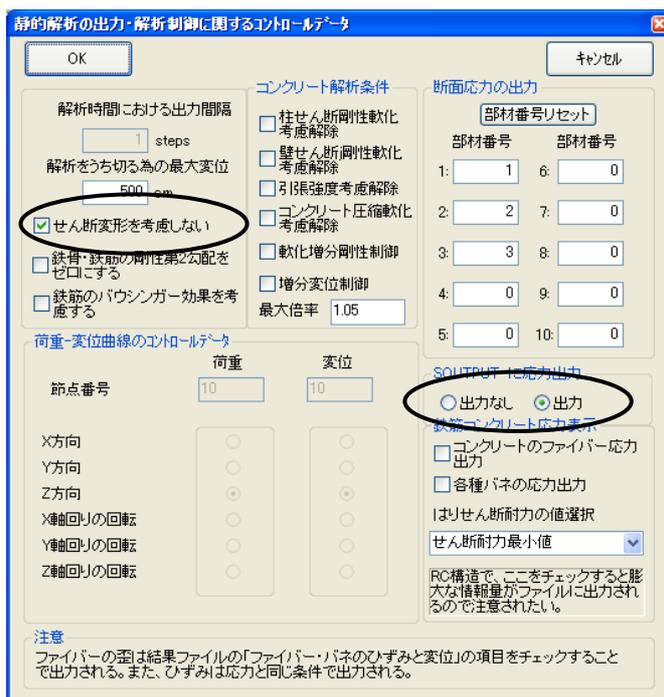


図 4-32 静的解析条件の選択及び出力コントロールデータ設定ダイアログ

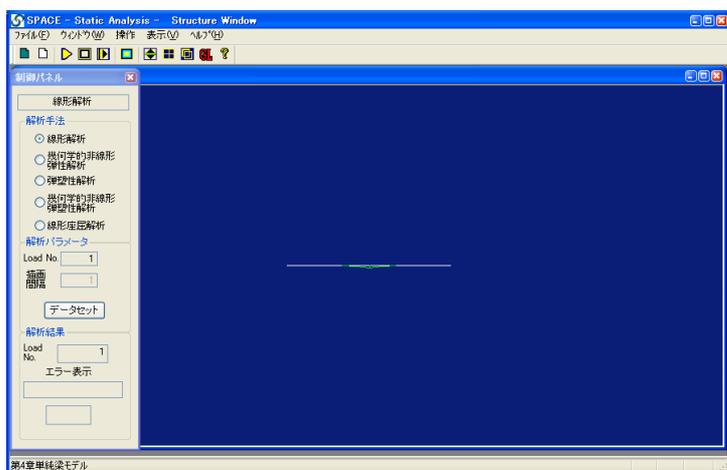


図 4-33 静的ソルバーの構造表示ウインドウ

解析が進むと、曲げモーメントや変形図でその経過が表示される。途中でエラーメッセージが表示されない場合は、解析は正常終了となる。途中でエラーメッセージが表示されるとデータやパラメータの設定に間違いがあったことになり、再度、モデラーやSPACEのダイアログを使用して、データなどを変更する。

10. ソルバー用のウインドウが表示された後、ウインドウ内でマウス右ボタンを押し、プルダウンメニューを出現させる。まず、メニューから「解析画面」を選択し、解析モデルを表示させる。その後、同じウインドウ上で、同様にプルダウンメニューを表示させ、そのメニューから「プロパティ」を選択する。表示したダイアログで、色表示、荷重・反力、曲げモーメント表示を選択する。これで、解析経過が観察できることになる。

静的解析はこれで完了である。これまでの説明で、多くの手続きを必要とすることが分かる。第3章以降でも同様な処理を行わなければならないが、このような詳細な説明は行わない。ここで演習を多く行い、またマニュアルなどを参照して、操作法を十分にマスターされたい。

解析が正常終了した後、課題2のために、円形の断面を作成しよう。ここでは、長方形用断面モデルをコピーし、円形断面用モデルを作成する。コピーしたフォルダを「単純梁2」とする。モデラーを起動し、この単純梁2のコントロールファイルを読み込む。次に、要素データの設定ツールチップを押し、図4-27の断面設定用ダイアログを表示させる。

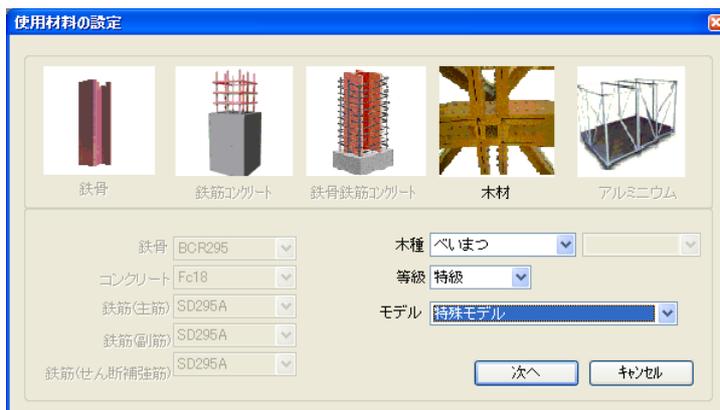


図 4-34 使用材料の設定

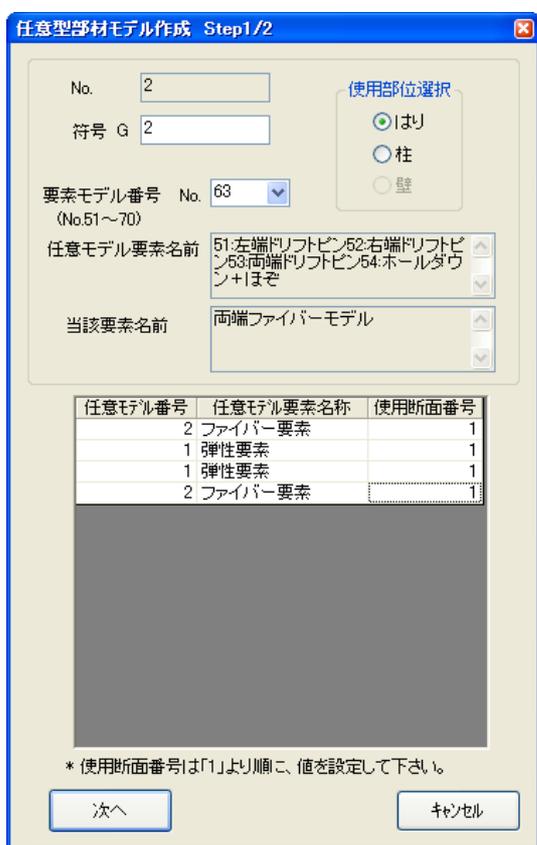


図 4-35 特殊断面設定ダイアログ 1

そこで、追加ボタンを押すと、図4-34の使用材の設定ダイアログが表示される。ここで、円形断面を作成するために、モデルとして、「OK」ボタンを押して、次に進む。

11. 課題2の断面を設定する。円形断面は標準では使用できないので、図のように「特殊モデルを選択する。ただし、図4-13で静的縮合モデル設定の欄で、ファイル名の記述と、読み・書き可能にしておく必要がある。

図4-35では、特殊断面を設定するためのダイアログで、ここでは、要素モデル番号63の両端ファイバーモデルを選択する。さらに、図のように、ファイバー要素と弾性要素は同じ断面を使用するため、使用断面番号として、全て「1」をセットする。後は、「次へ」ボタンを押して、実際の円形断面を作成することになる。

図4-36には、特殊断面用の木材の材料・断面設定ダイアログが表示されており、ここで、円形断面を作成する。図の上の丸太使用にチェックマークを入れ、断面半径をセットする。課題2では、半径15cmの円形断面を使用しており、その値を記入する。分割数は、周方向と半径方向とで設定できるようになっており、ファイバー分割に使用される。ここで

は、図のように変更しよう。

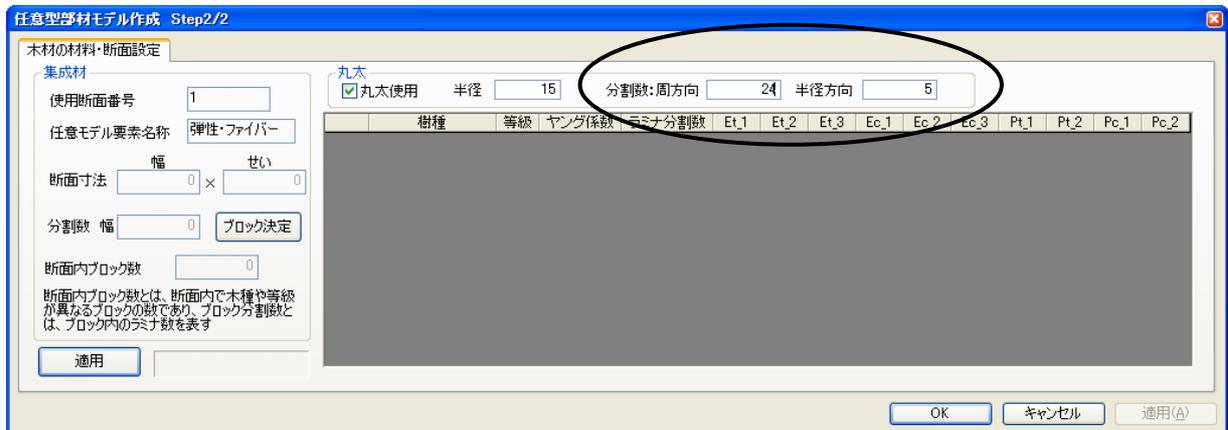


図 4-36 木材の材料・断面設定を行う特殊断面設定用ダイアログ

「適用」ボタンを押した後、「OK」ボタンを押すと、図4-27の要素データ登録用ダイアログに戻ることになる。ここで、「特殊断面作成」ボタンを押すと、図4-37の断面設定用ダイアログが表示される。

ここでは、データを変更する必要がないので、「作成開始」ボタンを押し、新たな円形断面を作成する。

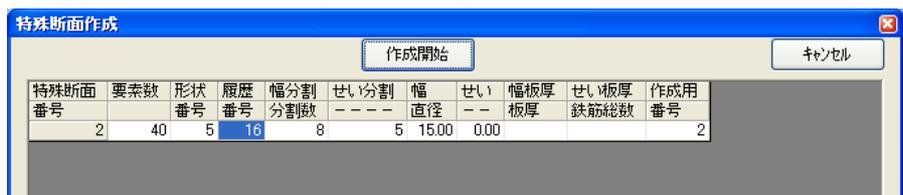


図 4-37 断面設定用のダイアログ

再度、図4-38に示される要素データ登録用ダイアログが表示される。ここでは、新たに設定した円形断面が表示されている。



図 4-38 要素データ登録用のダイアログ

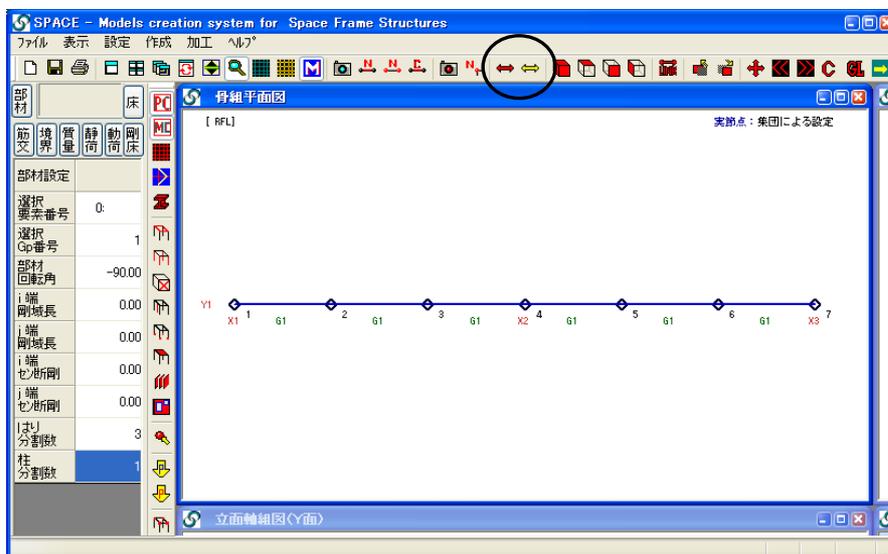


図 4-39 平面図で梁モデルに使用されている断面を表示

円形断面を用いて解析するためには、解析モデルに使用されている断面の割付を変更しなければならない。ここでは、集団による設定機能を利用して、断面を取り替える。図4-39には、長方形断面であるG1が設定されていることが示されている。そこで、同図の○で囲まれたツールチップを用いて、「実節点」「集団による設定」に変更する。次に、「梁の作成」ツールチップを押した後、平面図の梁全体をマウスの左ボタンを押しながら囲む。マウスの左ボタンを離すと、図4-40に示す部材情報ダイアログが表示される。

同図上の要素番号には、長方形断面であるG1がセットされている。マウスを要素番号の下の表示位置に移動し、左ボタンを押すと梁用に設定されている断面要素がプルダウンメニューとして表示される。そこで、断面G2を選択する。6つの部材全てについて同様の操作を行い、同図下のように要素を円形断面であるG2に変更する。

操作終了した後、「OK」ボタンを押すと、図4-41に示されるように、解析モデルで使用される断面が円形断面に変更されている。

部材情報							
使用種別	両端情報						
部材番号	要素番号	部材種別	グループ番号	部材角度	解析種別	初期応力	fiber応力出力
1	1:G1	x方向梁	1	0.00	弾塑性部材	0.00	部材応力出力
2	1:G1	x方向梁	1	0.00	弾塑性部材	0.00	部材応力出力
3	1:G1	x方向梁	1	0.00	弾塑性部材	0.00	部材応力出力
4	1:G1	x方向梁	1	0.00	弾塑性部材	0.00	部材応力出力
5	1:G1	x方向梁	1	0.00	弾塑性部材	0.00	部材応力出力
6	1:G1	x方向梁	1	0.00	弾塑性部材	0.00	部材応力出力

部材情報							
使用種別	両端情報						
部材番号	要素番号	部材種別	グループ番号	部材角度	解析種別	初期応力	fiber応力出力
1	2:G2	x方向梁	1	0.00	弾塑性部材	0.00	部材応力出力
2	2:G2	x方向梁	1	0.00	弾塑性部材	0.00	部材応力出力
3	2:G2	x方向梁	1	0.00	弾塑性部材	0.00	部材応力出力
4	2:G2	x方向梁	1	0.00	弾塑性部材	0.00	部材応力出力
5	2:G2	x方向梁	1	0.00	弾塑性部材	0.00	部材応力出力
6	2:G2	x方向梁	1	0.00	弾塑性部材	0.00	部材応力出力

図 4-40 部材情報ダイアログ

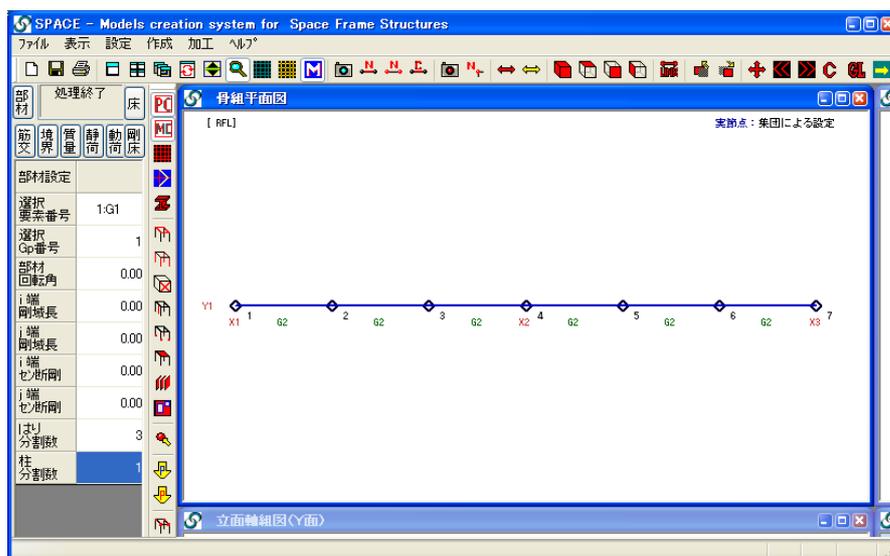


図 4-41 平面図に変更された断面が表示

図4-42では、解析モデルをソリッド表示しており、使用している円形断面が描かれている。このように、解析モデルの透視図をソリッド表示することで、モデルの形状を確認する。

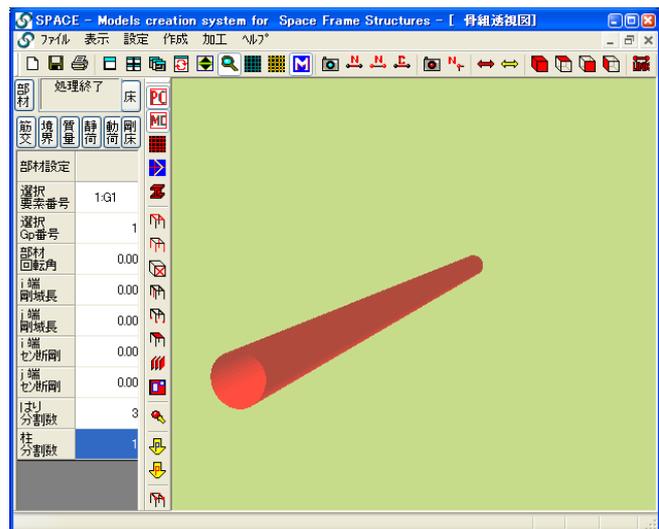


図 4-42 ソリッド描画で解析モデルを確認

最後にメニューより、データ出力選択し、図4-30のファイル出力ダイアログを表示させ、データ群をファイルに出力する。

図 4-43 ファイルの出力用ダイアログ

4.5 断面性能の検証

両モデルを線形解析した後、その結果を分析してみよう。まず、モデラーを使用して、両モデルで使用している断面の特性を、SPACEの要素データと比較する。両断面の断面特性を再度表示する。

長方形断面の断面性能：

$$A = 30 \cdot 60 = 1800 \text{ cm}^2$$

$$I = \frac{30 \cdot 60^3}{12} = 540000 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{30 \cdot 60^2}{6} = 18000 \text{ cm}^3$$

円形断面の断面性能：

$$A = 3.1415 \cdot 15^2 = 706.8 \text{ cm}^2$$

$$I = \frac{3.1415 \cdot 15^4}{4} = 39759.6 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{39759.6}{15} = 2650.6 \text{ cm}^3$$

両断面内に生じる最大応力は、以下のように与えられる。

$$\text{長方形断面： } \sigma_{\max} = \frac{M}{Z} = \frac{15000}{18000} = 0.833 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{円形断面： } \sigma_{\max} = \frac{M}{Z} = \frac{15000}{2650.6} = 5.659 \text{ kN/cm}^2$$

まず、モデラーを起動し、次に「要素データの設定」ボタンを押し、図4-38の要素データ登録ダイアログを表示させる。その中で、「変更・削除・復帰」ボタンを押すと、図4-34の使用材料の設定ダイアログが表示されるので、「次へ」ボタンを押す。この操作で、図4-44に示される要素データ変更ダイアログが表示される。このダイアログでは、設定された断面の特性が表示されており、先に計算された値と比較する。

要素データ変更											
要素データ		材端データ									
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	11	1117.19995	74.48000	1800.0000	370468.53125	540000.0000	135000.0000	1500.00000	1500.00000
2	有効	G2	63	1176.00000	78.40000	706.85834	79521.56250	39760.78125	39760.7812	636.17249	636.17249

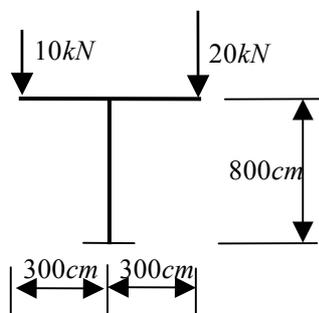
図 4-44 要素データ変更ダイアログで断面性能をチェック

4.6 まとめ

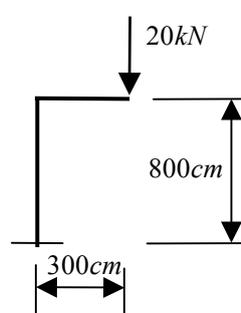
本章では、断面の特性である断面性能について学んだ。断面積、断面一次モーメント、断面二次モーメントの定義、断面の図芯の決定法、また、断面係数について学習した。さらに、実際に長方形断面と円形断面の断面性能を計算した結果と、SPACEで解析した結果とを比較し、その値を検証した。

4.7 問題

問4-1 次に示す構造物について、SPACEを用いて静的応力解析（線形解析）を実行しなさい。また、実際に手を使って解析し、両者の断面内の応力値を比較しなさい。なお、鋼材は、SS400を使用し、部材断面は、□-300x300x6r16を使用するものとする。

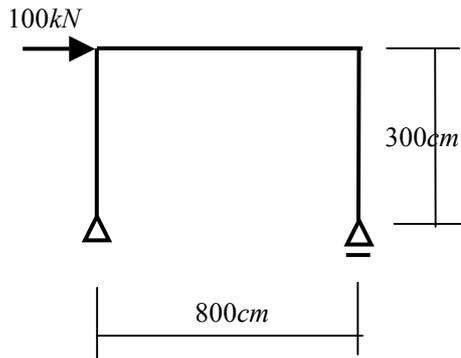


問 4-1

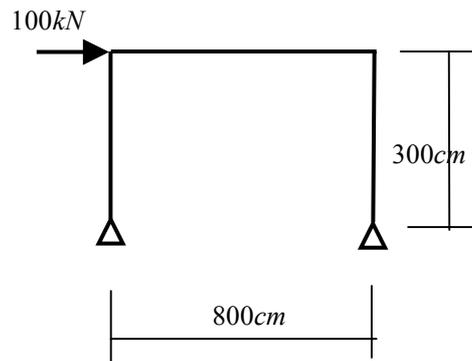


問 4-2

問4-2 次に示す構造物について、SPACEを用いて静的応力解析（線形解析）を実行しなさい。また、実際に手を使って解析し、両者の断面内の応力値を比較しなさい。なお、鋼材は、SS400を使用し、部材断面は、H-400x200x8x13を使用するものとする。



問 4-3



問 4-4

注：SPACEで断面を設定する際、「内部計算値を採用」を選択すること。DB値（データベースの値）を採用すると手計算で求めた断面性能と少し異なるので、断面内の応力が解析値と合わなくなる。