

この文書は、立体骨組の応力計算を行うプログラムの Python のソースコード `stiff3D.py` の内容について解説するものです。

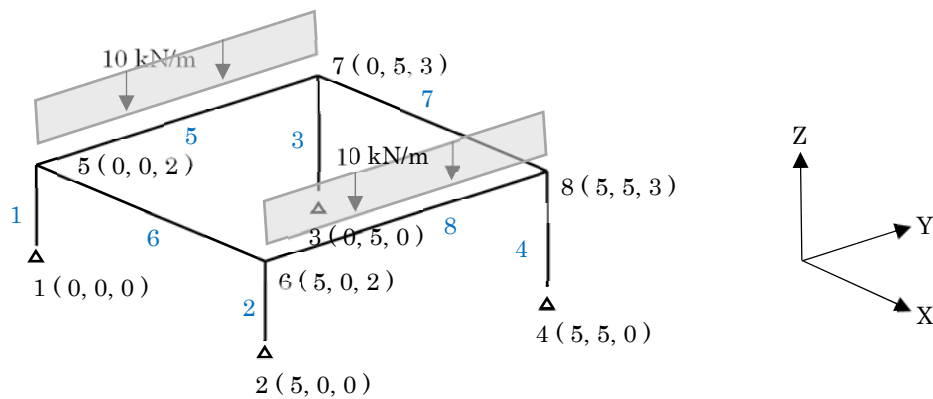
このプログラムを実行するためには Python の実行環境を整える必要がありますが、これについては説明を省略しています。小社のウェブサイト [https://www.structure.jp/py\\_install.html](https://www.structure.jp/py_install.html) などを参照してください。

## ● 概要

このプログラムでは、入力データの読み込み、ならびに計算結果の出力にマイクロソフト製の Excel を使用していますが、ファイルの拡張子は\*.xlsx になります。したがって Excel 2010 以降のプログラムが別途必要です。

初期設定では、入力用ファイル名が `data.xlsx`、出力用ファイル名が `result.xlsx` で、これらが `stiff3D.py` と同じフォルダ内にあることを前提にしています(ファイルの場所と名前は変更可能)。

解凍されたファイルの中に `data.xlsx` がありますので、これを開いてください。ここにはサンプルとして、以下のような骨組のデータが書き込まれています。



節点番号 1-8 : ( X 座標, Y 座標, Z 座標 ) 単位 m

部材番号 1-4 : □ - 200 x 200 x 16

部材番号 5-8 : H - 300 x 150 x 6.5 x 9

上記のファイルをいったん閉じてから `stiff3D.py` を実行してみてください。コンソールに「正常終了」と表示されると、同じフォルダ内に `result.xlsx` というファイルが作成されます。これを開くと、上記の骨組の計算結果が書き込まれていることが確認できるはずです。

## ● 使用する座標系について

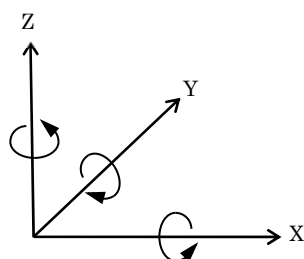
具体的な説明に入る前に、ここで使用している座標系について簡単に解説しておきます。

### 全体座標系

節点座標あるいは節点荷重をあらわす際に使用される座標系で、ここでは「右手座標系」と呼ばれるものを採用します。これは、右手の親指・人差し指・中指を 90 度に交差させて三次元座標系を作った時、親指が X 軸・人差し指が Y 軸・中指が Z 軸になり、指先が正方向を指示している、という状態です。

さらに、回転方向については「右ネジの原理」を使用します。これは、XYZ 座標軸の正方向に向けてネジを押し込む時、ネジを回す方向が正になる、ということです。

下図に示した矢印方向が全体座標軸の正方向です。



### 部材座標系

部材荷重あるいは部材応力をあらわす際に使用される座標系です。

部材の両端にはそれぞれ一個の節点が存在しますが、そのうち一方を「始端」、他方を「終端」と呼びます。

部材座標系は、部材の始端から終端に向かうベクトルを「部材 x 軸」とし、この x 軸と直交する平面上に、右手座標系に基づいて y 軸・z 軸を定めます(部材座標系の名称は小文字のアルファベットで表記する)。

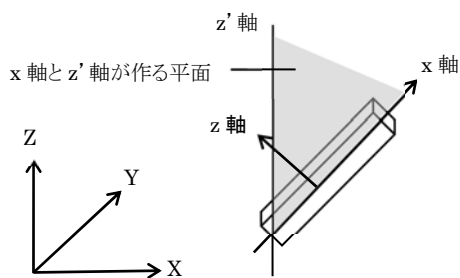
y 軸・z 軸は部材断面の強軸あるいは弱軸方向になります。以下に、座標軸の定め方について本プログラムで使用している標準的なルールを紹介しておきます。

#### ① 部材 x 軸が全体 Z 軸と平行でない場合

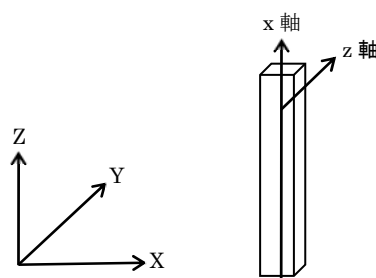
始端を通る全体 Z 軸と平行な鉛直線 z' 軸を仮想し、部材 x 軸と z' 軸で形成される平面上に部材 z 軸を定めます。この時、部材 z 軸の正方向は、全体 Z 軸の正方向と一致させ、さらに右手座標系に基づいて部材 y 軸を定めます(下図左)。

#### ② 部材 x 軸が全体 Z 軸と平行な場合

部材 z 軸を全体 Y 軸と平行に定めます。正方向は全体 Y 軸の正方向と一致させ、さらに右手座標系に基づいて部材 y 軸を定めます(下図右)。



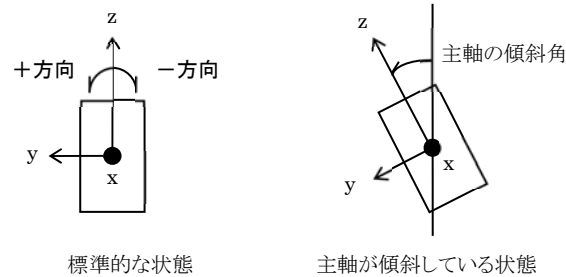
① 部材 x 軸が基準 Z 軸と平行でない部材



② 部材 x 軸が基準 Z 軸と平行な部材

しかし上のような決め方をしても、部材の主軸と部材座標軸が一致しないことがあります。たとえば H 形鋼の水平梁の場合、上のルールに従えば z 軸は基準 Z 軸に平行でウェブは鉛直面上にあることになりますが、そうではなく、鉛直面に対してウェブが傾いているような場合です。

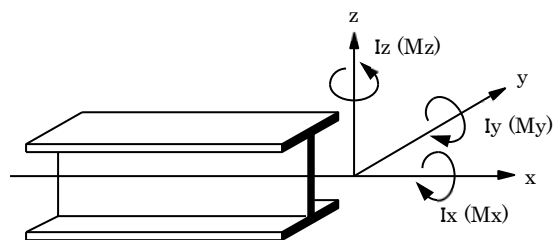
この場合はウェブの回転角を個別に入力することになりますが、入力シート上では、これを「主軸の回転角」と呼んでいます。この値は部材 x 軸の右ネジ方向を正として入力します。下図に例を示します。



部材の  $y$  軸と  $z$  軸は断面の強軸および弱軸方向です。どちらを強軸方向とするかは任意ですが、一般には  $y$  軸回り ( $xz$  面内 =  $x$  軸と  $z$  軸で作られる平面内) を強軸とします。

以下に、H 形鋼の水平梁を例とした断面 2 次モーメント  $I$  と曲げモーメント  $M$  の取り方を例示します。

ここにある  $I_x$  および  $M_x$  が材軸回りの捩り成分、 $I_y$  および  $M_y$  が強軸回りの曲げ成分、 $I_z$  および  $M_z$  が弱軸回りの曲げ成分になります。



## ● 入力ファイル \*.xlsx

ここには「節点」「部材」「節点荷重」「部材荷重」の 4 つのワークシートがあります。

### 節点

節点情報を入力するシート。1 行目はヘッダーで、2 行目以降に節点数分のデータを入力します。

#### 1 列目 節点番号

節点を識別するための値で、必ずしも連続した番号である必要はありませんが、一般には 1 から始まる番号を連続的に振ります。

#### 2-4 列目 X 座標 Y 座標 Z 座標 (m)

各節点の座標値。

#### 5-7 列目 X 方向 Y 方向 Z 方向

基準軸方向に関する節点の拘束状態(支点)をあらわすもので、その方向が拘束されている場合は 1 とします。拘束がない場合は 0 または空白とします。

#### 8-10 列目 X 軸回り Y 軸回り Z 軸回り

基準軸回りの節点の拘束状態(支点)をあらわすもので、その方向が拘束されている場合は 1 とします。拘束がない場合は 0 または空白とします。

### 部材

部材情報を入力するシート。1 行目はヘッダーで、2 行目以降に部材数分のデータを入力します。

#### 1 列目 部材番号

部材を識別するための値で、必ずしも連続した番号である必要はありませんが、一般には 1 から始まる番号を連続的に振ります。

#### 2-3 列目 始端番号 終端番号

部材の両側の節点番号（「節点」シートで指定したもの）。どちらを始端(i 端)または終端(j 端)とするかは任意。

#### 4 列目 主軸の回転角

主軸の回転角(詳細は前述の「部材座標」の説明を参照)。単位は「度」です。

#### 5 列目 断面積 $A$ (cm<sup>2</sup>)

#### 6-8 列目 断面 2 次モーメント $I$ (cm<sup>4</sup>)

部材 x 軸回りの  $I_x$ 、y 軸回りの  $I_y$ 、z 軸回りの  $I_z$ 。

#### 9-10 列目 セン断断面積 $A_s$ (cm<sup>2</sup>)

部材 xz 面内および xy 面内におけるセン断断面積。セン断変形を考慮しない場合は省略可。

#### 11-12 列目 材料定数 (N/mm<sup>2</sup>)

ヤング係数  $E$  ・セン断弾性係数  $G$  を N/mm<sup>2</sup> 単位で入力。セン断剛性を無視する場合は  $G$  は省略可。

#### 13-18 列目 接合部の指定

部材 x 軸回り(振り方向)・y 軸回り・z 軸回りの始端・終端の接合状態で、ピン接合の場合は 1 とする。省略された場合は剛接合。

#### 19-22 列目 剛域長 (m)

xz 面内または xy 面内の始端・終端の剛域長。

### 節点荷重

節点荷重の情報を入力するシート。1 行目はヘッダーで、2 行目以降に(節点荷重がある場合は)荷重数分のデータを入力します。

#### 1 列目 節点番号

荷重が作用する節点番号（「節点」シートで指定したもの）。

#### 2-4 列目 節点荷重 (kN)

基準軸の X 方向・Y 方向・Z 方向に作用する荷重。

#### 5-7 列目 節点モーメント (kN・m)

基準軸の X 軸・Y 軸・Z 軸回りに作用するモーメント。

### 部材荷重

部材荷重(部材に作用する中間荷重)の情報を入力するシート。1 行目はヘッダーで、2 行目以降に(部材荷重がある場合は)荷重数分のデータを入力します。なお、節点荷重・部材荷重のいずれかの指定が最低 1 つ必要です。

#### 1 列目 部材番号

荷重が作用する部材番号（「部材」シートで指定したもの）。

#### 2-6 列目 xz 面内の部材荷重

xz 面内(y 軸回りの)荷重項の値。始端の固定端曲げ  $C_i$  ・終端の固定端曲げ  $C_j$  ・単純梁の中央曲げ  $M_0$  ・始端の固定端せん断力  $Q_i$  ・終端のせん断力  $Q_j$ 。曲げについては kN・m、その他は kN 単位。

7-11 列目 xy 面内の部材荷重

xy 面内(z 軸回り)の荷重項の値で、内容は上記に同じ。

12-13 列目 軸方向の部材荷重

始端の軸力  $N_i$  ・終端の軸力  $N_j$  の値を kN 単位で入力。

## ● 出力ファイル \*.xlsx

ここには「節点変位」「部材応力」の 2 つのワークシートがあります。

### 節点変位

1 列目 節点番号

「節点」シートで指定されたもの。

2-4 列目 変位量 (mm)

基準軸 X 方向・Y 方向・Z 方向の節点変位量。

5-7 列目 回転変位量 (rad)

基準 X 軸・Y 軸・Z 軸回りの回転変位量。

### 部材応力

1 列目 部材番号

「部材」シートで指定されたもの。

2-3 列目 軸力 (kN)

始端の軸力  $N_i$  ・終端の軸力  $N_j$

4-5 列目 x 軸回りの曲げ (kN・m)

x 軸回り(部材の捩り成分)の始端の曲げ  $xM_i$  ・終端の曲げ  $xM_j$

6-10 列目 xz 面内の応力

xz 面内(y 軸回り)の始端の曲げ  $xzM_i$  ・中央部の曲げ  $xzM_c$  ・終端の曲げ  $xzM_j$  ・始端のせん断力  $xzQ_i$  ・終端のせん断力  $xzQ_j$ 。曲げについては kN・m、せん断力は kN 単位。

11-15 列目 xy 面内の応力

xy 面内(z 軸回り)の始端の曲げ  $xyM_i$  ・中央部の曲げ  $xyM_c$  ・終端の曲げ  $xyM_j$  ・始端のせん断力  $xyQ_i$  ・終端のせん断力  $xyQ_j$ 。曲げについては kN・m、せん断力は kN 単位。

ここでは Stiff3D という名称のクラスを作っていますので、以下、その内容について簡単に解説します。

## ● 初期化メソッド

・ `__init__(inp_path = 'data.xlsx', out_path = 'result.xlsx')`

inp\_path : 入力ファイル(\*.xlsx)のパスを `stiff3D.py` からの相対パス、または絶対パスで指定する。省略時は `stiff3D.py` と同じフォルダ内にある `data.xlsx`

out\_path : 出力ファイル(\*.xlsx)のパスを `stiff3D.py` からの相対パス、または絶対パスで指定する。省略時は `stiff3D.py` と同じフォルダ内にある `result.xlsx`

### ● プロパティ

node[i][j]: 節点情報を格納する二次元リスト

要素 j の値は以下の通り

- [0]: 節点番号  $\geq 1$
- [1]: X 座標 (cm) 入力値は m
- [2]: Y 座標 (cm) 入力値は m
- [3]: Z 座標 (cm) 入力値は m
- [4]: X 方向が拘束されている場合は 1
- [5]: Y 方向が拘束されている場合は 1
- [6]: Z 方向が拘束されている場合は 1
- [7]: X 軸回りが拘束されている場合は 1
- [8]: Y 軸回りが拘束されている場合は 1
- [9]: Z 軸回りが拘束されている場合は 1

以下は計算結果

- [10]: X 方向の変位量 (mm)
- [11]: Y 方向の変位量 (mm)
- [12]: Z 方向の変位量 (mm)
- [13]: X 軸回りの変位量 (rad)
- [14]: Y 軸回りの変位量 (rad)
- [15]: Z 軸回りの変位量 (rad)

memb[i][j]: 部材情報を格納する二次元リスト

要素 j の値は以下の通り

- [0]: 部材番号  $\geq 1$
- [1]: 始端の節点番号  $\geq 1$
- [2]: 終端の節点番号  $\geq 1$
- [3]: 主軸の回転角 (rad) 入力値は角度
- [4]: 断面積 ( $\text{cm}^2$ )
- [5]: x 軸回りの断面 2 次モーメント  $I_x$  ( $\text{cm}^4$ )
- [6]: y 軸回りの断面 2 次モーメント  $I_y$  ( $\text{cm}^4$ )
- [7]: z 軸回りの断面 2 次モーメント  $I_z$  ( $\text{cm}^4$ )
- [8]: xz 面内のせん断断面積 ( $\text{cm}^2$ ) せん断変形を考慮する場合
- [9]: xy 面内のせん断断面積 ( $\text{cm}^2$ ) せん断変形を考慮する場合
- [10]: ヤング係数 ( $\text{kN/cm}^2$ ) 入力値は  $\text{N/mm}^2$
- [11]: せん断弾性係数 ( $\text{kN/cm}^2$ ) 入力値は  $\text{N/mm}^2$

- [ 12 ] : 始端 x 軸回りがピンの場合は 1
- [ 13 ] : 終端 x 軸回りがピンの場合は 1
- [ 14 ] : 始端 y 回りがピンの場合は 1
- [ 15 ] : 終端 y 軸回りがピンの場合は 1
- [ 16 ] : 始端 z 回りがピンの場合は 1
- [ 17 ] : 終端 z 軸回りがピンの場合は 1
- [ 18 ] : xz 面内始端の剛域長 (cm) 入力値は m
- [ 19 ] : xz 面内終端の剛域長 (cm) 入力値は m
- [ 20 ] : xy 面内始端の剛域長 (cm) 入力値は m
- [ 21 ] : xy 面内終端の剛域長 (cm) 入力値は m

以下は計算結果

- [ 22 ] : 始端の軸力 (kN)
- [ 23 ] : 終端の軸力 (kN)
- [ 24 ] : 始端の x 軸回りの曲げモーメント (kN.m)
- [ 25 ] : 終端の x 軸回りの曲げモーメント (kN.m)
- [ 26 ] : 始端の y 軸回りの曲げモーメント (kN.m)
- [ 27 ] : 中央部の y 軸回りの曲げモーメント (kN.m)
- [ 28 ] : 終端の y 軸回りの曲げモーメント (kN.m)
- [ 29 ] : 始端の xz 面内のせん断力 (kN)
- [ 30 ] : 終端の xz 面内のせん断力 (kN)
- [ 31 ] : 始端の z 軸回りの曲げモーメント (kN.m)
- [ 32 ] : 中央部の z 軸回りの曲げモーメント (kN.m)
- [ 33 ] : 終端の z 軸回りの曲げモーメント (kN.m)
- [ 34 ] : 始端の xy 面内のせん断力 (kN)
- [ 35 ] : 終端の xy 面内のせん断力 (kN)

node\_load[ i ][ j ] : 節点荷重情報を格納する二次元リスト

要素 j の値は以下の通り

- [ 0 ] : 荷重が作用する節点番号  $\geq 1$
- [ 1 ] : X 方向の荷重 (kN)
- [ 2 ] : Y 方向の荷重 (kN)
- [ 3 ] : Z 方向の荷重 (kN)
- [ 4 ] : X 軸回りの曲げモーメント (kN.m)
- [ 5 ] : Y 軸回りの曲げモーメント (kN.m)
- [ 6 ] : Z 軸回りの曲げモーメント (kN.m)

`memb_load[i][j]`: 部材荷重情報を格納する二次元リスト

要素 `j` の値は以下の通り

[0]: 荷重が作用する部材番号  $\geq 1$

[1]: xz 面内の始端の固定端モーメント (kN.cm) 入力値は kN.m

[2]: xz 面内の終端の固定端モーメント (kN.cm) 入力値は kN.m

[3]: xz 面内の単純梁の中央モーメント (kN.cm) 入力値は kN.m

[4]: xz 面内の始端のせん断力 (kN)

[5]: xz 面内の終端のせん断力 (kN)

[6]: xy 面内の始端の固定端モーメント (kN.cm) 入力値は kN.m

[7]: xy 面内の終端の固定端モーメント (kN.cm) 入力値は kN.m

[8]: xy 面内の単純梁の中央モーメント (kN.cm) 入力値は kN.m

[9]: xy 面内の始端のせん断力 (kN)

[10]: xy 面内の終端のせん断力 (kN)

[11]: 始端の軸力 (kN)

[12]: 終端の軸力 (kN)

`node_index[i]`: 入力された節点番号 `i` に対応する `node[]` の index

`memb_index[i]`: 入力された部材番号 `i` に対応する `memb[]` の index

`error`: 計算実行時に検出されたエラーをあらわす文字列

## ● メソッド

- `add_node ( id = 0, x = 0, y = 0, z = 0, x_fix = 0, y_fix = 0, z_fix = 0, rx_fix = 0, ry_fix = 0, rz_fix = 0 )`

入力ファイルによらず、節点情報 `node[]` を直接設定する場合に使用。

引数の意味についてはソースコードのコメントを参照。

- `add_all_node ( list2 )`

入力ファイルから節点情報 `node[]` を取得する。

`list2` は Excel から読み込まれたセルの値を格納した二次元リスト。`list[0]` はヘッダーの文字列。

- `add_memb ( id = 0, node1 = 0, node2 = 0, code = 0, a = 0, ix = 0, iy = 0, iz = 0,`

`xz_as = 0, xy_as = 0, e = 0, g = 0, x_pin1 = 0, x_pin2 = 0, y_pin1 = 0, y_pin2 = 0,`

`z_pin1 = 0, z_pin2 = 0, xz_rigid1 = 0, xz_rigid2 = 0, xy_rigid1 = 0, xy_rigid2 = 0 )`

入力ファイルによらず、部材情報 `node[]` を直接設定する場合に使用。

引数の意味についてはソースコードのコメントを参照。

- `add_all_memb ( list2 )`

入力ファイルから部材情報 `memb[]` を取得する。

`list2` は Excel から読み込まれたセルの値を格納した二次元リスト。`list[0]` はヘッダーの文字列。

- `add_node_load ( num = 0, px = 0, py = 0, pz = 0, mx = 0, my = 0, mz = 0 )`



入力ファイルによらず、節点荷重情報 `node_load[ ]` を直接設定する場合に使用。

引数の意味についてはソースコードのコメントを参照。

- ・ `add_all_node_load ( list2 )`

入力ファイルから節点荷重情報 `node_load[ ]` を取得する。

`list2` は Excel から読み込まれたセルの値を格納した二次元リスト。`list[0]` はヘッダーの文字列。

- ・ `add_memb_load ( num = 0, xz_ci = 0, xz_cj = 0, xz_m0 = 0, xz_qi = 0, xz_qj = 0, xy_ci = 0, xy_cj = 0, xy_m0 = 0, xy_qi = 0, xy_qj = 0, ni = 0, nj = 0 )`

入力ファイルによらず、部材荷重情報 `memb_load[ ]` を直接設定する場合に使用。

引数の意味についてはソースコードのコメントを参照。

- ・ `add_all_memb_load ( list2 )`

入力ファイルから部材荷重情報 `memb_load[ ]` を取得する。

`list2` は Excel から読み込まれたセルの値を格納した二次元リスト。`list[0]` はヘッダーの文字列。

- ・ `calc_main ( )`

応力計算の制御を行う。応力計算の実行時に呼び出される。

戻り値 1：正常終了， 0：異常終了

- ・ `global_matrix ( free, diag_num, max_free )`

全体剛性マトリクスの作成。

戻り値 `band[ ]` 全体剛性マトリクスのバンドマトリクス

`free[i][j]`：節点 `node[i]` の自由度番号 ( $j = 0$  : X 方向,  $1$  : Y 方向,  $2$  : Z 方向,  $3$  : X 軸回り,  $4$  : Y 軸回り,  $5$  : Z 軸回り)

`diag_num[i]`：全体剛性マトリクスの  $i$  列の対角要素の自由度番号

`max_free`：全体剛性マトリクスの列数

- ・ `memb_matrix ( m )`

部材 `memb[m]` の部材剛性マトリクスの作成。

戻り値 `stiff[12][12]` 部材剛性マトリクス

- ・ `memb_stiff ( l, e, g, sa, gi, rgd1, rgd2, pin1, pin2 )`

部材剛性マトリクスの各要素の値を計算。

引数の意味についてはソースコードのコメントを参照。

戻り値 `fk[10]` 部材剛性のベクトル

- ・ `trans_matrix ( m )`

部材 `memb[m]` の座標変換マトリクスの作成。

戻り値 `trans[12][12]` 座標変換マトリクス

- ・ `pre_gauss ( a, diag_num, num_max )`

バンドマトリクス `a[ ]` を上三角マトリクスに変換。

戻り値 1：正常終了， 0：異常終了

`diag_num[i]`：バンドマトリクスの  $i$  列の対角要素の自由度番号

- num\_max: バンドマトリクスの列数 - 1
- solve\_gauss ( a, diag\_num, num\_max, r )  
 ガウスの消去法(後退代入)による連立方程式の解法。  
 戻り値 result[]: 解のベクトル  
 a[]: バンドマトリクス  
 diag\_num[i]: バンドマトリクスの i 列の対角要素の自由度番号  
 num\_max: バンドマトリクスの列数 - 1  
 r[]: 係数ベクトル
  - load\_vector ( free, num\_free, cmq\_index )  
 外力ベクトルの作成。  
 戻り値 vect[] 外力ベクトル  
 free[i][j]: 節点 node[i] の自由度番号 ( j = 0 : X 方向, 1 : Y 方向, 2 : Z 方向,  
 3 : X 軸回り, 4 : Y 軸回り, 5 : Z 軸回り )  
 num\_free: 外力ベクトルの要素数  
 cmq\_index[i]: memb[i] に存在する部材荷重 memb\_load[] の index (指定がない場合は -1 )
  - cmq\_vector ( n , m , xyz )  
 memb\_load[ n ] memb[ m ] の荷重項の値。  
 xyz = 0 : xz 面内, 1 : xy 面内  
 戻り値 cmq[i] 荷重項のベクトル ( i = 0 : Ci, 1 : Cj, 2 : M0, 3 : Qi, 4 : Qj )
  - set\_node\_disp ( free, disp )  
 全節点の変位量を node[] に格納。  
 戻り値 なし  
 free[i][j]: 節点 node[i] の自由度番号 ( j = 0 : X 方向, 1 : Y 方向, 2 : Z 方向,  
 3 : X 軸回り, 4 : Y 軸回り, 5 : Z 軸回り )  
 disp[]: 全自由度の変位ベクトル
  - set\_memb\_stress ( free, disp, cmq\_index )  
 全部材の応力を memb[] に格納。  
 戻り値 なし  
 free[i][j]: 節点 node[i] の自由度番号 ( j = 0 : X 方向, 1 : Y 方向, 2 : Z 方向,  
 3 : X 軸回り, 4 : Y 軸回り, 5 : Z 軸回り )  
 disp[]: 全自由度の変位ベクトル  
 cmq\_index[i]: memb[i] に存在する部材荷重 memb\_load[] の index (指定がない場合は -1 )
  - pre\_check()  
 入力データの検証。  
 戻り値 1 : エラーなし, 0 : エラーあり
  - memb\_length ( m, result )

部材 `memb[m]` の諸元。

戻り値 (`a1, x1, y1, z1`) `a1`: 部材の長さ, `x1・y1・z1`: `x・y・z` 軸に関する部材の方向余弦

- ・ `read_data_xlsx()`

入力ファイル `inp_path (*.xlsx)` からデータを読み込む。

- ・ `write_result_xlsx()`

出力ファイル `out_path (*.xlsx)` に計算結果を書き込む。