

発泡ウレタンを用いた杭状地盤改良工法の支持力検討

東京都市大学 学生会員 ○田邊実優

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 非正会員 松藤 展和

1.背景

日本の平野部の多くは緩く堆積した粘土や砂が主体の軟弱地盤であるため、砂層では液状化が、粘土層では建物の自重によって圧密沈下が発生する可能性がある。図1に発泡ウレタンを用いた床下沈下修正工法の概要図を示す。このような建物の沈下を修正する工法の一つに、発泡ウレタンを用いた床下沈下修正工法がある。この工法は既設の建物の床に穴をあけ、ウレタンを注入することで沈下を修正する。しかし、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、鉛直方向に削孔した地盤内に不織布の注入袋に注入管を介して薬液を注入することで、ウレタン杭状に作製する。杭状に発泡させることでウレタンの発泡圧力によって地盤を締め固め、杭と地盤間の周面摩擦力によって再沈下を抑制することができる。本報告では、杭状地盤改良体の支持力を検討するために連成バネを作成し、荷重伝達法を用いて解析を行った結果について述べる。

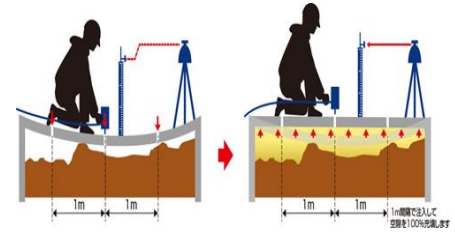


図1.床下沈下修正工法の概要図

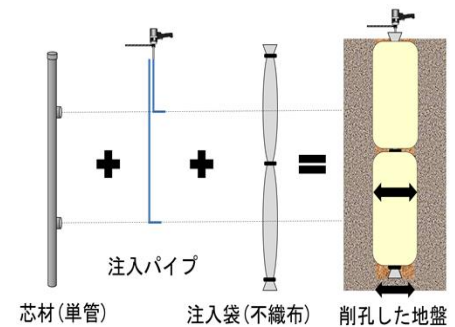


図2.杭状地盤改良工法

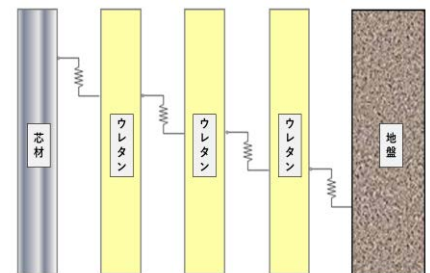


図3.連成バネの概要図

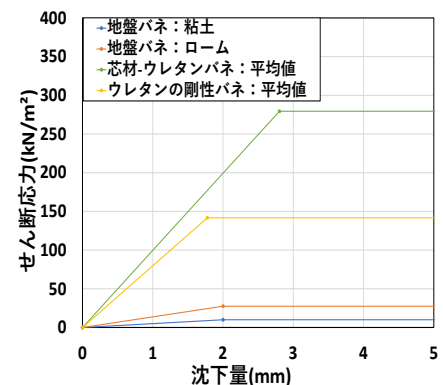


図4.各部材のバネ

2.発泡ウレタンについて

発泡ウレタンはポリオールとイソシアネートの2種類の薬液を用いて作製する。両液は攪拌させると液体からクリーム状になると同時に二酸化炭素を発生させる。その二酸化炭素が独立した気泡になり、体積を膨張させる。最終的に固体となって、剛性が高くなる。薬液の分量を変えることによって種々の強度を有するウレタンをつくることができる。材料は環境に優しい完全ノンフロン材を利用することで、ほぼ全ての物質に対して融解することなく、土壤汚染を起こすことがない。また、物質量は水の約 1/8 倍、コンクリートの約 1/20 倍と軽量である。

3.連成バネの作成

本研究では杭地盤全体系における非線形性を容易に解析できる方法として荷重伝達法を利用し、支持力を検討した。図3に芯材-ウレタン-地盤バネ(=以下、連成バネ)の概要図を示す。通常の摩擦杭の場合は、鉛直荷重に対して周面摩擦力のみを考慮する。しかし、ウレタン杭は比較的柔らかい複合杭のため、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評価ができない。そこで、周面摩擦力の他に定着力、ウレタンの剛性を模擬したバネ(せん断応力-沈下量の関係)を考慮して、それぞれの材料定数を試験により求めることとした。図4に各部材のバネを示

キーワード: 発泡ウレタン, 杭状地盤改良工法, 支持力

〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 Email: ttanaka@tcu.ac.jp

す。算出方法として①定着力を芯材-ウレタン間の定着摩擦力試験より、②ウレタンの剛性をウレタンの一軸圧縮試験より、③周面摩擦力を実地盤の一軸圧縮試験より算出した。以下、定着力を芯材-ウレタンバネ、ウレタンの剛性をウレタン剛性バネ、周面摩擦力を地盤バネと呼ぶ。ウレタン杭は複合材料のため、計算を簡略化させるために、それぞれの剛性を考慮し、一つのバネ(連成バネ)で表すことにした。図 5 に算出した連成バネを示す。図中で示すせん断応力は芯材-ウレタン間に作用するものとし、求めたバネの沈下量を足し合わせることで連成バネを作成した。この時、地盤バネの最大非排水せん断応力が沈下量 2mm になるように設定した。

4.荷重伝達法での解析および結果

図 6 に荷重伝達法の概念図を示す。本研究では鉛直荷重を仮定し、その時の各要素の沈下量を算出する方法で鉛直荷重-杭頭沈下量を求める。以下に解析手順を示す。

- ①杭を深度方向に n 分割した。今回は $n=8$ で計算した。
- ②分割した各要素断面に連成バネを取り付けた。この時、深度に応じた連成バネを設定した。
- ③参考文献より杭頭および杭先端では次の式が成り立つ。³⁾

$$\text{杭頭: } K_1 \cdot (\Delta u_0 - \Delta u_1) = \Delta P_0 \quad (1)$$

$$\text{杭先端: } K_1 \cdot (\Delta u_{n-1} - \Delta u_n) = \Delta F_n \quad (2)$$

ここに、 K_i : i 番目の梁要素に関する剛性係数、 Δu_n : i 番目の節点の変位増分、 ΔP_0 : 杭頭の荷重増分、 ΔF_n : n 番目の周面摩擦力

- ④以上の式を行列式に直すと次の行列式が成り立つ。

$$\begin{bmatrix} \Delta u_0 \\ \Delta u_1 \\ \Delta u_2 \\ \vdots \\ \Delta u_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_1 & -K_1 & & & 0 \\ K_1 & -(K_1+K_2+C_1) & K_2 & & 0 \\ & K_2 & -(K_2+K_3+C_2) & K_3 & \\ & & 0 & \ddots & \\ & & 0 & & K_n \\ & & 0 & & K_n & -(K_n+C_n) \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \Delta P_0 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}$$

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。

- ⑤鉛直荷重を増加し繰り返し計算を行い、沈下量を算出する。この時、連成バネの沈下量よりも要素の沈下量が大きくなった時、その要素にすべりが発生したと考える。
- ⑥全ての要素で発生した時、一つ前の荷重ステップの値をもって最大の鉛直荷重とする。

以上の手順によって、荷重伝達法を用いた解析と行った。図 7 に荷重伝達法で求めた鉛直荷重-杭頭沈下量の関係を示す。初期勾配が実測値と解析値で概ね一致した。

5.まとめ

増分系荷重伝達法を構築することによって、ウレタン杭の鉛直荷重-杭頭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/> (2021 年 4 月 25 日)
- 2) 佐藤圭吾: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~, 平成 30 年度卒業論文, 2019.1
- 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

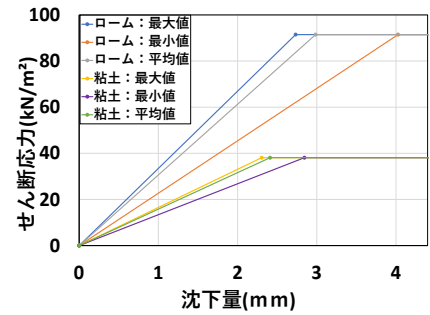


図 5.連成バネ

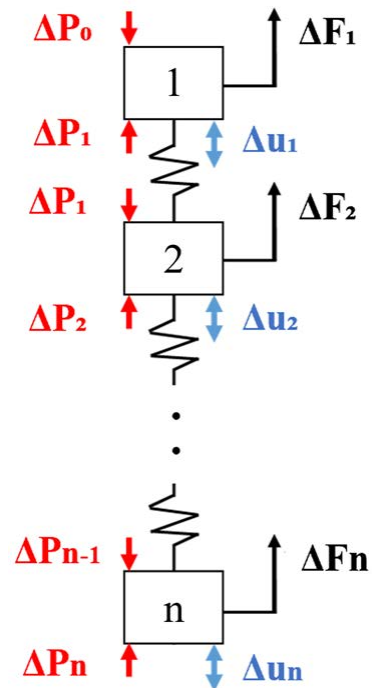


図 6.荷重伝達法の概要図

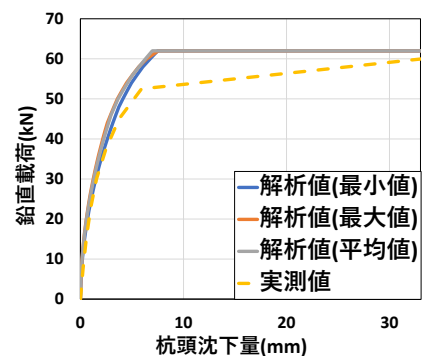


図 7.解析で求めた
鉛直荷重-杭頭沈下量の関係