

既存杭引抜孔への埋戻し処理と周辺地盤への影響に関する解析的検討

○川原知也¹・桑原秀一²・稲積真哉³・江口忠臣¹

¹明石工業高等専門学校・²マルシン・³芝浦工業大学

1. はじめに

我が国では、昭和30～40年の高度経済成長期に建築物や、橋梁・トンネル等の道路構造物が大量に建設された。しかしながら、近年、それらの建築構造物の老朽化が今後集中的に進んでいくと考えられている。また、東日本大震災を契機に防災意識が高まったことから、老朽化したビルやマンションの建て替え需要も増加している。さらには、総務省の発表では、全国の自治体を取り壊しを検討する公共施設が計1万2251棟にもなるとされている¹⁾。これは、老朽化や人口減少に伴い施設利用が減っているためでもある。上記の背景より、構造物の解体需要は今後ますます高まると考えられる。

我が国の都市の多くは軟弱地盤に位置し、杭基礎を用いた構造物が多い。そのため既設構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、既設構造物だけでなく、構造物を支持していた既存杭を、新たな構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、引抜き工法や破砕撤去工法等があるが、破砕撤去工法には振動・騒音問題や、コンクリートがら及び鉄筋くずなどのいわゆる産業廃棄物を地中に残存させてしまうなどの問題点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、3次元弾塑性解析を行い、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

本研究では静的全応力解析により解析を行う。検討内容を①～④に述べる。

- 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。ここでは、地盤材料・充填材部分に対し弾塑性モデルを適用する。
- ⑤ ④で算出した断面において引抜孔を掘削し、静的全応力解析を実施する。引抜孔を充填する際には同時に空洞部分に充填材を埋め込む。

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、奥行きも50mとし、粘土層の層厚を18m、砂礫層の層厚を8mとし、断面の深さの合計を26mとする。引抜孔については、本数を4本とし、孔径2mで引抜孔間隔を2m、深さ20mとし、砂礫層への根入れ深さは2m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、側方境界を鉛直ローラー支点とした。解析では、引抜孔がない場合から引抜孔を空洞にした場合とその引抜孔を充填した場合の周辺地盤の変位量の比較を行う。地盤の解析断面図と有限メッシュ、軸方向を図-1に示す。また、図-1に赤で囲まれた部分が空洞、青で囲まれた部分が充填材、黄色の線が粘土層と砂礫層の境界を示す。

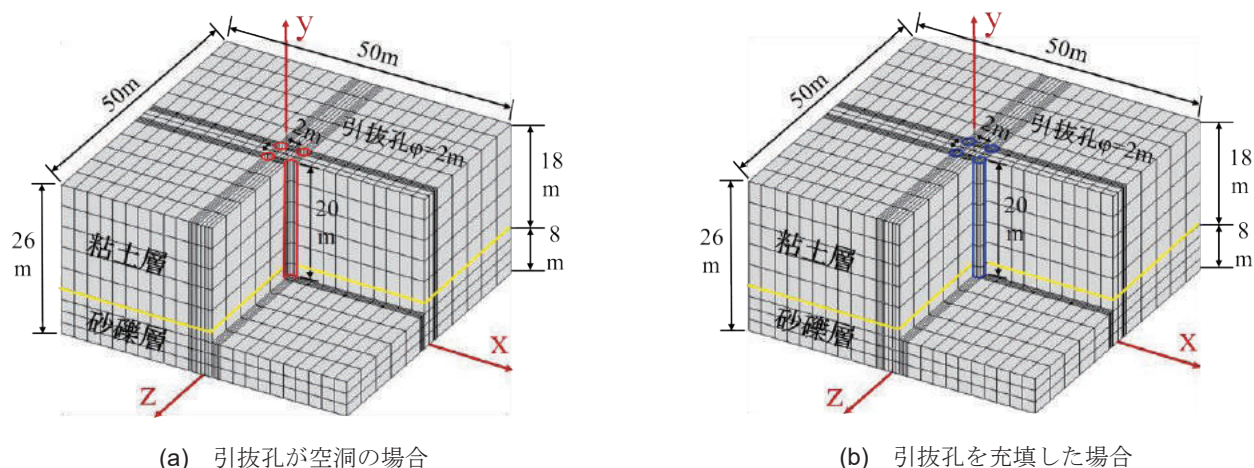


図-1 解析断面

(2) 構成則と材料パラメータ

解析に用いた、地盤パラメータを表-1 に、充填材のパラメータを表-2 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^{3), 4)}。また、充填材強度が地盤に与える影響を調べるために、流動化処理土のパラメータを変えて、3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($q_u=0.1\text{N/mm}^2$)、充填材②($q_u=0.5\text{N/mm}^2$)、充填材③($q_u=1.0\text{N/mm}^2$)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^{3), 4)}。

ここに、 E は弾性係数、 ν はポアソン比、 γ_t は土の単位体積重量、 S_u は土のせん断強度、 ϕ は内部摩擦角、 q_u は充填材の4週一軸圧縮強度である。

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、3次元弾塑性解析において、既存杭の引抜孔が地盤に及ぼす影響を解明するために、引抜孔がない場合から引抜孔を空洞にした場合とその引抜孔を充填した場合との周辺地盤の変位量の比較を行った。それらの結果について以下に示す。

(1) 引抜孔が空洞の場合

本解析によって得られた、引抜孔が空洞の場合の地表面における X 方向変位量コンター図を図-2 に示す。また、地表面における沈下量コンター図を図-3 に、Y 方向変位量を示すグラフを図-4 に示す。圧密層における基礎別の許容沈下量⁵⁾を表-3 に示す。

X 方向変位量については、図-2 より、引抜孔が空洞の場合では、引抜孔を塞ぐように最大 0.15m 変位していることが分かる。これは引抜孔が空洞であるために、引抜孔周辺に応力が集中し変位したためであると考えられる。

沈下量については、図-3 および図-4 より、地表面において引抜孔に挟まれている部分において最大 0.35m 程度の沈下が生じていることが分かる。影響範囲については、X 方向は-16m から 16m まで、Z 方向は-16m から 16m まで沈下が生じ、そこから先は隆起が生じた。これは初期応力解析によって自重による下向きの力が作用していたのに対し、引抜孔の

表-1 地盤パラメータ

| 材料名 | γ_t (kN/m^3) | E (kN/m^2) | $\nu(-)$ | S_u (kN/m^2) | $\phi(^{\circ})$ | 構成モデル |
|-----|-----------------------------------|----------------------------|----------|------------------------------|------------------|--------|
| 粘土層 | 14 | 7900 | 0.45 | 37.8 | 0 | 弾塑性モデル |
| 砂礫層 | 19 | 140000 | 0.40 | 152.9 | 42.3 | |

表-2 充填材パラメータ

| 充填材 | q_u (N/mm^2) | γ_t (kN/m^3) | E (kN/m^2) | $\nu(-)$ | S_u (kN/m^2) | $\phi(^{\circ})$ | 構成モデル |
|-----|------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|----------|------------------------------|------------------|--------|
| ① | 0.1 | 15 | 136223 | 0.48 | 39.3 | 26.0 | 弾塑性モデル |
| ② | 0.5 | | 587549 | 0.48 | 182.3 | 39.5 | |
| ③ | 1.0 | | 1151693 | 0.48 | 362.2 | 49.6 | |

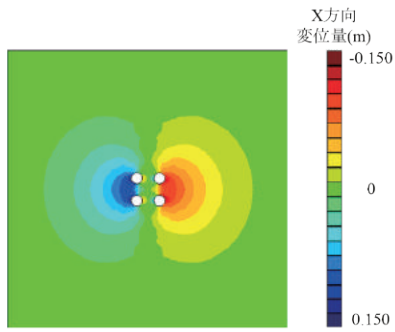


図-2 X方向変位コンター図
(引抜孔が空洞の場合)

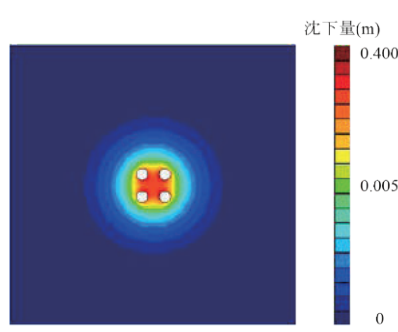


図-3 沈下量コンター図
(引抜孔が空洞の場合)

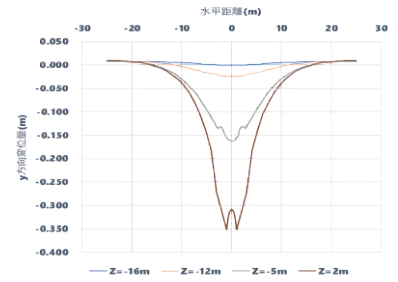
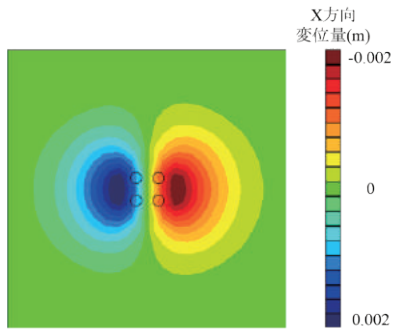
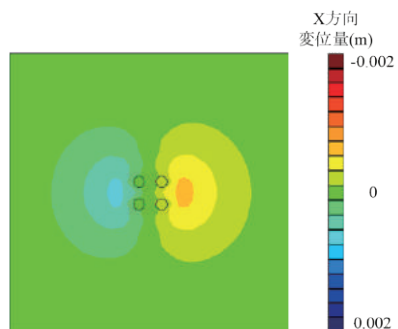


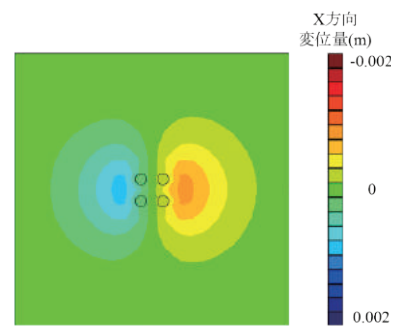
図-4 Y方向変位図
(引抜孔が空洞の場合)



(a) 充填材①を充填

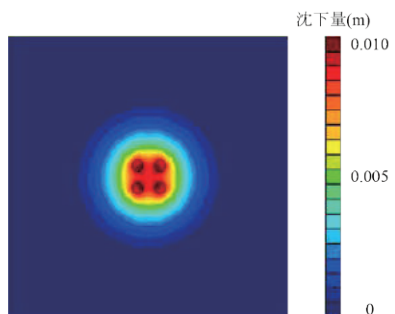


(b) 充填材②を充填

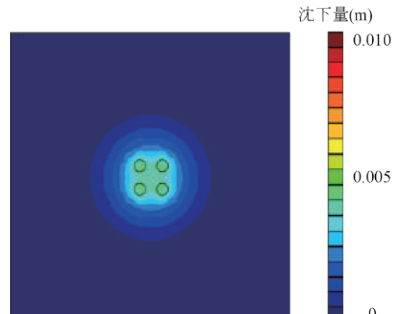


(c) 充填材③を充填

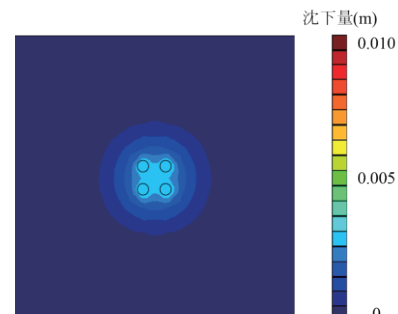
図-5 X方向変位コンター図(引抜孔を充填した場合)



(a) 充填材①を充填

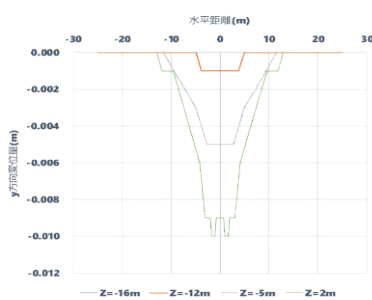


(b) 充填材②を充填

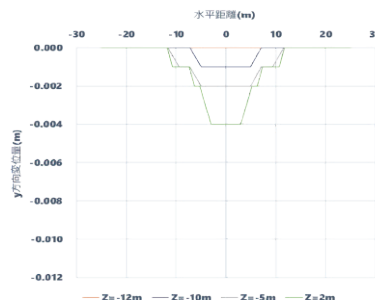


(c) 充填材③を充填

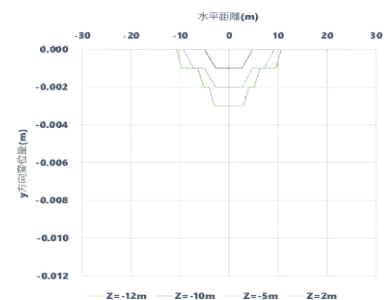
図-6 沈下量コンター図(引抜孔を充填した場合)



(a) 充填材①を充填



(b) 充填材②を充填



(c) 充填材③を充填

図-7 Y方向変位図(引抜孔を充填した場合)

表-3 圧密層における許容沈下量⁵⁾

| | 独立基礎 | 布基礎 | べた基礎 |
|--------------|------|-----|------|
| 相対沈下 (cm) | 3 | 4 | 5 |
| 最大沈下 (cm) | 10 | 20 | 25 |

掘削をしたことで下向きの力が解放されたために上向きの力が作用して、抜き跡から離れたところで隆起が生じたと考えられる。引抜きが空洞の場合は、表-3より、独立基礎・布基礎・べた基礎すべてにおいて相対沈下量が許容値よりも大きな値となっており、施工が不可能であるため地盤改良が必要となる。

(2) 引抜きを充填した場合

本解析によって得られた、引抜きを充填材①、充填材②、充填材③によって充填した場合の地表面における X 方向変位量コンター図を図-5 に示す。また、それぞれの場合の地表面における沈下量コンター図を図-6 に、Y 方向変位量を示すグラフを図-7 に示す。

X 方向変位量については、挙動は引抜きが空洞の場合と異なり、引抜きを塞ぐような変位ではなく、周辺地盤が地表面の中心に向けて変位している。これは引抜きが充填されたことにより充填材自身が変形に抵抗したためだと考えられる。引抜きを充填した場合は、変位量が 0.002m 以下となり、引抜きが空洞と場合と比較して変位量が減少し、微小な変位となった。よって、引抜きを充填することにより、X 方向変位量が抑えられることが分かる。また、充填材強度が大きくなるにつれて水平変位量が小さくなることが分かる。

沈下量については、図-6 および図-7 より、地表面において充填材①を充填した場合は、最大 0.010m、充填材②を充填した場合は、最大 0.004m、充填材③を充填した場合は、最大 0.003m の沈下が生じていることが分かる。影響範囲については、充填材①を充填した場合は、X 方向は-12m から 12m まで、Z 方向は-12m から 12m まで沈下が生じた。充填材②を充填した場合は、X 方向は-10m から 10m まで、Z 方向は-10m から 10m まで沈下が生じた。充填材③を充填した場合は、X 方向は-10m から 10m まで、Z 方向は-10m から 10m まで沈下が生じた。充填材①、②、③を充填した場合は、表-3より、独立基礎・布基礎・べた基礎すべてにおいて相対沈下量が許容値よりも小さな値となっており、施工が可能となった。充填材①、②、③すべての影響範囲外では、変位は生じなかった。引抜きを充填した場合は、最大沈下量が 0.010m 以下となり、引抜きが空洞の場合と比較して、沈下量が減少したことが分かる。以上のことより、引抜きに 0.1N/mm²以上の強度の充填材を充填することは変位量を減少させるための有効な地盤改良手段であるといえる。

充填材①を充填した場合は、図-7 より、充填材部分において局所的に沈下量が大きくなっている。しかし、充填材②、③を充填した場合は、周辺地盤と同じ沈下量を示す。また、充填材②と③では、最大沈下量は 0.001m しか変わらず、沈下の影響範囲は変わらない。以上のことより、本研究の解析条件では、一軸圧縮強度 0.5N/mm²の充填材②を用いることが望ましいと考えられる。

5. おわりに

引抜きが空洞の場合では、約 0.35m もの大きな地盤沈下を生じるが、引抜きを充填することによって、地盤沈下は 0.010m 以下に抑えられることができ、影響範囲を小さくすることができると分かった。よって、引抜きを充填することは地盤沈下量を抑えるために有効な地盤改良方法であることが分かった。また、本研究の解析条件では、一軸圧縮強度 0.1N/mm²を充填した場合は、充填材部分において局所的に沈下量が大きくなっている。また、一軸圧縮強度 0.5N/mm²、1.0N/mm²では、最大沈下量は 0.001m しか変わらず沈下の影響範囲は変わらない。よって、一軸圧縮強度 0.5N/mm²の充填材を用いることが望ましいと考えられる。なお、本研究では、引抜きの配置間隔、充填材の配合強度、地盤パラメータの違いなどによる影響の考慮に至っていない。それらの条件を変えた解析を行い、一般的に求められる充填材の特性を調べる必要がある。

参考文献

- 1) 総務省：公共施設等の解体撤去工事に関する調査結果，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) 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
- 4) 古垣内靖：流動化処理土のヤング率の評価，東急建設技術研究所報，No.40，pp.49-52，2015
- 5) 秋重博之：建築基礎の性能評価方法に関する国内外の技術基準等の比較(その 1 沈下量等の許容値及び限界値)，日本建築学会大会学術講演梗概集，p.621，2004.