

FEM Analysis of Continuous Beams

IWAKUMA Tetsuo

Spring 2004

日本語のマニュアルは次のページから始まります .

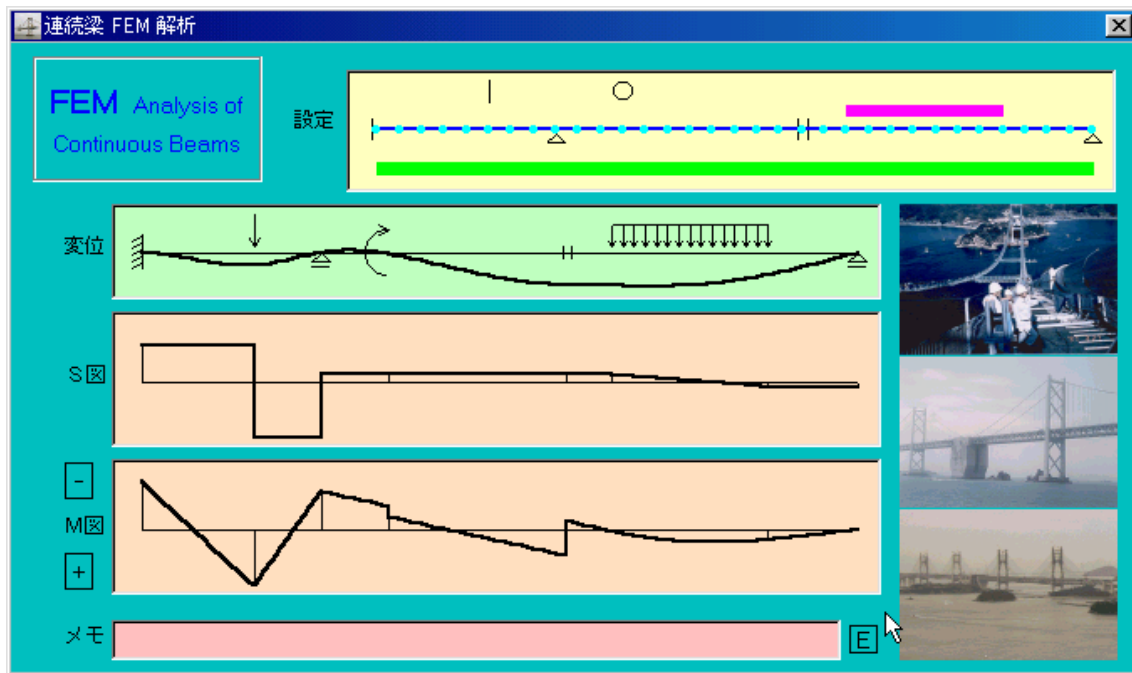


図 1: 全体窓 —Main Window of the Program

If you want to use this program displayed in English, please follow the steps below.

1. Read an installation section at p.13;
2. Execute this program 'Cbeam.exe';
3. Click on the right of the message window indicated by the mouse pointer in the figure above; and
4. End the program by clicking at the top right.

After these steps, you may use this program displayed in English.

連続梁を有限要素法で解く

岩熊哲夫

2004 年春

1 インストール

ダウンロードしたアーカイブ・ファイルを解凍し、どこか適当なディレクトリ（フォルダ）に、‘Cbeam.exe’ とその他のファイルを置きます。レジストリなどは一切触っておりませんのでご心配無く。アンインストールは、このディレクトリを消去するだけです。

この状態で ‘Cbeam.exe’ を実行し、もし図 1 のような窓が現れたら、そのまま使えます。もし、ランタイム・ライブラリが無いといったメッセージが現れてエラーになる場合には、本アーカイブに含まれているファイル ‘VB32-dll.lzh’ を解凍し、その中身をこのプログラム本体と同じディレクトリに置いてください。その上で実行すれば、図 1 の窓が表示されると思います。もし駄目な場合は、誰か OS に詳しい人にご相談ください。

OS に関連して、Windows 95, 98, ME, 2000, XP のいずれでも稼動すると思いますが、後者二者の場合、表示を英語に変更したあと（フォントもきちんとした Sans Serif にはなっていませんが）の日本語への復帰ができないかもしれません。もしうまくいかないときは、第5節の説明に従って、‘Cbeam.ini’ を直接編集し直してください。

2 全体画面と二種類の窓

このプログラムを実行すると、図 1 にあるような窓が現れます。このメイン窓の中の小窓のうち、一番上の窓が境界条件などを設定するための「設定窓」です。その下の三つの窓はたわみとせん断力図・モーメント図を表示する「結果窓」になっています。種々の設定中に、すべてを消去して最初から設定し直したい場合には、この「設定窓」の左にある「設定」という文字列中で右クリックしてください。

3 解きたい問題の設定

3.1 幾何学的な境界条件 — 支持条件

「設定窓」に横たわった青い線が一本の連続梁です。その線上に並ぶ 33 個の水色の円が有限要素の節点になっています。すなわち、一本の連続梁を 32 有限要素で解析しようとしています。



図 2: 幾何学的な境界条件の設定

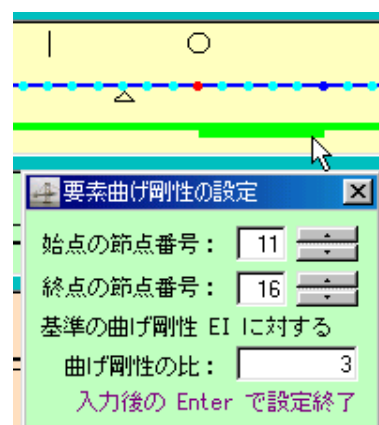


図 3: 曲げ剛性の設定

この青い線の傍で左クリックすると、図 2 のような小窓が現れます。クリックした場所のすぐ左側の節点が赤くなり、この赤くなった節点の支持条件を設定することができます。小窓の中では、単純支持に相当する「たわみ固定条件」と、回転だけを固定する「たわみ角固定条件」、さらに両方を固定する「たわみとたわみ角固定条件」の三つの基本的な条件と、「線形バネ支持」が設定できます。ただし、もちろん、固定条件は両端のみで可能で、バネ支持ではバネ定数 k を無次元量 $\frac{kL^3}{EI}$ で設定する必要があります。 EI は基準とする曲げ剛性で、 L は要素長です。

条件を選択したあと、**セット** をクリックすれば設定されます。**設定窓** 中には図 2 のように、印で単純支持を、二本の縦棒で回転固定を、端部での一本の縦棒で固定条件を、節点下の一本の縦棒でバネ支持を区別して示します。また、ゲルバー梁のように、支間内にヒンジを設けることができます。ヒンジのみを挿入するときは**リセット**をした上で、一番下の挿入の指定にチェックを入れて**セット**してください。ただし、当然ですが、回転固定部と集中モーメント外力がある節点にはヒンジは挿入できません。

もし条件をつけたい節点を変更するには、図 2 のマウス・ポインタがある部分のスクロール・ボタン（上下ボタンが節点の右左方向に対応）を利用するか、あるいは節点番号（左端が No.1）をその左の入力窓に直接入力してください。その指定に従って青い線上の赤丸が移動するので確認できます。一旦設定した条件は、再度同じ節点で設定作業を繰り返すことによって変更できます。また**リセット** をクリックすれば、支持を無くすことができます。この支持条件は、この小窓を閉じるまで連続して設定を続けることができます。小窓は右上の **×** をクリックすることで閉じます。閉じるまでは、メインの窓へのアクセスはできません。

3.2 曲げ剛性の設定

梁の曲げ剛性 EI は、要素毎にその値を設定できます。このプログラムでは無次元化された剛性方程式を扱っているため、入力する曲げ剛性は、基準となる曲げ剛性に対する比で与えます。設定窓の青い線の傍で右クリックすると、図 3 のような小窓が現れます。クリックした場所のすぐ左の節点が赤くなり、そこと右端の中間に位置する節点が青くなります。この赤点と青点の間の曲げ剛性比を設定することができます。設定する範囲は、節点番号の入力窓かスクロール・ボタンで決めてください。

範囲を決めた段階で、小窓の中の剛性比入力窓に正の実数を入力し、キーボードの Enter を押してください。これで剛性比の設定ができます。図 3 の例では、その比を '3' に設定しています。この設定も、この小窓を閉じるまで続けることができます。設定した比のおおまかな値は、設定窓の青い線の下方に現れる緑の帯（図 3 のマウス・ポインタの位置に横たわる緑の帯）の太さが表しています。

3.3 力学的な境界条件 — 外力条件

3.3.1 集中荷重の設定

設定窓の青い線から少し上方に離れた位置で左クリックすると、図 4 のような小窓が現れます。この小窓では、集中荷重を設定できます。荷重を載せたい節点を選び（赤い点で示されます）、集中せん断力 S と集中曲げモーメント M の値を入力してください。せん断力は下向きが正で、モーメントは反時計回りが正です。いずれも基準となる曲げ剛性と要素長で、 $\frac{SL^2}{EI}$, $\frac{ML}{EI}$ のように無次元化されていますので、注意してください。要素長 L とは、設定窓の隣り合う水色の丸の距離、すなわち全長の 32 分の一です。

値を入力してセットをクリックすれば、条件が設定されます。設定窓の青い線の上方に現れる縦棒が集中せん断力で、円が集中曲げモーメントを表し、それぞれ、長さで半径でその大きさの違いを表現しています。この段階では、外力の向きは表示されませんが、後述のように解析終了後の結果窓には、向きも表示されます。

3.3.2 分布荷重の設定

設定窓の青い線から少し上方に離れた位置で右クリックすると、図 5 のような小窓が現れます。クリックした場所のすぐ左の節点が赤くなり、そこと右端の中間に位置する節点が青くなります。この赤点と青点の間に一定の分布外力 q を設定することができます。外力は下向きが正です。設定する範囲は、節点番号の入力窓かスクロール・ボタンで決めてください。範囲を決めた段階で、荷重の入力窓に値を入力し、キーボードの Enter を押してください。この値

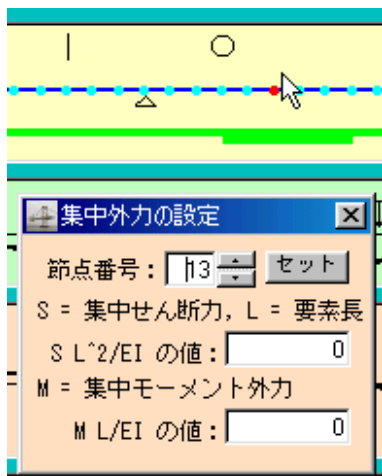


図 4: 集中荷重の条件設定

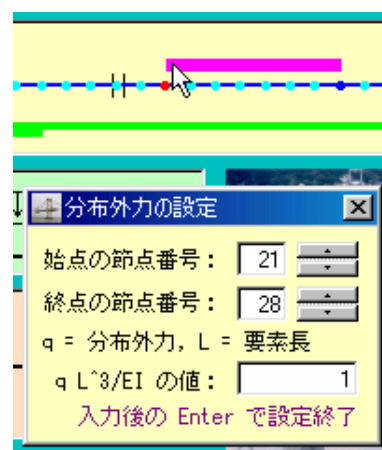


図 5: 分布荷重の条件設定

も，基準となる曲げ剛性と要素長で $\frac{qL^3}{EI}$ のように無次元化されたものです．設定窓では，桃色の帯で分布外力の与えられた範囲と大きさを示しています．

4 解析と結果表示

4.1 変位・曲げモーメント図・せん断力図

三つある結果窓の中のどこかでダブルクリックしてください．境界条件がきちんとしていれば結果が表示されます．幾何学的な境界条件が不十分なために構造系が不安定な場合や，外力が与えられていない場合には，メインの窓中下方にあるメッセージ窓にエラー・メッセージが表示されます．その場合には，設定をやり直してください．

また，曲げモーメント図は伝統的に下向きが正になっていました．この方が引張りが現れる側が強調されたからだと思います．しかし，学校によっては上向きを正にして教えている所があったり，教科書でもそういう扱いをしているものが見受けられます．このプログラムでも下向きを正とする設定で最初は立ち上がりますが，もし変更したい場合には，モーメント図の左側にある + か - のどちらかをクリックしてください．上下の向きが反転されます．この設定は‘ini ファイル’に保存されますので，一旦プログラムを終了したあとも，継続してその設定が生きていますので注意してください．これを間違えると，鉄筋の配置に重大なミスを犯しますよ．

解析せずに，設定だけを確認のため描画したい場合には，たわみ図の窓の中で右クリックしてください．

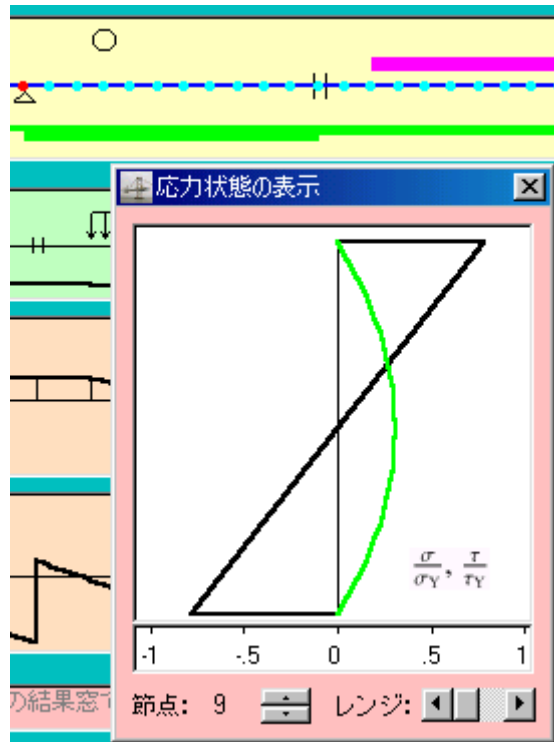


図 6: 応力分布

4.2 応力分布

モーメント図などが正しく計算された状態で，**設定窓**の青い線の少し下でクリックしてください．こうすると図 6 のような小窓が現れます．ここには，クリック箇所のすぐ左にある節点にある断面に生じている抵抗力分布，すなわち応力分布が描かれます．応力分布は，直応力・せん断応力共に降伏応力で除したものでプロットされています．上下スクロール・ボタンで，描く断面の節点位置を変更できます．この小窓も閉じない限りメインの窓を操作できません．応力分布図の窓の中でダブルクリックすると，現在の節点から左右に断面をスキャンして，その応力分布を順に描きます．再度，分布図の窓でダブルクリックすれば止まります．

後述のように鋼材を参考にして応力計算をしているので，プロットが枠からはみ出すことがあります．その場合には，レンジの左右スクロール・ボタンで調整してください．本来，降伏応力よりも大きい応力（図のプロットでの値が 1 を越える応力）は工学的には意味がありませんが，100 倍までなら描画するようにしてあります．なお，それ以上の大きさになる場合のプロットは乱れていて意味がありません．

応力計算は断面が矩形であることを前提にして，材料は鋼材を参考にしました．構造力学が理解できていれば，それぞれの応力は

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

Node	$\frac{w}{L}$	$\frac{SL^2}{EI_0}$	$\frac{ML}{EI_0}$	$\frac{\tau_{max}}{\tau_Y}$	$\frac{\sigma_{max}}{\sigma_Y}$
9	0	-1.458244E-04	-2.829387E-04	-1.658487	-2.29273
9	0	4.624731E-05	-2.829387E-04	.3075944	-.7841027
10	6.193984E-04	4.624731E-05	-2.366914E-04	.3075944	-.6559384
10	6.193984E-04	4.624731E-05	-2.366914E-04	.3075944	-.6559384
11	1.475488E-03	4.624731E-05	-1.904441E-04	.3075944	-.5277741
11	1.475488E-03	4.624731E-05	-1.904441E-04	.3075944	-.5277741

図 7: 結果の数値表示

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

となります．ここで σ_Y は引張り降伏応力， τ_Y はせん断降伏応力， λ はここで扱っている 32 要素全部の梁の長さ ($32L$) で定義した細長比， h は矩形断面の高さ， y は中立面から下方への座標値です．すなわち

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

という関係になります．さらに具体的に

$$\lambda = 20, \quad \frac{\sigma_Y}{E} = 0.001 \quad (4)$$

と置いて計算しました．

4.3 結果の数値表示

変位という文字列の部分でダブルクリックすると，図 7 のような小窓が現れます．この小窓がある状態で再解析すると，この小窓の中に，たわみとせん断力・曲げモーメント・せん断応力と直応力の最大値が数値で表示されます．応力以外はファイル出力されるものと同じです．

5 ファイル出力

5.1 四種類のファイル

ファイル 'Cbeam.ini' には，このプログラムの窓の位置と表示言語の設定，それに前の 4 節で説明したモーメント図の正負の方向の設定を保存してあります．このファイルはプログラム立ち上げ時に読まれ，終了時にその時点での設定を保存します．もし万一このファイルを消去してしまった場合には，ノートパッドやエディタで

500
400
0
1

のような4行からなるファイルを‘Cbeam.ini’として作成してください．最初の二行はメイン窓の位置座標です．三行目は日本語表記(0)か英語表記(1)かの区別．最後の行はモーメント図の正の向きが下向き(1)か上向き(-1)かの違いを示しています．

また、解析の度（結果窓でダブルクリックする度）に次の6つのファイルが、プログラムと同じディレクトリに出力されます．

CntBeam.dat: 単純なデータ（テキストファイル）

Cbeam-d.tex, Cbeam-r.tex, Cbeam-s.tex, Cbeam-m.tex,: L^AT_EX 用の図のファイル

Cbeam.cbm: 境界条件などの設定を保存して再入力するためのファイル

このファイルは後述のように、図化する場合や同じ設定をこのプログラムで再利用したい場合に使えます．しかし、解析の度にファイルの上書きがなされてしまいますので、必要なファイルを出力した場合には、次の解析を実行する前に、そのファイルを他のディレクトリに移動するか名前を変更するかして、重ね書きされないように保護してください．

5.2 単純なデータの利用

テキストデータの‘CntBeam.dat’は、例えば結果については

```
% 結果
% 要素  節点      w/L      w'      SL^2/EI      ML/EI
1        1        0        0        5.417556    -11.63432
1        2    24.57116    44.62769    5.417556    -6.21676
2        2    24.57116    44.62769    5.417556    -6.21676
.....
```

のような内容で、計算結果が数値で羅列されているだけです．この行の上方には境界条件などの設定情報も羅列されています．

このファイルを使えば、いつもご利用になっている図化ソフトでモーメント図などを描くことが可能でしょう．たいていのソフトでは、上記のような空白で区切ったデータ列を縦横のプロット情報として処理できると思われます．そのような図化ソフトの一例としてNgraphのフリーウェア版に取り込んだ結果を、図8に示しました．

5.3 L^AT_EX 用のファイルの利用

出力される四つのファイルは、そのファイル名のハイフンの後の文字で

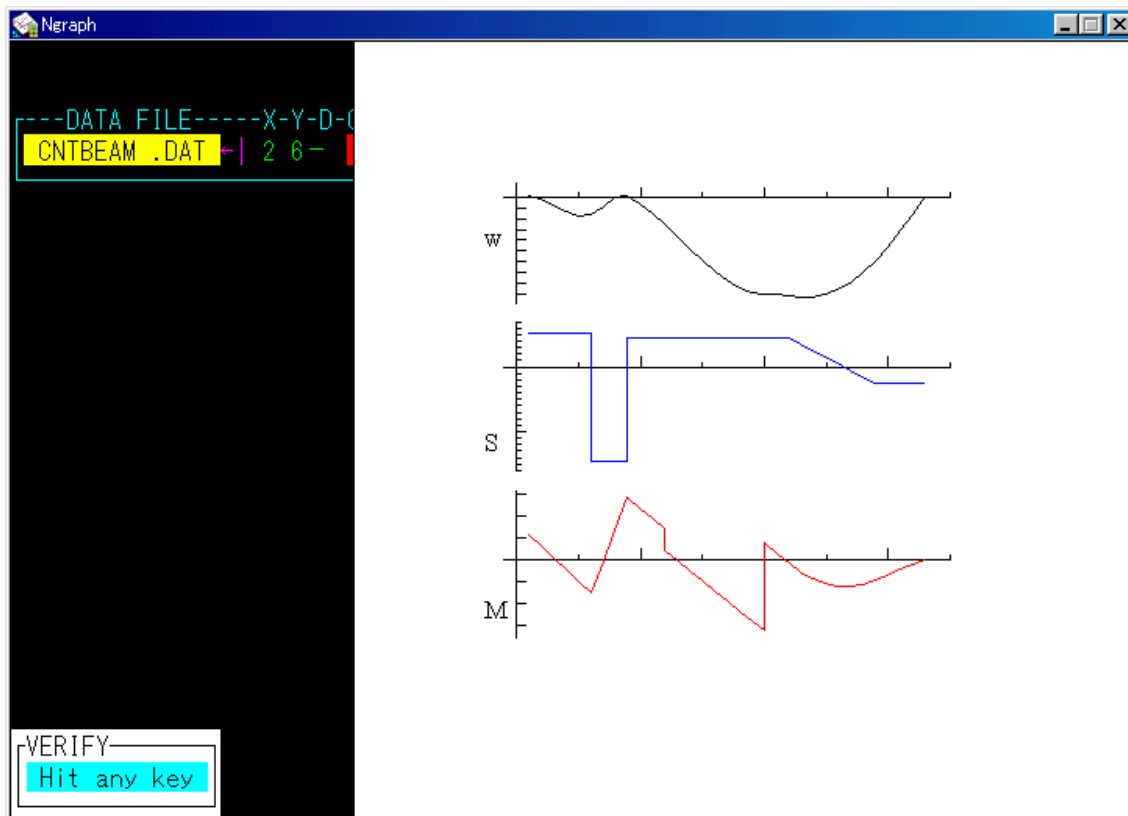


図 8: 図化ソフトでの結果ファイルの利用

- d: 各種条件とたわみ図
- r: 梁の曲げ剛性比の図
- s: せん断力図
- m: 曲げモーメント図

に対応しています．いずれも \LaTeX の `picture` 環境で描かれていますが，ドライバ依存の EPIC の `\special` を使っていますので，コンパイル時には別途 `‘epic.sty’` と `‘eepic.sty’` とが必要になります．後者はあるいは `‘eclepic.sty’` でも可能です．

アーカイブ中に \LaTeX 209 でのコンパイル用の `‘Cbeam209.tex’` と， \LaTeX 2 ϵ でコンパイルする場合の `‘Cbeam-2e.tex’` とを入れておきました．何か結果を出力したあと，このいずれかのファイルをコンパイルしてみてください．図 9 のような図が得られると思います．

なお，図 9 の右図にあるように，必要な節点での値（無次元の値）を出力するような準備だけはしてあります．これはファイル中の

```
% string
\Cbeam(200,1500){\tiny $-12.345$}%
```

のような行です．この値の出力を抑える場合には，この `\Cbeam` で始まる行をコメントアウトしてください．あるいは，アーカイブ中に含めたコンパイル用の例を参考にして無効にしてく

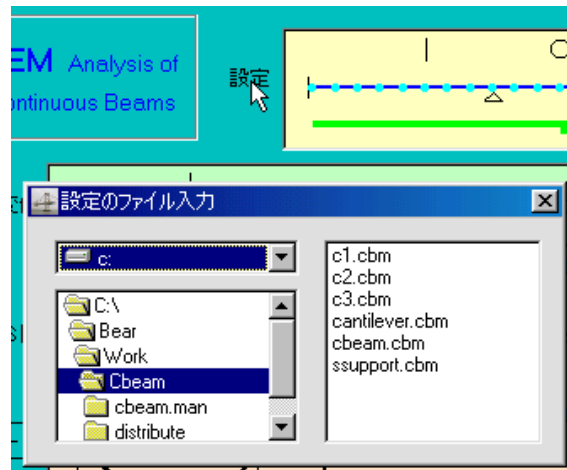


図 10: 設定ファイルの入力

6 ファイル入力

前の5.4節で説明したファイルは、このプログラムの実行中に境界条件などの設定データとして読み込むことができます。図 10 のように、「設定」という文字列の位置（図でマウス・ポインタがある部分）をダブルクリックすると、この図のような小窓が現れます。この小窓内で入力したいファイルのあるディレクトリを選び、小窓の右の窓にファイル名（拡張子が‘cbm’のファイルしか表示されません）が表示されたところで、目的のファイル名をダブルクリックしてください。これで各種設定が入力され、「設定窓」にその状態が表示されます。正しいデータであれば、解析できて結果が表示されるはずです。

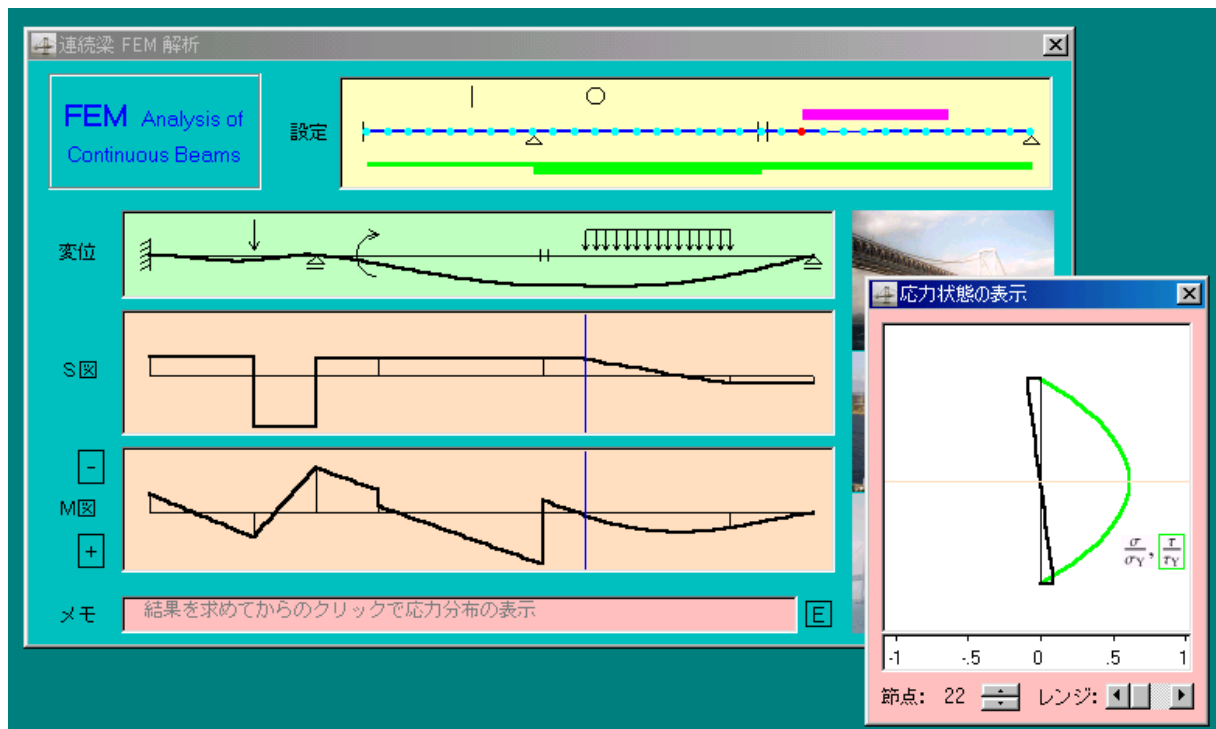
7 表示言語の変更とバージョンおよび連絡先

このプログラムを最初に実行した場合の表示言語は日本語です。これを英語に変更するには、メインの窓の右下の写真の左にある「E」（図 1 中のマウス・ポインタがある位置横）をクリックしてください。これで表示が英語になります。この設定は‘ini ファイル’に保存されますので、再度「J」をクリックして日本語に戻すまで有効になります。小窓の表記もメイン窓と同じになります。

現在のバージョンは、メインの窓内左上部の枠内にマウス・カーソルを移動したときに、下方のメッセージ窓に表示されます。

メインの窓内で、かつ「設定窓」と「結果窓」の合計四つの窓の外でダブルクリックするとメッセージ窓に連絡先が表示されます。バグ・レポートなどが必要な場合は、マウス・カーソルを動かさないようにして読んでください。

なお、メイン窓右方の写真は全部で14枚あります。この写真はすべて作者および作者の友人（中沢正利氏）が撮影したものです。



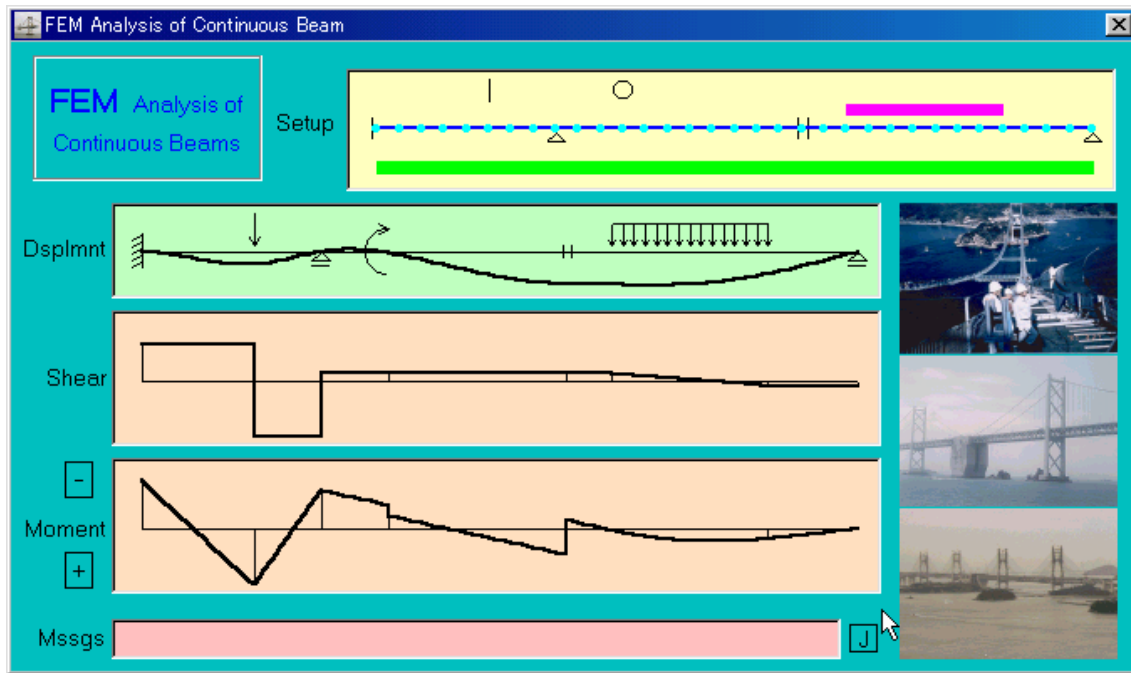


Fig. 11: Main Windows

8 Installation

Unpack the downloaded archive file and put all the files including 'Cbeam.exe' in a directory (folder). Since this program does NOT touch any settings of the registry, you just remove all the files and the directory where you expand the archive in order to uninstall this program.

After executing 'Cbeam.exe' in that directory, if a main window like in Fig.11 appears, you can use this program as it stands. If some error messages complaining lack of run time libraries appear, expand enclosed file 'VB32-dll.lzh' and put all its contents in the directory where 'Cbeam.exe' exists. Then you can run this program without any error.

This program will operate on Windows 95, 98, ME, 2000 and XP. However, on Windows 2000 and XP, changing language may fail. In such a case, please edit directly a file 'Cbeam.ini' as will be explained in Sec.12.

9 Main window and two kinds of small windows

In the main window as is in Fig.11, a small window at the top is a Setup Window to give boundary and loading conditions. Three small windows below show results of the problem you specify in the Setup Window. These are displacement, shear and moment diagrams from the

top respectively. We call these three windows **Results Window**. If you want to erase a current setting and to start setup procedure from the beginning, right-click a string **Setup** on the left of the **Setup Window**.

10 Setup of a problem to be solved

10.1 Geometrical boundary conditions—support conditions

A blue line in the **Setup Window** represents a continuous beam. Thirty-three cyan circles on it are the nodes of this FEM model. Namely a continuous beam is going to be modeled by 32 finite elements in this program.

When you **Left Click** along this blue line, a small window as is in Fig.12 will appear. And the node just left of your mouse pointer is expressed by a red circle. You can specify the geometrical boundary condition at this node. Except two end nodes, you can specify a displacement-fixed, a rotation-fixed or a spring-supported condition at any nodes. At the ends, a fixed condition can also be given. At the spring-supported node, you must specify its linear spring constant k by a non-dimensional value as $\frac{kL^3}{EI}$, where EI is the basic bending rigidity and L is an element length.

After clicking a button of specifications, you click **Set** to give the condition to the node. In the **Setup Window** as shown in Fig.12, Δ indicates a simple support; two vertical bars represents a non-rotational support; and one vertical bar at the ends is a fixed end. One vertical bar beneath a node indicates the spring-support. Also you can insert hinges in the span. If you want to insert only a hinge without support, first hit the **Reset** button. Then check the last item in this small window and click **Set** button. A hinge cannot be inserted at the non-rotational support and at the node where a concentrated moment force is applied.

The node where you want to specify BC's can be chosen by scroll button which is located near the mouse pointer in Fig.12 or by entering number in the input window just to the left of the scroll button. The left-most node is here named as the 1st node. Such chosen node is expressed by a red circle along the blue line. You can change the condition of a node as many times as you like. If you click **Reset** button, then the specified node becomes free of support. You can continue these settings until you close this small window by clicking **×**. The main window cannot be accessed while such a small window is open.

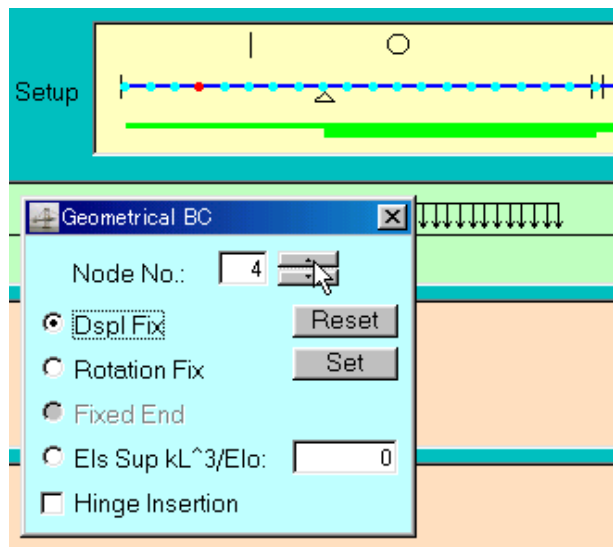


Fig. 12: Specification of geometrical BC

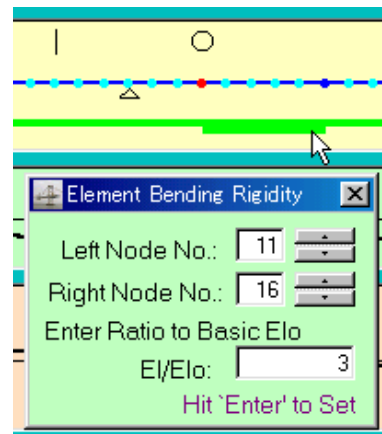


Fig. 13: Set of bending rigidity

10.2 Specification of bending rigidity

In any elements, arbitrary values of rigidity EI can be given. Since this program solves a non-dimensional stiffness equation, the input value is a ratio to the basic bending rigidity, say EI_0 . **Right Click** along the blue line in the **Setup Window** opens a small window as is shown in Fig.13. Then the node near the mouse pointer is expressed by a red circle, and a node between that node and the right end is indicated by a blue circle. You can specify the bending rigidity between these red and blue circles. You can change two nodes by the scroll button or direct input of the node number.

Once you choose the span of the same bending rigidity, give a positive real number in the input window of the rigidity ratio. After that, typing **Enter** key sets that ratio. In an example shown in Fig.13, the ratio is given by '3.' You can continue any settings until you close this small window. Magnitudes of these ratios are approximately shown by the width of a green band (indicated by a mouse pointer in Fig.13) below the blue line in the **Setup Window**.

10.3 Force boundary conditions—loading conditions

10.3.1 Specification of concentrated loads

Left Click slightly above the blue line in the **Setup Window** will show a small window as is shown in Fig.14. Within this small window you may give concentrated loads. First choose the node where such loads are given, and input the values of the shear force S and/or the bending moment

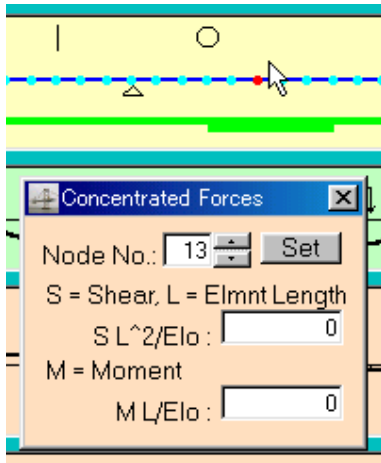


Fig. 14: Concentrated loads

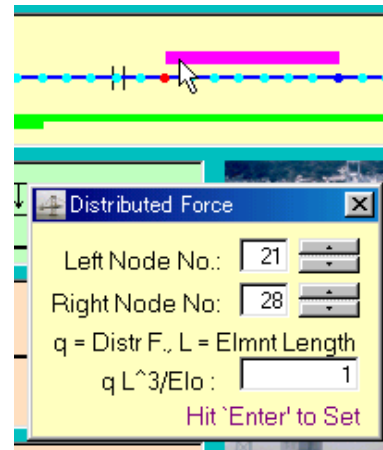


Fig. 15: Distributed loads

M . The shear force is positive to the downward direction, while the bending moment is positive to the anti-clockwise direction. Both of them must be specified by non-dimensional quantities such as $\frac{SL^2}{EI_0}$ and $\frac{ML}{EI_0}$ which are non-dimensionalized by the element length L and the basic bending rigidity EI_0 . The element length L is a distance of the adjoining nodes and is one thirty-second of the total length of the blue line in the **Setup Window**.

Clicking **Set** specifies the loading condition at the node. A vertical bar above the blue line in the **Setup Window** indicates a concentrated shear force, while a circle is an applied moment. These magnitudes (ratio) are approximately expressed by the length or radius of these symbols respectively. While the directions of these forces are not shown in this window, the **Results Window** will show them after calculations.

10.3.2 Specification of distributed loads

Right Click slightly above the blue line in the **Setup Window** will open a small window as is shown in Fig.15. Just like in the case where the rigidity is specified, two nodes in red and blue appear. You can put a uniformly distributed load q between these nodes. The load is positive in the downward direction. After choosing nodes, you must enter its non-dimensional value of $\frac{qL^3}{EI_0}$ and hit **Enter**. Then the magnitude and location are approximately shown by a magenta band in the **Setup Window**.

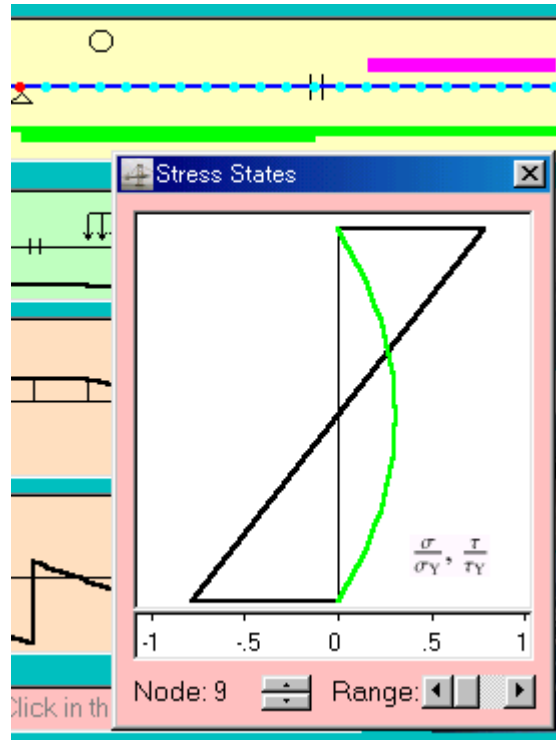


Fig. 16: Stress distribution

11 Analysis and results

11.1 Displacement, moment and shear distribution

Double-click within one of the windows of the **Results Window**, and the results are shown in these areas, only when a proper combination of geometrical boundary conditions are specified and also some applied forces are given. If such conditions are not satisfied, an error message appears in the message window at the bottom of the main window. In such a case, please re-consider the boundary conditions.

Traditionally in the civil engineering field, the bending diagram is positive in the downward direction. However recently at some schools this direction is reversed. This program originally set the positive direction downward. But you can change it by clicking either ☐+ or ☐- to the left of the moment-diagram window. This setting is saved in the 'ini file, and you can always use the same setting until you change again.

If you want to check boundary and loading conditions without solving the equilibrium equation, simply right-click in the window of the deflection diagram.

11.2 Stress distribution

Click below the blue line in the Setup Window after obtaining proper results, and a small window as in Fig. 16 will appear. In this window, stress distributions at the node indicated by a red circle are plotted. Both the normal and shear stresses are divided by the corresponding yield stresses. You can choose a node by the scroll button. If you double-click within the stress distribution window, all the cross-sections at the nodes are scanned consecutively to show the stress distribution. It can be stopped by double-clicking within that window.

As will be explained later, as calculations are carried out for steel members as an example, the plot may not be within the range below the yield stresses; i.e. the plot may exceeds over 1. In that case, you can broaden the range of plot by the horizontal scroll button up to 100 which may not be meaningfull from an engineering point of view.

The cross section is assumed to be rectangular. And formulas in the structural mechanics lead to

$$\frac{\sigma}{\sigma_Y} = \frac{ML}{EI} \frac{1}{\sigma_Y/E} \frac{64\sqrt{3}}{\lambda} \left(\frac{y}{h}\right), \quad (5)$$

$$\frac{\tau}{\tau_Y} = -\frac{SL^2}{EI} \frac{\sqrt{3}}{2\sigma_Y/E} \left(\frac{64\sqrt{3}}{\lambda}\right)^2 \left\{ \left(\frac{y}{h}\right)^2 - \left(\frac{1}{2}\right)^2 \right\} \quad (6)$$

where σ_Y is a tensile yield stress; τ_Y a shearing yield stress; λ is the slenderness ratio with respect to the entire beam length, $32L$; h is the height of the cross section; and y is a downward coordinate from the neutral axis. And thus we have relations as

$$\lambda \equiv \frac{32L}{r}, \quad r \equiv \sqrt{\frac{I}{A}} = \frac{h}{2\sqrt{3}}, \quad \tau_Y = \frac{\sigma_Y}{\sqrt{3}}. \quad (7)$$

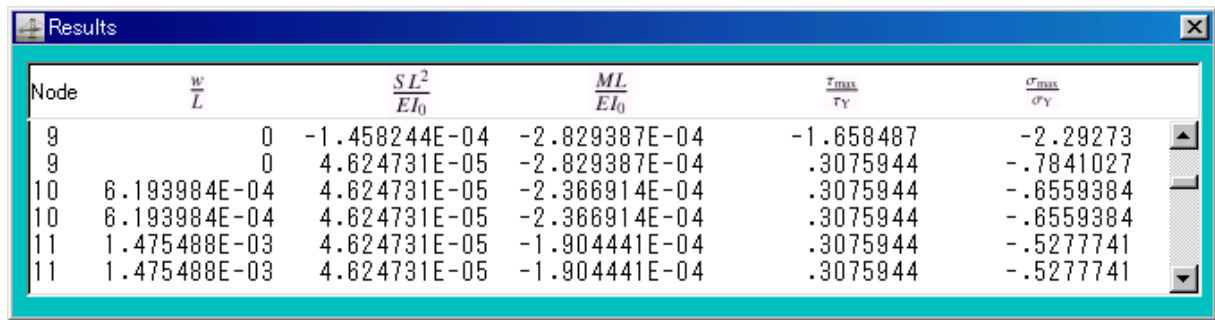
Furthermore we set

$$\lambda = 20, \quad \frac{\sigma_Y}{E} = 0.001 \quad (8)$$

as a simple example.

11.3 Numerical results

Double-Click at the string 'Dsplmnt' opens a small window as is shown in Fig.7. Re-analysis of the system outputs the numerical results of deflection, shear force, bending moment and maximum of shear and normal stresses in this window.



Node	$\frac{w}{L}$	$\frac{SL^2}{EI_0}$	$\frac{ML}{EI_0}$	$\frac{\tau_{max}}{\tau_y}$	$\frac{\sigma_{max}}{\sigma_y}$
9	0	-1.458244E-04	-2.829387E-04	-1.658487	-2.29273
9	0	4.624731E-05	-2.829387E-04	.3075944	-.7841027
10	6.193984E-04	4.624731E-05	-2.366914E-04	.3075944	-.6559384
10	6.193984E-04	4.624731E-05	-2.366914E-04	.3075944	-.6559384
11	1.475488E-03	4.624731E-05	-1.904441E-04	.3075944	-.5277741
11	1.475488E-03	4.624731E-05	-1.904441E-04	.3075944	-.5277741

Fig. 17: Displaying numerical results

12 File outputs

12.1 Four kinds of files

A file 'Cbeam.ini' keeps information of the location of the main window, language setting and sign convention of the moment diagram explained in Sec.11. This file is read when this program is executed and is revised when it is stopped. If you accidentally erase this file, by NotePad or an editor you must make a file named 'Cbeam.ini' containing four lines as

```
500
400
1
1
```

in the directory where 'Cbeam.exe' exists. The first two data are coordinates of the main window. The third data represents language selection, and 0 indicates Japanese while 1 shows English. The last data is about positive direction in the moment diagram; 1 indicates positive in downward direction and -1 in upward direction.

Every time of analyses; i.e. at every double-click in the Results Window, six files are created in the directory where 'Cbeam.exe' exists.

CntBeam.dat: Simple data (text file)
 Cbeam-d.tex, Cbeam-r.tex, Cbeam-s.tex, Cbeam-m.tex,: Picture files for L^AT_EX
 Cbeam.cbm: Setting file for this particular program

These files can be used to draw figure from results, or can be input to this program 'Cbeam.exe' as a setting data. All of these files are over-written every time FEM analysis is carried out. Therefore, if you want to use some of these files afterwards, you must move necessary files to a different directory or you must rename them properly.

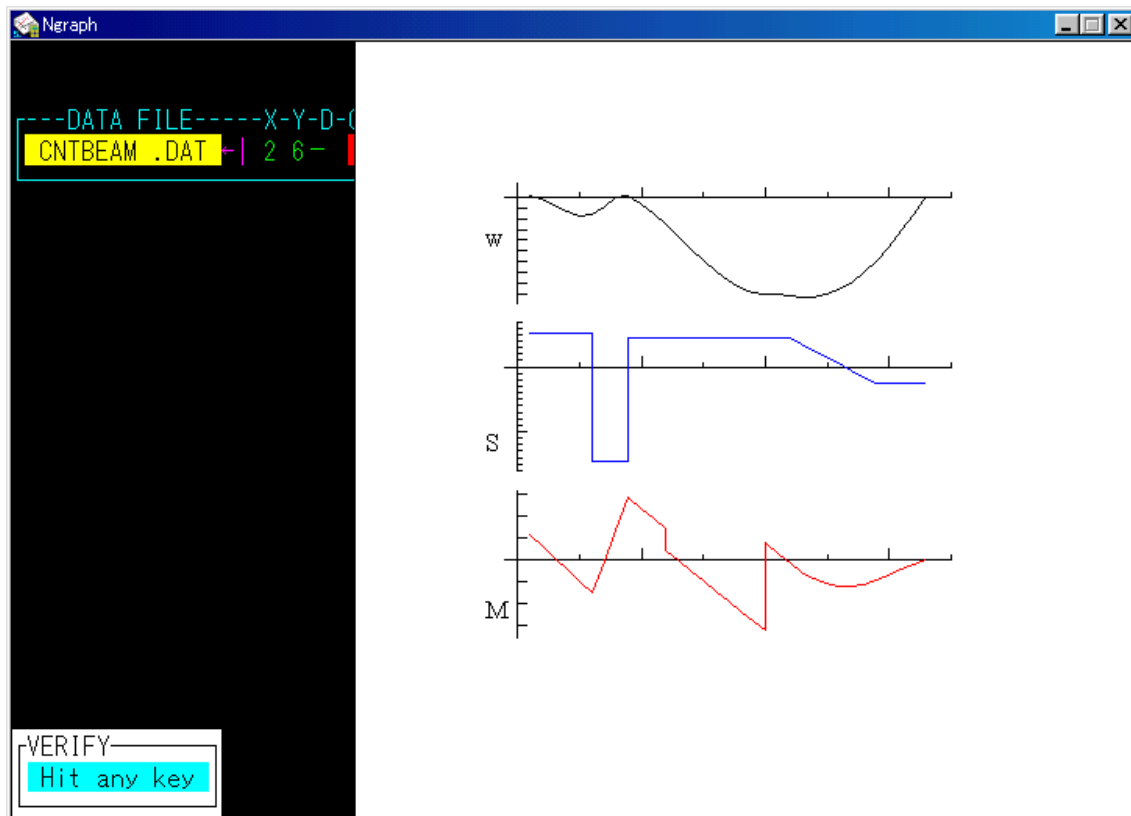


Fig. 18: Example of usage of graphics software

12.2 Usage of simple data

A data file 'CntBeam.dat' contains lines of numerical data of settings and results. For example, the lines of results look like

% Results

% Elmnt	Node	w/L	w'	SL^2/EI	ML/EI
1	1	0	0	5.417556	-11.63432
1	2	24.57116	44.62769	5.417556	-6.21676
2	2	24.57116	44.62769	5.417556	-6.21676
.....					

and are simply lists of calculated results. At the beginning of this file, information about the boundary conditions, rigidities and loading conditions is also given.

Since many drawing software can handle such a file of data separated by spaces as an input data, this file can be used to draw, say, moment diagrams by some software. As an example, a display by a freeware of Ngraph is shown in Fig.18.

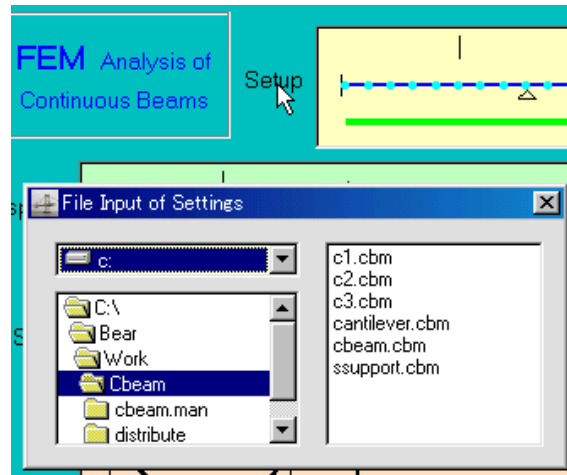


Fig. 20: File input of basic data

be proceeded by changing numbers, for example, in the parenthesis (200,1500) in the above example. The number at the left (200) is a horizontal coordinate positive to the right direction, while right one (1500) is a vertical one positive to the upward direction.

It should be noted that the values of loads shown in the deflection diagram are non-dimensionalized as has been explained in Sec.10.3; i.e. the values of $\frac{SL^2}{EI_0}$, $\frac{ML}{EI_0}$ and $\frac{qL^3}{EI_0}$ are shown. Also the part above the line showing

% BC's and others above this line. Deflection below this line.

includes only the settings of BC's and beam itself, and lines below this line express deflection curve. Therefore, if you process lines above this particular comment, you can get a figure of the beam structure with BC's.

12.4 Input file for this program

A file with extension 'cbm,' for example 'Cbeam.cbm,' can be directly input by this program as a basic data file of boundary and loading conditions. The method will be explained in Sec.13. Such a file is always output by this program after each FEM analysis.

13 Inputting data file

As has been explained in Sec.12.4, any data files with extension 'cbm' can be input to set up boundary conditions and loading conditions without specification in the Setup Window. When a string Setup (indicated by a mouse pointer in Fig.20) is double-clicked, a small window as

is shown in the same figure is opened. Within this small window, after choosing a proper directory, double-clicking of a particular file in the right window (only files with extension 'cbm' are displayed) inputs all the necessary data of a continuous beam. The setups are then shown in the **Setup Window**. If the data is a proper one from a mechanical point of view, it can be analyzed and the results will be shown in the **Results Window**.

14 Language, version and whoami

The very first execution of this program yields windows displayed in Japanese. If you want to change it to use this program without any Japanese fonts, you must click **E** at the bottom of the main window (the mouse pointer in Fig.11 indicates it). Then all the expressions are given in English. This choice is saved in the 'ini file,' and you can always use an English version until you change it by clicking **J**.

The current version number is displayed in the message window at the bottom of the main window when the mouse cursor is moved over the frame at the top-left corner of the main window.

If you double-click inside of the main window but outside of both the **Setup Window** and **Results Window**, a message containing my email address will appear in the message window. When you find a bug or a request of improvement, please send an email to that address.

Photos of bridges shown in the right part of the main window are totally fourteen, and three are randomly chosen and displayed. These photos have been taken by myself or one of my friends (Mr. Nakazawa Masatoshi).

