



付1話 はじめに

この付録は、本文に出てきた例題を、解析ソフトの SPACE を用いて数値計算し、答え合わせを行うことを目的としている。SPACE を使用するため、読者の皆さんは、まずは SPACE をダウンロードし、基本的な使用法をマニュアルに従って練習されたい。SPACE の部材モデルは有限要素法を使用し、ティモシェンコ梁でせん断変形を、3次元骨組で軸方向変位を考慮している。従って、テキストの解析結果を検証するためには「1：平面問題、2：軸方向剛性を無限大にする、3：せん断変形を無視する」の3つを指定し、解析解の仮定と同じにしなければならない。また、応力や節点変位を確認するため、「節点の変位や断面力を出力する」にチェックマークを入れる必要がある。以上の指定を次の手続きで行うことにしよう(図1参照)。

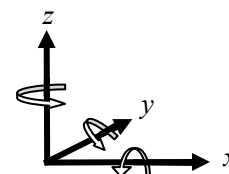


図2 骨組の座標系

- 1：メニューの「I/O データ」→「静的解析用データ」→「静的解析コントロールデータ」を選択し、図1の「静的解析用コントロールデータ」ダイアログを表示させる。その中の解析種別で「2次元解析(X-Z平面)」を選択する(図中の赤丸部)。これで使用する2次元座標系が図2のようになり、回転方向の正は時計回りとなる。

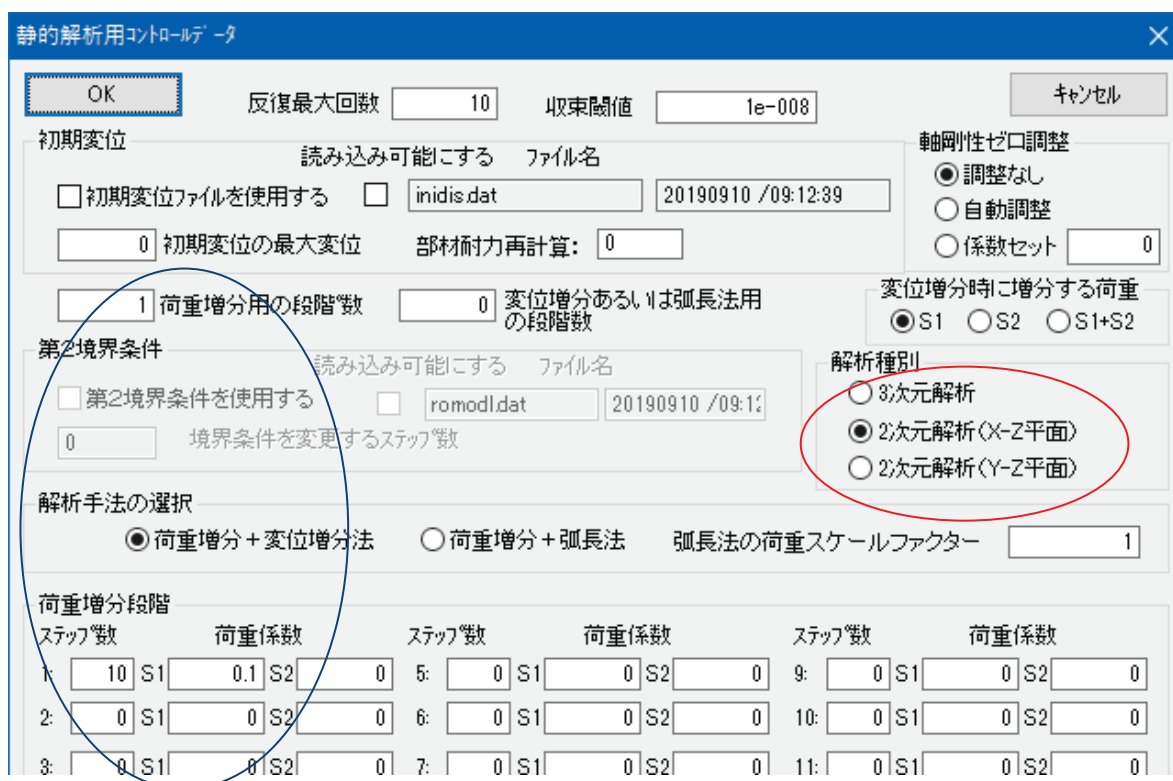


図1 静的解析用コントロールダイアログで2次元解析を指定を指定する

- 2 : メニューの「I/O データ」→「静的解析用データ」→「静的解析条件の選択及び出力コントロールデータ」を選択し、「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る。ここで、「せん断変形を考慮しない」にチェックマークを入れ(赤丸部)、また「SOUTPUT に応力出力」の項で、出力を選択する(青丸部)。

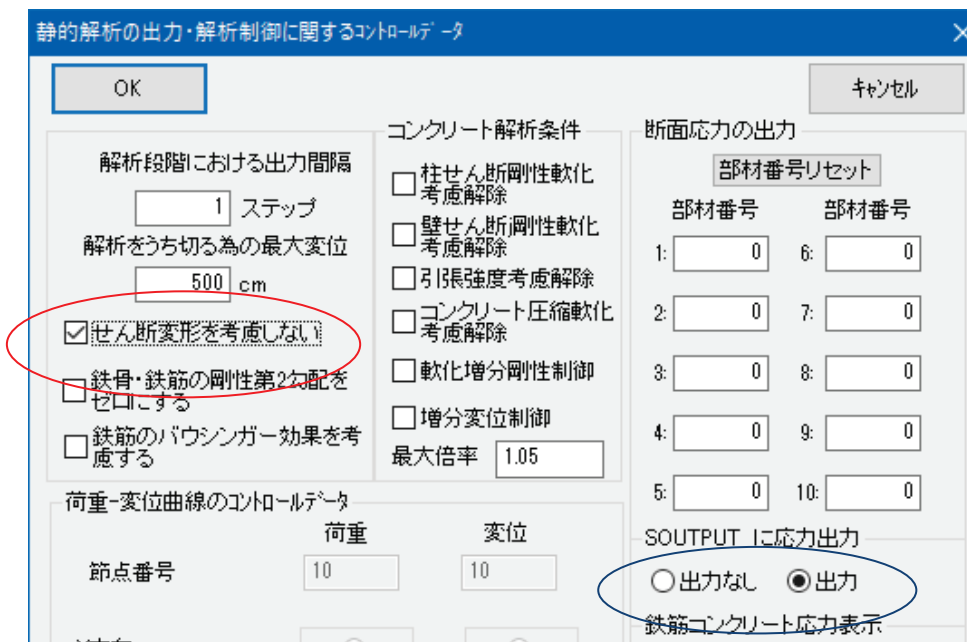


図3 静的解析の出力・解析制御に関するコントロールダイアログで上記2の2つを指定する

- 3 : テキストで用いている理論は、軸方向変位を考慮していない。そのため数値計算では軸方向剛性を無限大にすべきであるが、ここでは断面積を 1000 倍にし、軸方向剛性を大きくすれば良い。その処理方法は、まず解析モデルが構築された後、再度「要素データの設定」をクリックし、「変更・削除、復帰」ボタンを押す。「要素データ変更」ダイアログを表示させて、赤丸部分の断面積を 1000 倍にする。後は、OK ボタンを押し、最後にファイルに書き込む。これで軸方向剛性が圧倒的に大きくなり、ほとんど理論と同じ条件となる。

たわみ角法や固定法では、部材の曲げ剛性を剛比で与える場合がある。通常の断面による断面特性ではこの剛比に合わせた特性を選択できない。そこで、モデルの剛比に合わせて断面二次モーメントを変化させることが必要となる。断面積の変更と同様に、青色部分の断面二次モーメントを変更すれば良い

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)
1	有効	G1	1	20500.0000	7900.0000	83000.367	35.68000	23500.00000	1740.00000
2	有効	C1	1	20500.0000	7900.0000	59000.238	5662.31006	3570.00000	3570.00000

図4 要素データ変更ダイアログで断面積を 1000 倍にする

このテキストの解析モデルを数値計算する際、上記の設定を行い、解析結果の検証を行うことになる。この付録で数値計算した解析モデルに

は全てこの設定が施されている。さらにテキストの静的解析結果を確認し易くするため、図1の青丸部のように荷重を10分割して増分解析を行う。従って、SOUTPUTの応力・変位の出力も10分割で出力される。

SPACEでは、立体骨組を基本としているため、平面問題はx-z平面かもしくはy-z平面を使用するように設計されている。理論解析で用いたx-y平面は使用できないため、ここでは、図2のx-z平面を用いて、理論解の検証を行っている。そのため、理論と同様に下向きに荷重を加えると、得られた曲げモーメントとせん断力の符号が逆となって得られる。ただし、軸力の符号と曲げモーメント図が引張側に描かれることは同じである。

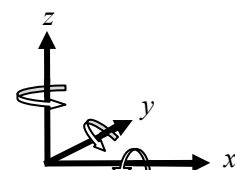


図2 SPACEで使用する骨組の座標系

このテキストでは、赤い四角で囲われた座標系を用いる

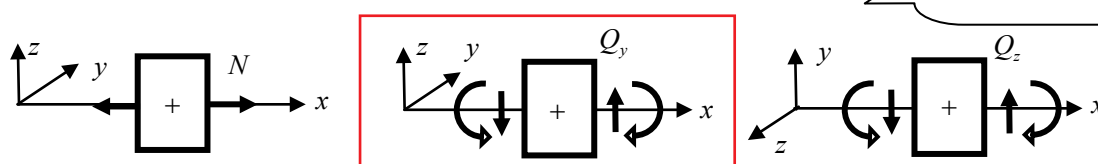


図5(a) SPACEで用いられる立体断面力の符号規則

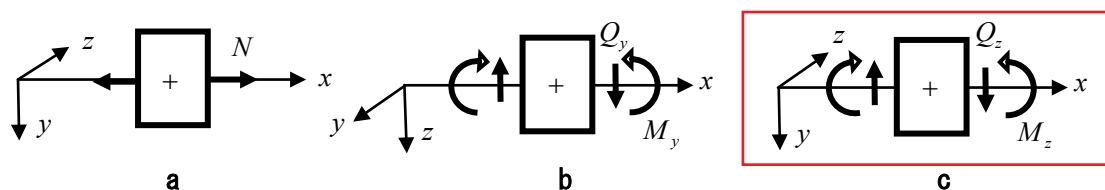


図5(b) 梁理論で用いられるx-y平面における断面力

SPACEを用いて、内部にヒンジのある骨組とトラス構造の応力解析を行うためには、次のような少し複雑な手続きが必要である。次のIとIIで説明しよう。

I : 平面骨組内にヒンジのある構造の構築

例として、スパンが6m、階高4mで梁中央にヒンジのある3ヒンジ門型ラーメンを、SPACEのモデラーで作成する。最初に節点6は剛接合とし、一般の門型ラーメンを構築する。次にヒンジを設定する。操作法を良く理解しよう。

- 1 : 通常操作で、平面門型ラーメンモデルを作成する。
- 2 : 境界条件として、柱脚節点をピン支持とする。
- 3 : 荷重として、梁中央に長期荷重用の鉛直荷重100KNを設定する。

これで、図6に示す門型ラーメンの解析モデルが構築されたわけであるが、一度、設定した情報をファイルに保存しよう。これだけで静的解析が可能であり、弾性解析を実施する。曲げモーメント分布が図7のように得られており、作成したモ

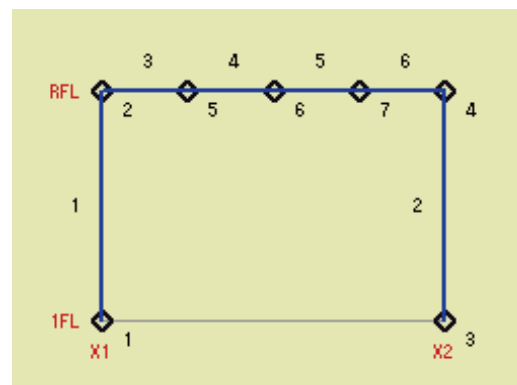


図6 門型ラーメン

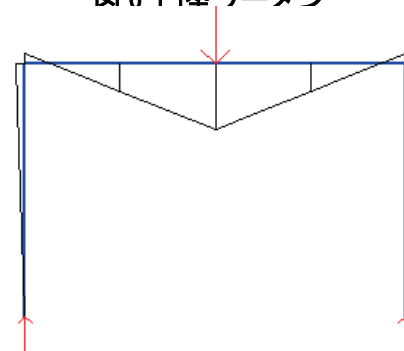


図7 曲げモーメント図

デルが適切であることが分かる。ここまでに各種のエラーが出るようであればマニュアルを参照し、解析パラメータや静的解析結果出力ファイルを見ることで、それらのエラーを取り除いておこう。

次は、いよいよ、節点6のヒンジ部で梁部材を切り離し、節点の同一化を行って、ピン接合モデルを作成する。

4 : ヒンジ節点上に、1つの実節点を挿入する。ここでは、立面図を用いて操作する。まずは「通り芯節点と実節点の切り替え」チップを押し、入力を実節点とする。その後「節点の追加」チップを押し、梁中央の上部位置をクリックして、1つの実節点を割り付ける。操作終了チップを押しした後、節点番号を表示させる。

5 : 「集団による設定」に変更した後、梁作成チップを押し、さらに、梁全体をドラックして囲むと図8の該当する部材情報が示される。両端情報タブで、図6を参照しながら、部材番号5のi端節点番号を6から8に変更する。部材情報ダイアログで「OK」ボタンを押すと、図9のようにヒンジ接合部材が分離されて表示される。

6 : 節点6と8の変位を同一とする操作を行う。「他節点と変位同一化設定」チップを押し、節点自由度の表示を図10のように設定する。ここでは、3つの変位を同一化し、回転角を独立とする。図9で、まず節点8を押し、続いて6を押す。この操作で、最初に押した節点の自由度が同一化される。節点情報の境界条件を表示させると、図11のように、節点8の(x,y,z)方向の変位(u,v,w)が節点6の同方向の変位と同一視されていることが分かる。

7 : 同一化した節点の座標を同じとする。梁での操作と同様に、集団による設定に変更した後、節点追加チップを押し、さらに梁の節点全

節点番号と部材の回転に注意。i 端の節点番号が部材座標系の原点となり、90度の部材回転によって断面二次モーメントが逆になる

部材情報

使用種別	両端情報			
部材番号	i 端節点番号	j 端節点番号	i 端剛域長さ	j 端剛域長さ
3	2	5	0.00	0.00
4	5	6	0.00	0.00
5	8	7	0.00	0.00
6	7	4	0.00	0.00

図8 節点番号の付け替え

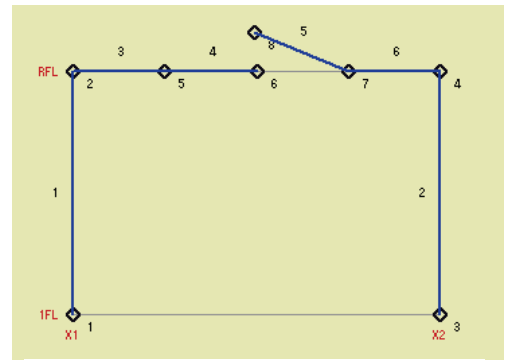


図9 節点が2つに分離したモデル

SPA... 加工

部材: 同一変位節点設定

節点自由度	
節点変位: u(x)	-1
節点変位: v(y)	-2
節点変位: w(z)	-3
回転角: θ_x	0
回転角: θ_y	0
回転角: θ_z	0

図10 ヒンジ作成のための節点の同一視設定

節点情報

座標	局所座標系	境界条件・剛床			静的荷重1		静的荷重2		動的荷重1		動的荷重2		動的
節点番号	変位u(x)	変位v(y)	変位w(z)	回転 θ_x	回転 θ_y	回転 θ_z	剛床番号						
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	-61	-62	-63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

図11 節点情報により、節点6と8が3方向変位同一視されていることを確認する

例えば-61では、負符号は特殊処理、ここでは同一視を意味し、最後の桁番号を除いた数字6は節点番号、最後の番号1はx方向自由度を表す

体をドラックして囲むと該当する節点情報が得られ、そこで、最後に追加した節点の座標を、ヒンジ位置の節点と同じ座標に変更する。

以上の操作で、一つのヒンジが設定できたことになる。テキストの3ヒンジラーメンの数値解析では、このような操作を行って解析モデルを作成している。SPACEによって求めた3ヒンジ門型ラーメンに関する曲げモーメント図が図12に示されている。

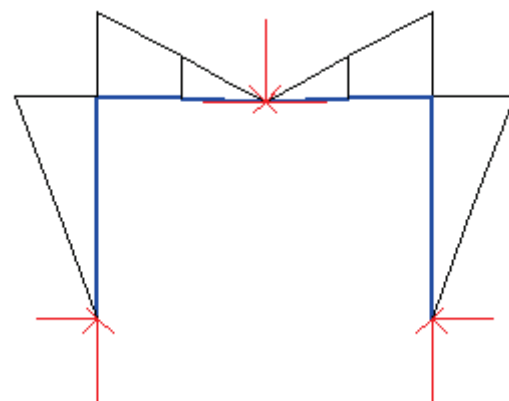


図12 梁中央にヒンジのある門型ラーメンの曲げモーメント図

II：平面トラス構造の解析

トラス構造を応力解析するためには、節点の自由度を6から3に、また平面トラスでは2自由度に変更し、さらに部材が曲げ変形しないために、使用部材の断面二次モーメントをゼロにしなければならない。そのため、境界条件や部材情報を利用して、少し複雑な設定を行う。

トラス構造では、テキストの解析結果を検証するために行う操作「1：平面問題、2：軸方向剛性を無限大にする、3：せん断変形を無視する」の内、1と3の処理を行い、断面積は使用部材の値をそのまま使用する。さらに部材の断面二次モーメントをゼロにする。また応力や節点変位を確認するため、「節点の変位や断面力を出力する」にチェックマークを入れる。

まず、通常の方法で、使用部材の設定と構造物の形状を作成、荷重を設定する。その後、次の順序に従って変更を加える。ここでは例として図13の平面トラス構造を用いて、操作法を示す。

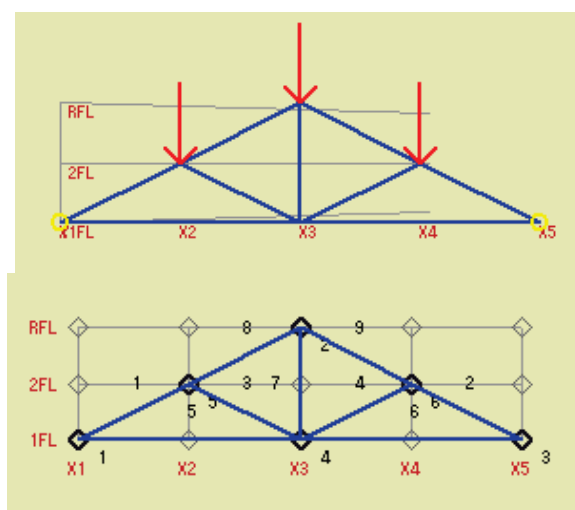


図13 平面トラス構造

1：節点の回転自由度を拘束する

各種の方法があるが、最も簡単な方法は、図14のように境界条件を設定し、構造物全体を囲い、全節点の境界に適用する。この操作を行うために、まず立面図で「実節点、集団による設定」に変更する。次に境界条件の登録ボタンを押し、図14の境界設定ダイアログで、図のように3方向の回転拘束指定を行う。続いて立面図でトラス構造全体を閉曲線で囲み、全節点に上記の境界条件を加える。この操作で、全節点の回転方向変位が拘束されたことになる。

2：続いて、支持点の境界を設定する

ここでは、節点1と3に通常の方法で、各々ピン支持とローラー支持の境界条件を指定する。節点の拘束状態を確認するために、図15の節点情報の境界条件を表示させる。同図中の赤丸のように、全節

点で、(x,y,z)方向の変位($\theta_x, \theta_y, \theta_z$)が拘束されているが分かる。

座標	局所座標系	境界条件・剛床	静的荷重1	静的荷重2	動的荷重1	動的荷重2	動的荷重3
節点番号	変位u(x)	変位v(y)	変位w(z)	回転 θ_x	回転 θ_y	回転 θ_z	剛床番号
1	-1	0	-1	-1	-1	-1	0
2	0	0	0	-1	-1	-1	0
3	0	0	-1	-1	-1	-1	0
4	0	0	0	-1	-1	-1	0
5	0	0	0	-1	-1	-1	0
6	0	0	0	-1	-1	-1	0

図15 トラス構造における全節点の境界条件(-1:拘束、0:自由)

3: 使用トラス部材の断面二次モーメントをゼロに設定する

次に、トラスに使用されている部材の断面二次モーメントを、要素データ変更ダイアログを用いて、図16のようにゼロに変更する。

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軸断面二次モーメント (cm ⁴)	z軸断面二次モーメント (cm ⁴)
1	有効	G1	1	20500.0000	7900.0000	146.30000	55075.85938	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

図16 要素データ変更ダイアログで断面二次モーメントをゼロにする

全ての情報をファイルに出力し、静的解析を実施する。正常終了した後、メニューの「表示」→「静的解析の途中経過の表示」を選択すると、SOUTPUT ファイルがメモ帳で開かれ、解析経過が表示される。ここでは、最初に基本的解析用のデータが出力されており、次に使用する要素モデルデータでは、使用部材の断面特性が表示されている。その中で、使用する部材要素の断面特性が示されており、特にトラス構造では、以下のように、断面二次モーメントがゼロに設定されている。



図14 トラス構造の解析のための境界条件設定

SPACE による表示の単位は、 N_x, Q_y, Q_z では kN、 M_x, M_y, M_z では kNcm である。注意されたい。

要素モデルデータ							
	E	G	A	Ix	Iy	Iz	
1	1	0.2050E+05	0.7900E+04	0.1463E+03	0.5508E+05	0.0000E+00	0.0000E+00
部材番号	部材モデル	Nx	Qy	Qz	Mx	My	Mz
1	1	-33.5411	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		-33.5411	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	1	-33.5412	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		-33.5412	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
:							
節点番号	u (cm)	v (cm)	w (cm)	θ_x	θ_y	θ_z	
1	0.00000000E+00	0.00000000E+00	0.00000000E+00	0.00000000E+00	0.00000000E+00	0.00000000E+00	
2	0.30008748E-02	0.00000000E+00	-0.12991537E-01	0.00000000E+00	0.00000000E+00	0.00000000E+00	

上記の断面力と変位は、先に設定したように10回目の解析結果である。