

マイコンを使ったラーメン解析

清水建設(株) 土木技術部 宮崎 徳次郎

梗概

マイコンの特長は、利用者が電卓を使うような気楽さで、コンピュータと対話しながら、プログラムの作成からデータの入力、処理結果のチェックと即時修正まで、一人でできる点にある。それも、今までの大型機にくらべ、高度の専門智識とか、操作技術など必要なく、だれでもが、容易に使いこなせる所にある¹⁾。そうした点から、最近のマイコンの普及ぶりには、まことに、目を見はらせるものがある。

しかしながら、このマイコンにも、まだまだ多くの弱点があり、その最たるものは、主記憶装置(メイン・メモリ)の容量が、あまりに小さいことであろう。だが、この欠点も、今日のめざましい、コンピュータ技術の進歩発展ぶりから判断すると、やがて、解決されそうだが。

一方、ラーメン解析は、元数の多い連立方程式を解かねばならぬという宿命がある。つまり、大量のデータ処理という問題が、立ちはだかっている。ラーメンの節点は、一般に、水平と鉛直方向の変位(u, v)と節点まわりの回転変位(θ)の3個の未知量をもつ。従って、 n 個の節点を持つラーメンは、 $3n$ 個の未知数からなる連立方程式を解かねばならぬ。たとえば、わずかに10節点のラーメンでも、その元数は30元となる。

筆者は、マイコンを使つてのラーメン解析に挑戦したのであるが、上に述べた、互いに対立する問題点を、充分認識した上、できるだけこれをカバーし、かつ、土木構造物で実際に出現する可能性のあるラーメン規模も考慮し、以下、本文に述べるような解決策を工夫した。詳細は本文にゆずり、ここでは、その概要を述べる。

1) まず、今迄やって来た考え方に逆行した。すなわち、ラーメン解析を汎用化しないで、次のように、独立した3種類のシリーズ・プログラムに分割した。

第1シリーズ・プログラム : 定形ラーメン解析プログラム

第2シリーズ・プログラム : 異形ラーメン解析プログラム

第3シリーズ・プログラム : 箱型ラーメン解析プログラム

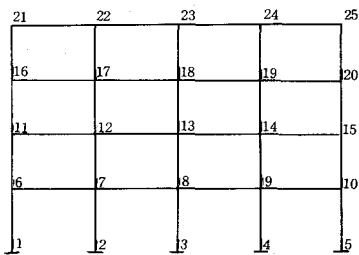
2) 更に、上記のシリーズ・プログラムを、それぞれ、次のように3ステップに分離し、各ステップ・プログラムは、きめられた順序に従って、マイコンのメイン・メモリ上にLoadされたのち、逐次処理されて行く。

プログラム・ステップ 1 : ラーメンの形状と構成する部材に関するデータを入力し、架構の剛性行列を作成するプログラム。

プログラム・ステップ 2 : この剛性行列の逆行列(柔性行列)を計算するだけのプログラム。

プログラム・ステップ 3 : 荷重データを入力し、上記の柔性行列を使って、節点変位と部材応力を算定するプログラムであり、ここにラーメン解析を終了する。

3) ラーメン解析上の仮定事項として、ラーメンを構成する各部材の軸方向変形を無視した。次に、異形ラーメンの解析シリーズだけは別として、各節点変位のうち、鉛直変位(v)をを省略し、水平変位(u)と回転変位(θ)の2個だけとした。これによって、連立方程式の未知数が1/3だけ減小した。更に、支持点の変位は零であることに着目し、上の剛性行列のなかから、支持点に関する剛性要素を全部取り除き、逆行列を求めるための架構の剛性行列の縮小化をはかった。例えば、(図-1)に示すラーメンは、一般に言えば、剛性行列の元数は、 $25 \times 3 = 75$ 元であるが、上に述べた2つの減小策をとることにより、 $(25-5) \times 2 = 40$ 元となる。(約47%の減小)

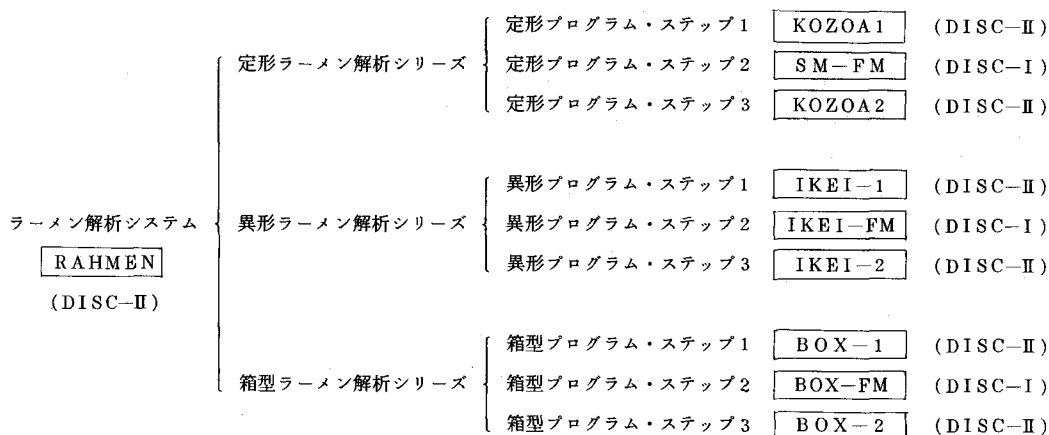


(図-1) 25節点をもつラーメン

ラーメン解析システム

(1) ラーメン解析システムの概要

(図-2)は、本ラーメン解析システムを体系的に表示したものである。



(図-2) ラーメン解析システム

(注) 内はプログラム名, ()内はそのプログラムを格納したDISC番号

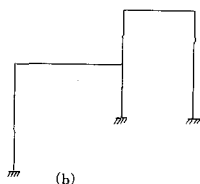
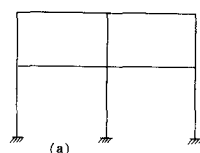
まず、上図にあらわれた「ラーメン解析シリーズ」について概略の説明をしておく。

定形ラーメン : 定形ラーメンとは(図-3)に見るように、柱材は鉛直、梁材は水平方向と限定したラーメンであり、また、柱脚はすべて固定とする。仮定事項により、材軸方向の変形を無視したから、定形ラーメンでは、節点変位は、水平変位(u)と回転変位(θ)の2個だけであり、鉛直変位(v)は考えない。これにより、変位に関する連立方程式の未知数の数は1/3だけ減小し、マイコンの小容量のメイン・メモリでも、かなり規模の大きいラーメンが解けるようになった。これが、本システムの特長の第2となるものである。

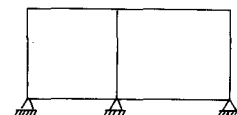
箱型ラーメン : 説明の便宜上、箱型ラーメンを次に述べる。箱型ラーメンも定形ラーメンと同じように、壁材は鉛直、天井版と底盤などは水平方向と限定した。また、材軸方向変形を無視したから、定形ラーメン同様、節点変位は u と θ の2個だけである。ただ、定形ラーメンと異なる点は、支持点にある。(図-4)に見るように、柱脚部で水平変位 $u=0$ であるが、回転変位 θ の方は、底盤の剛性にも支配される未知量である。したがって、箱型ラーメンを解析するには、柱脚部の回転変位 θ を未知数として追加された剛性方程式を解くことになる。

異形ラーメン : このラーメンは(図-5)に示すようなラーメンであり、定形ラーメンと大いに異なり、柱・梁材ともに、それぞれ自由な方向をとり得る。また、(図-5, a)に見るような、下層柱を取り払ったラーメンも解けるし、部材端がピン接合の構造物も取り扱える。この異形ラーメンでも、材軸方向変形は無視したが、節点変位は、水平、鉛直および回転方向の変位(u, v, θ)の3個を考えねばならないから、異形ラーメン解析シリーズでは、あまり規模の大きいラーメンは解析できない。自由節点数で、せいぜい15節点位までであろう。なお、自由節点数とは、全節点数から支持点数を除いた残りの節点数をいう。

また、部材の軸方向変形を無視した解析法としては、材の断面積 A を無限大とすればよいわけだが、コンピュ



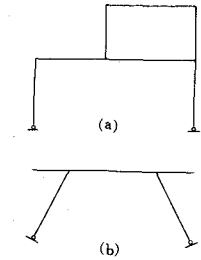
(図-3) 定形ラーメン



(図-4) 箱型ラーメン

ータには無限大という量はないから、このプログラムでは、 $EA=10 \times 10^6(t)$ とした。

筆者の使っているマイコンは、メイン・メモリの容量が64KBで、外部記憶装置としては280KBのミニ・フロッピー・ディスク（以後DISCと呼ぶことにする）を2台設備している。アクセス・タイムは平均300msである。本文では、このDISCに番号をつけ、DISC-I、DISC-IIと名付ける。この2枚のDISC内に（図-2）に示すように、ラーメン解析プログラムを格納したが、ここで特に留意していただきたいのは、DISC-Iに各シリーズ・プログラムの第2ステップとなる「逆行列」演算プログラムだけを格納したことである。この方法をとることにより、ラーメン解析計算処理の過程中、最も多量のデータを取り扱うプロセス部が、単独に行なわれるようになり、かなり規模の大きいラーメンも解けるようになった。筆者が処理した最大のものは、定形ラーメンで、自由節点数が20個（未知数40元の連立方程式となる）である。これが、このシステムの特長の第1となるものである。



（図-5）異形ラーメン

(2) ラーメン解析システムの処理形式

（図-2）に本システムの概要を示したが、ここでは、各解析シリーズ・プログラムに共通した処理形式を、定形ラーメンを例にとって、以下説明しよう。

(a) プログラム・ステップ-1

定形ラーメンでは、プログラム“KOZOA1”である。このプログラムは、データを入力し、これから架構の剛性行列を作成する。剛性行列の作成法については、良書が沢山出ているので、ここでは省略する^{2,3)}。

入力データは、まず、ラーメンの形態に関するもので、節点数、支点数、支点番号および各節点の番号と座標である。次に、各部材に関するデータとして、部材番号、部材端番号および断面2次モーメントを入力する。それが終わると、以上の入力データを使って、まず、支点も含めた「全体剛性行列 $A(i, j)$ 」を作成したのち、この行列から支点の剛性要素を除去した「縮小剛性行列 $A'(i, j)$ 」を誘導する。なお、この「縮小剛性行列」は、他の入力データとともに、後続プログラムで使えるよう、一旦、DISC-I内に格納しておく。

(b) プログラム・ステップ-2

定形ラーメンでは、プログラム“SM-FM”である。このプログラムは、ステップ1で作成した「縮小剛性行列 $A'(i, j)$ 」の逆行列「柔性行列 $F(i, j)$ 」を計算する。算法はGauss-Jordanの消去法を使っているが⁴⁾、この方法だと、 $[A' \cdot E] \rightarrow [E \cdot F]$ という処理をするため、格納データ数は、剛性行列 A' の元数を N とすると、 $N \times 2N = 2N^2$ 個となる（例、 $N=30$ のときは1800個）。なお、計算の結果、得られる「柔性行列 $F(i, j)$ 」は、次のプログラム・ステップ3で使うので、一旦、DISC-I内に格納しておく。

(c) プログラム・ステップ-3

定形ラーメンでは、プログラム“KOZOA2”である。このプログラムは、荷重データを入力し、求める節点変位と部材応力を算定する。入力データとしては、荷重ケースの数と、各ケースについて、それぞれ、節点に作用する水平力と節点モーメント、および材端に作用する固定モーメントである。

次は、この入力した荷重項 $P(j)$ と、ステップ2で作成した柔性行列 $F(i, j)$ から節点変位 $D(i)$ を次式のよう計算する。

$$D(i) = F(i, j) \cdot P(j)$$

節点変位 $D(i)$ がわかれば、部材応力 $S(i)$ 、すなわち、材端曲げモーメント $M(t, m)$ とせん断力 $Q(t)$ は

$$S(i) = A(i, j) \cdot D(j) \quad \text{から算出される。}$$

(3) ステップ・プログラムの結合

これまで述べてきたように、本システムは、マイコンのメイン・メモリー過小をカバーするため、まず、定形、異形および箱型の3シリーズに分割し、次は、各シリーズ毎に、それぞれ、ステップ1、2および3と分離したのち、これらのプログラムを、逐次、メイン・メモリー上にLoadし、処理して行く方法をとっている。この場合、

各ステップ・プログラム同志は、どのようにして、結合されているかについて、例を定形ラーメン解析シリーズにとり、説明しよう。

まず、プログラム "RAHMEN" を Load し run すると、ディスプレイ上に(図-6)の前半部のようなメッセージがでる。使用者は、質問に答えて、ここでは「1」をタイプすると、後半部のようなメッセージがでる。ここで、指示された通りにタイプすれば、メイン・メモリには新しく、定形プログラム・ステップ1の "KOZO A1" が Load され、これから、いよいよ、このプログラムに沿って、ラーメン解析が始まる。そして一応計算処理が終ると、最後に(図-7)に示すメッセージが表示されて、プログラム・ステップ1は完了する。次は、このメッセージ通りにタイプすれば、次のプログラム・ステップ2の "SM-FM" の処理に移ることができる。このようにして、ステップ1とステップ2は結合されたわけである。次のステップ2とステップ3の結合も、全く同じ方法で行なわれる。

***** ラーメン ノ カイセキ シリーズ・フ・ロク・ラム *****
コノ シリーズ・フ・ロク・ラム ナ トリアツカエム ラーメン ノ シュルイ

1 : テイタイ ラーメン
2 : イワイ ラーメン
3 : ホ・サウス ラーメン

トノ ラーメン オ カイセキ スムカ ? 1
----- TYPE AS FOLLOWING -----

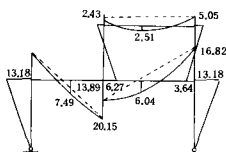
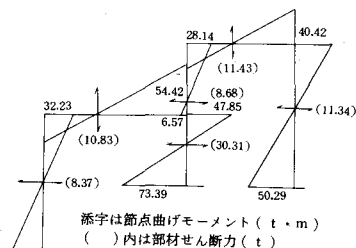
NEW - (CR)
LOAD "2:KOZO A1" - (CR)

NEW
Ok
LOAD "2:KOZO A1"
Ok (図-6)

----- TYPE AS FOLLOWING -----

NEW - (CR)
LOAD "SM-FM" - (CR)

NEW - (CR)
LOAD "2:KOZO A2" - (CR) (図-7)



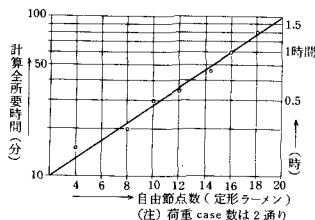
結 語

(図-8)と(図-9)に、それぞれ、定形ラーメンの地震荷重応力図および異形ラーメンの常時等分布荷重応力図を示す。(図-10)は、プログラム・ステップ2の逆行列演算で、連立方程式の元数と演算処理時間(秒)との関係を示すグラフであり、(図-11)は定形ラーメンの解析で、自由節点数と解析に要した全時間(分)との関係を示したグラフである。以上2つのグラフを見て、すぐわかるのは、マイコンはメイン・メモリの容量が小さいため、処理可能なデータ量がすぐ限界に達するというもののほかに、データ処理に要する時間にも、なにか限界がありそうだということである。

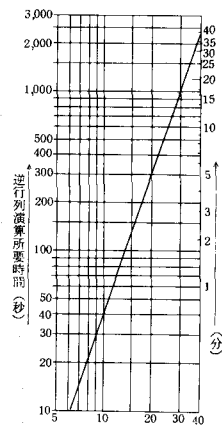
しかしながら、通常の土木構造物で自由節点数が20個を超すようなものは、案外多くないと考えられるから、われわれが、日常業務で取り扱っているラーメン解析用として、本プログラムは、充分有用であると思われる。

参 考 文 献

- 1) 古賀義亮 : 「マイクロ・コンピュータによる BASIC」
(工 学 図 書)
- 2) 小西一郎ほか: 「構 造 力 学 第Ⅱ巻」
(丸 善)
- 3) 成岡昌夫ほか: 「土木工学のためのプログラミング FORTRAN」
(培 風 館)
- 4) 戸川隼人 : 「詳解 数 値 計 算 演 習」
(共 立 出 版)



(図-11)



(図-10)