

島尻層泥岩の孔内水平載荷試験のFEM解析結果について

琉球大学大学院 学生員 ○ 砂川 尚之
琉球大学 正会員 上原 方成
正会員 原 久夫

1 はじめに

島尻層泥岩は、工学的に軟岩（過圧密粘土）に分類され、沖縄本島中南部地域の表層または基盤として広く分布している。この島尻層泥岩は、地質履歴による固結度の相違により幅広い力学的性質を示す。また、乾湿劣化を受けやすいため、設計・施工上の取り扱いが難しく、近年の土木構造物の大型化・重量化に伴い、その変形挙動や支持力特性を適切に把握することが重要になってきている。

以上のような観点から、本論文では、島尻層泥岩地盤における孔内水平載荷試験結果に対し、土の構成モデルに修正 Cam Clay モデルを用いた FEM 解析(CRISP)をおこない、その適用性の検討を行った。

2 試験方法および解析手法

(1) 室内および載荷試験方法

琉球大学工学部敷地内の島尻層泥岩地盤において、深度 2.7m で孔内水平載荷試験を実施するとともに、主要な土質定数を求めるため、同時にコアを採取した。孔内水平載荷試験は、1 室のゴムチューブ製測定管を用い、圧力増分を 98.1(kN/m²)とし、各圧力段階において、15,30,60,120(sec)ごとに圧力と変位量を測定した。なお、圧力段階 1.18(MN/m²)で測定管が破損したため、その時点で試験は打ち切った。

(2) FEM 解析

FEM 解析において地盤を弾塑性体と仮定し、土の構成モデルに修正 Cam Clay モデルを用い、図-1 に示す。要素分割図を用いて孔内水平載荷試験について軸対象・非排水として解析を行った。解析に用いた各物性値を表-1 に

示し、以下にその算出方法を示す。

表-1 島尻層泥岩の主要な物性値

土粒子の密度 γ (kN/m ³)	18.64
液性限界 w_L (%)	71.43
塑性限界 w_P (%)	28.93
塑性指数 I_P (%)	42.50
ポアソン比 ν (仮定)	0.3
限界状態線の勾配 M	1.18
圧縮指数(自然対数) λ	0.199
膨潤指数(自然対数) κ	0.0286
規準体積比 Γ	2.18

練り返し再圧密した島尻層泥岩試料を用いた圧密非排水三軸圧縮試験から、限界状態線(CSL)の勾配 M を、等方圧密、膨潤試験における $\nu - \ln p'$ の関係から λ 、 κ 、 Γ を定めた。

限界状態理論による数値解析において、地盤の応力状態を適切に決定することは重要であり、したがって、正規圧密および過圧密状態における、より厳密な K_0 値を求める必要がある。そこで、練り返し再圧密した島尻層泥岩の K_0 三軸圧縮・膨潤試験を行い、その結果、正規状態における K_0 値 0.48¹⁾が得られた。一方、過大な過圧密状態における K_0 値は、試験機の機能上の制約から求めることが困難なため、Wroth²⁾による η と $\ln p'$ の関係から、過圧密領域における K_0 値を次式を用いて求めた。ここに、 K_{0NC} は正規圧密状態における K_0 値であり、 n は過圧密比である。

$$3m \left(\frac{1 - K_{0NC}}{1 + 2K_{0NC}} - \frac{1 - K_0}{1 + 2K_0} \right) = \ln \left(n \frac{1 + 2K_{0NC}}{1 + 2K_0} \right)$$

FEM 解析は、地盤を過圧密状態にあるものと仮定して行った。解析には初期応力状態(σ'_1, σ'_3)および降伏応力 p'_e が必要である。これらの値は、練り返し再圧密した島尻層泥岩の標準圧密試験による $e - \log p$ 曲線と、現地盤の土かぶり圧および間隙比から推定した。

3 結果と考察

孔内水平載荷試験結果から変形係数 E 、降伏圧力 p_y および極限圧力 p_l などが求まる。また、変形係数 E を

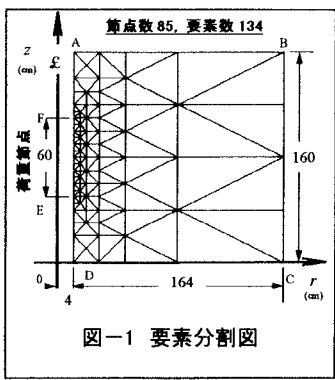


図-1 要素分割図

利用した研究も盛んに行われており、数多の応用例が提案されている。そこで、載荷試験結果およびFEM解析結果から、それぞれ変形係数を求めて、FEM解析への適用性を検討する。

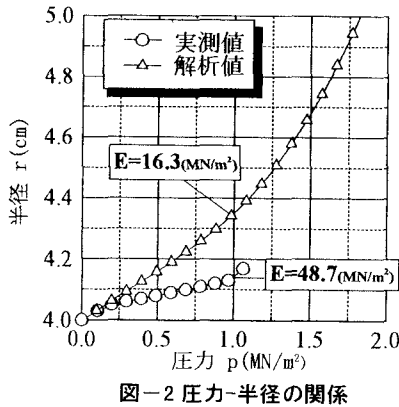


図-2 圧力-半径の関係

図-2 に実測値および解析値の、圧力と孔内半径の関係を示す。実測値において、上述したように、載荷試験の途中で測定管が破損したため、 p_y および p_l を求めることができなかった。一方、FEM 解析結果においても、明確な値を求めることができないため、変形係数の計算において、実測値は測定管が破損するまでのデータを採用し、解析値では圧力と半径の関係において、初期に現れる直線部分を延長し、直線関係が成立する間のデータを採用した。その結果、実測値および解析値の変形係数は、それぞれ 48.7、16.3 (MN/m²) となり、実測値に比べて解析値の方が小さい値となった。

実測値と解析値の違いは、載荷試験時の測定誤差、島尻層泥岩の二次圧密や続成作用による結合力の影響また、FEM 解析における地盤の応力状態 (K_0 値) の算定方法や、大きな過圧密状態における修正 Cam Clay モデルの適用性などの要因が考えられる。

図-3 は FEM 解析における要素内の応力状態について、降伏した領域および限界状態(CSL)に達した領域を、それぞれ記号によって表したものである。(a)は圧力の増加に伴い、要素内において、初めて限界状態(CSL)に達した領域が出現した圧力段階を表しており、荷重節点(EF)の中心付近から限界状態に達していることが確認できる。また、すでにこの時点で、荷重節点(EF)に沿った要素のほとんどは降伏している。一方、(b)は最終圧力段階における要素内の応力状態を表しており、

(a)に比べて、降伏した領域は半径方向に拡大し、さらに、荷重節点(EF)の外側の領域まで広がっている。また、荷重節点(EF)のほとんどの領域において、限界状態(CSL)に達していることが確認できる。

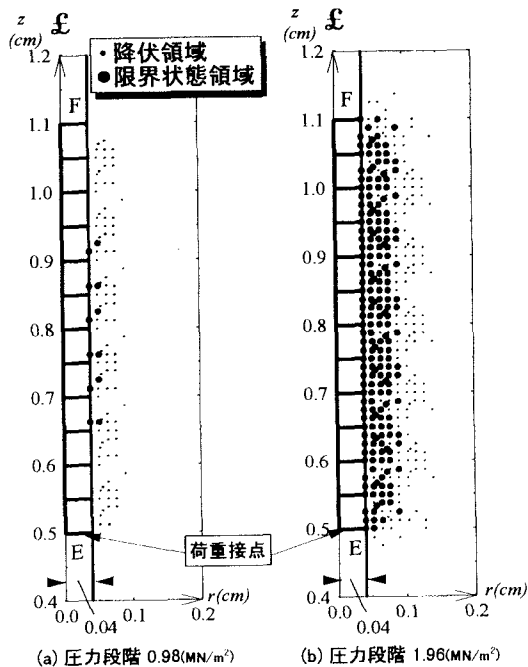


図-3 要素内の応力状態 (荷重節点近傍)

4 結論

沖縄の代表的な特殊土である島尻層泥岩を対象に、孔内水平載荷試験を実施するとともに、土の弾塑性理論に基づき、土の構成モデルに修正 Cam Clay モデルを用いて載荷試験の FEM 解析をおこなった。主要な結果をまとめると以下になる。

- (1) 圧力と半径の関係において、実測値と解析値とは異なった変形挙動を示し、解析値から得られる変形係数の方が小さい値となった。
- (2) 島尻層泥岩地盤の FEM 解析において、修正 Cam Clay モデルの適用には、今後、さらに検討が必要である。

謝辞: 孔内水平載荷試験の実施については、応用地質(株) 沖縄営業所のご協力を頂きました。ここに記してお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 原 久夫: 繰り返し再圧密した島尻粘土の K_0 値について, 平成 8 年度 土木学会西部支部研究発表会概要集, 1980
- 2) 石原研而, 木村猛: 土工学体系 8 土質力学, 彰国社, pp. 123-126, 1980