

小型模型実験による杭状改良地盤の変形解析手法の検証

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

著者らは、これまで杭状改良地盤の平均的な応力-ひずみ関係を求めるための平均化手法を提案し、二次元および三次元の有限要素解析結果の比較から、その妥当性を検討してきた¹⁾。本研究では、提案した平均化手法の妥当性を実験的に検証するために、小型模型実験による検討を行った。まず、改良パターンや改良土と未改良土の剛性の違いによる影響を考察した。さらに、改良地盤を弾性体とみなし、初期の地盤反力係数の計算結果と実験結果を比較することにより提案手法の妥当性を検証した。

2. 平均化手法に基づく改良地盤のモデル化

改良地盤を鉛直方向と水平方向で材料特性の異なる複合材料と考えて未改良部分と改良部分に作用する応力分担割合を考慮すると、このときの改良地盤の平均的な応力増分-ひずみ増分関係は次のように表される。

$$\{\bar{d}\epsilon_i\} = [\bar{C}_{ij}] \{\bar{d}\sigma_j\} \quad (1)$$

$$\text{ここで, } [\bar{C}_{ij}] = \frac{f_s b_{(j)} [C_{sij}] + (1-f_s) [C_{ij}^*]}{(b_{(j)} - 1)f_s + 1}, \quad b_i = \left(\frac{C_{(ij)}^*}{C_s(j)} \right)^n \quad (1)'$$

改良地盤の応力分担パラメータ b_i は、鉛直方向に対してはひずみ一定と仮定し、水平方向に対してはFEM解析による近似値を用いる。この場合の応力分担パラメータ b_i の指数は、 $i=1, 2$ のとき、 $n=1/6$ 、 $i=3$ のとき、 $n=1$ 、 $i=4, 5$ のとき、 $n=7/12$ 、 $i=6$ のとき、 $n=1/6$ となる²⁾。したがって、未改良土および改良土のコンプライアンス係数を式(1)に代入することにより、改良地盤の等価な応力増分-ひずみ増分関係が得られる。また、改良地盤の平均的な弾性係数についても式(1)'から求められる。

3. 小型模型実験装置による妥当性の検証

(1) 実験装置 実験装置は内寸50×15×10cmのアクリル板(厚さ2cm)の容器を用いた。容器の内側には摩擦を軽減するために、シリコングリースを塗布しゴムシートを貼っている。また、載荷装置と載荷板の間にロードセルと変位計を取り付け、荷重および鉛直変位を測定する。なお、平面ひずみ条件を満足するように、載荷時には側方板を取り付け、側方の変位を拘束している。

(2) 実験材料 本実験では改良部分と未改良部分の剛性の違いに着目しているため、スラリー状の粘土を圧密させずに少量のセメントを添加することで軟弱地盤を作製した。まず、市販のカオリンを液性限界の約2倍の含水比(100%)に練返し、セメント添加量50kg/m³となるように水セメント比1の普通ポルトランドセメントを加えて十分攪拌し、3日間養生させることにより、比較的軟らかい地盤を作製した。このようにして作製した供試体をここでは未改良地盤と見なす。この未改良土の一軸圧縮強さは $q_u=18\text{kPa}$ 、初期変形係数は $E^*=3.04\text{MPa}$ である。一方、改良柱体は市販のゴムおよび発砲樹脂の2種類を用いた。いずれも直径2.0cmで、一軸圧縮試験から求めた初期変形係数とポアソン比は、ゴムの場合、 $E_s=14.7\text{MPa}$ 、 $\nu_s=0.38$ 、発砲樹脂の場合、 $E_s=182.7\text{MPa}$ 、 $\nu_s=0.18$ である。したがって、改良柱体と未改良土の初期変形係数の比 E_s/E^* は、ゴムを用いた場合、約5、発砲樹脂を用いた場合、約60である。

(3) 模型地盤の作製方法 改良パターンおよび柱体の配置をそれぞれ図-1および図-2に示す。改良パターンは3種類とし、Type-1は載荷板直下をすべて改良したもの、Type-2は載荷板直下の上半分を改良したもの、Type-3は側方流動抑止のために載荷板の両側を改良したものである。改良柱体は図-8に示すように千鳥配置とし、Type-1と3の場合の改良率は25.1と56.5%、Type-3の場合は26.2と56.5%とした。Type-1と2の場合の模型地盤は、まず、改良体を接着剤で底部に固定させた後、セメントを混合したカオリン粘土を投入して作製した。Type-2の場合は、セメントを混合したカオリン粘土を投入した後、板に貼り付けた改良柱体を押し込み、模型地盤を作製した。模型地盤は、いずれも20℃の恒温室で3日間養生させた。

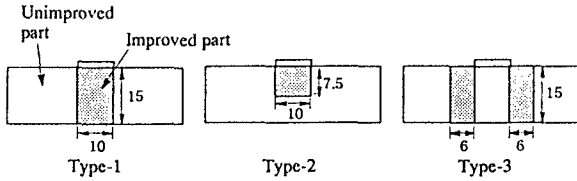


図-1 模型地盤における改良パターン

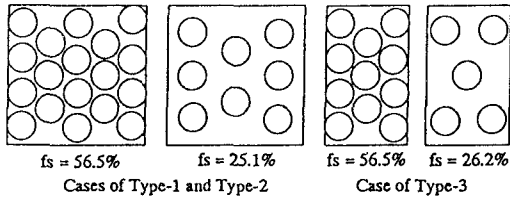


図-2 改良柱体の配置

その後、載荷板と模型地盤の間に石膏で密着させ、0.5mm/minの速度で載荷を行った。

(4) 実験結果と解析結果の比較 図-3に実験から得られた初期の地盤反力係数の比 K/K_0 と計算結果の比較を示す。ここで、 K は荷重強度 p を沈下量 S で除した値 (p/S) で定義され、 K を改良率0%のときの地盤反力係数 K_0 で除した K/K_0 は改良効果を表わすパラメータとなる。Type-1において、 $E_s/E^*=5$ の場合の K/K_0 の値は、改良率に依らずほぼ一定であり、 $E_s/E^*=60$ の場合には、 K/K_0 は改良率 f_s に比例して増加する。図中の計算結果は平均化手法に基づき算定された改良地盤の平均的な弾性係数を用いてFEM解析を行って得られた値を示したものである。図に示されるように、計算結果は実験結果をよく表わしている。一方、Type-2の場合、 $E_s/E^*=60$ で $f_s=25\%$ の場合を除き、実験結果は計算結果を比較的良好に表わしている。また、Type-3の場合は、Type-1と同様な傾向にあるが、 K/K_0 の値はそれの約半分程度である。計算結果はこのような実験結果の傾向をうまく捉えている。

以上のように、初期の地盤反力係数に着目した場合、部分的に改良を行ったType-2やType-3においても、改良体の剛性を大きくすれば、比較的大きな改良効果が得られることが示された。

また、このときの初期の地盤反力係数の値は平均化手法を用いた解析において、ほぼ妥当な値が得られた。

4. まとめ

- 1) 改良地盤の初期の地盤反力係数は改良パターンによって大きく異なるが、部分的に改良を行った場合でも、改良土の剛性を大きくすれば、比較的大きな改良効果が得られる。
- 2) 種々のタイプの改良地盤の実験結果から得られた初期地盤反力係数を平均化手法を用いた解析によってほぼ評価することができる。

本文では主に改良地盤の弾性挙動について述べたが、今後は提案手法を非線形材料に適用し、その妥当性を検討していきたい。

【参考文献】 1) 大嶺ら：杭状改良地盤の応力・変形解析における平均化手法の一提案，セメント系安定処理土に関するシンポジウム発表論文集，pp.195-202，1996年。

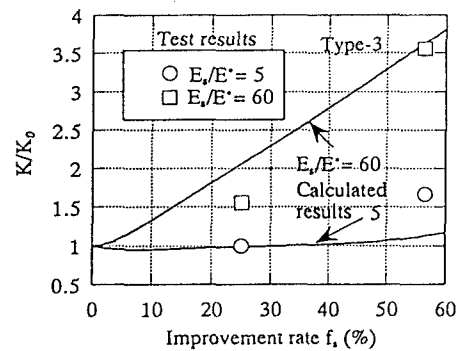
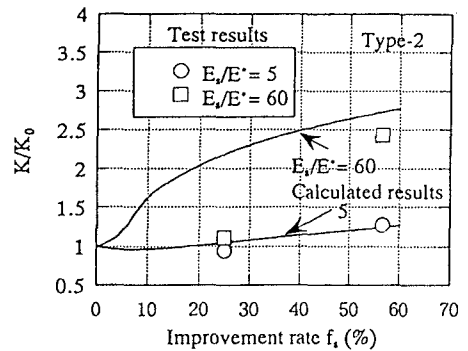
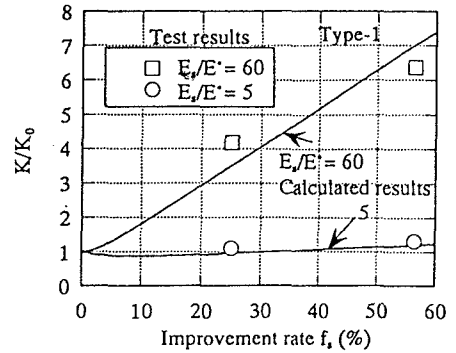


図-3 K/K_0 と改良率 f_s の関係