

鹿児島大学工学部 正員 北村 良介
同 上 学生員 塚本 英治

1. まえがき

近年の電算機技術の発展に伴い、有限要素法(FEM)は材料力学の各分野で数値解析の一手法としてよく用いられてきている。土質工学の分野でもFEMを用い、複雑な境界と有する地盤の変形や破壊を予測し、基礎構造物の安全かつ経済的な設計・施工、防災対策に役立てようとする試みは数多くなされ、その有用性が明らかにされてきている。

ところで、地盤の変形解析にFEMを適用する際に、次の2点が大きな問題となる。すなわち、要素の大きさおよび分割の手法、連立1次方程式の解法などような電算機のプログラム手法に関すること、そして、土の力学特性を簡単な土質試験によって得られる数少ない土質パラメータを用いていかに適確に表現するかという土の構成式に関する問題である。本報告は、FEMにおける前述のような点を認識し、我々の研究室で地盤の変形解析を行うために作成したFEMプログラムに関する第1報である。

2. FEMプログラムの概要

図-1は用いたFEMプログラムの概要を示すフローチャートである。図中の各ステップは、今後のプログラムの追加、修正を容易にするため、すべてサブルーティンとしてプログラムに組み込まれている。図中の剛性方程式を解いて接点変位 $\{\delta\}$ を求めるサブルーティンにおいてはガウスの消去法を用いている。また、要素の応力 σ とひずみマトリックスを求めるサブルーティンにおいては、第1段階として、最も簡単な等変形弾性体の構成式を用いている。すなわち、テンソルを用いた一般表示形を示すと次式のようになる。

$$e_{ij} = \frac{1+\nu}{E} \sigma_{ij} - \frac{\nu}{E} \sigma_{kk} \delta_{ij} \quad (1)$$

ここに、 $\left\{ \begin{array}{l} e_{ij}: \text{ひずみテンソル,} \\ \sigma_{ij}: \text{応力テンソル,} \\ E: \text{ヤング率,} \\ \nu: \text{ポアソン比.} \end{array} \right.$

ところで、土の応力 σ とひずみ ϵ の関係は非線形性とグライシランシー特性を考慮したものが必要となるが、①式は土の構成式として十分でない。そのため、最近20年余り、世界中で研究が行われ、提案されてきているような土固有の構成式を用いる必要がある。しかし、これらの構成式をFEMに組み込むには①式を示したようなテンソルを用いた一般表示形でなければならな

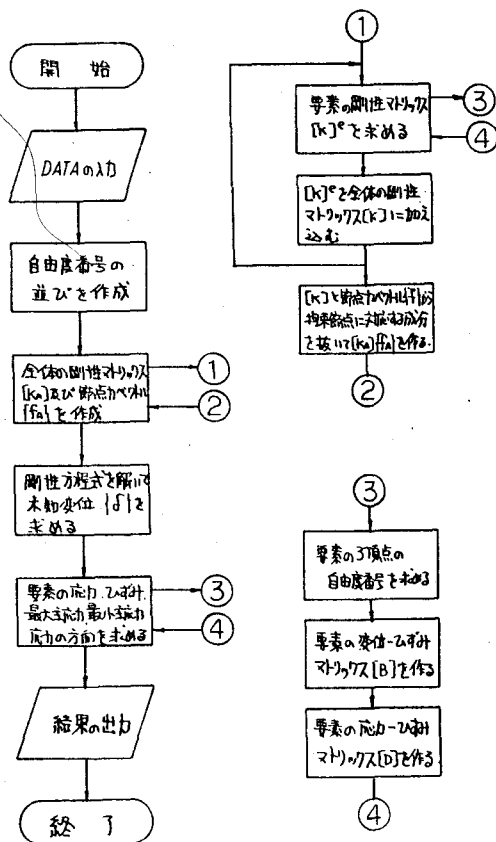


図-1 FEMプログラムの概要を示すフローチャート

いにもかかわらず、これまでに提案されてきた構成式はそうでないものも少なくない。したがって、それらのものは一般表示形への変換が必要である。例えば、足まら⁴⁾は、軸対称応力状態に対して $p(\sigma_1 + 2\sigma_2)$, $q(\sigma_1 - \sigma_2)$, $\varepsilon(\varepsilon_1 - \frac{1}{2}\varepsilon_2)$, ε_2 (ここに、 σ_1, σ_2 : 最大、最小主応力, ε_1 : 軸ひずみ, ε_2 : 体積ひずみ)を用いて誘導された Cam-clay モデルの構成式を一般表示形に変換している。

3. 解析例

図-2は、変形解析を行った水平地盤と要素分割を示している。地盤の大きさは、深さ 5m, 中央からの距離が 10m である。要素数は電算機の容量との関連で 74 とした。境界条件は底面固定、両側面で鉛直方向のみ可動とし、地盤中央部より半幅 1m の範囲に $q=5 \text{ tf/m}^2$ の等分布荷重が作用したものとした。用いた土質パラメータは、土の単位体積重量 $\gamma = 1.68 \text{ tf/m}^3 (15.7 \text{ kN/m}^3)$, 静止土圧係数 $k_0 = 0.5$, ヤング率 $E = 2000 \text{ tf/m}^2 (1.96 \times 10^8 \text{ kN/m}^2)$, ポアソン比 $\nu = 0.3$ である。解析は平面ひずみ条件で行っており, $q = 5 \text{ tf/m}^2 (49 \text{ kN/m}^2)$, $10 \text{ tf/m}^2 (98 \text{ kN/m}^2)$ の場合の結果が図-3, 4 に示されている。図-3は地盤の変形を, 図-4は主応力方向とその大きさを示している。

4. あとがき

今後は土固有の構成式を用い、履歴を初期および境界条件を有する地盤(例えば斜面)の変形・強度解析へと発展させたいと考えている。

(参考文献) 1) 足まら野: S & F, Vol. 14, No. 4, pp. 55-72.

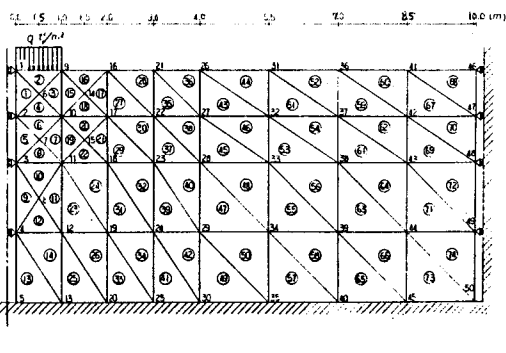


図-2 地盤の大きさと要素分割

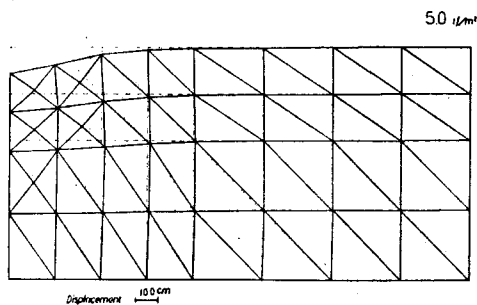


図-3(a) $q = 5 \text{ tf/m}^2$ の地盤の変形

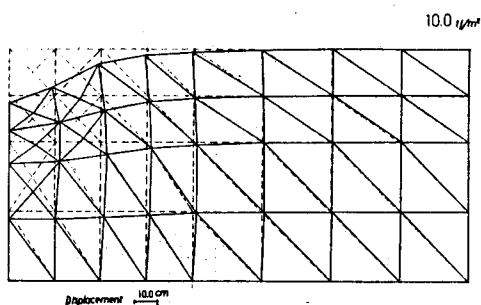


図-3(b) $q = 10 \text{ tf/m}^2$ の地盤の変形

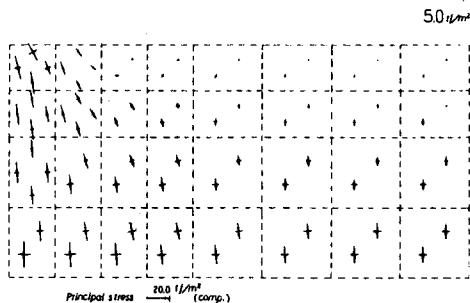


図-4(a) $q = 5 \text{ tf/m}^2$ の主応力方向とその大きさ

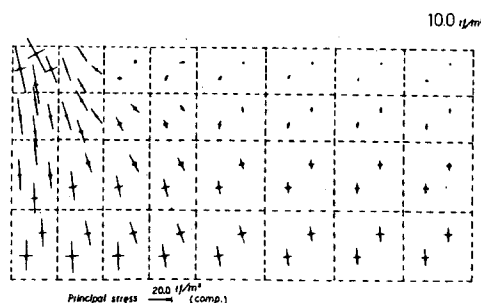


図-4(b) $q = 10 \text{ tf/m}^2$ の主応力方向とその大きさ