

硬質発泡ウレタンを用いた杭状地盤改良の支持力検討

東京都市大学 学生会員 ○塚本啓己

東京都市大学 正会員 末政直晃 正会員 田中剛

アップコン株式会社 川畑諒和

1. はじめに

我が国の平地部の多くは、粘土や砂がゆるく体積した軟弱地盤のため、粘性土地盤では圧密沈下が、砂地盤においては液状化現象が発生する恐れがある。この様な粘性土地盤においては、重機や器機などによる集中荷重により倉庫や工場などのスラブが沈下し器機の不具合等の被害が発生している。沈下したスラブを修正する工法の一つに発泡ウレタンを用いた土間床沈下修正工法がある。図1に発泡ウレタンを用いた土間床沈下修正工法の概要図を示す。この工法は沈下した既設建物のスラブに穴を明け、ウレタンを注入することでスラブの沈下を修正するが、軟弱地盤層が厚い場合には再沈下する可能性がある。この課題に対して本研究では、沈下抑制を目的とした発泡ウレタンを用いた杭状地盤改良工法を提案する。

図2に杭状地盤改良工法の概要図を示す。本工法では、事前削孔した地盤内に注入ユニットを挿入し、注入管を介して薬液を注入することでウレタンを杭状に作製する。地盤内で混合攪拌された薬液は、化学反応により発泡しながら膨張しウレタンが生成される。この発泡・膨張時の圧力によって地盤を締め、杭と地盤間の周面摩擦力の増大が期待されている。しかし、実用化させるためには、杭状改良体の支持力特性の評価方法の構築が必要となる。そこで本報告では、評価方法として荷重伝達法を採用し様々な条件下で解析を行った結果について述べる。

2. 連成バネの作成

荷重伝達法は、杭地盤全体系における非線形性を容易に取り込むことができる。通常は、杭体を剛性の高い弾性体と仮定するため、周面摩擦特性と先端支持力特性を考慮すればよい²⁾。しかしながら、ウレタンを用いた杭状地盤改良体の場合においては、比較的柔らかい複合杭のため荷重伝達法を用いる場合には、周面摩擦力の他に芯材とウレタンの変形、芯材の抜け出しを考慮しないと正確な支持力判断ができない。そのため、芯材-ウレタン-地盤の剛性バネを用いる必要がある。しかしながらこれらの3種の剛性バネをそれぞれ用いて荷重伝達法に適用すると計算が煩雑となるため、連成バネを作成した。沈下量の算出では芯材の抜け出しは①芯材-ウレタンの定着摩擦試験を、ウレタンの変形は②硬質発泡ウレタンの一軸圧縮試験

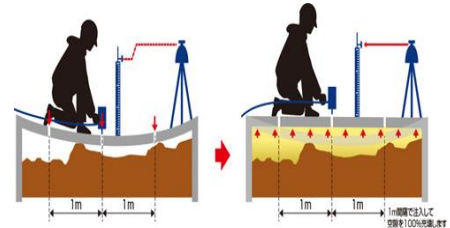


図1.土間床沈下修正工法の概要図

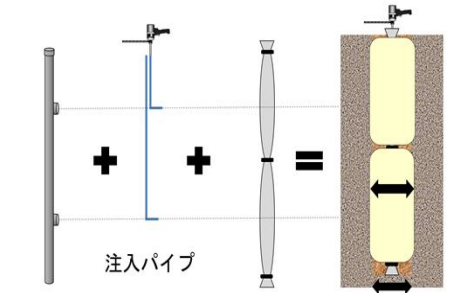


図2.杭状地盤改良工法

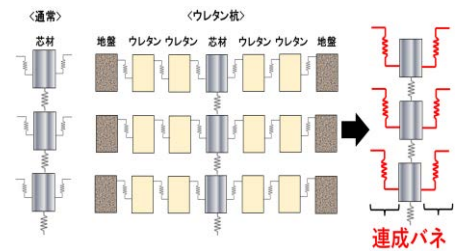


図3.ウレタン杭のモデル化

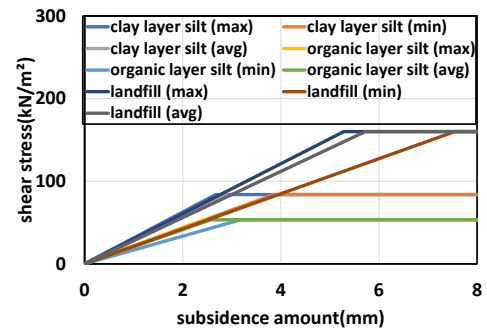


図4.連成バネ

験を、周面摩擦力は③実地盤での一軸圧縮試験を用いて算出された。
①②③を用いて算出された沈下量を足し合わせることで連成バネを作成した。図3にウレタン杭のモデル化の、図4に連成バネのグラフを示す。

$$\begin{bmatrix} \Delta U_0 \\ \Delta U_1 \\ \Delta U_2 \\ \vdots \\ \Delta U_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_1 & -K_1 & & & \\ K_1 & -(K_1+K_2+C_1) & & & \\ & K_2 & -(K_2+K_3+C_2) & & \\ & & & \ddots & \\ & & & & K_n \\ & & & & & K_n & -(K_n+C_n) \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \Delta P_0 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}$$

図5 行列式

3. 荷重伝達法の解析

本解析では杭頭に鉛直荷重を仮定してその時の各要素の沈下量を算出することで鉛直荷重-杭頭沈下量を求めた。

①杭を剛体と仮定し深度方向に10分割し、分割した各要素に作成した連成バネを取り付けた。

②杭頭に鉛直荷重を仮定し各要素の沈下量を求める。

杭の鉛直荷重試験方法・同解説³⁾より要素の力と変位量の関係では式(1)、式(2)が成り立つ。

$$\text{杭頭 } K_i \times (\Delta U_0 - \Delta U_1) = \Delta P_0 \quad (1)$$

$$\text{杭先端 } K_n \times (\Delta U_{n-1} - \Delta U_n) = F_n \quad (2)$$

Ki:i番目の梁要素に関する剛性係数、ΔUn:i番目の節点の変位増分、ΔP0:杭頭の荷重増分、ΔFn:n番目の周面摩擦力

③ ②の式を行列式に変換すると図5の行列式で表すことができる。この行列式を解くことで各要素の沈下量を求めることができる。

④杭頭に鉛直荷重を設定し各要素の沈下量を求める。

⑤鉛直荷重を増加し、各要素の沈下量が作成した連成バネの沈下量より大きくなり滑りが発生するまで続ける。

⑥すべての要素で滑りが発生した時、一つ前の杭頭荷重が最大杭頭荷重になる。

以上の手順で荷重伝達法を用いた解析を行った。図6に鉛直荷重-沈下量の関係を示す。本解析の地盤条件は、表層から0~1.3mが埋め土、1.3m~2.6mが粘土層シルト、2.6m~4.35mが有機層シルトであり、改良長は4mで改良体の直径は15cm、芯材の直径は5cmである。解析結果から実測値と解析値で概ね一致していることが確認できた。

4. 杭状改良体の杭径を変化させた場合の支持力の測定

杭状地盤改良体による支持力の効果を確認するために芯材のみの施工した場合の支持力と杭状地盤改良体の支持力を比較した。

表1に解析条件を、図7にウレタンの注入箇所を変化させた場合の鉛直荷重-沈下量の関係を示す。ウレタンを注入することで支持力が大きくなり、注入する土質により許容支持力が変化することが分かる。

5. まとめ

増分荷重伝達法を用いることでウレタン杭の鉛直荷重-沈下量の関係を予測することができた。

【参考文献】

- 1) 床傾き修正の専門家 アップコン, <http://kojo.katamuki.jp/>(2023年1月13日)
- 2) 田邊実優:硬質発泡ウレタンを用いた杭状地盤改良工法の開発-荷重伝達法を用いた支持力評価方法の検討-, 令和3年度卒業論文,
- 3) 社団法人 地盤工学会:地盤工学会基準 杭の鉛直載荷試験方法・同解説-第一回改訂版-, 平成14年5月28日発行

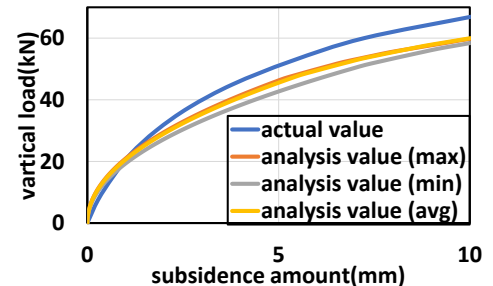


図6 鉛直荷重-沈下量の関係

表1. 杭形状を変化させた場合の解析条件

ウレタン注入部位	なし	粘土層シルト	有機層シルト	粘土層シルト + 有機層シルト
----------	----	--------	--------	-----------------

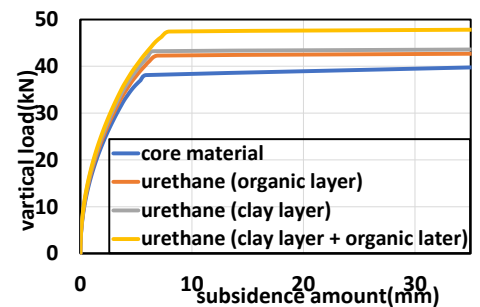


図7 発泡ウレタンの注入箇所を変化させた場合の鉛直荷重-沈下量の関係