

グラベルパイルによる宅地地盤改良における液状化抑止効果に関する研究

環境防災研究室 修士 2 年 西山 洋輔
指導教官 大塚 悟, 磯部公一

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は液状化による宅地地盤での液状化被害が多数発生した。現在の地盤改良ではセメント固化材により六価クロムが発生し、また地盤内での固化不良や土地価値の減少といった問題がある。そこで自然砕石を用い、環境負荷の少ないグラベルパイル工法の有用性が期待される。

本研究では締固めグラベルパイル工法の液状化抑止効果を解明するため、軟弱地盤、砕石のパラメータを用い締固めグラベルパイル工法改良地盤をモデル化し、土・水連成弾塑性有限要素解析コード「DBLEAVES」を用いて解析を行った。有限要素解析においては無改良の無垢な一様地盤からグラベルパイルを打設した地盤モデルに地震動を入力し、解析条件において杭の間隔（置換率）、地盤層の条件を変更し、過剰間隙水圧比、沈下量の比較を試みた。

2. 締固めグラベルパイル工法

近年、天然材料である砕石を用いることで環境負荷も少なく、低騒音・低振動であることから宅地向けの施工機が完成した。本研究では宅地地盤の液状化対策に(株)グランテックが開発したスクリー・プレス工法(締固めグラベルパイル工法)を対象に土・水連成弾塑性解析を用いて、液状化の抑止効果を検証する。図-2.1には本工法の施工順序を示したものである。

- ① 特殊形状のスクリーを地中に回転挿入する。排土しない為、周囲の土は圧密固化される。
- ② 引き上げ時には先端からエア送気されている為、健全な孔が出来る
- ③ 砕石を投入して押圧パイプで転圧する為、更に周辺の土は圧密固化され、砕石も締め固められる。
- ④ これを何回も繰り返して、GLまで砕石を転圧する。
- ⑤ 砕石パイルはグラベルドレンとして間隙水圧消散効果があり、周囲の地盤は圧密により密度が上昇している。

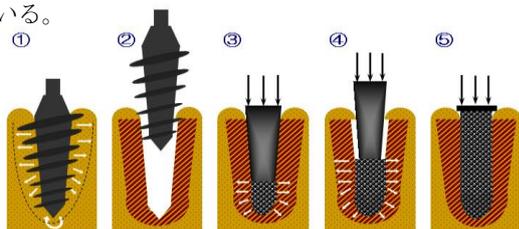


図-2.1 本工法の施工順序

3. 解析方法

3.1 グラベルパイル打設時の拡径による締固め改良の計算

図-3.1(左図)はグラベルパイル配置の模式図を示す。締固めグラベルパイル工法による施工では砕石用スクリーにより地中に回転挿入していく。そこに砕石を投入し転圧して半径 $r_0=20\text{cm}$ 、杭長 4m の砕石パイルが完成する。今回は最も簡単な条件として隣り合うグラベルパイルの同時施工を仮定し、パイル 1 本の造成過程を解析により再現する。計算領域は、改良対象の杭周地盤である。図-3.1(右図)に、砂杭間隔 $a=1.0\text{m}$ (計算領域 $a/2=0.5\text{m}$) の場合の有限要素メッシュと境界条件、水理条件を示す。以下では、有限要素メッシュ左側を「拡径側」、有限要素メッシュ右側を「杭間中央部」とする。

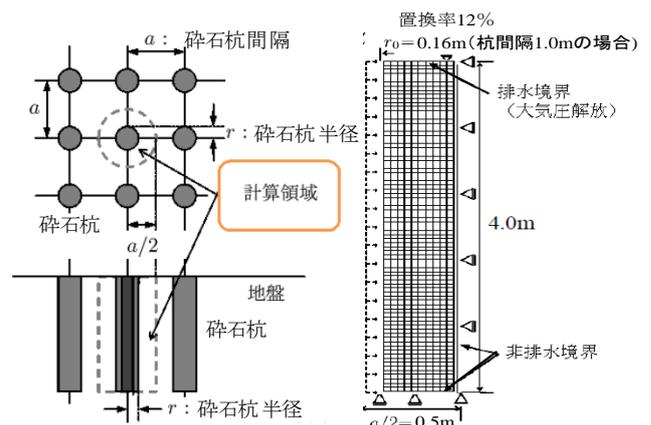


図-3.1 杭間密度増大モデル図

本研究では簡易的に計算するため、左側の拡径側から強制変位を与えていく。パイルは実配置で杭間 1.0m としたとき、パイルの直径は 40cm なので、置換率が 12% となる。それを平面ひずみ条件下でモデル化するとパイルに必要な幅は 0.12m となる。モデルは杭間隔 1/2 モデルなので、拡径側から強制変位を 0.06m 与えた。今回は軸対象でなく平面ひずみでの計算を行った。

強制変位終了後に変化した初期応力と強制変位による体積ひずみから出した間隙比を杭間地盤の密度増大砂のパラメータとして使用した。

3.2 解析条件

締固めグラベルパイルによる液状化抑止効果について DBLEAVES を用いて評価する。本解析では一様地盤をモデル化し、解析領域は幅 140m、層厚 20m の軟弱砂地盤を想定した。本研究では簡易的に 2 次元平面ひずみで計算した

が、楔型にパイルを配置する際は、三次元でモデル化する必要があると考えられる。

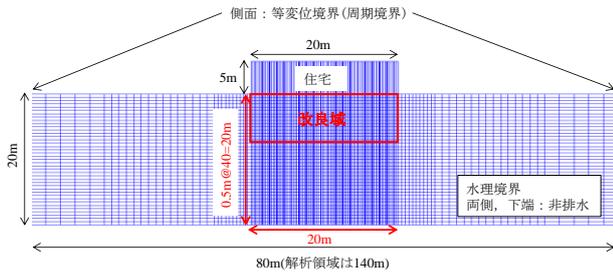


図-3.2 解析地盤モデル

図-3.2 に解析に用いた有限要素メッシュ図と境界条件を示す。両側側面に等変位境界を設定することで水平無限地盤と仮定し、排水境界は地表面に設定した。地表面には木造 2 階建ての住宅を仮想し、接地圧は 10kN/m^2 とした。入力地震動には最大加速度 50gal, 100gal の人工波形を使用した。解析を行うにあたって、入力パラメータには既往の研究で浦安の液状化解析のために使用されている豊浦砂の緩砂パラメータを用いた。このパラメータは浦安のボーリングデータから得た N 値 0~10 の値をもとに決められたものなので、本研究でも軟弱地盤のパラメータとして砂地盤に用いた。グラベルパイルに用いた砕石のパラメータには名古屋大学で使用されている捨石のパラメータを参考に、三軸シミュレーションによりフィッティングしたものを仮定した。

3.3 解析ケース

本解析では液状化層厚が改良効果に与える影響を検証し、液状化層厚と改良効果の関係性について探る。Case1~Case3 は液状化層厚をそれぞれ 0m, 8m, 16m にわけてモデル化し、杭間隔 1.0m (置換率 12%) と 0.5m (置換率 50%) の 2 種類の条件で計算した。表-3.3 に解析ケースを示す。

表-3.3 解析ケース

| ケース | 改良層厚 (m) | 液状化層厚 h (m) | 杭間隔 (m) | 置換率 (%) | 入力地震動 (gal) | | 地盤条件 | |
|-------|----------|-------------|---------|---------|-------------|-----|------|----|
| | | | | | 50 | 100 | 無改良 | 改良 |
| Case1 | 4 | 0 | 1.0 | 12 | 50 | 100 | 無改良 | 改良 |
| | | | | | 50 | 100 | 無改良 | 改良 |
| | | | 0.5 | 50 | 50 | 100 | 無改良 | 改良 |
| | | | | | 50 | 100 | 無改良 | 改良 |
| Case2 | 4 | 8 | 1.0 | 12 | 50 | 100 | 無改良 | 改良 |
| | | | | | 50 | 100 | 無改良 | 改良 |
| | | | 0.5 | 50 | 50 | 100 | 無改良 | 改良 |
| | | | | | 50 | 100 | 無改良 | 改良 |
| Case3 | 4 | 16 | 1.0 | 12 | 50 | 100 | 無改良 | 改良 |
| | | | | | 50 | 100 | 無改良 | 改良 |
| | | | 0.5 | 50 | 50 | 100 | 無改良 | 改良 |
| | | | | | 50 | 100 | 無改良 | 改良 |

4. 解析結果

各ケースから得られた無改良地盤と改良地盤の最大過剰間隙水圧比と最終沈下量を比較し、改良地盤による低減率を求めた。図-4.1 に改良効果による過剰間隙水圧比低減率と図-4.2 に沈下量低減率を報告する。

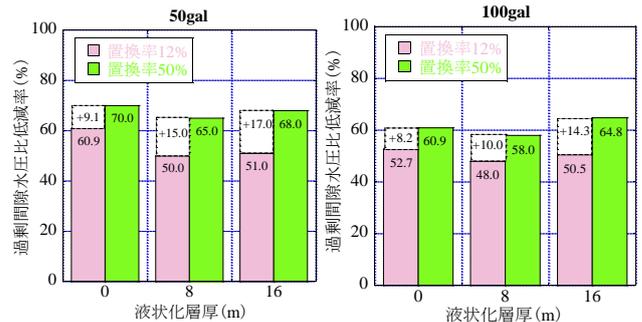


図-4.1 入力地震動別の液状化層厚～過剰間隙水圧比低減率(%)

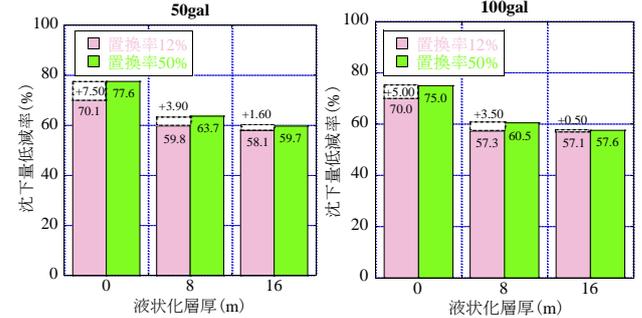


図-4.2 入力地震動別の液状化層厚～沈下量低減率(%)

図-4.1 を見ると、液状化層厚が増加するにつれ置換率を上げた際の水圧比低減率効果が出やすい傾向となった。また、50gal の置換率 12%, 50% のケースに比べ 100gal ケースの低減率が落ちている。この傾向から、地震動の大きさに伴い過剰間隙水圧比低減率が低下することがわかる。次に図-4.2 の沈下量低減率について報告する。グラベルパイル工法により、無改良地盤にくらべ約 60%~80% 沈下量を低減できていることがわかる。まず、50gal と 100gal の両ケースに共通して、液状化層厚が小さいケースほど、沈下量低減率は高い傾向となった。また、微量ではあるが置換率を増加させることで沈下量低減効果は増えるが、その増加量は液状化層厚が厚くなるほど小さいものとなる。

5. 結論

無改良地盤と改良地盤を数値解析により比較することで、締固めグラベルパイル工法は地震によって発生する過剰間隙水圧の増加と沈下量の発生を低減し、液状化抑止効果を確認した。改良する地盤の液状化層厚が深くなるにつれ、本工法の過剰間隙水圧比低減効果と沈下量低減効果は低下し、入力地震動による低減効果の違いも見られた。そのため、本工法は液状化層厚、入力地震動に大きく依存しており、液状化抑止効果をより解明するには、地盤状況(層厚、入力地震動、地下水位など)による改良効果の分析が必要となる。また、置換率増大により、過剰間隙水圧比は大きく低減されるが、沈下量においては液状化層厚の厚さが深くなるほど、その付加効果は小さくなることから、地盤状況に応じた設計をしなければならないと考えられる。