I-23　任意平面構造解析の汎用プログラム

信州大学　正員　谷本勉之助
〃　　〃　夏目正太郎
〃　○〃　石川清志

1. まえがき.　任意平面構造解析の汎用プログラムを演算子法で行う.　一般に構造解析はモデルを設定し，それにもとづいて解析を進めるが，解く構造体系の形状をきめる座標値，各部材の断面積，系の外部荷重状態，そして境界条件等をデータで与えると自動的に系を設定し，数値計算をし，必要なものを出力する．解析の系をトラス構造，ラーメン構造等に区別する必要はなく，各部材の必要とするデータを与えるだけで解くことができる．考えられる系の解析を人間が介入することなく解き上げるものである．

この汎用プログラムを小型電子計算機に適応することになった．汎用プログラムは大型計算機にしか適応できないと考えられていた．これは演算子法を用いることにより，剛性マトリクスは三軸連立方程式となるからである．

$$\begin{bmatrix} \mathbb{B}_1 & \mathbb{C}_1 & & \\ \mathbb{A}_2 & \mathbb{B}_2 & \mathbb{C}_2 & \\ & -- & -- & -- \\ & & \mathbb{A}_n & \mathbb{B}_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbb{U}_1 \\ \mathbb{U}_2 \\ -- \\ \mathbb{U}_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbb{P}_1 \\ \mathbb{P}_2 \\ -- \\ \mathbb{P}_n \end{bmatrix} = 0$$

この三軸マトリクスは全剛性マトリクスを扱うのでなく，系統付けられた単一剛性マリクス $[\mathbb{A}_m\ \mathbb{B}_m\ \mathbb{C}_m]$ を扱う関係上，連立方程式を解くうえで計算機の容量は少なくてすむ．これは今まで扱うことのできなかった超大型連立方程式になる長大構造物等に応用でき非常に重要である．数値計算で計算機の記憶容量とプログラムの長さ（処理時間）との関係は反比例的であるといわれているが，演算子法はデータの完全分類により，解析が系統的に整理され，すべてマトリクス演算である．これらの関係より，大型の記憶容量の計算機は必ずしも必要としない．またプログラムのステップ数も多くならず処理時間は非常に速いと考えられる．

小型計算機で汎用プログラムを使用し，しかも大型連立方程式を解く関係上，外部補助記憶装置を使用する必要がある．外部記憶装置をアクセス・タイムの速いダイレクト・ファイルを使用することにする．この使用方法は演算子法の漸化式に対応したファイルの使用方法で，データの読み，書き込みを漸化と歩調したシーケンシャル的なファイルの使用である．これは最初にヘッドのポジショニングで後は連続的にデータを扱うことができ，シークタイムが非常に小さいと考える．

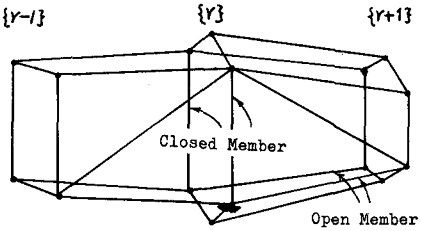

図-1.　ユニット，ノード

2. 汎用プログラムのシステム.　演算子法では単一剛性マトリクスを能率よく組織立てる必要がある．それには構造物の節点を系統的な単位構（Unit）に組み上げる必要がある（図-1）．このユニットを単位として，ノードの組織立てより，三軸マトリクスの単一剛性マトリクスが導びかれる．このユニットを注目して，ユニット内のノードに結合している部材を閉部材（クローズド・メンバー）とし，相隣するユニットのノードに結合する部材を開部材（オープン・メンバー）とに区別することができ，別々に処理される．各ユニットのノードに系統的な番号付をし，これらに関係する各部材の定義は，両端のノードの番号を付けると，その部材

の位置付が決定する． この番号をデータとして与えると，部材の位置付が定義ができ，この番号に対応するノード番号の座標から結び付けると構造体系の形状が決定する． 系の形状および部材の位置付が決定すると，部材のデータ（断面積，曲げ剛さ，荷重状態等）が得られるから，これらより演算子法のかなめ式(Key Equation)が導びかれる． このかなめ式を各ノードにおける力平衡性より，単一剛性マトリクスのどの位置に定められるかは部材の両端のノード番号に従われ，それにより単一剛性マトリクスが得られる． 特くに，計算機では各部材の両端ノート番号を能率よく，組織的にするかは，手法の問題である． このようにして単一剛性マトリクスが得られると，各ノードにおける境界条件を調べる必要がある． この境界条件処理は演算子法特有なテクニックで，単一剛性マトリクスの連立方程式に制約は条件処理をたやすくできる．

以上を各ユニット分だけくりかえすと，最後に流通の影響を受けて，最後部ユニットの各ノードの全体変位が求まる． これより BACK SOLUSION で各ユニットの各ノードごとの変形量が求まる． 各ユニットの各ノードの変形量が求まると，各部材について，変形量および力量を出力する． 全体の流れを図−2に示す．

3．構造物の形状　任意平面構造物であれば，完全に解くことができる． 一般的な直角ラーメンはもとより，曲線部材を有してもさしつかえない． またトンネル構造等のように円形でも荷重状態の方向に注意はいるが無理なく解くことができる． 構造がトラス構造になると荷重載荷の場合，部材のある中間点にかけようとしても，荷重マトリクスの関係から荷重をかけることはできない．そのため構造物の各節点に節点荷重として荷重を作用させる必要がある． ただし，トラス部材とラーメン部材（曲げたわみも考慮）がまざった構造物においては，曲げ部材のある中間に荷重を作用することができる．

構造物の部材に注目してみると，トラス部材の場合は両端モーメントはゼロの系をとり，ラーメン部材は両端は剛結合となる． またゲルバータイプの部材は片方は剛結合でもう片方はピン結合である．演算子法では，かなめ式の変形でこの条件も完全に満すことができる．

演算子法の汎用プログラムの拡張として

(1) 曲線部材の扱いは一次元有限要素的手法を用いることにより，任意な形状，および断面積を有しても十分である． 土中等に埋込まれた系等についても一次元有限要素手法で部材を細分割し，各ノードが弾性支承の支持とすれば系は十分な解を得ることができる．

(2) 三次元立体解析については，平面解析と同じ流れである．系の自由度が3次から6次に拡張するのみである． また荷重の方向，種類等が変化してもさしつかえない．

(3) 固有値問題での振動解析では出発する基礎式を系統的に整理すると，静力学的解析と全く同じに三軸マトリクスになる．固有値方程式は三軸マトリクスの行列式となり，固有値の振動数が求まる．

図−2 システム・フロー