

杭状改良地盤の弾性係数の評価とその適用

九州大学工学部 正○大嶺 聖 正 落合英俊

九州大学工学部 正 安福規之

1. まえがき

深層混合処理工法やサンドコンパクションバイブル工法などによって改良された複合地盤は、一般に杭状の改良体を有する三次元的な構造を有している。このような地盤を二次元問題として変形解析を行うためには、改良地盤を等価な均質地盤に置き換える必要があり、その合理的な手法が実際問題として求められている。本研究では、改良土と未改良土に作用する応力分担割合に着目して、改良地盤の変形解析を行うための新たな平均化手法を提案し、盛土荷重および水平荷重が作用する条件で二次元および三次元の有限要素解析を行い、提案手法の妥当性を検証する。

2. 二種混合体の弾性係数の評価

2.1 二種混合体モデル 弾性係数の異なる二つの材料（介在物とマトリックス）で構成される二種混合体において、介在物とマトリックスに作用する応力分担割合を表す、次のパラメータを導入する。

$$b = \bar{\sigma}_s / \bar{\sigma}^* \quad (1)$$

ここで、 $\bar{\sigma}_s$ および $\bar{\sigma}^*$ はそれぞれ介在物およびマトリックスに作用する平均的な応力である。 b は介在物とマトリックスの弾性係数に依存するパラメータであるが、介在物の体積含有率とは無関係に決まるものとする。このパラメータを用いると、混合体の弾性係数とポアソン比はそれぞれ次のように表される¹⁾。

$$\bar{E} = \frac{(b-1)f_s + 1}{\frac{f_s b}{E_s} + \frac{(1-f_s)}{E^*}} \quad (2) \quad \bar{\nu} = \frac{\frac{\nu_s}{E_s} f_s b + \frac{\nu^*}{E^*} (1-f_s)}{\frac{f_s b}{E_s} + \frac{(1-f_s)}{E^*}} \quad (3)$$

ここで、 E_s 、 E^* および ν_s 、 ν^* はそれぞれ介在物とマトリックスの弾性係数およびポアソン比であり、 f_s は介在物の体積含有率である。

2.2 応力分担パラメータの決定 二種混合体には様々な種類があるが、積層体が縦または横に並んだ場合および球状の介在物が三次元に分布する場合の応力分担パラメータは、それぞれ混合体内部でひずみまたは応力が一定および単位体積当たりの仕事量が一定であると仮定することにより求められる。このときの b の値は介在物とマトリックスの弾性係数の比の指数関数として表される¹⁾。このことを考慮して、杭状の介在物が千鳥配置した場合の混合体について、二次元平面応力条件でFEM解析を行った。その結果、このときの応力分担パラメータの近似値として次式が得られた。

$$b = (E_s / E^*)^{1/6} \quad (4)$$

なお、積層体が縦または横に並んだ場合および球状の介在物が三次元に分布する場合の応力分担パラメータは、それぞれ $b = (E_s / E^*)^1$ 、 $b = (E_s / E^*)^0 = 1$ および $b = (E_s / E^*)^{1/2}$ と表される。

3. 改良地盤の変形解析（二次元解析と三次元解析の比較）

改良地盤において改良土を介在物、未改良土をマトリックスとして考える。このとき、水平の2方向の応力分担割合は式(4)を用いて $b_1 = b_2 = (E_s / E^*)^{1/6}$ とし、鉛直方向の応力分担割合は改良土と未改良土のひずみが一定と考えて $b_3 = (E_s / E^*)^1$ とする。提案手法の妥当性を検証するために、盛土荷重および水平荷重が作用する二ケースについて平均化手法に基づく二次元解析と改良地盤の三次元解析を行った。改良地盤における改良土と未改良土は、いずれも線形等方弾性体とし、改良土と未改良土のポアソン比は、それぞれ $\nu_s = 0.2$ 、 $\nu^* = 0.4$ とした。三次元FEM解析におけるメッシュ図を図-1に示す。解析では、六面体で20節点を持つアイソパラメトリック要素を用いた。三次元解析では要素数を5000、二次元解析では要素数を200とした。

改良地盤の盛土中心直下の沈下量 S を改良率0%の場合の沈下量 S_0 で除した値 ($=S/S_0$) と改良率 f_s の関係を図-2に示す。 S/S_0 は、 f_s の増加に伴い次第に減少し、同一の改良率では改良土と未改良土の弾性係数の比 E_s / E^* が大きいほど S/S_0 は小さくなる。図で示されるように、二次元解析の結果は三次元解析の結果と

ほぼ一致する。

一方、盛土荷重などによる側方流動防止や擁壁などの受動土圧が作用する場合を想定して、水平荷重が作用する条件で解析した結果を図-3に示す。荷重が作用する側面上部の水平変位 L を改良率0%の場合の水平変位 L_0 で除した L/L_0 の値は、改良率が大きくなるほど、また、

同一の改良率では改良土と未改良土の弾性係数の比 E_s/E^* が増加するほど小さくなる。平均化手法に基づく二次元解析の結果は三次元解析の傾向を比較的良く表している。一方、図-4は、改良地盤の側面の変位形状を示したものである。図には、二次元解析において異方性を考慮せず応力分担パラメータが最大および最小となる $b_1=b_2=E_s/E^*$ と $b_1=b_2=1$ の結果も示している。水平方向の応力分担パラメータを $b_1=b_2=(E_s/E^*)^{1/6}$ とした場合の二次元解析の変位形状は、三次元解析の結果とほぼ一致している。

このように提案手法に基づく改良地盤の解析結果は、三次元解析による改良地盤の変形挙動を精度良く表すことができる。

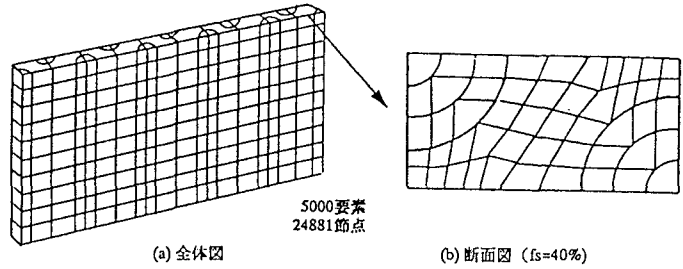


図-1 改良地盤の三次元FEM解析用メッシュ

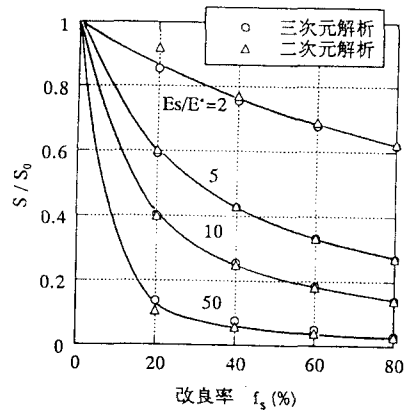


図-2 S/S_0 と改良率 f_s の関係

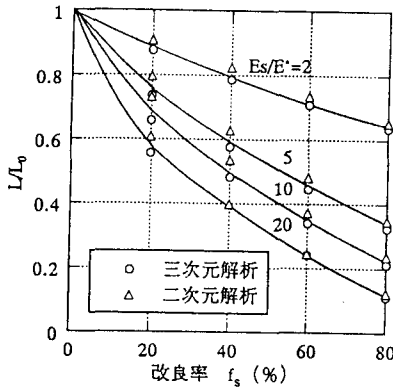


図-3 L/L_0 と改良率 f_s の関係

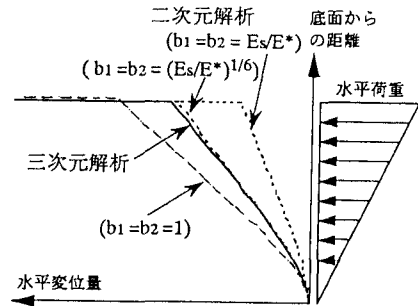


図-4 改良地盤の側面の変位形状
(改良率 $f_s=60\%$, $E_s/E^*=10$)

4. まとめ

1) 鉛直方向および水平方向の応力分担割合を評価することにより、任意の改良率を持つ改良地盤の等価弾性係数およびポアソン比が算定される。また、このときの応力分担パラメータの値は、介在物とマトリックスの弾性係数の比の指数関数として表される。2) 平均化手法に基づく改良地盤の変形解析は、三次元解析による改良地盤の変形挙動を精度良く表すことができる。3) 提案手法は杭状の改良体を持つ改良地盤を等価な均質地盤に置き換えるための有効な方法となり得る。

【参考文献】1) 大嶺 聖, 落合英俊, 安福規之: 二種混合体の平均的な弾性係数の評価, 土木学会第50回年次学術講演会-共通セッション, 1995年。