

既存杭引抜孔への充填材が 周辺地盤に与える効果に関する数値解析

納庄 一希

明石工業高等専門学校 都市システム工学科
地盤環境・マネジメント工学研究室（稲積研究室）

近年、建造物の老朽化や人口減少に伴う施設利用の減少により、高度経済成長期に建設された大量の建築物や道路建造物の取り壊しが増加している。そのため、既存杭の撤去工事が増加しており、その中でも振動・騒音問題などの環境問題への意識の高まりから、引抜き工法が多く施工されている。しかしながら、現状としては、杭の引き抜き跡には引抜孔が形成され、この引抜孔による当該地盤の力学特性の低下が懸念されている。加えて、引抜孔に注入される充填材には未だ規定がなく、充填材の材料の配合や、充填材の強度が地盤に与える影響も解明されていない。そこで本研究では、杭の引抜孔が地盤の静的・動的特性に与える影響を2次元動的FEM解析によって検討した上で、引抜孔に注入される充填材に求められる特性を明らかにする。

Key Words : pile foundation, pulling-out method, pulling-out hole, filler, finite element method, dynamic elastoplastic analysis

1. はじめに

我が国の都市の多くは軟弱地盤に位置し、杭基礎を用いた建造物が多い。そのため既設建造物が存在する場所において新たな土地活用を図るには、既設建造物だけでなく、建造物を支持していた既存杭を、新たな建造物の施工の為に撤去する必要がある。また、既存杭やコンクリートがらなどは産業廃棄物となり、これらの産業廃棄物を地中に残存させることは、非常に難しい問題となる。更に土地売却取引等では「隠れた瑕疵」として、トラブルの発生が多く見られる²⁾。従って、既存杭の撤去が必須であるといえる。

既存杭の撤去方法には、引抜き工法や破碎撤去工法等があるが、破碎撤去工法には振動・騒音問題や、環境問題などを抱えていることから引抜き工法が多く用いられている。しかしながら、引抜き工法にも問題点が存在する。引抜き工法では既存杭を引抜く際に、引抜孔が形成される。この引抜孔を放置すると、空掘部分の土砂の崩壊や、地盤内の空隙が拡大し地表面の沈下が発生する可能性がある。従って、充填材の注入により引抜孔を充填することが必要となる。充填材については、従来は施工が容易であり、安価であることから山砂や再生砂にて施工する場合が多かったが、確実な充填や安定した強度を確保出来ないことにより、最近では流動化処理土やセメ

ント・ベントナイト使用が増加している。しかしながら、充填材に関しては規定がないのが現状であり、引抜孔に注入された充填材の強度や材料配合の違いによって、地盤の変形挙動に与えられる影響が明らかにされていない。

本研究では、既存杭の引抜孔のある地盤について、引抜孔に充填材を注入した地盤を対象に、2次元静的全応力解析を行い、それぞれの地盤における変形挙動を解析的に把握し、その結果を比較することにより、引抜孔に注入される充填材に求められる特性を明らかにすることを目的としている。

2. 引抜孔および原地盤の静的挙動に関する 検討概要

本研究では静的解析により解析を行う。検討内容を①～④に述べる(図-1参照)。

- ① 検討断面を選定する。
- ② ①で選定した検討断面をもとに解析モデルを作成し、解析領域をメッシュ分割する。
- ③ 解析定数を選定する。初期応力解析における適用構成モデルと材料パラメータを設定する。
- ④ 初期応力解析を行う。解析手法は全応力解析とする。ここでは、地盤材料に対しHDモデル、充填材部分

に対し弾性モデルを適用する。

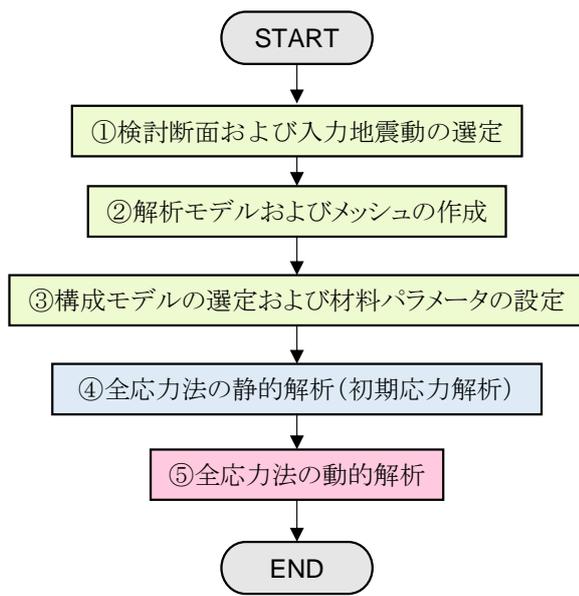


図-1 解析手順

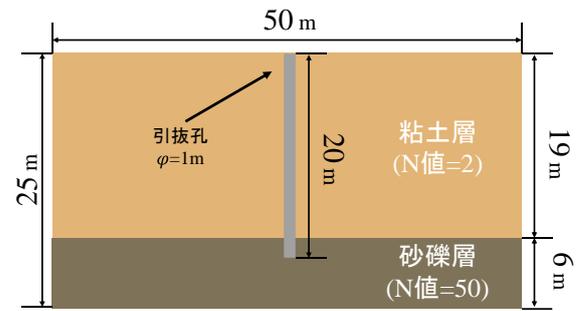


図-2 断面図

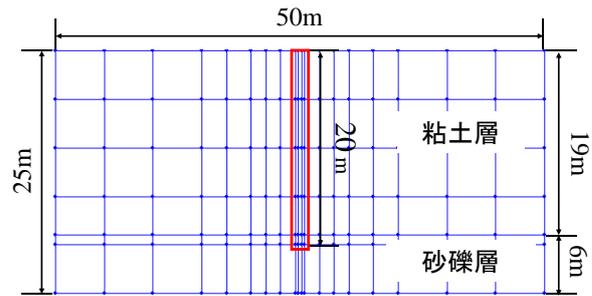


図-3 解析モデル

3. 引抜孔および原地盤の静的挙動に関する解析モデル

(1) 解析モデル

解析では、解析断面を2層とし、上部層を軟弱な地層としてN値2程度の粘土層、下部層を支持層となる強固な地層としてN値50程度の砂礫層とした。解析断面の幅は50mとし、粘土層の層厚を19m、砂礫層の層厚を6mとし、断面の深さの合計を25mとする。引抜孔については、本数を1本とし、孔径1m、深さ20mとし、砂礫層への根入れ深さは1mとする。メッシュ分割については、引抜孔付近のメッシュ間隔を細かくすることで精度を向上させる。また、引抜孔を充填した場合においても、引抜孔の充填部分の挙動を調べるためにメッシュを細かくしている。境界条件としては、底面を固定支点、側方境界を等変位境界とした。等変位境界にすることで左側の側面にある節点が動いたとき、変位と反対側の節点も同じ動きをするため、地層が左右に広がっていることを表現できる。

本研究では、既存杭引抜孔への充填材が周辺地盤に及ぼす効果について解析を行う。既存杭引抜孔への充填材には流動化処理土を用い、充填材強度が地盤に及ぼす効果を比較するために強度の異なる10種類により解析を行う。本研究で設定した地盤の断面図を図-1に、解析に用いた有限要素メッシュを図-2に示す。図-2では赤枠で囲

んだ箇所が充填材の部分である。

(2) 構成則と材料パラメータ

解析に用いた、粘土層および砂礫層におけるパラメータおよび、引抜孔における地盤パラメータについて表-1に示す。また、粘土層および砂礫層におけるHDモデルのパラメータを表-2に示し、引抜孔における弾性モデルのパラメータについて表-3に示す。今回の解析においては、充填材として多くの実験値が示されている流動化処理土を用いる¹⁰⁾¹²⁾。また、充填材強度が地盤に与える影響を調べるために、流動化処理土の弾性係数およびポアソン比を変えて、10種類の充填材での解析を行う。強度の小さいものから、充填材①、充填材②...充填材⑩とする。解析に用いるパラメータは、既往の文献を参考に決定した。

表-1 要素パラメータ

パラメータ	粘土層	砂礫層	引抜孔 (充填材)
γ_t (kN/m^3)	15	21	15
γ_w (kN/m^3)	98		
構成則	HDモデル	HDモデル	弾性モデル

表-2 HDモデルパラメータ

パラメータ	粘土層	砂礫層
G_0 (kPa)	26985.77	173722.74
σ'_m (kPa)	67.5	201
ν (-)	0.45	0.40
c (kPa)	19.6	0
ϕ (°)	0	42

表-3 弾性モデルパラメータ

材料名	q_u (N/mm ²)	E (kN/m ²)	ν	
引抜孔 (充填材)	①	0.1	15700	0.479
	②	0.2	31400	0.476
	③	0.3	47100	0.472
	④	0.4	62800	0.468
	⑤	0.5	78500	0.464
	⑥	0.6	94200	0.460
	⑦	0.7	109900	0.456
	⑧	0.8	125600	0.452
	⑨	0.9	141300	0.448
	⑩	1.0	157000	0.444

ここに、 γ は土の単位体積重量、 γ_w は水の単位体積重量、 G_0 は初期せん断剛性、 σ'_m は初期平均有効拘束圧、 ν はポアソン比、 c は粘着力、 ϕ は内部摩擦角、 q_u は圧縮強度、 E は弾性係数である。

4. 引抜孔および原地盤の静的挙動に関する解析結果と考察

本研究では、静的解析において、既存杭引抜孔への充填材が地盤に及ぼす影響を解明するために、強度の異なる充填材を用い、比較を行った。それらの結果について以下で示していく。

(1) 解析の結果

本解析によって得られた、既存杭引抜孔への強度の異なる10種類の充填材が周辺地盤に与える効果についての結果を図-4、図-5に示す。図-4は、強度の異なる各充填材を使用した時の、解析断面における最大沈下量を示している。図-5は、異なる強度の充填材を使用した時の、各深さにおける最大沈下量を比較したグラフとなっている。

(2) 解析の結果に対する考察

図-4を見ると、充填材の強度が0.1N/mm²、0.2N/mm²の場合では、 $X=0$ 、つまり注入した充填材中央部において、最大沈下量が最も大きくなっていることがわかる。

このことから、充填材の強度が足りず、周辺地盤が解析断面中央に存在する、既存杭引抜孔への充填材部分に沈み込んでいるのではないかと考えられる。また、充填材強度が0.4N/mm²以上の充填材を使用した場合においては、充填材強度が0.1N/mm²、0.2N/mm²を使用した場合とは異なり、充填材中央部において、最大沈下量が最も小さくなっている。このことから、充填材強度が周辺地盤の強度よりも高く、周辺地盤が沈下していることと予想される。充填材強度が0.3N/mm²の場合では、最大沈下量はほぼ満遍なく生じており、本解析断面においては、他の充填材よりも最も現地盤に近い挙動を示している。これは充填材の強度が、周辺地盤の強度と最も近いものであると考えられる。

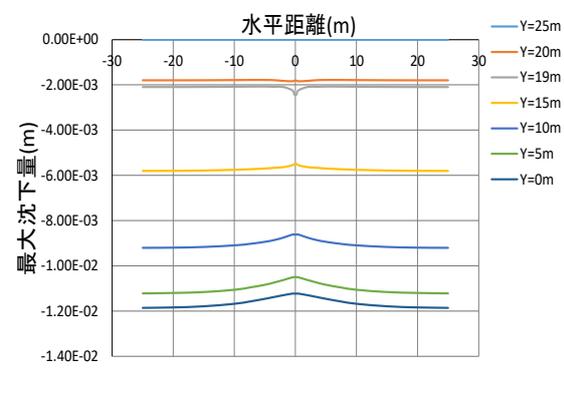
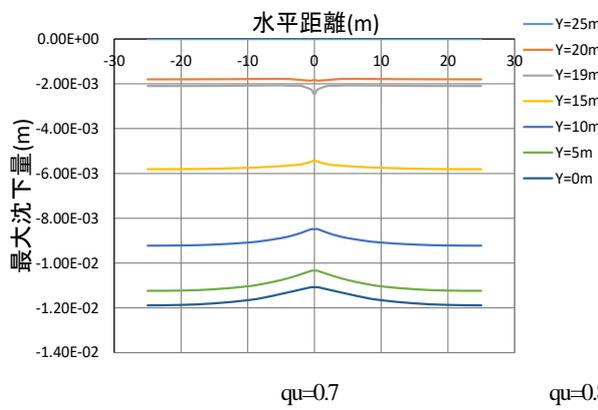
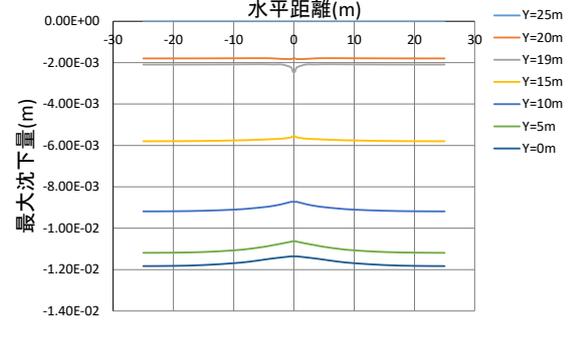
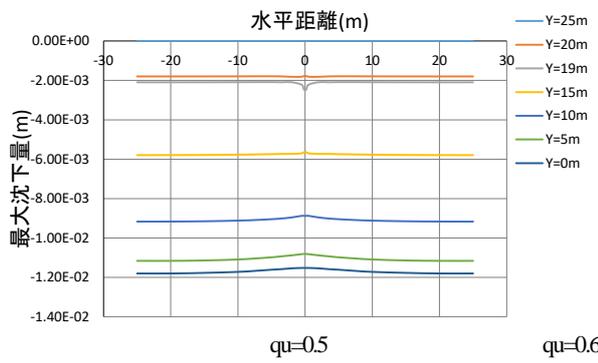
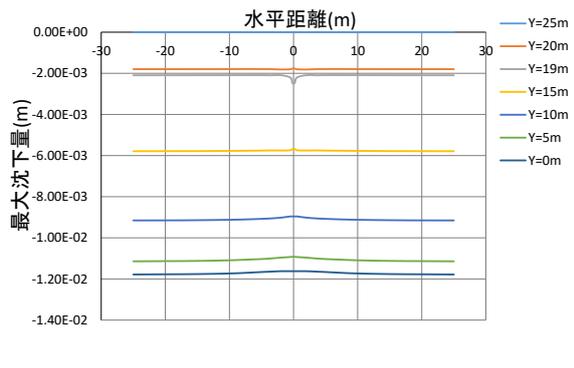
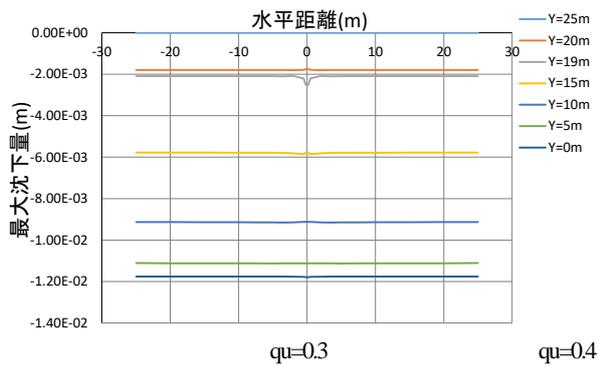
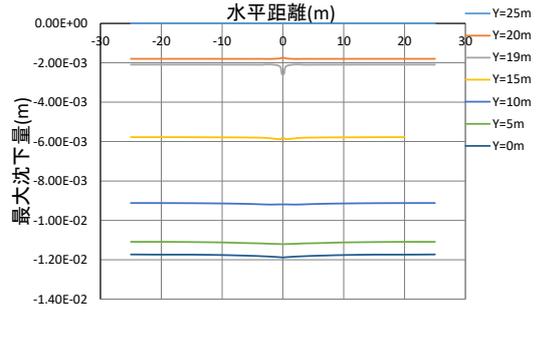
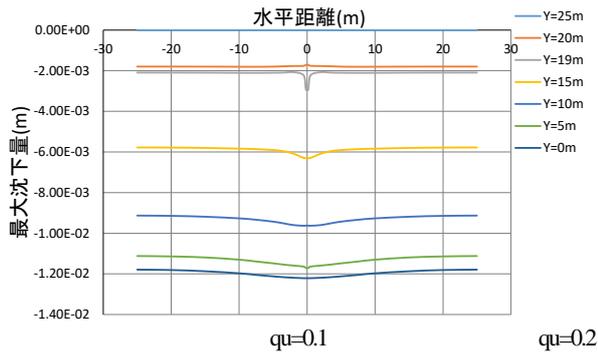
次に、図-5を見ると、地表から深さ20mの位置では、充填材の強度が高くなるほど最大沈下量が大きくなっていることがわかる。しかし、充填材部以外の場所では、充填材の強度が高くなるほど最大沈下量が小さい。深さ19mの位置では、充填材部においては、充填材の強度が低いほど最大沈下量が大きく、他の水平位置においては、ほぼ同程度の最大沈下量を示している。地表からの深さが15m、10m、0mの位置では充填材部において充填材の強度が高いほど最大沈下量が小さい値を示しており、中心からの距離が±12mの付近より、充填材の強度が低いほど最大沈下量が小さいという結果となった。これは上記した充填材の強度と周辺地盤の強度との関係が影響したものであると考えられる。また、中心からの水平距離が±12m以降において、充填材の強度が低いほど最大沈下量が小さいという結果からは、解析断面において、断面中央部に向かい沈下しているであろうと推測される。

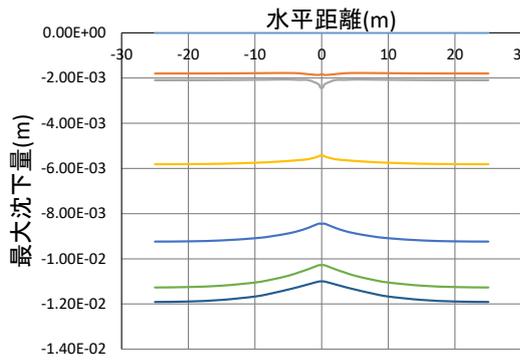
以上のことを踏まえ、本研究における解析断面では既存杭引抜孔への充填材の強度は0.3N/mm²以上のものを使用すれば、充填材部へ向かう沈下が生じないため、適当であると考えられる。

5. おわりに

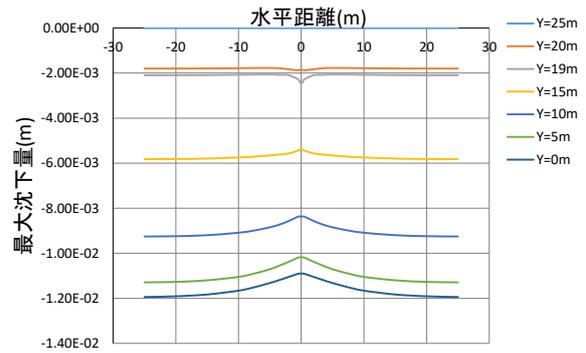
本研究では、既存杭引抜孔への充填材に求められる特性を明らかにするために、既存杭引抜孔への充填材が周辺地盤に与える効果を2次元動的FEM解析によって行った。これより、既存杭引抜孔への充填材の強度が、周辺地盤の強度よりも低いと、充填材部に向けて周辺地盤が沈下することがわかった。そのため、引抜孔への充填材には各地盤条件に合わせた最低強度を満足していればよいと考えられる。

本研究の今後の課題としては、地盤の条件を変更した場合、本解析結果と比較し、どのような影響があるのか



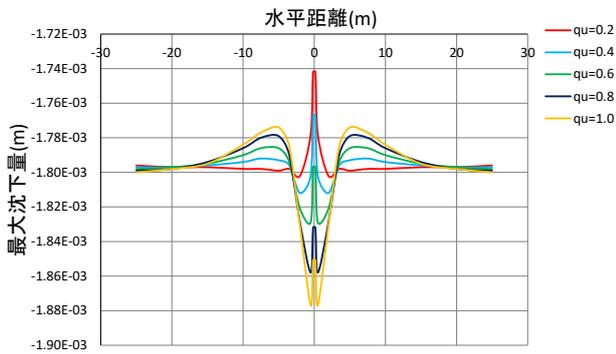


qu=0.9

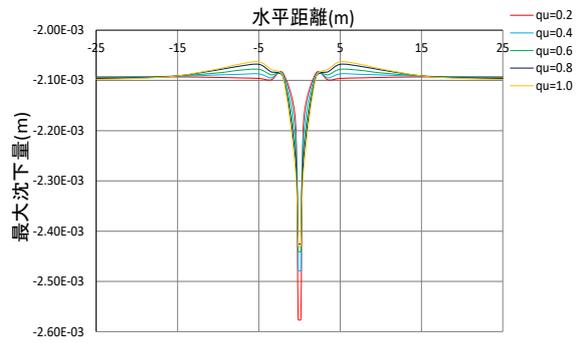


qu=1.0

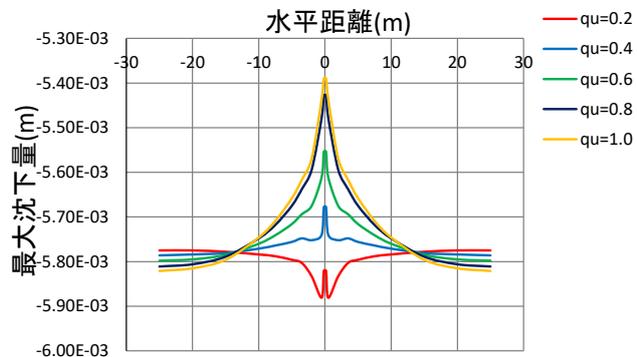
図-3 各充填材使用時の最大沈下量



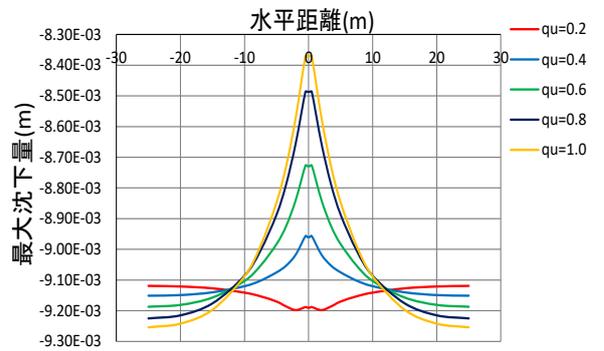
Y=20m



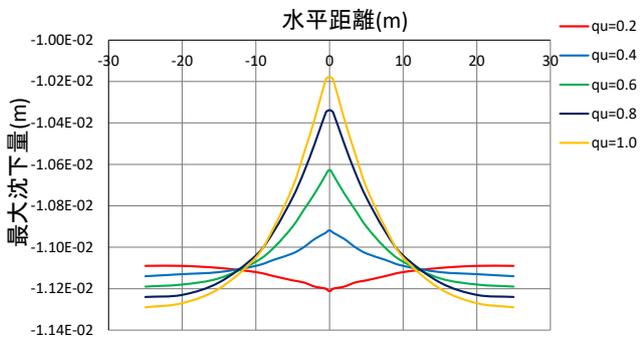
Y=19m



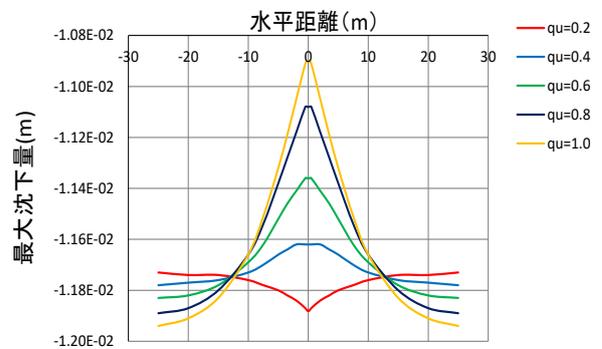
Y=15m



Y=10m



Y=5m



Y=0m

図-4 各深さにおける最大沈下量の比較

を検討する必要がある。また、実務を想定し、現場で使用する際に、使用しやすいような結果の整理の方法を検討していきたい。

参考文献

- 1) 総務省：公共施設等の解体撤去事業に関する調査結果，総務省，2012.
- 2) 村上隆生：基礎杭の残置，埋戻し部分の地盤支持力の瑕疵を否定し，代理業者の説明義務違反も否定した事例，RETIO, No.82, pp.166-167, 2011.
- 3) 福井實：くい基礎の支持力特性と設計法，日本建築学会近畿支部，p.115, 1984.
- 4) 阪南基礎工事株式会社：ロックオーガーおよびそれを使用した既存杭などの鉄筋コンクリート破壊工法 <<http://astamuse.com/ja/published/JP/No/2008169603>>, 2016.2.22 参照.
- 5) 田口君男，千葉正治，大原直：水中でのコアボーリング連続削孔による既設橋脚の切断，西松建設情報，vol.11, pp.308-309, 1988.
- 6) 小澤重機：工法説明 <<http://www.ozawa-juki.com/kouhou/index6.html>>, 2016.2.22 参照.
- 7) 桑原秀一，濱田聡一郎：構造物とりこわし工における既存杭の引抜工事について，平成 27 年度近畿地方整備局研究発表会 論文集，2015.
- 8) (株) マルシン：杭抜きチャッキング工法とは < http://marushinn.jp/about_chacking.html >, 2016.2.22 参照.
- 9) 国土交通省：公共建築工事標準仕様書（建築工事編）平成 25 年版，国土交通省，2014.
- 10) 吉田望：有効応力解析は実挙動をどれだけシミュレートできるか，建築基礎の設計施工に関する研究資料 4, 液状化地盤における基礎設計の考え方，日本建築学会構造基礎構造運営委員会編，日本建築学会，p.34, 1998
- 11) 古垣内靖，中沢楓太，宇高泰，徳田啓輔；流動化処理土のヤング率に関する考察，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.591-592, 2014.
- 12) 古垣内靖：流動性と自硬性を有した埋戻し材の変形特性，東急建設技術研究所報，No.37, pp.41-44, 2011.