

# 締固めグラベルパイルによる宅地地盤改良の液状化抑止効果の検討

環境防災研究室 修士2年 白井佑季  
指導教官 大塚 悟

## 1. はじめに

2011年3月11日に東北から関東地方にわたり甚大な被害をもたらした東日本大震災では、内陸部や沿岸部において、液状化による宅地地盤での液状化被害が多数発生した。マンションやビル等は、杭基礎等により建物本体の被害はほとんどないのに対し、戸建住宅は埋立地等を中心に液状化被害が多発した。そのため、液状化対策が今まで十分施されてこなかった小規模な土地が対象となる戸建住宅においても、信頼性の高い液状化対策技術が求められている。

## 2. 研究背景

現在、宅地の地盤改良では、セメント系固化材を用いた表層改良や柱状改良が用いられるが、セメント系固化材と土を混ぜ合わせるにより、有害物質六価クロムが発生することや、固化不良の土質があることなど、施工品質の問題がある。(株)グランテックが開発したスクリー・プレス工法による液状化対策は自然材料を用いるために、地盤固化材を用いた地盤改良工法に対して環境面の負荷が少ない。また、宅地地盤のように転売が行われる土地の場合には固化材による地盤改良は転売時に多額の費用を要する撤去が求められる可能性があり、スクリー・プレス工法の有用性が期待される。スクリー・プレス工法によるグラベルパイルの打設は杭間地盤の密度増大と地盤の間隙水圧消散効果を生み出すものであるため、単一効果の工法よりは経済的で大きな効果を見込める。しかし、液状化層における健全なグラベルパイル打設技術の開発と品質を確保できる施工間隔、砕石粒度等の設計技術を整備するため、設計の指針を確立することが重要である。本研究では、スクリー・プレス工法の現場試験、並びに考察を実施した。

## 3. 研究手法

スクリー・プレス工法の現場試験が行われた富山県高岡市万葉ふ頭より採取された試料について三軸圧縮試験を行い、実験により得られた結果より、地盤モデルの解析に要するパラメータを決定する。決定したパラメータを用いた地盤モデルの解析により、密度増大効果の検討を行う。本研究の数値解析は回転硬化型弾塑性構成式 Cyclic mobility model による土・水連成弾塑性有限要素解析プログラム「DBLEAVES」を用いる。Cyclic mobility model は土の挙動に大きな影響を与える土の密度や過圧密比、自然堆積過程に形成された構造、および各種応力履歴を受けることで発生した土の応力誘導異方性を1つのパラメータを変えことなく表現することを目的に開発された構成式である。

## 4. 現地試験の概要

富山県高岡市伏木万葉ふ頭にて、スクリー・プレス工法の液状化対策効果を検討するために、締固めグラベルパイルを打設する現地試験を行った。施工による地盤の締固め効果の把握を目的として、施工前後の各エリアの地盤において試験を行った。

## 5. グラベルパイルによる地盤の締固め効果

### 5.1 スウェーデン式サウンディング試験結果の考察

パイルの施工位置から様々な条件で測点を取り、比較・検討を行った。図-1にパイル間隔1.5mの増加N値の結果を示す。縦軸を貫入深さ(m)、横軸を換算N値における増加N値としている。図-1よりパイル施工後の換算N値は貫入深さ2.5mから増加し、4mの地点でピークとなる傾向が見られる。パイル長以深では、5mの地点までパイル施工の影響が見られ、パイル長以深5.25mまで締固め効果が期待できる。スクリー・プレス工法では掘削土

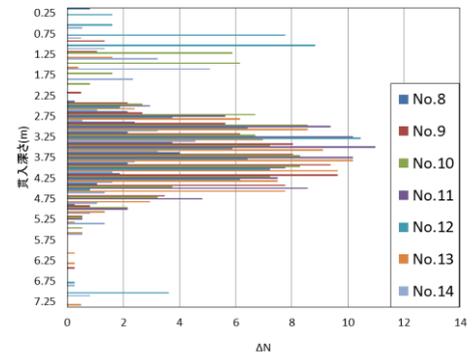


図-1 施工による地盤の増加N値 (パイル間隔1.5m)

に土砂を排出せずに施工し、パイルの土砂体積分相当の周辺地盤の締固めを行うほか、砕石を投入後に静的荷重で締固めるため、拡径による周辺地盤の締固めが生じる。浅層地盤において、締固め効果はみられるが深層地盤ほどのN値の増加は見られなかった。この理由として、浅層地盤では地表面方向への地盤の抜け上がりが生じるため、深層地盤と比べて締固め効果が小さくなる傾向がある。また、地盤のN値が3.5以下の粘性土においてN値の上昇は難しいことがわかった。

### 5.2 3次元拡径モデルによる周辺地盤の締固め再現

現地試験の結果を再現することを目的として、有限要素解析を用いて3次元解析を行った。締固めの再現は、パイルを施工した際に側方に締固められた土砂の等価変位量分を杭径境界面から強制変位を与えることで行った。等価変位量は、拡径によるパイル側方地盤の締固め量から算出する。今回はパイル半径が20cmであるため、パイル施工後の体積から削孔による拡径を8cm、砕石投入による拡径を孔体積の1.6倍として等価変位量に2cmを足し、強制変位を10cm与えることとした。強制変位後の相対密度からマイヤーホフの式を用いてN値を計算し、現地スウェーデン式サウンディング試験の換算N値における増加N値との比較を行い、締固め効果について検証を行った。単杭だけでなく、複数の杭の影響を考慮するために3種類の3次元拡径モデルを用いて解析を行った。解析に用いたモデルは、パイル1本の影響を考慮したモデル、横列パイルの影響を考慮したモデル、格子配列パイルを考慮したモデルである。

3種類の3次元拡径モデルの解析N値を比較した結果を図-2に示す。縦軸に貫入深さ(m), 横軸にN値をとっている。図より, 全てのモデルでN値の増加が確認できる。しかし, 現地試験結果との一致は見られなかった。結果の一致が見られなかった原因として, 現場の地盤が解析条件と異なり, 地盤が一様でなかったことが挙げられる。また, 地盤のN値が3.5以下の粘性土に近い土質ではN値の増加が見られないことが現地試験から明らかとなっているため, 解析結果との一致が見られなかったと考えられる。パイロを築造するのに適する時間を考察することを目的に, 強制変位を与える時間を変更させ, 解析を行った。その結果, 拡径時間によってN値の増加は異なることが明らかになった。これは, 拡径の際の地盤の変形が異なり, 排水せん断変形, 非排水せん断変形の違いが挙げられる。

3種類の3次元拡径モデルの体積ひずみ変化のシミュレーション結果を図-3に示す。拡径が進むにつれ, 全てのモデルで地表面方向への抜け上がりが確認できた。ゆっくりと時間をかけて強制変位を与えると, 地表面への抜け上がりの土量が多くなり, 格子配列モデルで最も土の抜け上がりが多くなった。強制変位時間を長くすると, 孔壁面や孔底部に体積ひずみが膨張する部分を確認された。これは, 側方に締められた土が時間経過とともに崩れていることを表していると考えられる。これらの結果より, パイロ築造時間は適切な時間設定が必要であることが明らかとなった。

## 6. まとめと今後の課題

スクリー・プレス工法の現場試験において, パイロの施工前後のスウェーデン式サウンディング試験結果をもとに各深度における増分N値の変化について検討を行った。パイロ長4mに対して, 貫入深さ2.75mからN値が増加し, 4mの地点でピークに達し, パイロ長の最も深い地点で改良効果が得られた。浅層地盤においては深層地盤ほどのN値の増加は見られなかったが, 格子配列モデルの解析結果では, 地表面のN値の増加が確認できたため, 改良効果はあると考えられる。また, 住宅基礎の施工時に地表面0.5m程を掘削して整地するため, 影響は小さいと考えられる。以上のことより, スクリー・プレス工法による地盤の締め固め効果が明らかになった。

3種類の3次元拡径モデルを用いて締め固め効果の検討を行った。解析結果と現地試験結果のN値の一致は見られなかったが, 全てのモデルで締め固め効果が確認できた。地盤の締め固め効果は拡径時間と影響を与えるパイロの本数によっても異なることが明らかとなった。これは拡径の際の地盤変形の違いによるものであると考えられる。拡径が進むにつれ, パイロ周辺の体積ひずみが増大し, 圧縮されていることがわかった。パイロ周辺の圧縮はゆっくりと側方に押し固めることで圧縮が増加するが, 圧縮による締め固め度が上昇する拡径時間には限度がある。また, 拡径時間が長くなると孔壁面と孔底部に体積ひずみが膨張している部分が生じる。これは, 拡径時間が長くなると側方に締められた土が形状を維持できなくなり, 崩れていることを表していると考えられる。以上のことより, パイロ築造時間は適切な時間設定が必要であることが明らかとなった。

本研究では, スクリー・プレス工法による地盤の締め固め効果を検討することができた。しかし, 現地試験結果と解析結果で一致が見られなかったため, より実地盤に近い条件で解析を行い, 解析により得られた知見をより明確な結果と結び付ける必要がある。また, 本工法は液状化対策工法であるため, 地盤をどの程度締め固めることにより, 液状化抑止効果を得られるかどうかを検討することも重要である。その後, 3次元地盤モデルでの地震解析を行い, 置換率や配置による違いを検討し, スクリー・プレス工法について液状化層における健全なグラベルパイロの打設技術の開発と設計の指針の確立を行う必要がある。

### (参考文献)

- 金子 大, 西山洋輔, 大塚 悟, 磯部公一, 折戸清治: グラベルパイロによる宅地地盤改良の液状化抑制効果に関する数値解析的検討, 第49回地盤工学会研究発表会講演集(DVD-R), 2014-7.
- 竹内 秀克, 河村 精一, 野田 利弘, 浅岡 顕: ゆるい砂地盤における砂圧入締め固めによる周辺地盤への3次元影響評価解析, 地盤工学ジャーナル Vol.8, No.2, 239-249

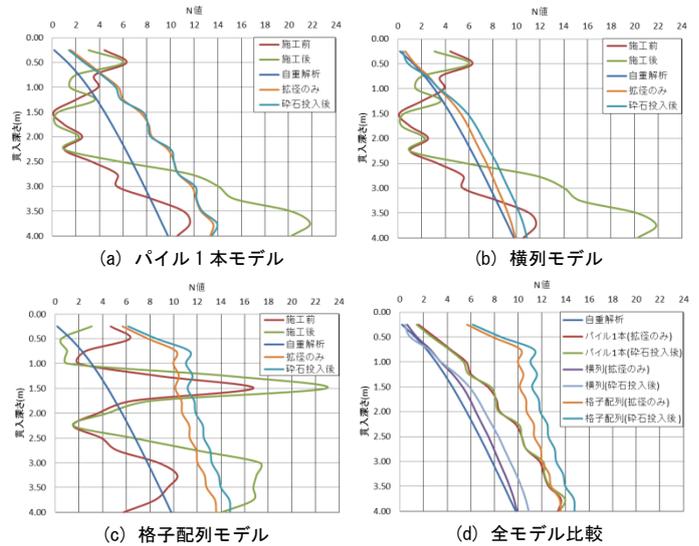


図-2 影響を与えるパイロの違いによる検討結果

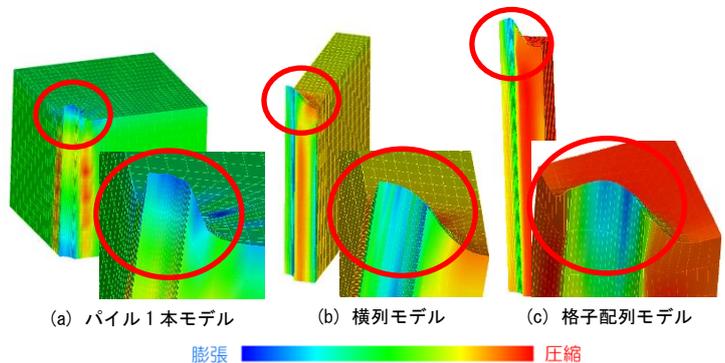


図-3 体積ひずみの検討結果