

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 20 日現在

機関番号：17601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04685

研究課題名(和文)土留部材の引抜き工法の地盤変形抑制効果の比較と評価手法の確立

研究課題名(英文) Establishment of prediction method of ground deformation when pulling out earth retaining piles

研究代表者

福林 良典 (Fukubayashi, Yoshinori)

宮崎大学・工学部・准教授

研究者番号：70812220

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：開削工事に設置される土留板を引抜き時の地盤変形を、3次元弾塑性有限要素法を用いた汎用ソフトであるPLAXIS3Dを利用して計算する手法を提案した。土留杭と地盤との境界にインターフェース要素を配置し、引抜き時に塑性化させた。引抜きを50cmピッチで行うこととし、杭端部から順に空洞化し掘削解析を行った。その結果、ある引抜き工事事例で引抜き杭から約3 m離れた地点で計測された地盤沈下量約200 mmを、再現することができた。引抜き同時充填を再現した解析の結果、地盤沈下量は同時充填無の場合と比べて約1/10に削減することがわかった。2次元的なモデルで、土留杭引抜きに伴う地盤変形予測手法の一つを確立した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

杭の水平や鉛直載荷時の地盤変形の数値解析手法が多く提案されている一方、杭引抜き時の数値解析手法の提案事例は少ない。引抜き事例や、引抜きに伴う周辺地盤の変形データが少ないことが要因に挙げられる。本研究では、土留部材同時充填引抜き工法研究会を研究協力者とした。その研究会が保有する多くの施工事例や地盤変形計測データを利用することができ、妥当性を検証しつつ簡単なモデルでの数値解析手法を開発することができた。より詳細の地盤条件や3次元的なモデルでの解析手法へと発展させることが今後の課題である。開削工事で仮設として設置される土留板の再利用が進み、循環型社会の形成に寄与する可能性がある。

研究成果の概要(英文)：In excavation construction, earth retaining wall using sheet pile is main method to protect near structures. It is known that pulling out sheet pile has an influence on ground deformation in a series of excavation construction. Therefore, "A method of pulling out the earth retaining pile and filling filler at the same time" is being developed to suppress the ground deformation. For quantitative evaluation of this method, first, this study investigated a method to predict simultaneous filling with pulling out by numerical analysis. In addition, a parametric analysis was performed to investigate the relationship between each parameter of the interface element and the pulling out resistance. Next, displacements were compared the difference for each type of countermeasure after sheet pile pulled out or while. As a result, it was found that the settlement using simultaneous filling can be suppressed one-ten of the case without countermeasure.

研究分野：地盤工学

キーワード：土留杭 引抜き 3次元弾塑性有限要素法 同時充填

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年の地下構造物建設に伴う開削工事では、近接する構造物の保護や施工スペースの確保、また効率的な施工を行うために、土留を設置することが多い。地下構造物を建設し埋戻しが完了すると、土留め部材は開削空間の保持という役割を終える。そこで、土留め部材を引抜くことが考えられるが、この際に周辺地盤の変形が大きく発生することが経験的に知られている¹⁾。そのため、土留め部材が残置されることも多い。しかし、資源の循環活用や、施工前の地盤条件に戻す必要がある場合があることを考慮すると、地盤変形を抑制した引抜き工法の開発が求められる。

引抜き時の地盤の変形を抑制する工法として、仮設構造物指針(日本道路協会,1999)では、引抜き後の空隙に良質な砂を充填し水締めを行う工法、空隙に貧配合モルタル等の低強度の充填材を注入する工法、地盤改良後に土留部材を引抜く工法を示している。これらに加え2003年には、土留部材の引抜きにより生じた空隙に固化剤を同時に充填し、引抜きによる影響を抑制しながら、土留部材を回収する工法(土留部材引抜同時充填工法)が開発されている。しかし、上記の引抜き工法の適用条件や周辺地盤の変形抑制効果について、未だ比較可能な評価方法が確立されていない。そのため、未だに多くの土留め部材が残置され、また引抜きに伴う地盤変形が構造物へ影響を与えている。

2. 研究の目的

本研究では、軟弱地盤中に設置された土留部材を異なる工法により引抜いた際の周辺地盤の変形をいかに把握し、様々な引抜き工法を採用時の地盤変形の抑制効果を比較しうる評価手法の確立を目指す。特に、地盤条件や引抜き時の地盤変形計測データを収集しやすい土留部材引抜同時充填工法を採用ケースに着目し、その地盤変形評価手法を確立することを目的とする。

3. 研究の方法

まず、土留め板引抜き時の地盤変形データを収集した。そして、同条件下での引抜き過程を数値解析手法による再現し、計算された地盤変形データと実データを比較検討した。コロナ禍で当初予定した実物大規模での杭引抜き実験を実施することができなかった。そこで、引抜き時の施工情報が集積されており入手可能な、土留部材引抜同時充填工の施工現場に着目した。本工法では、予め鋼矢板に沿って設置しておいた充填管から、鋼矢板を50cm引き抜く毎に充填材を同時充填することで、地盤変形を抑制する。その実績は560件を超え、現場での管理データが蓄積されている²⁾。この実績量から、本工法適用時の地盤の変形抑制効果については、経験的に確認されているといえる。今後は、本工法により幅広い範囲での適用を目指して、複雑な地盤等でも抑制効果を評価することが出来るように、FEM解析による定量的な評価が求められる。

本研究では、3次元解析ソフト PLAXIS3D を用いて、鋼矢板引抜き時の地盤変形の解析手法を検討した。その後、引抜き後の対策方法ごとの地表面鉛直方向変位を比較することで、同時充填による地盤変形抑制効果を評価した。

4. 研究成果

(1) FEM解析による地盤の変形予測

対象現場

図-1に示す開削工事現場には、土中長17.5mの鋼矢板Ⅲ型が設置されており、現場断面は4層であった。鋼矢板は、軟弱な上部3層目地盤までしか打設されておらず、鋼矢板の引抜きによって、周辺地盤の沈下や、近接構造物への影響が懸念された。実際に、横断道路を隔てた別施工区では、対策なしで鋼矢板を引抜き、最大で201mmの沈下が発生したことが報告されている。本研究では、この実測事例を基準として解析手法を検討し、予測沈下量と実測値を比較して、検討の妥当性を評価することとした。

解析条件

解析モデルは、図-1に示す現場断面に倣って4層断面とした。解析断面の全幅は59mとし、奥行き方向長さは0.8mとした。全幅の内訳としては、6.5mは掘削・埋め戻し側、52.5mが背面側地盤である。背面側地盤の解析幅については、堀内・清水¹⁾の実測結果を

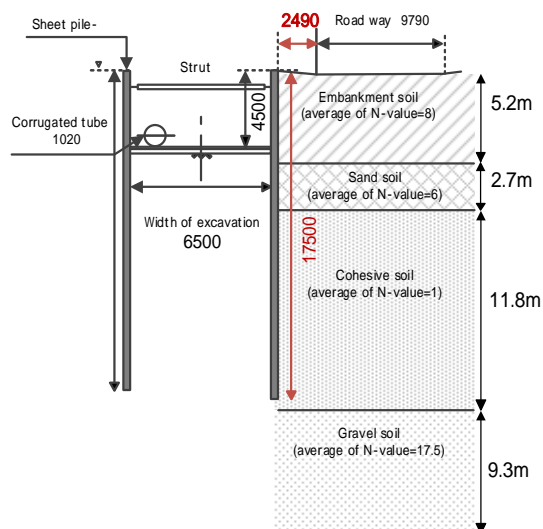
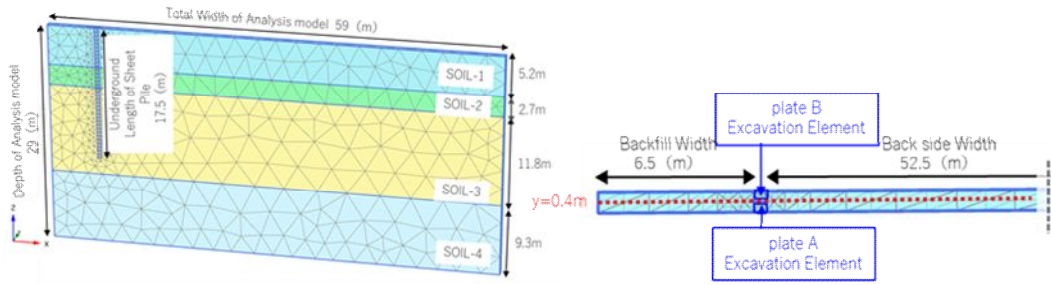


図-1 対象現場断面図



(a) モデル全体図

(b) モデル平面図

図-2 解析モデル図

参考にして、鋼矢板の3倍の長さを設けた。鋼矢板は、幅0.4mの鋼矢板を2枚、plate要素でモデル化した(図-2)。鋼矢板引抜き時には、矢板断面積の2倍、矢板幅の4倍の付着土砂が発生することがこれまでの実績から経験的に確認されていることから、矢板の前面側と背面側にそれぞれ、矢板厚(t=0.125m)の2倍分の要素を掘削要素として配置し、付着土砂を再現した。掘削要素と周辺地盤の境界には、境界条件として、モール・クーロンモデルで構成されたインターフェース要素を配置した。解析に用いた各地盤及び、鋼矢板の物性値を表-1に、インターフェース要素の物性値を表-2に示す。

表-1 解析モデル物性値

model		γ_{unsat} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	E (kN/m ²)	ν
SOIL-1	弾性	17.1	20	5600	0.33
SOIL-2	弾性	17.2	20	4200	0.29
SOIL-3	弾性	16.4	20	700	0.45
SOIL-4	弾性	19	20	5.46E+4	0.28
鋼矢板	Plate	86.4	-	2.00E+8	0.299
充填剤	弾性	18	20	3.60E+4	0.125

解析手法

解析は、鋼矢板引抜き後の対策方法別に3通りで行った。引抜き後、対策を行わない場合をCASE-Aとし、引抜き完了後に充填剤を充填した場合をCASE-B、引

表-2 インターフェース物性値

E (kN/m ²)	ν	γ_{unsat} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	c (kN/m ²)	ϕ (°)
2800	0.3	0	0	15	25

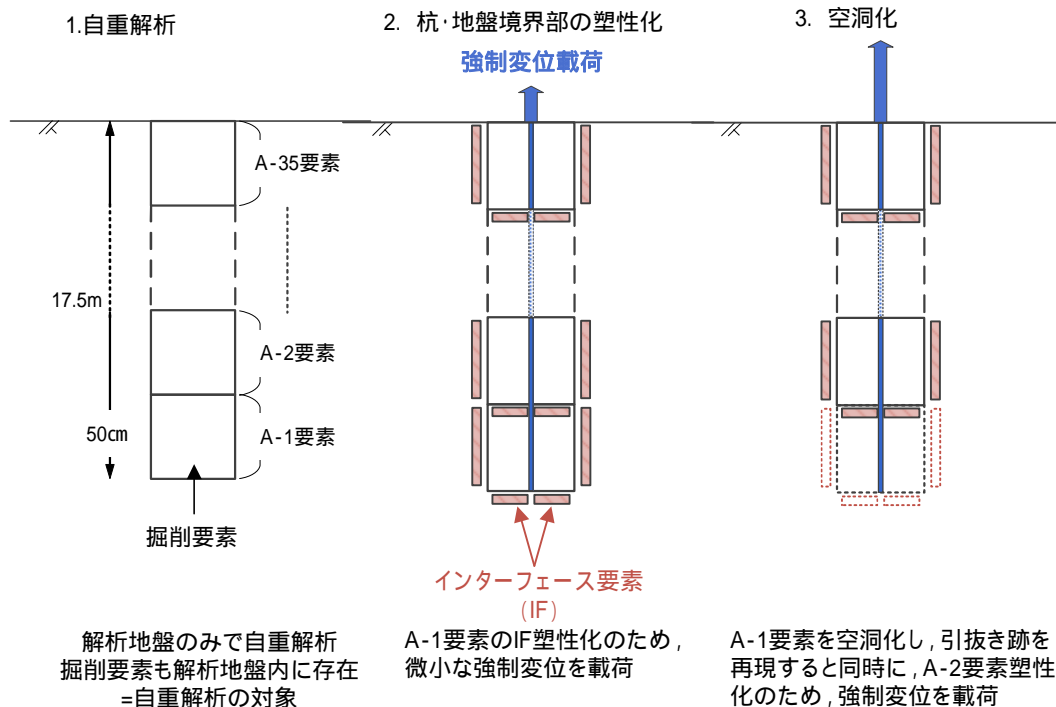


図-3 解析概要図 CASE-A

抜同時充填工法の再現モデルを CASE-C とした。

CASE-A では、掘削要素と鋼矢板を無効にすると同時に、1 つ上の要素に隣接するインターフェースを塑性化するために、微小な強制変位を载荷した(図-3)。CASE-B では、CASE-A の工程を完了後、掘削要素を表-1 に示す充填剤の物性値で置換することで再現した。CASE-C では、鋼矢板を無効化し、同 z 座標の掘削要素を充填剤の物性値に置換した。同時に、1 つ上の要素に隣接するインターフェースと、充填剤に置換した掘削要素と、次に置換される掘削要素の境界に設けたインターフェース要素を塑性化するために、微小な強制変位を载荷した(図-4)。

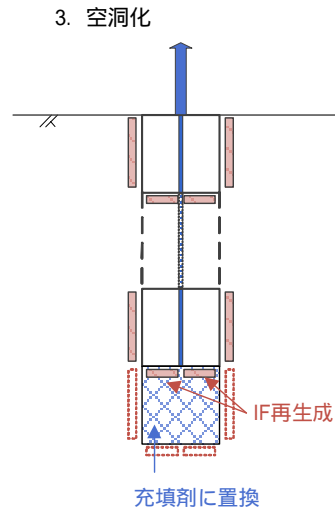
解析結果

CASE-A での鋼矢板の引抜き完了直後について、2 枚の鋼矢板の境界に値する位置(図-2(b)赤点線)における鉛直方向変位を図-5 に示す。背面側の変位は、鋼矢板からの距離が 10 m の位置から遠くなるほど、徐々に減少している。この様子から、鋼矢板からの距離が離れるほど、変位は収束傾向にあることが分かった。一方で、埋戻し側の変位が背面側の変位に比べて大きな値になったのは、背面側に比べて、短い掘削幅の土が引抜きによって生じた空隙に流入したからであると考えられる。なお、図-5 中の背面側地盤中腹で、第 3 層目と 4 層目の境界において、鉛直方向変位の不規則な挙動が確認できる。しかしながら、境界部分の鉛直方向変位の誤差は ±1 mm 程度であることから、周辺地盤への影響には値しない、無視できる挙動と考えた。この数値解析によって得られた、鋼矢板から 2.7 m 離れた位置での鉛直方向変位は、213 mm であり、2.5 m 離れた位置での実測値 201 mm に極めて近い値を示した。この結果より、数値解析手法及び結果は実現場を再現できていると考えられる。

次に、3CASE の地表面の鉛直方向変位を図-6 に示す。CASE-A において、鋼矢板から 2.7m 離れた位置の鉛直方向変位は、213 mm であり 2.5m 離れた位置で観測された実測値 201 mm に極めて近い値を示した。また、同位置での予測結果を比較すると、CASE-A で鉛直下向きに 213 mm であった鉛直方向変位は、CASE-B で鉛直下向き 64 mm、CASE-C で 25 mm となり、土留部材引抜き同時充填工法 2) の適用によって、最大で 10 分の 1 にまで変位が抑制されていることが分かる。さらに、CASE-A では、鋼矢板から 10m 離れた位置から変位が収束傾向となり、40m 離れた位置で 40 mm 程の沈下に収まっている一方で、CASE-B、CASE-C における鉛直方向変位は、鋼矢板から 30m 離れた位置では完全に収束している。さらに、CASE-B と CASE-C を比較した場合、両者の収束傾向は類似するが、CASE-C の変位は、常に CASE-B の半分以下の値である。これより、本研究では、引抜き同時充填工法が、地盤の変形抑制手法として極めて期待できる結果となった。

(2) まとめ

本研究で得られた結果を以下に示す。



- A-1要素を充填剤物性値に置換,
- A-1要素上面のIFを再生成
- =引抜き同時充填
- A-2要素塑性化のため強制変位载荷

図-4 解析概要図 CASE-C

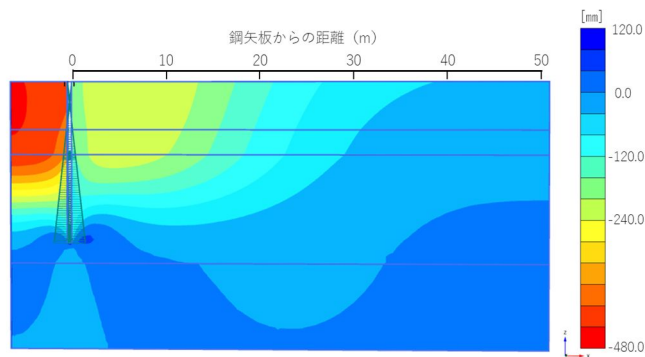


図-5 CASE-A で鉛直方向地盤変位分布

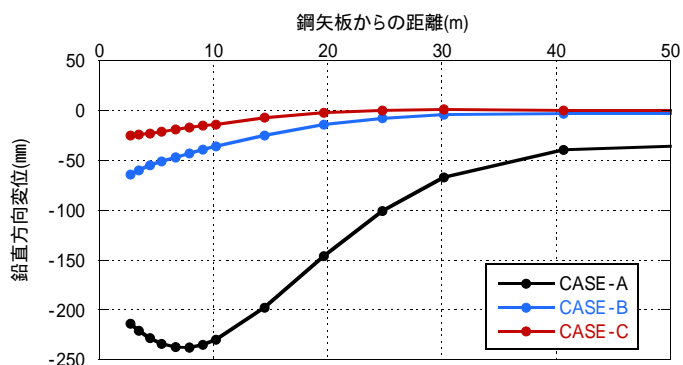


図-6 3CASE の鉛直方向変位

- 1) PLAXIS3D による鋼矢板引抜き解析の再現は、掘削要素とインターフェース要素を用いることで、実測値と概ね一致した。
- 2) 数値解析において、鋼矢板引抜き後の対策方法別の地表面沈下量の比較では、同時充填によって、対策を行わない場合の10分の1にまで、沈下量を抑制することができた。

参考文献

- 1) 堀内孝英, 清水正義: 鋼矢板山留め壁の引き抜きに伴う周辺地盤への影響, 地下空間シンポジウム論文・報告集, 第4巻, 土木学会, pp.307-312, 1999.
- 2) GEOTETS 工法研究会; <https://www.hikinuki.jp> (閲覧日: 2023.1.13)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Michiho Taoka, Yoshinori Fukubayashi, Hiroaki Watanabe, Yasuhiko Nishi
2. 発表標題 Case study on application of an innovative method of pulling out the earth retaining pile with less ground surface settlement
3. 学会等名 2nd International Conference on Construction Resources for Environmentally Sustainable Technologies (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 田岡美智帆, 福林良典, 末次大輔, 神山 惇, 渡辺広, 山下大地, 児玉貫太郎
2. 発表標題 土留部材引抜時の簡便法による周辺地盤の変形予測手法と引抜同時充填時の変形予測に向けた検討
3. 学会等名 第57回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 56)武内 大晋・福林 良典・神山 惇・末次 大輔・渡辺 広明・山下 大地・児玉 寛太郎
2. 発表標題 同時充填工法による土留め部材の引抜時の周辺地盤の変形解析手法の検討
3. 学会等名 第55回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	神山 惇 (KOYAMA ATSUSHI) (90816266)	宮崎大学・工学部・助教 (17601)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------