

粘土地盤の変形における幾何学的非線形性の影響について

大阪大学工学部 正員 松井 保
 大阪大学工学部 正員 阿部信晴
 大阪大学大学院 学生員 山本武史

1. まえがき

土の構成関係式の解明が進むにともない、適切な材料の非線形性を導入した有限要素解析が数多く提案されているが、軟弱地盤の変形解析などのような比較的大きな変形が生じる問題においては幾何学的非線形性の影響についても検討する必要があると考えられる。本報告は材料の非線形性および幾何学的非線形性をともに考慮した有限要素法により帯状載荷を受ける軟弱地盤の変形解析をおこない、この結果を微小変形解析結果と比較することにより幾何学的非線形性の影響を明らかにするものである。

2. 解析法

有限変形解析法はMurray-Wilsonによる移動座標法を連続体の平面ひずみ問題に適用したものであり、幾何学的非線形性と材料の非線形性を同時に考慮するような場合について荷重増分法と反復法を併用した手法である。解析手法については文献^{27,32)}を参照されたい。非排水変形解析についてはChristianによって提案された有効応力の概念にもとづく手法を用いている。また、本解析は構成関係式として Modified Cam-clay model を用いる弾塑性解析である。

すなわち、降伏関数として次式を用いる。

$$f = \sigma_m' \left(\frac{M^2 + \eta^2}{M^2} \right) - \sigma_{my}'$$

ここに、 σ_m' : 平均有効主応力、 $\sigma_{\alpha\alpha}'$: 八面体せん断応力、 η : 有効応力比 ($\sigma_{\alpha\alpha}'/\sigma_m'$)、 M : 破壊時の η 、 σ_{my}' : ひずみ硬化パラメーターである。

3. 解析例

上記の解析法により、帯状載荷(載荷幅20°)を受ける正規圧密飽和軟弱地盤(幅100m×深さ10m, 30m, 50m)の非排水変形解析をおこなった。解析は対称性により1/2領域について実施している。図-1に深さ30mの場合の要素分割を示す。材料定数は $\lambda=0.3$, $K=0.03$, $M=0.7$, $e_0=2.05$, $\nu=1/3$ であり、初期応力状態は $K_0=1.0$, $\sigma_{m0}'=6.0 \text{ t/m}^2$; 地盤内 γ 一定とした。

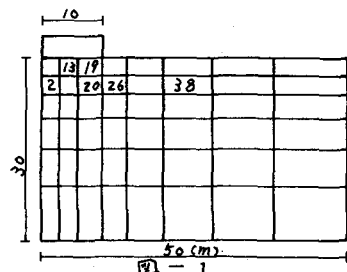


図-1

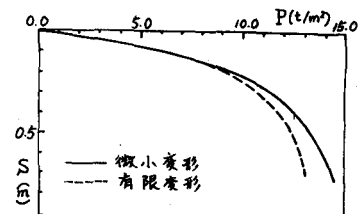


図-2

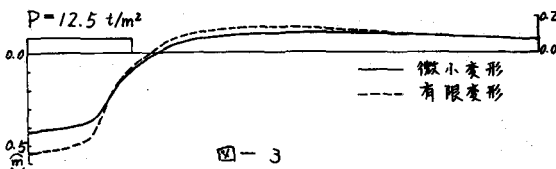


図-3

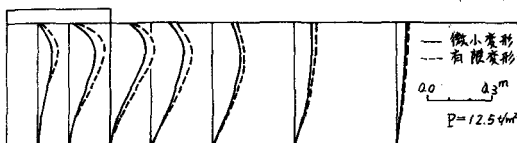


図-4

4. 計算結果

計算結果は紙面の都合で深さ30mの場合についてのみ図-2~12に示す。図-2は荷重-沈下曲線である。両曲線は $P=6.0\text{ t/m}^2$ ま

ではほとんど一致しているが、有限変形解析では $P=8.0\text{ t/m}^2$ 付近から急激に沈下量が増加し、 $P=13.5\text{ t/m}^2$ では解は収束しなかった。

図-3~4はそれぞれ $P=12.5\text{ t/m}^2$ での表面変形、側方変位量を示したものであり、両解析の差が顕著に認められる。図-5~10は、図-1に示す各要素の有効応力経路および全応力経路である。有限変形解析における有効応力経路は応力比が高くなるにしたがい微小変形解析の有効応力経路の下方を進み、かつ早く破壊線に達する

傾向が明らかである。これは両解析における要素のひずみ硬化の程度に差が生じることによるものである。図-11, 12は $P=12.5\text{ t/m}^2$ での有効応力比分布および間ゲキ水圧分布である。有限変形解析では広い領域に応力が分散しているのが認められるが、載荷域直下ではより高い応力比を示し、すでに破壊域に達している。間ゲキ水圧分布についても有限変形解析ではより高い値となっている。極限支持力は有限変形解析では 13 t/m^2 、微小変形解析では 16 t/m^2 程度となる。したがって、本解析例においては安全率がほぼ2程度の荷重レベルから両解析の変形・応力状態に差異が生じはじめ、幾何学的非線形性の影響が無視できなくなる。

<参考文献>

- 1) Murray, D.W. et al., *Finite element postbuckling analysis of thin elastic plate*, AIAA, Vol. 7, No. 10, 1969
- 2) 松井他, 有限変形理論にもとづく飽和粘土地盤の有限要素解析, 第11回工質工学研究発表会, 1976
- 3) 松井他, 有限変形理論にもとづく超軟弱地盤の有限要素解析, 超軟弱地盤に関するシンポジウム, 1977
- 4) 松井他, 有限変形理論にもとづく飽和粘土地盤の有限要素解析, 第32回土木学会年次学術講演会, 1977 (建築物)

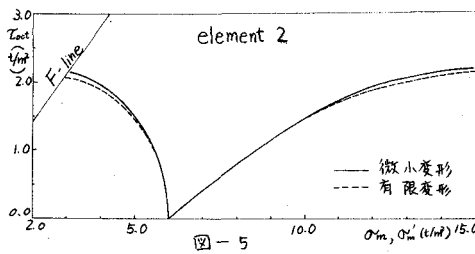


図-5

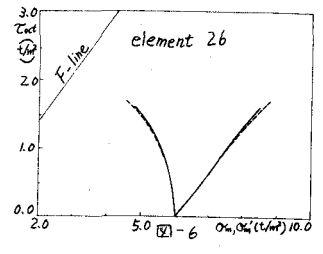


図-6

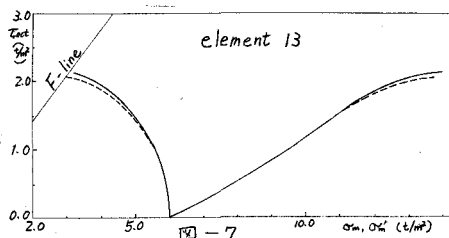


図-7

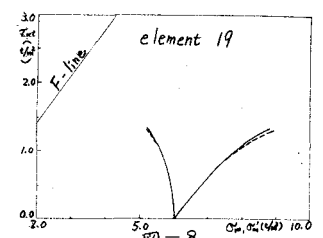


図-8

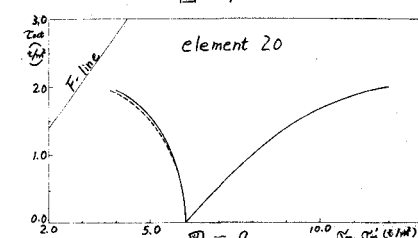


図-9

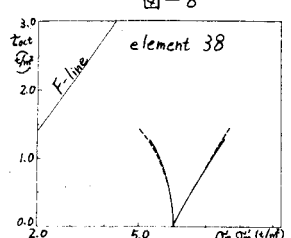


図-10

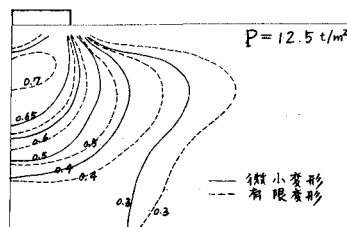


図-11

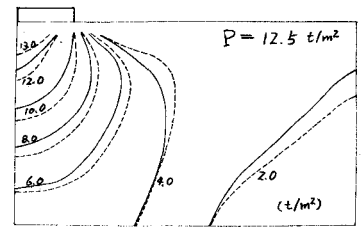


図-12