

硬質発泡ウレタンを用いた杭状地盤改良工法の開発

東京都市大学 学生会員○佐藤圭悟 東京都市大学 正会員 末政直晃, 田中剛
アップコン株式会社 非会員 松藤展和, 諸星勇祐

1. はじめに

不同沈下の生じた家屋を修正する既存の工法の1つに、硬質発泡ウレタンを用いた沈下修正工法がある。しかし、この工法は地盤改良と併用しないため、腐植土や厚い軟弱地盤が存在する場合、家屋の再沈下が発生する可能性が懸念される。そこで本研究では、硬質発泡ウレタンを杭状に作製する杭状地盤改良工法を提案する。本工法は、地盤に発泡ウレタンを注入し杭状に形成させ地盤改良を施すものであり、杭状改良体(以下、改良体と示す)に作用する周面摩擦力によって再沈下の抑制を可能とする。しかし本工法を実用化させるには、改良体の有する支持力特性の把握および設計手法を確立させる必要がある。本研究では、支持力特性の評価方法として荷重伝達法を採用したが、これを用いて解析する場合には、芯材、硬質発泡ウレタン、地盤のバネ定数が異なるため、それぞれのバネを連成した心材-ウレタン-地盤バネのモデル化が必要となる。そこで本報告では、連成バネモデルの構築に必要なパラメーターを実験にて求めるとともに、その結果を基に解析を行った結果について述べる。

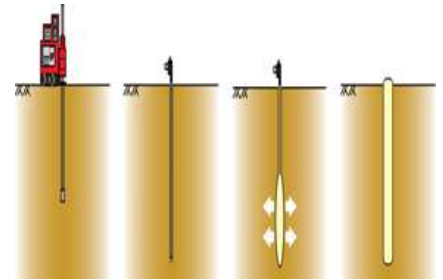


図1. 杭状地盤改良工法の概略図

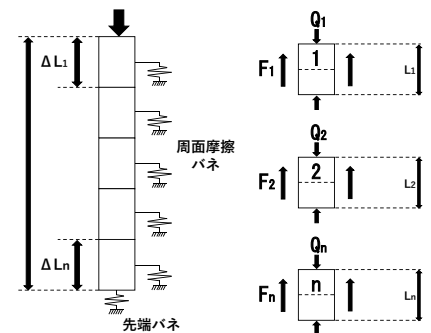


図2. 荷重伝達法のメカニズム

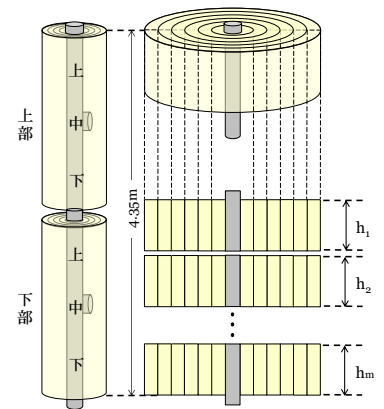


図3. 連成バネモデル

2. 硬質発泡ウレタンを用いた杭状地盤改良工法

図1に杭状地盤改良工法の概略図¹⁾を示す。本工法は、掘削した地盤中に不織布で作製された注入袋と注入管(芯材)を挿入し、注入管を介して薬液を注入することにより、杭状に硬質発泡ウレタンを作製する。従来の沈下修正工法との併用ができ、杭状に形成させることによって地盤とウレタンの間に周面摩擦力が作用し、再沈下の抑止が可能である。また、水越らの既往の研究²⁾において実地盤での施工性や出来高等を確認するため現場実験を行っており、実地盤での改良体の作製が可能であると分かっている。さらに、作製した改良体の支持力特性を把握するため、改良体に鉛直載荷試験を行っている。

3. 荷重伝達法

図2に荷重伝達法のメカニズムを示す。荷重伝達法とは、杭地盤全体系における非線形性を比較的簡単に解析に取り組むことができる実用的な解析方法の1つである。荷重伝達法は杭体を深度方向に複数の要素に分割し、各要素の周面部および杭先端部に非線形摩擦バネを取り付けた解析モデルが一般的に採用される。しかし、本工法を荷重伝達法に適用させるためには、芯材、硬質発泡ウレタン、地盤のバネ定数が異なるため、それぞれのバネを連成させた解析モデルが必要となる。そこで、そのバネモデルの構築を行った。

4. 芯材-ウレタン-地盤バネ(連成バネ)のモデル化

図3に連成バネモデルの概略図を示す。連成バネは、改良体を深度方向に30分割し、その要素を半径方向に6つの中空円柱要素に分割する。鉛直力を中心からの距離によって減衰させ、各々の要素断面に任意のせん断応力を与え要素ごとの沈下量を算出することとした。そこで各々のバネ定数を算出するために、①芯材とウレタンの定着力実験(4ケース)、②ウレタンの一軸圧縮試験(5ケース)を実施した。図4に芯材とウレタンの定着力バネ、図5にウレタンの剛性バネをそれぞれ示す。①の実験で用いた供試体は直径150mm、高さ500mmの塩ビパイプの中に直径48mmの芯材が入っているものを使用した。この供試体の芯材のみを押す実験を行い、そこで得られた最大荷重

キーワード 硬質発泡ウレタン, 杭状地盤改良工法, 荷重伝達法

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 東京都市大学 TEL: 03-5707-0104 E-mail: g1518052@tcu.ac.jp

を芯材の表面積で除すことで定着応力とした。その定着応力と最大応力時の変位の関係をバイリニアモデルで表し、芯材-ウレタンバネとした。
②の実験では、一辺 3cm のウレタン立方体を使用し、この供試体に一軸圧縮試験を行った。そこで得られた応力-ひずみ曲線の関係より弾性係数を算出し、そこから式(1)を用いてウレタン剛性 G を算出した。

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \cdots (1)$$

ここに、 E ：弾性係数、 ν ：ポアソン比である。また硬質発泡ウレタンのポアソン比は文献より 0.072³⁾とした。この剛性 G と変位の関係をバイリニアモデルで表しウレタン剛性バネとした。図 6 に地盤バネを示す。地盤バネに関しては、前述した現場実験の実験地で採取した土試料の一軸圧縮強度から非排水せん断強度を算出し、せん断応力と変位の関係をバイリニアモデルで表し地盤バネとした。

図 7 に連成バネを示す。ウレタンの剛性バネおよび芯材とウレタンの定着力バネにバラツキが見られた。この理由として、実験に用いた供試体作製時にウレタンの発泡状況にムラが見られたことから不均一に生成されたことが要因であると考えられる。以上の結果を踏まえ実験より得られたバネ定数の最小値、最大値、平均値を用い、連成バネ定数を求めることとした。

6. 荷重伝達法による解析結果

図 8 に解析結果を示す。今回、荷重伝達法を用いて算出した解析値と、前述した改良体の鉛直載荷試験の実測値を比較した結果、解析値の方が杭頭荷重、沈下量がともに小さいことが分かった。この要因として、解析値ではある要素でせん断応力を負担出来ない場合、そこで変形が起きるため実測値と差異が生じたと考えられる。また、解析値の初期勾配を見ても平均値の連成バネを用いた解析結果が最も実測値に近づいていることが分かる。しかしながら、杭頭荷重-沈下量曲線との形状および最大値に差が見られたことから、今後は解析方法について見直す予定である。

7. まとめ

改良体の支持力特性の把握および設計手法を確立させるために室内で作製した改良体に対して各種載荷実験を実施し以下の知見が得られた。

- ①発泡ウレタンの性質上、ウレタンの発泡状況にムラが見られることが予測できるため、今回の実験条件下においては各種試験結果の平均値を用いた連成バネが最適であった。
- ②連成バネを用いることで、杭状地盤改良体においても荷重伝達法の適用が可能であることが示唆された。

8. 参考文献

- 1) アップコン株式会社, <http://www.upcon.co.jp/>
- 2) 水越純平ら, 硬質発泡ウレタンを用いた杭状地盤改良工法の開発, 平成 28 年度土木学会関東支部第 43 回技術研究発表会
- 3) 三澤清志ら, 発泡ウレタンの力学特性, ジオシンセティックス論文集 Vol.18 pp73-78(2003.12.04)

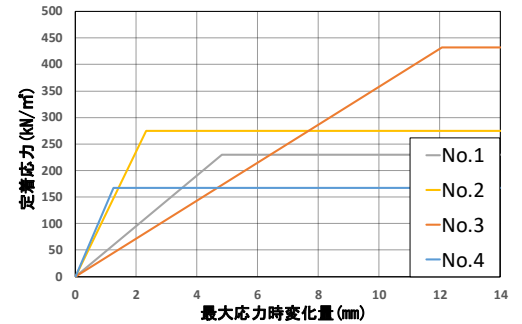


図 4. 芯材とウレタンの定着力バネ

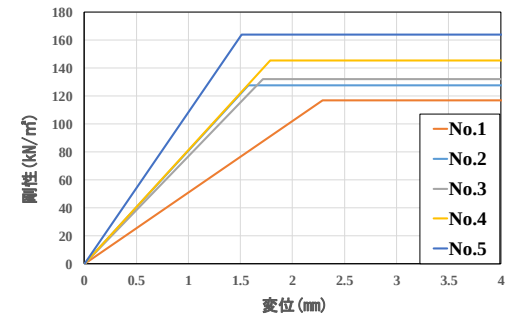


図 5. ウレタンの剛性バネ

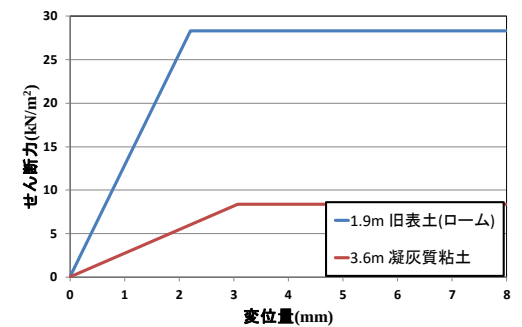


図 6. 地盤バネ(既往の研究)

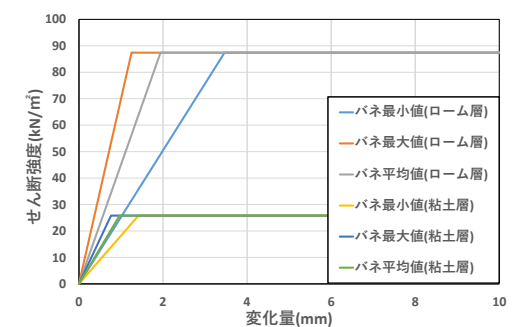


図 7. 連成バネ

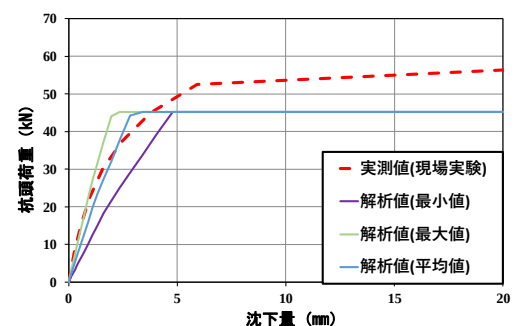


図 8. 荷重伝達法による解析結果