

## 発泡ウレタンを用いた杭状地盤改良工法について

東京都市大学 学生会員 ○原田 翔理哉 東京都市大学 正会員 末政 直晃  
 東京都市大学 正会員 田中 剛 東京都市大学 学生会員 佐野 和彰  
 アップコン フェロー会員 松藤 展和 アップコン 正会員 諸星 勇佑

### 1. はじめに

日本の平野部では地表が平坦でも地表下は埋没地形となっている場合がある。その埋没地形を埋めるのは柔らかい粘土、緩い砂が主体となっていることから軟弱地盤となっている。この軟弱地盤上に構造物を施工すると自重による沈下が発生する恐れがあり、構造物の沈下を修正する工法の 1 つに発泡ウレタンを用いた床下沈下修正工法がある。しかし、この工法はウレタンが発泡する際の圧力によって構造物直下の沖積層を締め固める効果が期待できるものの、深層部に腐植土や軟弱地盤が存在する場合は再沈下の場合がある。この再沈下を抑制するための対策として発泡ウレタンを用いた杭状地盤改良工法<sup>1)</sup>を提案している。図 1 に発泡ウレタンを用いた杭状地盤改良工法の概要図を示す。本工法は掘削した地盤に芯材(単管)と注入管と注入袋で作製した注入ユニットを挿入する。注入管を介して薬液を注入する事で薬液が注入袋内で杭状地盤改良体になる。発泡する圧力によって周りの地盤を締め固め、沈下を抑制するという工法である。既往の研究で実地盤での施工は可能であったが、地盤改良体の圧縮応力や密度にバラつきがみられた。

写真 1 に不良発泡したウレタン(左)と良好に発泡したウレタン(右)の一例を示す。不良発泡の原因としては薬液の注入中に発泡が開始してしまうことがある。その他には、薬液を注入する際に注入ガンと注入管をつなぐノズルに薬液が付着し、発泡すると、発泡したウレタンが圧力により押し出されるまで薬液の吐出の妨げになるため、膨張する薬液にタイムラグが発生することも原因と考えられた。そこで、本報告では発泡速度の異なる薬液を用いたウレタンの作製とそのウレタンで一軸圧縮試験を実施した。また、注入方法の違いによるウレタンへの影響を調査したので結果を述べる。

### 2. 硬質発泡ウレタンについて

本研究で用いた発泡ウレタンはイソシアネートとポリオール<sup>2)</sup>の 2 種類の薬液を混合・攪拌によって発生する二酸化炭素が独立して気泡となり発泡したウレタンを指す<sup>2)</sup>。一般的に衣類やソファなどの繊維に用いられる、硬質発泡ウレタンの特徴として 0.4kN/m<sup>3</sup>の超軽量であることや土圧軽減を図れるほどの強度を有し、耐水性にも優れている点が挙げられる<sup>3)</sup>。

### 3. 薬液の比較

地盤改良体として作製したウレタンは薬液を大量に用いるため、注入完了まで長時間を有する。その中で発泡開始が速い薬液を用いた場合、薬液の注入中に発泡が開始し、ウレタンの密度がバラつくことで圧縮応力もバラついたと考えられた。そこで、発泡速度の異なる 3 種類の薬液を用いたウレタンを作製し、

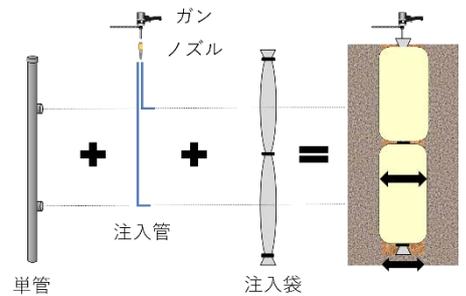


図 1.杭状地盤改良工法の概要図

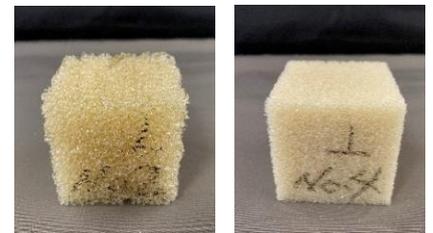


写真 1. ウレタンの比較

表 1. 各薬液のクリームタイム

UC-2	UC-5 改	UC-5SL
7 秒	13 秒	75 秒

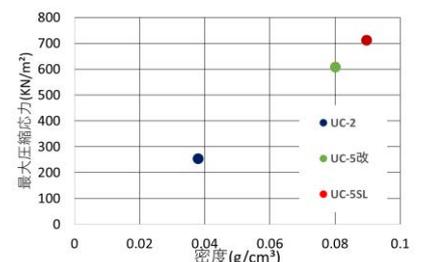


図 2. 各薬液のウレタン比較

一軸圧縮試験を行った。表1に本実験で用いた各薬液の液体状から膨張するまでの時間を指すクリームタイムを示す。薬液の発泡の比較の際はウレタンの作製にディスポカップを用いた。また、注入方法は注入ガンのみで注入圧力を1300psiに設定してウレタンを作製した。一軸圧縮試験は前述の条件で作製したウレタンを1辺が5cmの立方体に整形したのちに、体積と質量を計測し密度を求めたものを2.5mm/minの速度で載荷した。なお、図2に各薬液の最大圧縮応力と密度の関係を示す。図よりUC-5SL, UC-5改, UC-2の順で高い圧縮応力を示した。この結果から密度が高くなるほど最大圧縮応力が高くなるということがいえる。

4. 注入方法による影響

地盤改良体として作製したウレタンの圧縮応力や密度のばらつきの原因の1つとして注入方法による薬液状態の不均一性が考えられる。そこで、異なる注入方法でウレタンを作製し、一軸圧縮試験を行った。薬液は前述の結果から最も高い圧縮応力を示したUC-5SLを使用した。供試体の作製には杭を模擬した高さ0.5mのボイド管とディスポカップの2種類を用いた。注入方法はガンのみ(以下Aとする)とガン+ホース(以下Bとする)の2種類の条件、注入圧力は1300psiとして作製した。一軸圧縮試験は前述の条件で作製したウレタンを1辺が5cmの立方体に整形したのちに、体積と質量を計測し密度を求めたものを2.5mm/minの速度で載荷した。図3にディスポカップを用いたウレタンの最大圧縮応力と密度の関係を示す。注入方法の比較をすると最大圧縮応力と密度の両方でA,Bが同等の結果となった。図4にボイド管を用いたウレタンの最大圧縮応力と密度の関係を示す。ボイド管を用いたウレタンでは注入方法によらず最大圧縮応力と密度の両方でバラつきが見られなかった。また、注入方法の比較をすると最大圧縮応力と密度の両方でAが若干高い値を示した。この理由として、ウレタンを作製する際、注入ガンで噴出された薬液は気中においても攪拌が行われる。これより、気中の時間が長いほど混合・攪拌が長く行われると考えられる。よって、Aで注入する方法は薬液が気中にある時間が最も長い事から最も理想的な方法と考えられる。しかし、ウレタンを用いた改良体を作製する際、Aで注入すると4m程度の改良体を作製する際に薬液が十分に届かず、ウレタン杭が作製できない恐れがある。そこで薬液を注入袋に十分注入するための注入管を取り付けたうえで、Aで作製したウレタンと同等の最大圧縮応力を持つウレタンを作製可能な注入方法の確立が必要である。その中で、BはAと最大圧縮応力、密度の両方で同等になったことから有効的な注入方法であることが確認された。

5. まとめ

本報告では発泡速度と注入方法によるウレタンへの影響を調査した。まず、発泡速度による影響の調査ではクリームタイムの異なる薬液3種類を用いてウレタンを作製し、一軸圧縮試験を行った。結果、クリームタイムが長い薬液ほど最大圧縮応力と密度が高くなった。これは発泡速度が遅いことで発泡開始することなく薬液の注入を完了することができたからと考えられる。次に、注入条件による影響の調査では最も高い最大圧縮応力を得られたUC-5SLを用いて、注入方法に注入ガンのみと注入ガン+ホースの2条件でウレタンを作製した。その中で、注入ガンとホースを用いた注入条件は注入ガンのみで作製したウレタンと最大圧縮応力、密度の両方で同等になったため、ウレタンを用いた改良体の作製に有効的な注入方法だと確認された。

参考文献

1)水澤良介：硬質発泡ウレタンを用いた杭状地盤改良工法について、卒業論文、2014  
 2)JUFA ウレタンフォーム工業会、<http://www.urethane-jp.org/>, 2020/5/3 3)三澤ら：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(2003)

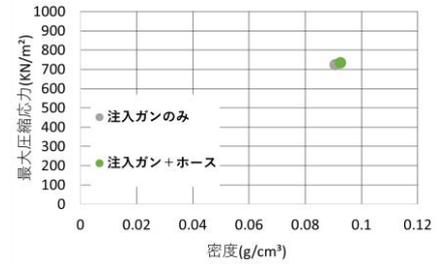


図3. カップ作製のウレタンの比較

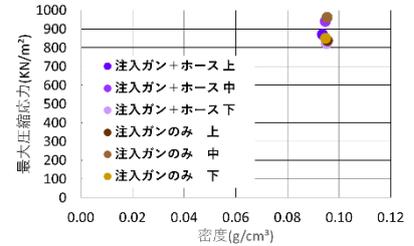


図4. ボイド作製のウレタンの比較