

III-42

FEM 解析による地盤の変形・強度解析(第1報)

鹿児島大学工学部 学生員 那須 信行
 同 上 正員 春山 元寿
 同 上 正員 北村 良介

1. まえびき

当研究室ではFEM用電算機プログラムを一昨より開発してきており、等方線形弾性体、および、Cam-clayモデルの構成式を用いた水平地盤の変形解析を行ってきた^(1,2)。本報告は、それらの研究を発展させたものである。すなわち、拡張された von Mises の破壊規準を導入し、変形特性のみならず破壊要素の分布、限界支持力等の強度特性についても言及している。

2. プログラムの概要、および、破壊規準の導入

プログラムの概要は参考文献(1)に示したフローチャートと同じであるが、応力~ひずみマトリックス、変位~ひずみマトリックス、要素剛性マトリックスを求める部分に若干の改良を加え、計算時間の短縮をはかっている。

破壊規準は次式で示される拡張された von Mises の規準を用いた。

$$\sigma/p \geq M \quad (1) \quad \text{ここに} \quad \begin{cases} \sigma = \sqrt{3J_2}, J_2: \text{偏差応力の2次不変量}, p: \text{平均有効主応力}, \\ M: \text{Cam-clay モデルにおける限界状態での応力比 } \sigma/p. \end{cases}$$

各要素の応力状態が(1)式を満足するか、最小主応力が引張応力となる場合に要素は破壊したものと判定した。破壊した要素については、応力を次式により、等価接点外力に変換し、以後の載荷に対して変位は生じるが、応力は変化しないものとした。

$$\{f\} = [B]^T \cdot \{\sigma\} \cdot s \cdot t \quad (2) \quad \text{ここに} \quad \begin{cases} \{f\}: \text{等価接点外力ベクトル}, \{\sigma\}: \text{要素の応力}, \\ [B]: \text{変位~ひずみマトリックス}, s, t: \text{要素の面積, 厚さ}. \end{cases}$$

3. 解析結果、および、考察

図-1は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10m、中央からの距離が20m、要素数78である。境界条件は、底面固定、両側面で鉛直方向のみ可動とした。用いた構成式は、等方線形弾性体、および、Cam-clayモデルの排水条件でのものであり、平面ひずみ条件を満足している。これらの条件は従来の解析と同じである。用いた土質パラメータは次のようである。土の単位体積重量 $\gamma = 1.6 \text{ tf/m}^3$ 、静止土圧係数 $K_0 = 0.5$ 、ヤング係数 $E = 1000 \text{ tf/m}^2$ 、ポアソン比 $\nu = 0.3$ 、圧縮指数 $C_c = 0.625$ 、膨潤指数 $C_e = 0.025$ 、初期間隙比 $e_0 = 1.213$ 、 $M = 1.49$ である。これらの値は、しらすの側圧 30 kgf/cm^2 までの一連の三軸実験結果より採用された。載荷方法は次のようである。すなわち、半幅20mの地表面全体に 2 tf/m^2 の等分布荷重を加えた後、中央部の半幅1mの範囲に等分布荷重 8 tf/m^2 を加えるようにした。等分布荷重の増分 $\Delta \sigma \text{ tf/m}^2$ は線形解析の場合は 5 tf/m^2 、Cam-clayモデルを用いた非線形解析では 2 tf/m^2 とした。

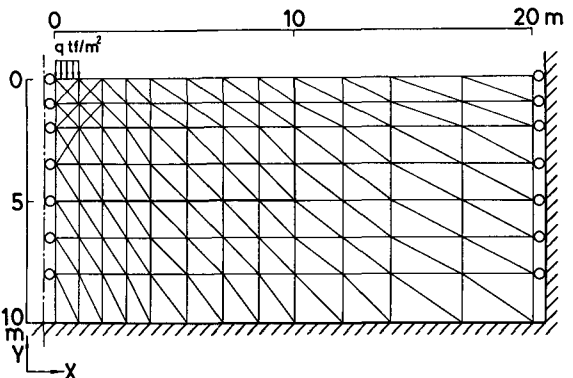


図-2, 3は、Cam-clayモデルを用いた非線形解

図-1 対象地盤と要素分割

析における地盤の変形・破壊状態を示している。これらの図は、図-1の太線で示した中央部の深さ5m、半幅10mの部分を示しており、また、点線は元の状態を示している。図-2は $\gamma = 20 \text{ tf/m}^2$ 、図-3は $\gamma = 24 \text{ tf/m}^2$ の時のものである。破壊している要素は、図-2では2個であるが、図-3では18個に急増している。図-4は、線形解析・非線形解析における荷重中央部での荷重～沈下曲線を示している。これらの曲線より、破壊荷重は線形解析の場合には 30 tf/m^2 、非線形解析の場合には 22 tf/m^2 と推定される。また、その時の沈下量は、それぞれ16.5cm、38cmとなっている。

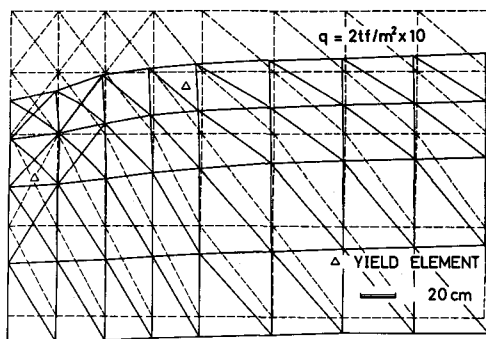


図-2 $\gamma = 20 \text{ tf/m}^2$ での変形・破壊状況

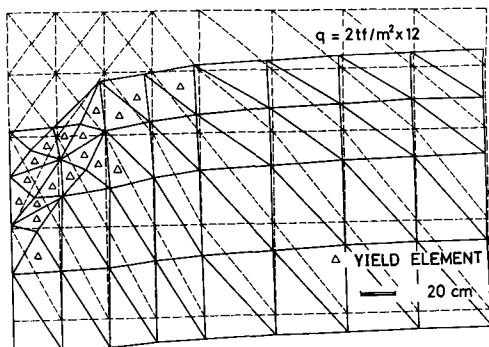


図-3 $\gamma = 24 \text{ tf/m}^2$ での変形・破壊状況

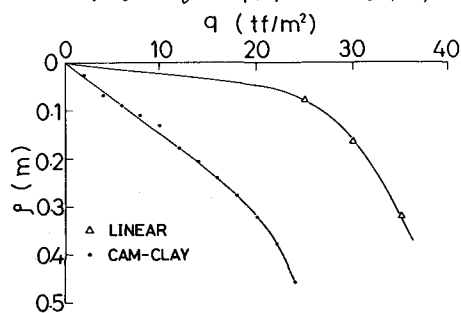


図-4 荷重～沈下曲線(荷重中央部)

上述の破壊荷重について、次式に示すTerzaghiの連続フーチングに対する支持力公式を用いて検討する。

$$q_d = C N_c + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma + \gamma D_f N_q \quad (3)$$

図-1に示したしらす地盤では $C = 0 \text{ tf/m}^2$ 、 $\gamma = 1.6 \text{ tf/m}^2$ 、 $\gamma D_f = 2 \text{ tf/m}^2$ である。また、 $M = 1.49$ より内部摩擦角は 37° と逆算され、対応する支持力係数は、それぞれ、 $N_c = 70$ 、 $N_\gamma = 50$ となる。これらの数値を(3)式に代入すると、極限支持力 $q_d = 21.2 \text{ tf/m}^2$ となる。Terzaghiの極限支持力とFEM解析から求めた破壊荷重の間には大きなばらばらがあり、また、FEM解析から求めた沈下量もしらす地盤としては大きな値となっている。これらの理由として、Cam-clayモデルの構成式は正規圧密のみに適用可能であるのに、本解析では過圧密状態と考えられるしらす地盤に適用していること、破壊規準の $\gamma/p \geq M$ におけるMの値は、過圧密領域ではpの値に依存し、低応力状態(地表面付近)では、ここで用いた値よりも大きくなる、ということなどが考えられる。

4. あとがき

地盤材料に固有なCam-clayモデルの構成式を用いたFEM解析を行い、変形・強度特性について、線形解析結果、Terzaghiの極限支持力などと比較することにより考察した。現段階では、上述のように、地盤材料、構成式、土質パラメータの選び方に問題があり、定量的な議論の段階には至っていない。今後は、土槽実験、現場実測データを集積し、変形・強度問題に対して定量的な議論が可能となるように検討を加えたい。

参考文献)

- 1) 北村・塚本：土木学会西部支部研究発表会、1982。
- 2) 川原・北村・藤尾：土木学会西部研究発表会、1983。
- 3) 春山・北村・三隅：第37回土木学会年次講演会、Ⅲ-19、20、1982。