

有限要素法による複合地盤の解析

(株) 奥村組 技術研究所 正員 有本勝二

〇 国重敏明

1. まえがき

粘性土中に締固め砂杭を打設した、いわゆる複合地盤は、砂杭と粘性土に作用している増加応力（応力から土の自重を差引いたもの）の比である応力分担比を用いて設計されている。しかし、この応力分担比を解析的あるいは数値解析的に求めることは困難であり、過去の実績等から経験的に求められることが多かった。

ここでは、FEMを使用した複合地盤の数値解析手法を示し、この方法で求めた応力から計算した応力分担比と室内実験から得られる値とを比較したので報告する。

2. 複合地盤の数値解析法

複合地盤は土質力学的性質が異なる砂杭と粘性土地盤からなるので、解析としてはそれぞれの応力-ひずみ関係も考慮する。¹⁾

(1) 土の土質力学的性質

土の挙動は一般に、非線形、非弾性的であり、側圧に影響される。そこで、土の応力-ひずみ関係を双曲線に近似し、側圧の影響も考慮する Duncan の²⁾方法を用いる。

ある予えうれた応力状態に対する接線弾性係数 E_t を (1) 式で示す。

$$E_t = K \cdot P_a \left(\frac{\sigma_3}{P_a} \right)^m \cdot \left\{ 1 - \frac{R_f (1 - \sin \phi) (\sigma_1 - \sigma_3)^2}{2C \cos \phi + 2\sigma_3 \sin \phi} \right\}^2 \quad (1)$$

ただし、 E_t : 接線弾性係数 (t/m^2)、 P_a : 大気圧 (t/m^2)、 R_f : 破壊比、

K, m : 定数

また、ポアソン比 (ν) を E_t と同じように非線形的に扱う方法もあるが、ここでは一定とする。

(2) 解析方法

砂杭と粘性土の応力-ひずみ曲線を (1) 式で表現し、複合地盤を要素分割した上で、荷重漸増法により計算する。これは載荷重 (P) をいくつかの増分 (ΔP) に分割して載荷する。この各増分において、土の挙動を線形と仮定し、各増分毎に変位、応力を計算する。載荷重に対する変位、応力はこの各増分に対する変位、応力を重ね合わせることでより求める。なお、この計算方法では、地盤中の側圧は各荷重増分毎に変化する。

3. 数値解析と室内実験の比較

モデル中に砂杭と粘土からなる複合地盤を作成した後、載荷重に伴う挙動を測定し FEMを用いた数値解析と比較する。

(1) 室内実験

実験装置を図-1に示す。砂杭と粘土の材料にそれぞれ海砂と浅黄粘土を用い、これらの応力-ひずみ曲線を図-2に示す。

増加応力および応力分担比の測定結果を図-3に示す。増加応力と応力分担比は時間の経過と共に、多少変動するが、全体的にほぼ一定の値とみなせる。砂杭の増加応力は $\Delta \bar{\sigma}_{zs} = 4.60 \sim 4.90 \text{ kg/cm}^2$ 、粘土のそれは $\Delta \bar{\sigma}_{zc} = 0.85 \sim 0.95 \text{ kg/cm}^2$ となり、応力分担比は $n = 5.3 \sim 5.8$ である。

また、砂杭と粘土の増加応力から平均の増加応力を求めると、 $\Delta \bar{\sigma}_E = 1.0 \sim 1.2 \text{ kg/cm}^2$ となる。これは載荷重 $P = 1.5 \text{ kg/cm}^2$ に対して、 $0.5 \sim 0.3 \text{ kg/cm}^2$ の損失にっており、これはモールド側面と地盤の摩擦力により、載荷重が下部に伝達されないためと思われる。

(2) 数値解析

砂杭および粘土の応力-ひずみ曲線を(1)式で近似し、図-2に示す。

載荷重は等分布荷重とし、損失分を考慮して、 $P = 1.1 \text{ kg/cm}^2$ とする。各計算段階で $\Delta P = 0.3, 0.3, 0.3, 0.2 \text{ kg/cm}^2$ と4分割して漸増載荷する。

解析結果、砂杭は $\Delta \bar{\sigma}_{zs} = 4.20 \sim 5.38 \text{ kg/cm}^2$ ($\Delta \bar{\sigma}_{zs} = 4.63 \text{ kg/cm}^2$) であり、粘土は $\Delta \bar{\sigma}_{zc} = 0.66 \sim 1.07 \text{ kg/cm}^2$ ($\Delta \bar{\sigma}_{zc} = 0.87 \text{ kg/cm}^2$) である。

これから計算した応力分担比は次のとおりである。

$$n = \Delta \bar{\sigma}_{zs} / \Delta \bar{\sigma}_{zc} = 5.3$$

これらの解析結果を図-3に示して、室内実験の結果と比較するとよく合っていることがわかる。

4. あとがき

実験の数が少ないので、まだ確かなこととはわかっていないが、数値解析によって、複合地盤の応力分担比を予測できる可能性がでてきた。今後はこれを現場の実測値と対比させながら、さらに検討を加えて行きたいと思う。

参考文献 1) 本, 他「複合地盤の解析の一考察」, 土木学会講演集, 1975

2) Duncan, Chang, 「Non-linear Analysis of Stress and Strain」 ASCE. SM5. 1970. 9

3) 林小田, 増井, 「有限要素法による地盤の変形解析」, 奥村組技術研究年報, 第1号, 1975. 4

4) 有本, 国重, 「ラック基礎の設計法(第1報)-有限要素法による複合地盤の解析(4の1)-」, 奥村組技術研究年報 第3号. 1977. 8

5) 有本, 国重, 「ラック基礎の設計法(第2報)-有限要素法による複合地盤の解析(4の2)-」, 奥村組技術研究年報, 第4号, 1978. 9

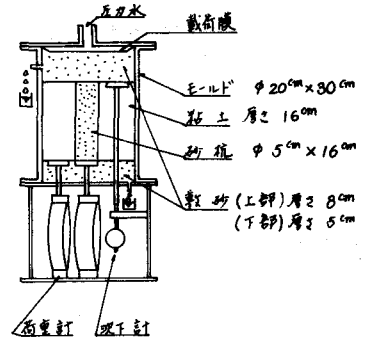


図-1 実験装置

砂杭 $\phi 10 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ $\phi = 38.5^\circ$
 $C = 0.18 \text{ kgf/cm}^2$ (Cu)
 粘土 $\phi 5 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$
 $C = 0.057 \text{ kgf/cm}^2$ (-軸)

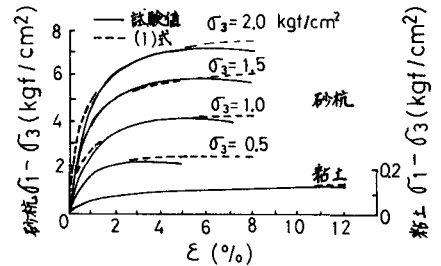


図-2 応力-ひずみ関係

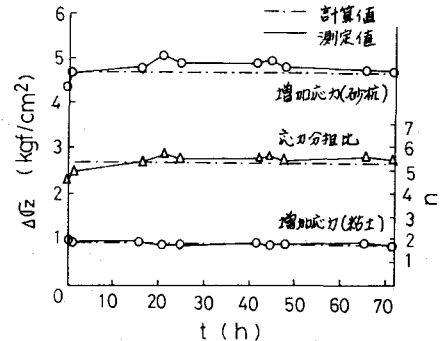


図-3 実験および計算結果