

連続梁の有限要素解析

岩熊哲夫 (2013 年 12 月 21 日)

1 概要

32 要素 33 節点 66 自由度の直線連続梁の有限要素解析。

2 インストール

普段使いたいディレクトリに実行ファイル '**CBeam.exe**' を置いて実行するだけ。

3 モデルの作り方と解析

3.1 設定状況の確認

設定状況は一番上の白地の窓で確認。

梁中の青丸と赤丸: 現在着目中なのが赤丸, それ以外は青丸。

梁の丸直下の三角: 単純支持が設定されている。

梁の丸を挟む 2 本縦棒: 回転固定支持が設定されている。

梁の丸を貫く縦棒: 固定支持が設定されている。両端のみ。

梁の丸を囲む大丸: ヒンジが挿入されている。両端以外。

梁直上の縦棒: 集中せん断力が設定されている。大きさは反映されない。

梁直上の円: 集中モーメントが設定されている。大きさは反映されない。

梁上方の青横棒: 分布外力が設定されている。棒の高さが相対的な大きさ。

梁直下の縦棒: バネ支持が設定されている。

梁下方の青横棒: 1 以外の曲げ剛性比が設定されている。棒の高さが相対的な大きさ。

3.2 境界条件等の設定

次の四つのボタンのどれかを押すことから始める。あるいは, 例えば節点 5 を単純支持に設定することから始める場合, 白地窓の節点 5 のすぐ下にマウスを置いて, コントロールキーを押したまま左クリック。 L は一要素長。つまり梁全長の $1/32$ 。 EI はある基準となる曲げ剛性。ただし, ある条件を設定中 (小窓の表示中) はそれ以外の設定はできず, 解析もできない (ボタンがアクティブにはならない)。各ボタンの機能は以下の通り。

Kinematic C. 節点を選択し、「単純支持」「回転のみ固定」「固定（両端のみ）」「バネ支持とバネ定数 (kL^3/EI)」の条件を設定。「ヒンジ（両端を除く）」も挿入可。**Set** で設定, **Reset** で設定解除。バネ定数を入力したあとの Enter キーでも設定可。

Loading C. 節点を選択し,「集中せん断力 (S^L/EI)（下向き正）」「集中モーメント (M^L/EI)（反時計回り正）」を **Set** で設定。設定解除は「0」設定。荷重の値を入力したあとの Enter キーでも設定可。

Distributed Load 外力を分布させたい要素の両端の節点を選択し,「分布せん断力 (q^L/EI)（下向き正）」を **Set** で設定。設定解除は「0」設定。荷重の値を入力したあとの Enter キーでも設定可。

Rigidity 基準となる曲げ剛性 EI に対する「比」を 1 以外に設定させたい要素の両端の節点を選択し, その比を **Set** で設定。設定解除は「1」の設定。剛性比の値を入力したあとの Enter キーでも設定可。

データリセット メイン窓左下の **L = Element Length, EI = Common Bending Rigidity** をダブルクリック。確認有。

当然だが, 単純支持・固定節点に集中せん断力は載らないし, ヒンジのある節点や固定・回転固定節点に集中モーメントは載らない。その逆も然り。回転固定・モーメント载荷節点にヒンジは挿入できない。

3.3 マウス操作でちょっとだけ条件設定

白地の設定状況表示窓上でのマウス左右クリックで, 条件のコピーが可。

- 梁を示す線のちょっと下で「右クリック」すると, その最寄の節点の支持条件を一旦記憶。その後, 別の節点付近での「左クリック」で, その一旦記憶してあった支持条件を最寄節点にコピー。不支持節点で記憶してコピーすれば, 支持条件のクリア。
- 同様の操作を梁を示す線のちょっと上でやれば, 集中力・集中モーメント条件がコピー。不载荷節点で記憶してコピーすれば, 载荷条件のクリア。
- 同様の操作をもっと上の分布外力の青横棒がある付近でやれば, 分布外力条件を 1 要素毎にコピー。不载荷要素で記憶してコピーすれば, 载荷条件のクリア。
- 同様の操作を梁を示す線のもっと下の曲げ剛性の青横棒がある付近でやれば, 曲げ剛性を 1 要素毎にコピー。

左クリックをする際にコントロールキーを押していれば, コピー後にそれぞれの設定小窓が現れるので, コピー直後の値の変更が容易。

3.4 解析実行と結果表示および終了

解析については以下の通り。

Solve 解析実行し、下の三つの窓に境界条件等と変位および曲げモーメント図とせん断力図を表示。結果表示窓の中でのダブルクリックでも実行できる。別窓に応力も表示。変位は節点のたわみとたわみ角の両方を利用。有限要素法でどうして正確な曲げモーメント図とせん断力図が求められているか知らない人は、インターネット上の拙著「鬆徒労苦衷有迷禍荷苦痛」参照。旧版で現れる数値結果表示窓は廃止。

End このプログラムを終わる。右上の ☐ でも同。一度だけ確認有り。

応力表示窓 では節点の選択と描画倍率を設定。断面は矩形とし、黒が直応力で青がせん断応力。各分布は

$$\frac{\sigma}{\sigma_Y} = \frac{ML}{EI} \frac{1}{\sigma_Y/E} \frac{64\sqrt{3}}{\lambda} \left(\frac{y}{h}\right), \quad \frac{\tau}{\tau_Y} = -\frac{SL^2}{EI} \frac{\sqrt{3}}{2\sigma_Y/E} \left(\frac{64\sqrt{3}}{\lambda}\right)^2 \left\{ \left(\frac{y}{h}\right)^2 - \left(\frac{1}{2}\right)^2 \right\} \quad (1)$$

で、Mises の降伏条件が成立するとして $\sigma_Y = \sqrt{3}\tau_Y$ 。 λ は 32 要素全長 ($32L$) で定義した細長比。 h が断面の高さ、 y が中立軸から下方への座標値。

$$\lambda \equiv \frac{32L}{r}, \quad r \equiv \sqrt{\frac{I}{A}} = \frac{h}{2\sqrt{3}} \quad (2)$$

具体的な数値は

$$\lambda = 20, \quad \frac{\sigma_Y}{E} = 0.001 \quad (3)$$

と仮定。曲げ剛性が一様ではない場合には、その変更節点で応力分布の急変（理論的にはおかしいが、線でモデル化した梁の宿命）あり。

3.5 マウス操作でちょっとだけ結果表示

結果表示窓（変位・曲げモーメント・せん断力）でのマウス左クリックで、最寄の要素両端節点の変位と曲げモーメント・せん断力の数値表示。右クリックで、最寄の要素や節点の支持バネ定数と曲げ剛性比・集中せん断力・集中モーメント・分布せん断力の数値表示。応力表示窓が開いている場合には、最寄節点の応力分布も表示。

4 ファイル入出力



S ave: モデルの設定を保存しておく。

L oad: 保存したモデル設定を読み込む。確認無しで、作成中のデータは無くなる。

Drag & Drop: ファイルアイコンを窓内にドラッグしてドロップで読み込み。

メイン窓の最下行に最後に扱ったファイル名が表示されている。ファイル拡張子は‘cbm’だが単なるテキストファイル。いくつかの例は同梱。最後に解析したモデルの設定と結果は‘CBeam.csv’に出力される。これはスプレッドシートのソフト等で描画が可。このプログラムを置いたディレクトリにファイルは出力される。また \LaTeX の`picture`環境出力も有り。‘CompileMe.tex’をコンパイル。モーメント図とせん断力図にも荷重条件等読み込み可。ファイル中数行目のコメント参照。ただし‘epic.sty’, ‘eepic.sty’, ‘eepicsup.sty’が必要。最後のスタイルファイルは同時配布。

5 どうでもいいこと

各小窓を閉じるには右上の  で。白地の設定状況表示窓の左にある  のクリックでバージョン表示。エラー対処をほとんどしてないが、できるだけ終了しないようにはした積もり。最悪、失敗したら作成中のデータを失う可能性大。プログラムを置いたディレクトリに‘CBeam.ini’ファイル出現。最後にアクセスしたディレクトリとメイン窓の位置を記憶。このファイル‘CBeam.ini’に4行目を追加し、そこに‘Japanese’と記入すると、ボタン等の文字が日本語になる。その行を削除すれば元の英語表記に戻る。また1行目の‘ShowToolTip’を例えば‘NoShowToolTip’とすると、マウスの当たったボタン等のヒントを非表示。

旧 (Visual BASIC 6) 版 (Version 2 以下) とのデータ (cbm ファイル) 互換性無し。面倒くさかったから。変換するには下のコードで。

本 Visual BASIC 2010 版

```
For i = 1 To Ndeg
    tw.WriteLine(Iessbc(i))
Next
For i = 1 To Node
    tw.WriteLine(Fc(0, i))
    tw.WriteLine(Fc(1, i))
    tw.WriteLine(Hinged(i))
    tw.WriteLine(Spring(i))
Next
For i = 1 To Nel
    tw.WriteLine(Rbr(i))
    tw.WriteLine(Fd(i))
Next
```

旧 Visual BASIC 6 版

```
For i = 1 To Nel
    j = 2 * (i - 1) + 1
    Print #1, Iessbc(j); Iessbc(j + 1)
    Print #1, Rbr(i)
    Print #1, Fd(i)
    Print #1, Fc(0, i); Fc(1, i)
Next i
Print #1, Iessbc(Ndeg - 1); Iessbc(Ndeg)
Print #1, Fc(0, Node); Fc(1, Node)
For i = 1 To Node
    Print #1, Hinged(i)
Next i
For i = 1 To Node
    Print #1, Spring(i)
Next i
```