

FEMによる非構造解析プログラムの開発とその利用

(株)大林組

太田 順

○徳永 正博

島村 直幸

中尾 通次

中野田 享

1. はじめに

非構造分野の問題に対しては以前から差分法を用いて解析されていたが、その適用範囲には自づから制限が加えられており、実験結果を併用したり、簡略化したモデルを用いて予測演算を行ったりしていた。

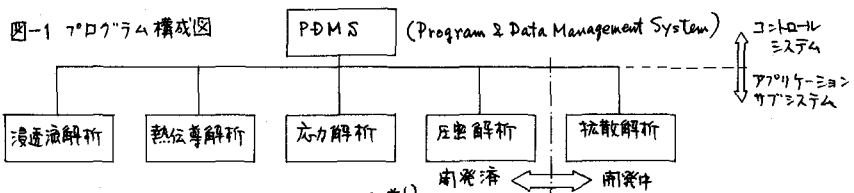
しかし有限要素法が利用できる現在、この種の問題に対して自由な解決ができる様になっている。土木工学に於いてこの様な分野は多く存在し、例えば、LNGタンクや高温容器の熱分布、地盤掘削時やトンネル掘進時の浸透流、堤体の浸透流、圧密、熱及び物質拡散、液体、津波、潮流等に対する解析が可能である。将来この様な分野の利用が増加するであろうと予想されることから、著者らは数年前からFEMを用いた非構造関係のプログラムの開発にとりかかり、一定所定の目的と異なり現在一般に利用されている。対象が限定されているので利用頻度は一般構造解析に比べて少ないが、ここにそのプログラムの構成、内容、利用状況について報告する。

2. プログラムの構成及び機能

(1) 構成

上にあげた問題の基本式は、放物型、双曲型及びそれらを変形した偏微分方程式で表わされることはよく知られている。これを離散化手法を用いて有限要素法で導く。係数マトリクスは、液体解析等ある一部を除いて一般の構造解析と同様に対称行列になり通常の解法が利用できる。ここでは線型方程式の解法にラウエーフロント法を用いている。又、大規模データを処理するためにサブストラクチャ法も併用しており、かなり大量のデータを処理できるようになっている。又、許容、要素データ等の簡単なデータ自動作成機能も備えており、データ作成時には非常に役立つ。

プログラムはいくつかのサブシステムに分れており、現在、1つのコントロールシステムと4個のサブシステムより成る。プログラム構成は図-1の様になる。



(1) PDMS (Program and Data Management System) *1)

このシステムはプログラム(サブルーチン群単位一BOXと称する)とデータとファイルに保存し、それを随時取出して使用する、いわゆるプログラムベース、データベースの考えに基づいている。ここでは、サブルーチン群をBOXという名称で取扱い、それに番号を付けてBOXライブラリーに登録している。又、データに関してはPDMSの持つDRS(Data Retrieval System)という機能のもと、ある固有の指標(Data ID.)を付けてファイル(DRS File)に登録してある。プログラムを参照する時はBOX No.と、データを参照する時はData ID.を指定して取り出すことができる。このシステムではプログラム実行中の中間データの保存が可能であるので計算途中の打ち、再計算が容易に行なえる。したがって繰返し演算や長時間演算に対して便利であり、安全である。

PDMSの機能は、図-2に示す如くである。

(ii) 浸透流解析システム

堤体の浸透流解析、掘削地盤の浸透と井戸及び揚水ポンプの関係等、土木工事に於いては工中水の浸入の問題が生ずることが多い。ここではダルシー流れの定常浸透流解析を行ない、自動的に自由水面を決定する機能を有する。又、浸透圧の計算を行なうことができ、ボーリングやフィックスンドの検討も可能である。

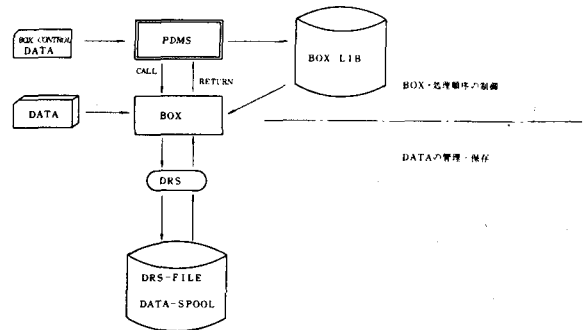


図2 PDMSの主機能

(iii) 熱伝導解析システム

最近、LNG地下タンクや高温容器の様に熱の問題となる構造物の計算が多くなり、構造物自身及びその周囲の熱分布の影響が無視できなくなっている。普通これらは複雑な形状で大型であり、熱分布が局所的に偏っているのを、連続体とその要素モデル化して熱伝導計算を行なわなくてはならない。ここでは非定常線型熱伝導解析を行なうことができ、繰返し演算の途中で中間データを保存できる。又、再計算の時にデータを修正することも可能である。したがって非線型的な挙動や時間依存の境界条件の変化等が取り扱え、その利用範囲は広い。又、各時刻に於ける熱分布をファイルに保存することにより、応力計算のサブシステムにコントロールを渡し、応力解析を行なうことができる。

(iv) 応力解析システム

このサブシステムは一般の構造解析で行なわれているのと同様のプログラムで、浸透流問題から生じた浸透圧、熱伝導問題から生じた熱分布による応力解析を行なうものである。単独の機能としては、工の弾塑性の演算ができる様に考へられており、掘削地盤やトンネル(シールド)等の解析には有効である。

(v) 圧密解析システム

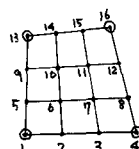
軟弱地盤に於ける圧密の問題は、現在 Terzaghi 理論により解決されているが、これは一次元圧密の仮定のもとしか解は求まらない。一般にはこの問題は三次元(二次元)的なものが多いとされており、この様なものに對しFEMが有効なことは明らかである。ここでは二次元平面を、三次元軸対称状態の圧密解析を行なうことができる。圧密理論には Biot の理論を用いている。*2)

(2) 機能

FEMを利用する場合に最も障害となることは、データ作成時の煩雑さと、実行に長時間を要するということがあげられる。この様な欠点に對し、ここでは、前者に對し簡単なデータの自動発生機能を備えており、それを利用することにより大量のデータを必要とする作業が作成することが可能になった。又、後者に對しては、ウェーブフロント法を用いることにより次元の連立方程式を効率よく解くことができる。

(i) データ自動作成機能

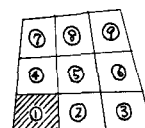
ここで用いているデータ自動作成機能は非常に簡単なアルゴリズムで、等差数列的に節点定義、要素定義、有重、境界条件等を定義できる。



【節点データ】

①入力節点データ

・自動作成される節点データ



【要素データ】

③~⑨までが自動作成される。

↑始要素

(iii) 大次元連立方程式の解法 (ウェーブフロント法-サブストラクチャ法)

ウェーブフロント法は Melosh^{*3)} によって開発され、Irons^{*4)} によって巧みなプログラムが発表されている。ここではこのプログラムを修正して組んでいる。この方法は処理の進行状況があたかも波が進行していくのに似ていることからこの名称 (Wave Front) が付けられており、モデルに対し節点 NO. の付け方が自由であることと、要素の追加削除が自由であるという特徴があり、特に地盤の盛工、切工をモデル化して解析する場合に有効である。又、サブストラクチャ法を併用しているのでかなりの大次元の連立方程式まで解くことが可能である。

3. プログラムの利用

以上述べた様な問題に対して、FEMを利用して実用的な解析が行なわれる様になったのは最近のことである。したがって一般構造問題に比して数も少ない。ここでは現在までによく解析されている例について述べる。

- (1) 掘削に伴う周辺地盤の変位変化及び、付近の地下水位の変化、揚水量の決定。(図-3)
- (2) LNG地下タンクによる、周辺地盤の凍結範囲の推定及び、それに要する時間の推定を行ない、凍上による影響範囲を見積る。又、温度応力、凍結圧による応力解析を行ない、タンクの設計に資する。
- (3) 不良地山のトンネル掘削に対し、現地地盤の予知と、押え盛工を施した場合の地盤に於ける弾塑性解析を行ない、押え盛工の有効性を検討する。(図-5)
- (4) 高温圧力容器に於ける熱伝導解析を行ない、それによる熱応力を解析する。又、一般外力による応力を求め合成応力を計算する。(図-4, 6)
- (5) 山留壁の応力変形解析。

4. あとがき

FEMを、主として非構造分野に応用したプログラム構成と、その利用形態について述べたが、現在のとこ浸透関係と熱伝導関係が主な利用で、それに複合した応力解析が多く、液体、拡散問題への需要は、いまだ発生していない。環境評価を行なう場合、この種の問題が多く生じることが予想され、その様な問題に対しある程度解を用意できる様にしたいと思っている。現在、拡散問題解析(熱及び物質拡散)のサブシステムを整備しているが、その他の問題解決にも参与できる様、種々のサブシステムを付加する予定である。

参考文献

- 1) "FEMの経験と将来" 板橋肇二, 計算計画シンポジウム論文集, P67, 1976 IBM
- 2) Biot M.A.: General Theory of Three Dimensional Consolidation, Jour. of Appl. Phys., Vol. 12, May, 1941.
- 3) Melosh R.J.: Efficient Solution for Linear Matrix Equations, ASCE 96, pp49-64, 1970
- 4) Irons B.M.: A Frontal Solution Program for Finite Element Analysis, International Journal for Numerical Method in Engineering. Vol 2, 1970.

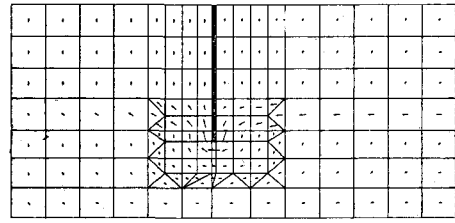
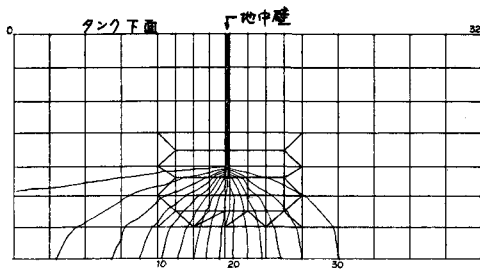


図-3. タンク下面の揚圧力を低減するために、タンク下面よりの揚水量を決定する。この図は地中壁の下部をより込んで水が流れる場合の等ポテンシャル線図と流速図である。(軸対称)

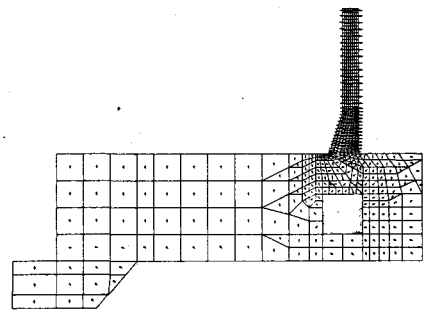
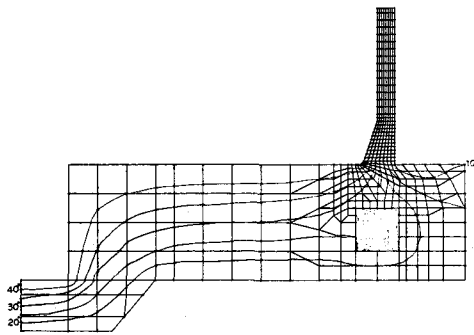


図-4. 開口部を有するPC高温圧力容器の温度分布解析。等温線図、温度流速図。(軸対称)

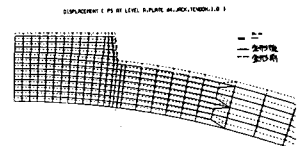
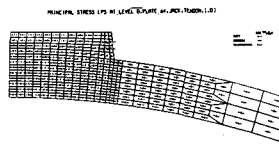
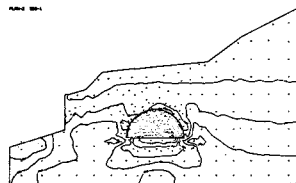
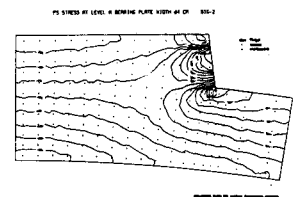
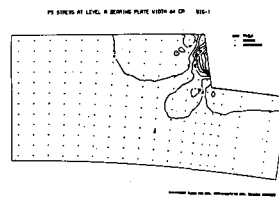
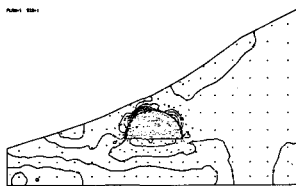


図-5. 不良地山の掘削に対して押し盛土を施した場合の弾塑性解析。原地山と押し盛土を施した場合の最大主応りの等ポテンシャル線。(平面歪)

図-6. PC圧力容器のPC鋼線固定部に於ける局部弾性応力解析。最大、最小主応力の等ポテンシャル線図、主応力図、変位図。(平面歪)