

立体骨組構造解析の補助プログラムについて

田中一雅*

On an Auxiliary Processors of Structure Analysis for Framework

Kazumasa TANAKA

Abstract

In the present report, the author introduced auxiliary processors for structure analysis against 3-dimensional framework. The analysis needs large man-hour to make its input data and to understand its results. The frame element, using in the analysis, is determined by node numbers at its both ends and by properties of member. In the other hand, the most user of analysis wants to know the patterns of member forces and of deformation from numerical results.

The author made auxiliary processors to refine the usage of structure analysis and to present a handy tool for design engineer as well as CAD. These auxiliary processors and structure analysis program are able to work on small computer system such as personal computer.

Key words : structure analysis , pre-processor , reprocessor.

1. はじめに

骨組構造解析は、各種構造物設計において不可欠な手順であるが、計算所要時間に比較して入力データの作成に多くの工数を要する。本来、構造物の初期設計において全体形状や部材配置を検討するとき設計案毎に構造解析結果を比較できれば設計効率のみならず完成後の不具合の減少にも役立つと考えられるが、スタッフの充実した大規模な設計チームを除き構造解析を初期設計のツールとして常用する例は少ない。また、CADソフトを搭載可能な性能を有するパソコンであれば、従来は大型計算機を使用していた大規模な構造解析用の4倍精度計算プログラムが既に実行可能となっている。これらから、初期設計作業の手軽なツールとしてCAD同様に立体骨組構造解析を利用するための補助プログラムを試作した。その概要を報告する。

補助プログラムは、構造解析プログラムへ入力するデータファイルを画面会話機能を利用しながら作成するデータ作成プログラムFRと部材力や変形等の解析結果の画面表示プログラムGRが主要部分である。大規模構造解析では剛性マトリックスのバンド幅が計算速度と精度に大きく影響するので、節点番号を整頓する補助プログラムも用意した。なお、マウスやグラフィック機能を多用する入力データファイル作成

と解析結果表示プログラムはVisual Basicにより作成した。なお、Fortranで作成したプログラムもVisual Basic下で実行可能である。

2. 構造解析法

今回の立体骨組構造解析プログラムは、文献(1)で紹介されたものを改造し、入出力部にデータファイルを利用している。この解析プログラムは、基本的に節点の変位を未知数とする多元連立方程式を解くもので、各節点の6自由度の変位および各部材の材端におけるx, y, z軸に対応する6種類の軸力、剪断力やモーメントが結果として出力される。

入力データとして、節点データ、部材データ、変形に関する節点の境界条件および節点・部材に加わる荷重データが必要である。これらの入出力データはかなり多量であり、入出力に関する補助プログラムが初期設計の検討作業に構造解析を有効利用するために重要である。また、作業能率から、画面との会話形式プログラムが有効である。

先に述べたように、入力データファイルには、節点、部材、境界条件および荷重に関する情報が指定された書式に従い記述される。これらについて、データ作成工数の低減と使い易さの観点から、構造解析プログラムのpre-processor

として作った補助プログラムの内容を以下に説明する。

3. 骨組構造データの生成

骨組構造は節点と部材で表現されるが、節点に関する情報として座標(x, y, z)と通しの節点番号、部材に関する情報として両端の節点番号、剛性(弾性係数、断面積および部材のx, y, z軸に対する面積2次モーメント等)と部材番号が必要である。通常、橋梁、高層建築物あるいは船体等の比較的大規模な立体骨組構造において、防撓材が等間隔に置かれ特に補強を要する箇所に剛性の大きな部材を配置する構造形式が多い。

これらを考慮しながら入力データファイル作成作業の省力化の観点から、内部にx, y, z方向に等間隔に平均的な部材を配置する3種類の基本構造物を先ず作成し、これらの基本構造物を合成して解析対象構造物のデータを作成することとした。なお、部材の追加や削除、剛性の変更は画面に表示した立体構造の部材をマウスで指定して行う。(Prog. FR)

基本構造物は、梁(柱、桁)、平面骨組(壁、床)ならびに立体骨組の3種類である。いずれの基本構造でも、先ず節点を発生させた後に部材をその両端の節点番号を指定することで配置する。従って、梁の場合は両端の座標と分割数、平面骨組の場合は4頂点の座標と長さおよび幅方向の防撓材配置数、立体骨組の場合は底面と頂面の頂点座標と長さ、幅および高さ方向の防撓材配置数をキーボードから入力する。

なお、基本構造同士を結合する場合には、それぞれの基本構造に共通の節点や部材を含んでいるのでこれらの重複する節点や部材は追加側の基本構造から削除して合成し節点や部材の番号を共通化する。

次に、部材の特性について、今回の解析プログラムではヤング率(縦弾性係数)、断面積、x, y, z各軸回りの断面2次モーメントが必要である。これらの弾性ならびに断面特性は、通常は特性が異なる部材が構造に配置されることから、複数の部材特性を予め用意しておき、基本部材以外の部材をマウスで指定し準備した特性データから選択する方法とした。なお、これらの特性は、直接数値をキーボードから入力することも断面形状を入力し計算結果を利用することも可能である。特性には名称と共に通し番号を付けてデータファイルに格納する。標準的な特性は基本構造を作成する際に指定し、補強部等の剛性が異なる部材のみマウスやキーボード

を用いて変更する方法とした。なお、断面特性は、T型、H型、I型および口型の4種類の断面形状について計算できる。部材特性番号は画面出力した骨組構造の各部材の中央に表示している。

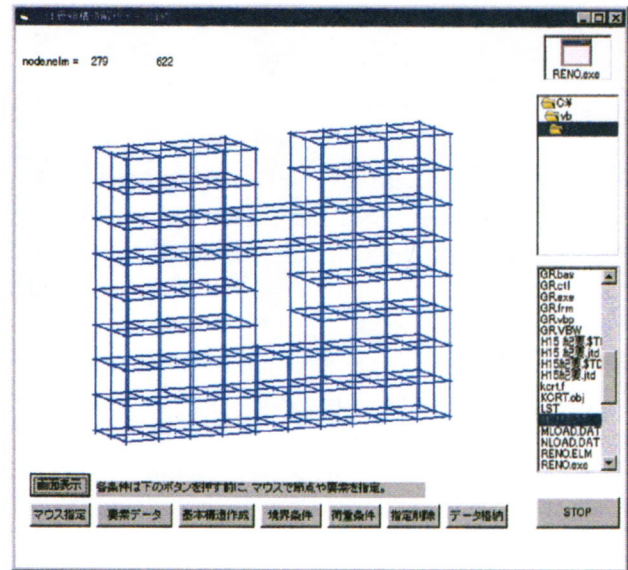


図1. 骨組構造データ生成画面

変形に関する節点の境界条件は、該当節点のx, y, z軸方向の変位や各軸回りの回転の拘束あるいは自由を指定して解析に算入する。境界条件を付ける節点はマウスで指定する。

節点あるいは部材に加える外力やモーメント等の荷重の入力も境界条件とほぼ同様である。節点や部材をマウスで指定し荷重の大きさ等の数値をキーボードから入力する。同じ境界条件や荷重を複数の節点に指定する場合は多いので、マウス指定の際にこれらの節点を連続してクリックした後に一括処理するようにしている。なお、境界条件ならびに荷重はそれぞれの方向についてシンボルマークを表示する。

以上説明した各種データは、データ作成作業中に適宜削除あるいは追加が可能となっている。また、節点、部材、境界条件および荷重別にデータファイルに格納しており、異なる境界条件や荷重状態における再構造解析に迅速に対応できる。

4. 節点番号の整理

多元連立方程式の係数行列のバンド幅が計算精度と速度を左右するが、3. で述べたように、骨組構造データを基本構造の合成を主体に作成する手順により作成するために係数行列のバンド幅を考慮せずに節点番号が決められている。

立体骨組構造解析では1節点当たり6自由度の変形(未知数)を持つため、大規模な骨組構造では計算誤差の影響は相当に大きくなる。

このため、前回報告した伝熱有限要素法補助プログラムの要素並び替えを用いて、節点および要素番号を整理する⁽²⁾。このプログラムは、Fortranで作成しているが、図1の右上に配置されたOLEボタンを押すことにより骨組構造データ作成中に処理可能である。(Prog. RENO)

5. 構造解析入力データファイル

3章と4章において述べた手順で作成した立体骨組構造の各種データを、構造解析プログラムが指定する書式に従ってテキストファイル形式のデータファイルを作成する。このファイルは、データ入力画面に表示した骨組ならびに境界条件、荷重を確認した後、ボタンをクリックすれば"FR11.DAT"として自動的に作成される。

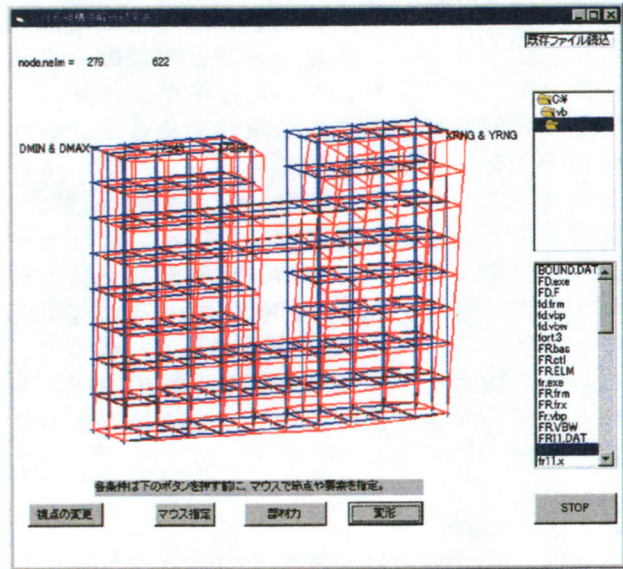


図3. 構造の変形を表示した画面

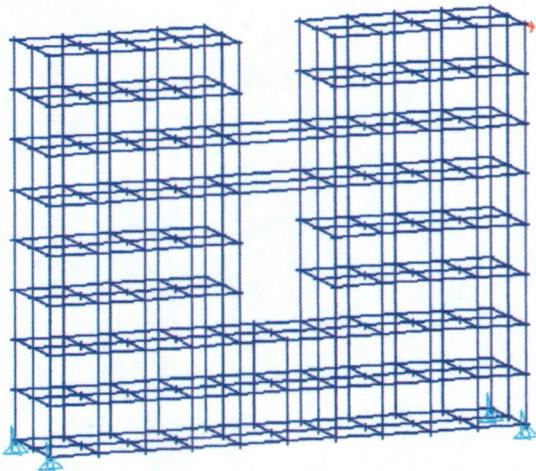


図2. 境界条件および節点荷重を指定した画面

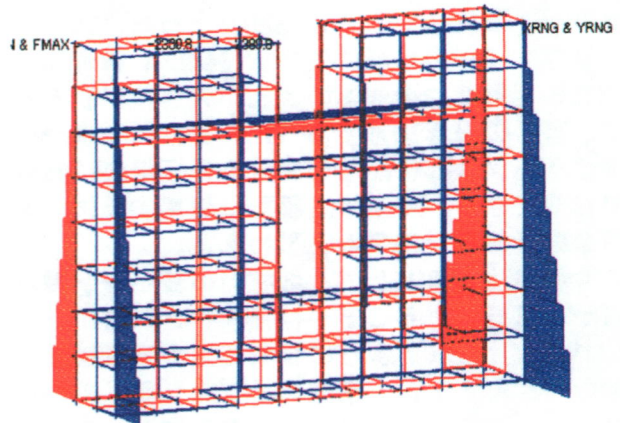


図4. 各部材の軸力

6. 解析結果の表示

骨組構造解析プログラムの解析結果は、ファイル名"FR11.RST"のデータファイルに自動的に格納されるが、各節点の変位・回転および境界条件がある場合は反力・モーメントと各部材の両端における部材力(軸力、剪断力およびモーメント)である。(Prog. GR)

骨組構造の変形は、節点変位を利用して、元の形状と共に入力した拡大係数を乗じて誇張した変形の様子を画面に表示する。また、軸力、剪断力あるいは曲げモーメント等の部材力は、出力すべき部材力を指定した後、節点からy軸方向にその大きさを示す分布直線を部材毎に表示する。解析結果の表示例を以下に示す。

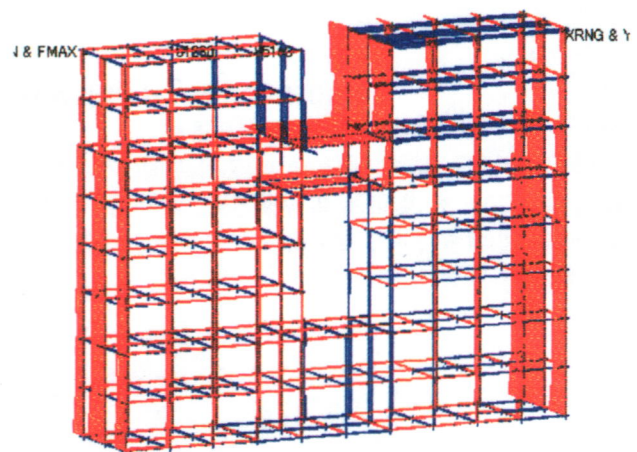


図5. 各部材のZ軸回りの曲げモーメント

図3. は、構造変形を実際の10倍に誇張して表示した画面である。荷重を作用させた頂部の水平変位が大きく、支点を設けた下部の中央部分は上下方向に変形している様子が分かる。

図4と図5は部材力の表示例であるが、各部材力の大きさ y 方向に示しており、 y 軸に平行な視点に対して出力できない難点がある。なお、部材力の正負は赤青で区別している。曲げモーメントと振りモーメントは、部材軸を x 軸、これと直交する y, z 軸（どちらか一方は空間座標と一致する。）として、計算される。従って、3種類の軸力と剪断力および3種類の曲げと捻りモーメントを別個に指定して画面表示することにした。

5. あとがき

今回、立体骨組構造解析用の補助プログラムを作成した。計算結果を示した骨組構造は、節点数279、部材数622である。解析所要時間は、PentiumIIIと128MBメモリーを持つWindows98パソコンを使用して、5分程度であった。入力データファイルの作成に要する時間は、構造についての理解度や操作への慣れが大きく影響するが、著者の場合10分であった。基本的な構造に補強あるいは部材配置の変更を行う場合は数分で作成できる。初期構造設計に使用するには有用な構造解析システムと思われる。

今後の改良点として、部材力の表示を y 軸方向から可能とすることや補強すべき部材が一見して見付けられるように合成応力の表示機能が考えられる。また、構造解析プログラムの剛性マトリックスは正方マトリックスになっているが、計算速度の向上やメモリーの節約の観点から、バンドマトリックスへの改良等の余地がある。

参考文献

- (1) W. ウィーバー著、山本善之訳：「構造物解析のプログラム」、共立出版(1968)
- (2) 田中一雅：伝熱有限要素法の補助プログラムについて、大島商船高専紀要、第35号(2002)
- (3) 日本図学会：「CGハンドブック」、森北出版(1989)