

不連続オーガスクリューを用いた 液状化対策工法に関する現場実験

芹川 由布子¹・宮島 昌克²

¹学生会員 金沢大学大学院自然科学研究科 博士前期課程 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail: bunka.h22@gmail.com

²正会員 金沢大学教授 理工研究域地球社会基盤学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail: miyajima@se.kanazawa-u.ac.jp

2011年東日本大震災では千葉県浦安市などの戸建住宅に液状化被害が多発し、その数は計2万7千棟を数える。これらの被害を受け、戸建住宅における液状化対策工法の開発が急務とされている。著者らは、液状化対策に無排土孔壁工法であるMLT工法を活用することを提案している。本工法は、特殊な不連続オーガスクリューを用いることが特徴であり、まずはこのオーガスクリューによる地盤の改良効果の検討を行う。

Key Words : countermeasure against liquefaction, space dilatation, MLT method, Field experiment

1. はじめに

2011年東日本大震災では、東京湾沿岸部や利根川流域において甚大な液状化被害が発生した。液状化による戸建住宅の沈下や傾斜の被害は甚大であり、今まで液状化対策が十分に行われていなかった戸建住宅に対する液状化対策技術が求められるようになった。現在では、多くの企業および研究機関が、新設ならびに既設の戸建住宅に対する液状化対策工法の開発に取り組んでいる。住宅に対する対策工法としては、密度増大効果が期待されている締固め工法が多く用いられており、近年では小規模な構造物にも適応可能な液状化対策が開発され適用事例も増えている^{例えは1), 2)}。

本研究では株式会社エムエルティースイルが開発した、圧縮翼をもつ特殊な不連続オーガスクリュー³⁾(図-1)を用いたMLT工法を液状化対策に活用することを提案する。MLT工法は、掘削時に地上に排出する土砂を抑える無排土孔壁工法である。土砂を孔壁に押し付けることで強固な孔壁が形成され、周辺地盤の相対密度が増加する。無振動・低騒音・無粉塵であり、住宅地などの狭隘地での施工が可能であること、排土が少なくベントナイトも使用しない環境に配慮した工法であるなどの利点が多い。現在は杭工や先行掘削、廃棄物減容化技術などに用いられているが、本研究では液状化対策工法としての本工法の有用性を検討を行う。はじめに掘削時の押し

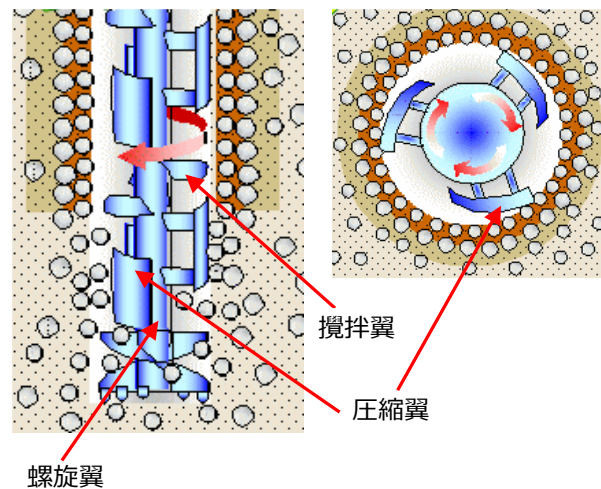


図-1 不連続オーガスクリュー³⁾

固めによる周辺地盤の改良度を空洞拡張理論より算出する。また、締固め効果を評価するために室内模型実験および現場実験を行う。

2. MLT工法の概要

本研究で検討する工法は、前頁の図-1に示す圧縮翼付き不連続オーガスクリューを用いて地上に排出する土砂をわずかに押さえ孔壁を強固な状態に改良しながら

削孔を行う工法である。従来のオーガースクリューは、シャフトの全長にわたって螺旋翼を設けているため回転削孔時に土砂は螺旋翼に沿って地上に排出される。そのため孔壁はゆるめられた状態のままである。本工法では、掘削時にオーガーヘッドにより乱された土砂は螺旋翼によって上昇するものの、螺旋翼が不連続となるため土砂は上昇しきれずに圧縮翼で孔壁に押しつけられていく。圧縮翼と螺旋翼との間に入り込んで上昇し続ける一部の土砂も攪拌翼により乱され、次に控える圧縮翼により孔壁に押しつけられていく。更に、削孔時にオーガーの正回転、逆回転、上げ下ろしを随時行うことにより、ゆるめられた土砂のほとんどが孔壁に押しつけられることとなる。空洞を拡張するということは間隙の少ない地盤を形成するということになる。その結果、空洞周辺の地盤の摩擦抵抗は改善され、従来工法に比べ杭の支持力は大きく向上することが期待される。従来工法では削孔により地上に排出される土が、本工法では孔壁に押し付けられるため、残土処理の込要が大きく軽減されることが期待される。

本研究は、これまで杭孔の掘削に用いられてきた本工法を宅地における液状化対策として活用することを目的としており、その有用性の確認のために空洞の拡張による相対密度の増加範囲についての検討を行う。

3. 空洞拡張理論による改良度の検討

(1) 空洞拡張後の地盤の改良度

不連続オーガースクリュー貫入時の空洞拡張による相対密度増加の影響範囲 R の算出および液状化指数の評価を行う。

対象地盤を半径 r_0 の削孔と仮定し、これを半径 r_1 まで拡張した場合の地盤の改良度を N 値の増加量をもとに考える。空洞拡張後の体積変化に伴い、間隙比が e_0 から $e_0 - \Delta e$ に変化したとすると、変化後の相対密度 D_r' 、および N 値 (N') は以下のとおりとなる。

$$D_r' = \frac{e_{\max} - (e_0 - \Delta e)}{e_{\max} - e_{\min}} \times 100$$

$$N' = (0.7 + \sigma_v') \cdot (D_r'/21)^2$$

σ_v' : 鉛直有効応力 (kN/m^2)

$e_{\max}$: 最大間隙比

$e_{\min}$: 最小間隙比

空洞拡張により地盤の間隙比は減少するが、その度合いは孔壁に近いほど大きく、孔壁より遠くなるほど小さくなると考えられる。間隙比の減少は孔壁からの距離の2乗に比例すると仮定し、対策の影響範囲 R 内における N 値の増加分を算出する。これらの結果を用いて液状化地盤の改良度を評価する。

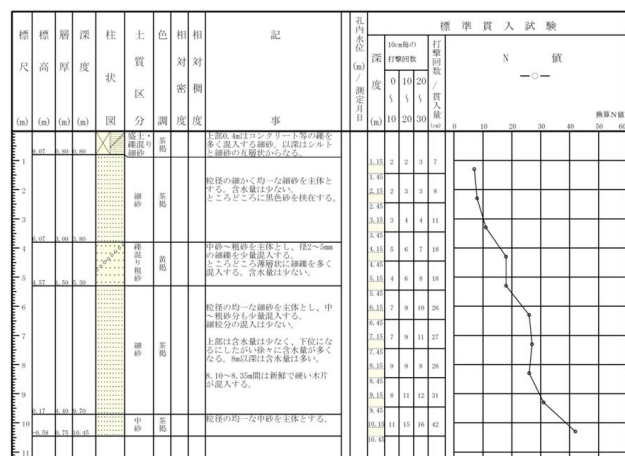


図-2 ボーリング柱状図

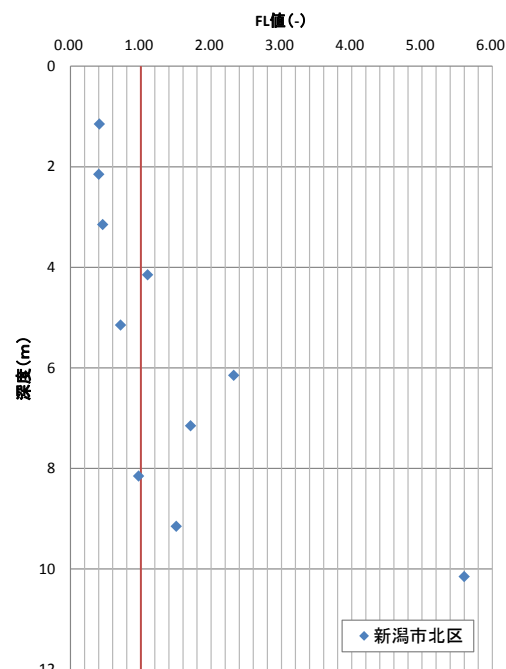


図-3 FL 値算出結果

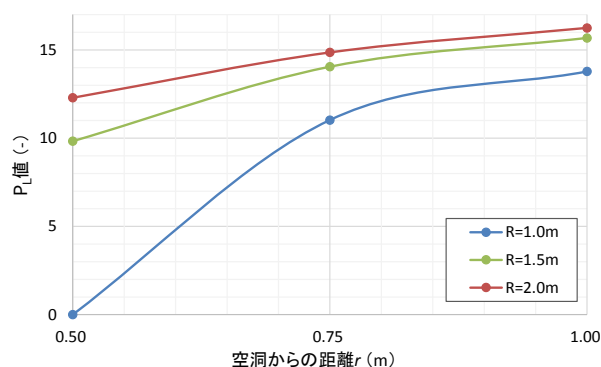


図-4 距離 r と PL 値の関係

(2) 新潟市北区における対策効果の検討

現場実験を行う新潟県新潟市北区を対象地とし、本工法を施工した場合の対策効果を評価する。図-2 に示すボーリングデータを用いて空洞拡張後の理論値 N' を算出する。この結果をもとに、熊本地震における熊本市東区

の最大加速度 843gal を受けた場合の液状化に対する抵抗率 F_L と液状化指数 P_L を算出し、液状化の危険性について評価する。対策効果の影響範囲を R とし、空洞からの距離 r 地点での地盤の改良度についての考察を行う。

まず、対象地盤の深さ 10m 地点までの F_L 値の計算結果を図-3 に示す。深さ約 3m までの層で F_L 値が 1 を下回っており、表層付近で液状化が発生する危険性があると考えられる。また、深さ 5m, 8m の地点についても液状化の危険性が考えられる。

このような地盤に対策を行うと仮定する。削孔には前章の不連続オーガースクリューを用いることとし、貫入後の口径が 0.550m であるため半径 r_1 は 0.275m となる。対策の影響範囲 $R=1.0\text{m}$, 1.5m, 2.0m と仮定し、空洞拡張後の空洞からの距離 r における N 値 (N 値) を求める。削孔後の N の値を用いて液状化指数 P_L 値を算出し、液状化危険度の評価を行い地盤の改良度を検討する。 $r=0.50\text{m}$, 0.75m, 1.00m の 3 地点における削孔後の N の値をそれぞれ 10.15m の深度まで求め、液状化指数 P_L 値を算出した。

図-4 に空洞からの距離 r における P_L 値の算出結果を示す。対象地点のボーリングデータの実測 N 値から P_L 値を算出したところ、17.8 であった。一般的には $P_L > 15$ の場合「液状化の危険度が極めて高い」、 $5 < P_L \leq 15$ の場合「液状化の危険度が高い」、 $0 < P_L \leq 5$ の場合「液状化の危険度は低い」、 $P_L = 0$ の場合「液状化の危険度はかなり低い」と判断される。これより、今回の対象地域は液状化の危険度が極めて高い地盤であることがわかった。 $R=1.0\text{m}$ の場合、 $r=0.6\text{m}$ までの範囲では P_L が 5 を下回っており液状化の危険度が低いことから、液状化対策として有効であると考えられる。しかし、 R が大きくなるに従い対策効果は小さくなるという結果が得られ、 $R=1.5$, 2.0m の場合では液状化の危険度を低下させるには不十分であり、 $r=1.0\text{m}$ 付近では対策前の地盤とほとんど変わらないという結果となった。

これより、不連続オーガースクリューを用いた空洞拡張により P_L 値が減少し、液状化の可能性が低くなることを理論的に表せることが明らかとなった。なお、本工法を用いて改良を行うには空洞拡張による地盤改良の影響範囲 R を実験・解析を行い定量的に検討することが必要であると考えられる。

4. 砂質地盤における相対密度増加に関する実験

(1) 現場実験概要

新潟県新潟市の実地盤において、MLT 工法で削孔を行い不連続オーガースクリュー貫入による周辺地盤の改良効果について検討を行う。実験を行う現場から約



写真-1 現場実験施工機



写真-2 オーガースクリューによる削孔

200m 離れた位置でのボーリングデータは図-2 に示すとおりである。地盤は細砂・粗砂で構成されており、地下水位は 4.0m 前後である。

写真-1 に MLT 工法で用いる施工機を示す。オーガースクリューの全長は 5.0m であり、直径が 55cm (中心直径は 26.7cm) である。スウェーデンサウンディング試験 (以下、SWS 試験とする) を施工前後で行い、得られた結果より換算 N 値を求める。測定は、掘削後の孔壁から 50cm, 75cm, 100cm の地点で行った。測定時に孔壁が崩れることを避けるため、SWS 試験はオーガースクリューを貫入させた状態で行った (写真-2)。削孔による周辺地盤の締め固め効果を評価するために、SWS 試験結果より稲田によって提案される以下の式 (稲田式) を用いて削孔前後の換算 N 値を求める。

$$\text{砂質土, 砂礫土} \quad N = 0.002W_{sw} + 0.067N_{sw}$$

$$\text{粘性土} \quad N = 0.003W_{sw} + 0.050N_{sw}$$

ここで、 W_{sw} は載荷荷重(N), N_{sw} は SWS 試験における 1.0m あたりの半回転数(回)である。これらの結果をもとに、液状化対策としての有用性を検討する。

(2) 実験結果および考察

SWS 試験の結果より算出した N 値を図-5 に示す。掘削前後の N 値を比較すると、深さ約 3m 程度の地盤では N 値が減少していることがわかる。削孔位置に近い 50cm の N 値が最も減少していることから、オーガースクリュー貫入時の地盤の攪拌により地盤が乱されたためと考えられる。深さ約 4m では 50cm、75cm の地点での N 値が増加していることがわかる。深さ約 5m では 50cm 地点での N 値が大きく増加しており、空洞拡張による地盤の密度増加効果が得られたと考えられる。

また、削孔位置から 100cm の地点では N 値の増加がほとんどみられなかったため、今回の地盤における本工法の影響範囲は 100cm 以下であったと考えられる。

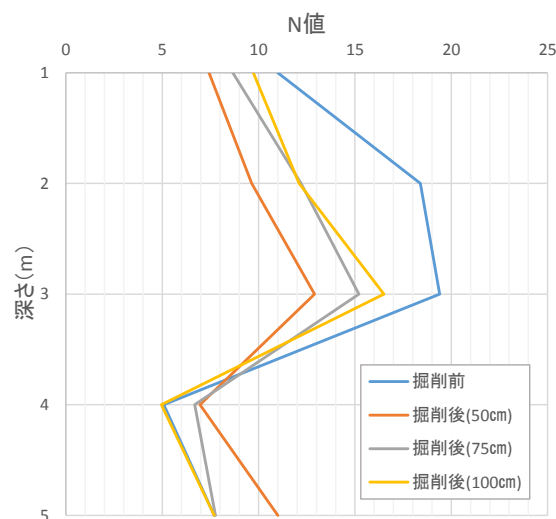


図-5 掘削前後の N 値の変化

5. おわりに

本研究では、無排土孔壁工法である MLT 工法を液状化対策に活用することを提案しており、地盤の改良効果を評価するために理論値の算出および現場実験を行った。現場実験の地点のボーリングデータを用いて効果の検討を行ったところ、影響範囲 $R=1.0\text{m}$ の場合、空洞からの距離 $r=0.6\text{m}$ までの範囲では P_L が 5 を下回っており液状化の危険度が低くなるという結果となった。また、実際の現場実験では、深さ約 4m では削孔位置から 50cm、75cm の地点での N 値が増加しており、空洞拡張による密度増大効果が得られた。

しかし、地表面付近では効果が得られなかったため、今後は地の適用範囲や影響範囲の定量的な検討を行う必要があると考えられる。

謝辞：本研究は、一般社団法人日本建設機械施工協会第11回研究開発助成金の補助を受けて実施したものである。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 三輪滋, 吉田雅穂, 村田拓海, 沼田淳紀: 丸太打設による既設戸建て住宅の液状化対策の液状化が生じた地盤での数値解析による検討, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol. 72, No. 4 (地震工学論文集第35巻), pp. I_117-I_128, 2016.
- 2) 浅層盤状改良工法による戸建て住宅の液状化被害軽減効果の検証と経済性評価戸建住宅対策, 地盤工学ジャーナル, 9巻 (2014) 4号, pp.533-553, 2014
- 3) 株式会社エムエルティール: MLT 工法, <http://www.mlt.ecnet.jp/> (2017年6月1日閲覧)

(2018.9.7 受付)

FIELD EXPERIMENT ON LIQUEFACTION COUNTERMEASURE METHOD USING DISCONTINUOUS AUGER SCREW

Yuko SERIKAWA and Masakatsu MIYAJIMA

This study focuses on space dilatation by using MLT method as a countermeasure of liquefaction. Relative density of sand layer is increased by space dilatation by using MLT method. First, increase of the relative density of sand layer was theoretically estimated by space dilatation theory. Then the field test was also conducted. As a result of the Swedish sounding test, this method is effective more than approximately 3 m deep from the ground surface. From this, it was confirmed that the degree of compaction of the ground around the borehole increased due to expansion of the borehole.